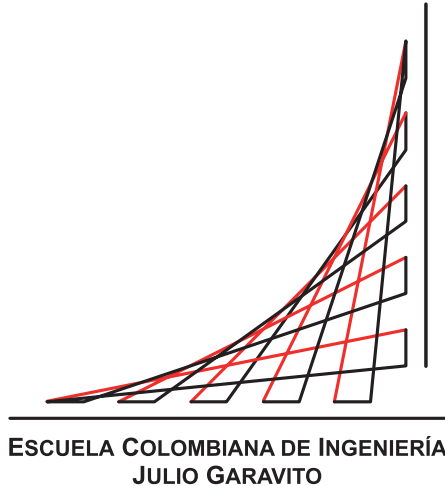


Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Programa Ingeniería Eléctrica



Efectos del Transporte Eléctrico Público sobre las redes de distribución

Autor:

David Alejandro Niño Barrero

Director:

Ing. Iván Camilo Duran Tovar (Ph.D)

Bogotá D.C, Colombia

Mayo, 2021

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Programa de Ingeniería Eléctrica

Efectos del Transporte Eléctrico Público sobre las redes de distribución

David Alejandro Niño Barrero

Trabajo dirigido presentado como **opción de grado**

Director(a):
Ing. Iván Camilo Duran Tovar (Ph.D)

Bogotá D.C, Colombia
2021, mayo

Dedico este trabajo en especial a mi madre, quien es la persona que más me ha apoyado de forma emocional y económica a lo largo de mi carrera, sin ella no hubiera sido posible llegar hasta aquí. Así mismo a mi padre y hermanos quienes con su acompañamiento lograron que nunca desfalleciera y a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito por la calidad de su enseñanza representada en todos sus profesores.

Agradecimientos

En primer lugar quiero agradecer al ingeniero Iván Camilo Duran Tovar por su apoyo, consejos, atención y paciencia hacia mi durante el desarrollo de esta tesis, en su calidad de director de trabajo dirigido.

En segundo lugar a la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, por brindarme las herramientas para la realización de este trabajo y por permitirme crecer personal y profesionalmente.

En tercer lugar a mi familia por brindarme ese apoyo incondicional emocional y económico, el cual permitió la realización de este trabajo y la culminación con éxitos de mis estudios académicos.

Y por último a mis amigos y demás familiares por las experiencias y consejos, que de manera indirecta logran dar esa motivación extra que permite culminar con más facilidad los proyectos académicos como este.

A todos ustedes ¡infinitas gracias!

“La gratitud puede transformar días comunes en ‘días de acción de gracias’, por lo tanto, puede hacer de la rutina laboral un día con alegría y de las oportunidades, bendiciones”.—
William Arthur Ward

Resumen

Como es de conocimiento público la emisión de gases de efecto invernadero es la causa principal del calentamiento global, este ha causado múltiples estragos de orden ambiental en todo el planeta. Se sabe por diferentes estudios que la industria que más contribuye a la emisión de estos gases es la industria del transporte.

Teniendo eso en cuenta los gobiernos empezaron a idear una forma de reducir estas emisiones en la industria. Gracias a esto nació la idea de cambiar el combustible que usan los vehículos de transporte público del tradicional Diesel a electricidad como forma de combustible.

Al tener electricidad como combustible se vuelve necesario empezar a adecuar motores eléctricos como medio de propulsión para buses públicos. Al tener esta especie de motores se puede comenzar a añadir algunas baterías dentro de los buses, las cuales después de ser cargadas podrán generar la autonomía necesaria para que estos buses no necesiten cargarse sino después de muchas horas y kilómetros.

Así mismo, se conoce que el modo de carga más común es el capacitivo en donde directamente se conecta el enchufe del bus a una toma especial, esta a su vez esta conectada a la red. Este hecho en particular despertó el interés de muchos en saber si existe efecto alguno en las redes de distribución al realizar esta conexión, dado que los cargadores vienen con una gran capacidad de potencia. Se encontró que si existen múltiples efectos, dentro de los que se destacan el aumento de carga en los alimentadores y la disminución del nivel de tensión en estos mismos.

En este trabajo no solo se presentaran que otros efectos existen, sino que también como es el consumo de energía de los buses eléctricos, cuales son sus fabricantes y como se ha ido distribuyendo esta tecnología a través de todo el globo terráqueo.

Abstract

As it is public knowledge, the emission of greenhouse gases is the main cause of global warming, it has caused multiple environmental damage throughout the planet. It is known from different studies that the industry that contributes the most to the emission of these gases is the transportation industry.

With that in mind, governments began to devise a way to reduce these emissions in industry. Thanks to this, the idea of changing the fuel used by public transport vehicles from traditional Diesel to electricity as a form of fuel was born.

Having electricity as fuel it becomes necessary to start adapting electric motors as a means of propulsion for public buses. By having this kind of motors, it is possible to start adding some batteries into the buses, which after being charged can generate the necessary autonomy so that these buses do not need to be charged until after many hours and kilometers.

Likewise, it is known that the most common charging mode is the capacitive one where the bus plug is directly connected to a special socket, this in turn is connected to the network. This particular fact has aroused the interest of many in knowing if there is any effect on the distribution networks when making this connection, since the chargers come with a large power capacity. It was found that if there are multiple effects, among which the increased load on the feeders and the decrease in the voltage level on them stand out.

In this work, it will not only be presented that other effects exist, but also how is the energy consumption of electric buses, what are their manufacturers and how this technology has been distributed throughout the globe.

Contenido

Agradecimientos	7
Resumen	10
Abstract	12
Contenido	13
Lista de figuras	15
Lista de tablas	17
Lista de símbolos	21
1. Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.2. Objetivos	3
1.3. Metodología	4
1.4. Organización del documento	5
2. Marco teórico	7
2.1. Evolución de los buses eléctricos	7
2.2. Buses eléctricos	10
2.2.1. Partes principales	10
2.2.2. Tipos de formas de carga	12
2.3. Adopción del bus eléctrico en el mundo	15
2.4. Fabricantes de buses eléctricos	20
2.5. Ciudades con buses eléctricos	35
2.6. Comparación y elección del mejor bus eléctrico	43
3. Incidencia de los buses eléctricos en las redes de distribución	51
3.1. Impactos sobre las redes	51
3.2. Consumos de los buses	57
3.3. Diseño de un sistema urbano de buses eléctricos	61

4. Conclusiones	67
4.1. Conclusiones generales	67
4.2. Trabajos futuros	68
Referencias	71

Lista de Figuras

1.1.	Consumo de productos petrolíferos por sector a nivel mundial [1]	1
1.2.	Número de emisiones WTW de gases de efecto invernadero por tipo de bus. [2]	2
1.3.	Número de emisiones WTW de gases de efecto invernadero por tipo de generación. [2]	3
1.4.	Esquema de metodología.	4
2.1.	Configuración paralelo en buses híbridos [2]	7
2.2.	Configuración serie en buses híbridos [2]	8
2.3.	Evolución de la tecnología de los buses eléctricos [3]	9
2.4.	Longitud de los buses eléctricos [3]	9
2.5.	Cantidad de BEB's a través de los años [3]	10
2.6.	Configuración de un vehículo eléctrico [4]	11
2.7.	Tipos de cargadores para BEB [5]	13
2.8.	Ventajas y desventajas del cargador Plug – In [5]	14
2.9.	Ventajas y desventajas del cargador tipo pantógrafo [5]	14
2.10.	Ventajas y desventajas del cargador por inducción [5]	15
2.11.	Cantidad de buses eléctricos según continente o subcontinente	16
2.12.	Cantidad de buses eléctricos en Asia	17
2.13.	Cantidad de buses eléctricos en Europa	17
2.14.	Cantidad de buses eléctricos en Norteamérica, Centroamérica y el Caribe . .	18
2.15.	Cantidad de buses eléctricos en Suramérica	19
2.16.	Cantidad de buses eléctricos en Colombia	19
3.1.	Armónicos con respecto a la tensión de la red que alimenta la ciudad [63] . .	54
3.2.	Consumo de energía por escenario usado en la investigación [71]	60
3.3.	Diagrama de flujo para obtener un modelo [72]	65

Lista de tablas

2.1.	Dimensiones y pesos de los buses BYD [6]-[7]	20
2.2.	Capacidad de los buses BYD [6]-[7]	21
2.3.	Tren motriz de los buses BYD [6]-[7]	21
2.4.	Carga de los buses BYD J6, K7, K8 y Ebus12 [6]-[7]	21
2.5.	Carga de los buses BYD K9, KS9, KM9, K11A y ENVIRO 200 y 400 [6]-[7] .	22
2.6.	Almacenamiento de energía de los buses BYD [6]-[7]	22
2.7.	Buses de las marcas Ebusco, Irizar y Kammaz [8]-[10]	23
2.8.	Dimensiones y pesos de los buses Ebusco e Irizar i2e [8]-[9]	23
2.9.	Dimensiones y pesos de los buses Irizar y Kamaz [9]-[10]	24
2.10.	Capacidad de los buses Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10]	24
2.11.	Tren motriz de los buses Ebusco e Irizar [8]-[9]	24
2.12.	Tren motriz de los buses Irizar ie bus 18 y Kamaz [9]-[10]	25
2.13.	Carga de los buses Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10]	25
2.14.	Almacenamiento de energía de los buses Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10] . . .	25
2.15.	Buses de las marcas King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14] .	27
2.16.	Dimensiones y pesos de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]	27
2.17.	Capacidad de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]	27
2.18.	Tren motriz de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]	27
2.19.	Carga de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14] .	28
2.20.	Almacenamiento de energía de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]	28
2.21.	Buses de las marcas Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]	29
2.22.	Dimensiones y pesos de los buses Sunwin y VDL LL-99 [15]-[16]	29
2.23.	Dimensiones y pesos de los buses VDL, Vejo y Volgabus [16]-[18]	30
2.24.	Capacidad de los buses Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]	30
2.25.	Tren motriz de los buses Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]	30
2.26.	Carga de los buses Sunwin y VDL [15]-[16]	30

2.27. Carga de los buses VDL SLFA-180, Vejo y Volgabus [16]-[18]	31
2.28. Almacenamiento de energía de los buses Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]	31
2.29. Buses de las marcas Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]	32
2.30. Dimensiones y pesos de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]	32
2.31. Capacidad de los buses Volvo y Yutong U12 [19]-[20]	32
2.32. Capacidad de los buses Yutong y Zhongtong [20]-[21]	33
2.33. Tren motriz de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]	33
2.34. Carga de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]	33
2.35. Almacenamiento de energía del bus Volvo LFSe [19]	33
2.36. Almacenamiento de energía de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]	34
2.37. Fabricantes en el mundo de buses eléctricos de la B a la S [6]-[15]	34
2.38. Fabricantes en el mundo de buses eléctricos de la V a la Z [16]-[21]	35
2.39. Cantidad de buses en Catar y China [2], [22]-[25]	35
2.40. Cantidad de buses en India, Israel, Japón, Rusia, Singapur y Turquía [25]-[30]	36
2.41. Cantidad de buses en Alemania, Bélgica, Dinamarca y España [8]-[9], [16], [30]-[34]	37
2.42. Cantidad de buses en Francia, Italia, Lituania, Luxemburgo, Noruega y Países Bajos [8]-[9], [16], [19], [27], [33]-[36]	38
2.43. Cantidad de buses en Países Bajos, Polonia, Reino Unido, Suecia y Suiza [8]- [9], [19], [27]-[28], [31], [33], [37]-[40]	39
2.44. Cantidad de buses en Barbados, Canadá, Costa Rica, Cuba, Estados Unidos y México [25], [27], [41]-[50]	40
2.45. Cantidad de buses en Panamá y República Dominicana [51]-[52]	41
2.46. Cantidad de buses en Argentina, Brasil y Chile [5], [31], [53]-[56]	41
2.47. Cantidad de buses en Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú y Uruguay [5], [31], [34], [56]-[57]	42
2.48. Comparación de padrones según autonomía	43
2.49. Comparación de articulados según autonomía	44
2.50. Comparación de padrones según tiempo de recarga	44
2.51. Comparación de articulados según tiempo de recarga	45
2.52. Comparación de padrones según capacidad de la batería	45
2.53. Comparación de articulados según capacidad de la batería	46
2.54. Comparación de padrones según capacidad de pasajeros	46
2.55. Comparación de articulados según capacidad de pasajeros	47
2.56. Comparación de padrones según unidades vendidas	47
2.57. Comparación de articulados según unidades vendidas	48
2.58. Pesos asignados según aspecto evaluado	48

2.59. Resultados de los padrones según aspecto y peso por aspecto	49
2.60. Resultados de los articulados según aspecto y peso por aspecto.	49
3.1. Tamaño del transformador según tipo de carga [62]	53
3.2. Impactos sobre el transformador según el tipo de carga [62]	54
3.3. Escenarios según número de cargadores y tipos de este [65]	55
3.4. Resultados de los escenarios usados en la investigación [65]	56
3.5. Tipo de cargadores utilizados en la investigación [66]	56
3.6. Uso de generación distribuida para alimentar cargadores [67]	57
3.7. Aspectos importantes de consumo en BEB [68]	58
3.8. Consumo de energía promedio de BEB [68]	58
3.9. Consumo de energía promedio de BEB dependiendo del trafico [69]	59
3.10. Consumo de energía de un BEB promedio dependiendo del aire acondicionado [70]	59
3.11. Modelo del bus de prueba usado en la investigación [71]	60
3.12. Características del bus de prueba usado en la investigación [71]	60
3.13. Tecnologías disponibles por función [72]	61

Lista de abreviaturas

WTW	Emisiones “Well-to-Wheel”
gCO_2	Gramos de dióxido de Carbono
HEB	Buses híbridos convencionales
PHEB	Buses eléctricos híbridos enchúfales
BEB	Bus eléctrico de batería
BMS	Sistema de gestión de la batería
OLEV	Tecnología “Online Electric Vehicle”
LTC	Cambiador de tomas bajo carga
THD	Distorsión armónica total
BT	Baja tensión
MT	Media tensión
AT	Alta tensión
GD	Generación distribuida
NMC	Batería de Níquel-Manganeso-Cobalto

LFP Bateria de litio-ferrofosfato

LTO Bateria de litio-titanio

Capítulo 1

Introducción

1.1. Planteamiento del problema

Debido a los incrementos de gases de efecto invernadero en la atmósfera, los países se han centrado en reducirlos, a través, de múltiples estrategias. Una de las estrategias es la de reducir el consumo, en diferentes sectores, de petróleo y sus derivados. El sector que más hace uso de estos productos es el del transporte como se evidencia en la figura 1.1. Esto en general es así en cualquier ciudad del planeta, por ejemplo, en la ciudad de Bogotá estudios hechos en la ciudad, muestran que los niveles de contaminación debido a el transporte público supera en más de un 35 % a lo estipulado por norma para un año y en un 12 % por norma para un día.

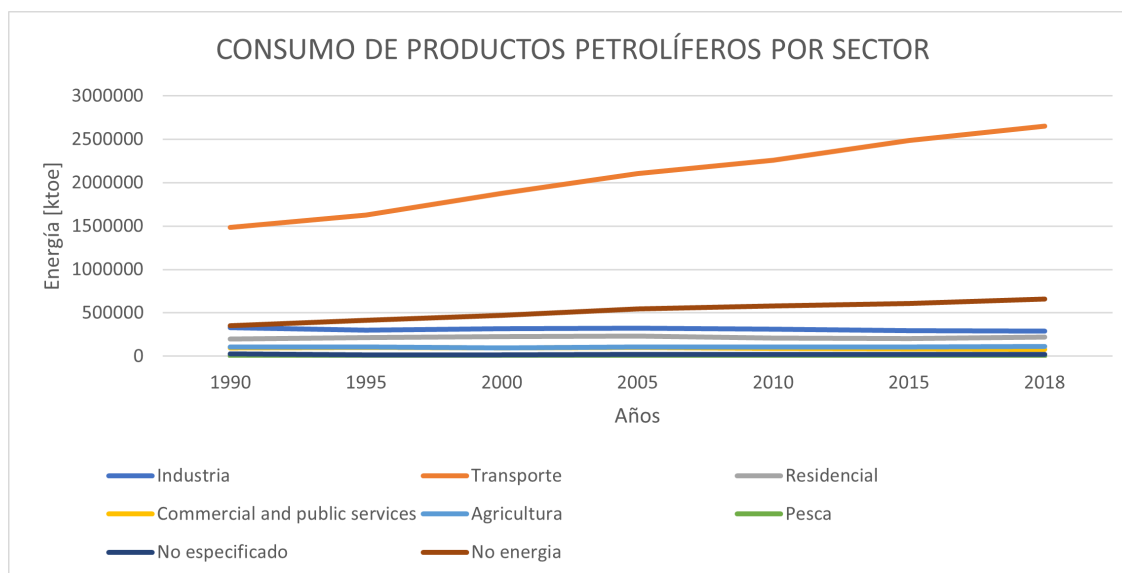


Figura 1.1: Consumo de productos petrolíferos por sector a nivel mundial [1]

Esto llevó a que las autoridades competentes de varias ciudades analizarán la posibilidad de que el transporte público pasara de ser prestado en vehículos diésel a ser prestado en vehículos híbridos o eléctricos. Estudios hechos para realizar una comparación de cuáles serían los efectos de hacer este cambio concluyen estas ventajas:

- Menor costo de operación, debido a que los motores eléctricos tienen una mayor eficiencia que los motores diésel (95 % en un motor eléctrico vs. 20 % - 25 % de un motor diésel).
- Menor costo de mantenimiento, debido a que los buses eléctricos tienen menos componentes mecánicas, estas friccionan entre si produciendo el desgaste, al existir un menor número de estas piezas son necesarias menos sustituciones regulares.
- Ventajas ambientales, debido a que estas se basan en disminución de la producción de gases de efecto invernadero. La figura 1.2 compara la cantidad de gases de efecto invernadero generada por un bus diésel, híbrido y eléctrico en la ciudad de Zhengzhou, (La figura utiliza emisiones WTW, “Well-to-Wheel”, las cuales incluyen emisiones por extracción, refinería y transporte) mostrando la disminución en la producción.

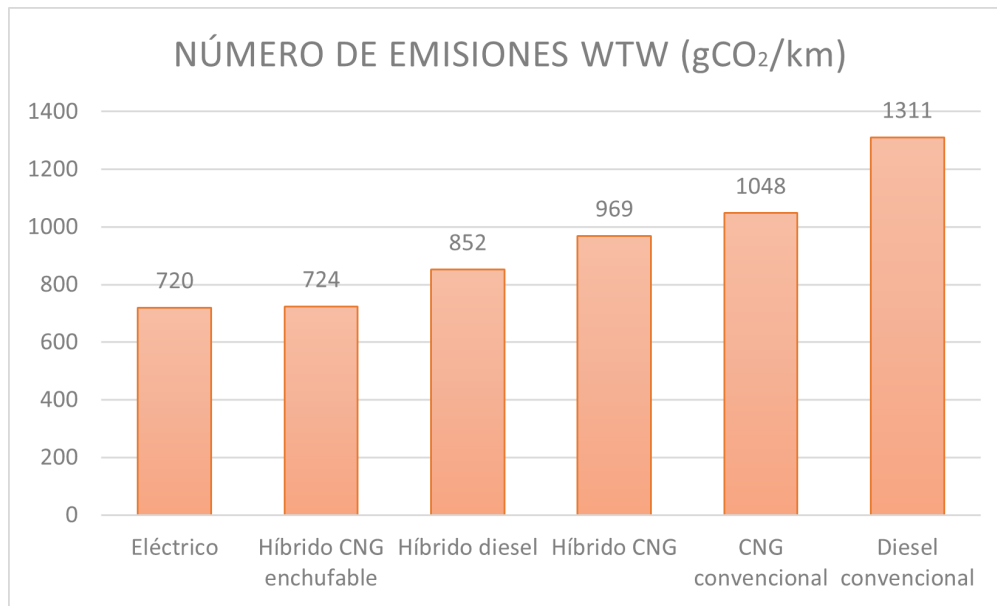


Figura 1.2: Número de emisiones WTW de gases de efecto invernadero por tipo de bus. [2]

Como se ve en la figura 1.2, las emisiones de gases de efecto invernadero disminuyen al usar buses eléctricos en un rango de entre 0 % a 25 % comparados con buses híbridos y

en un rango de entre 30 % a 45 % si se compara con buses de tecnología convencional. Si a esta comparación se le suma la fuente utilizada para la generación eléctrica, los resultados obtenidos son los mostrados en la figura 1.3.

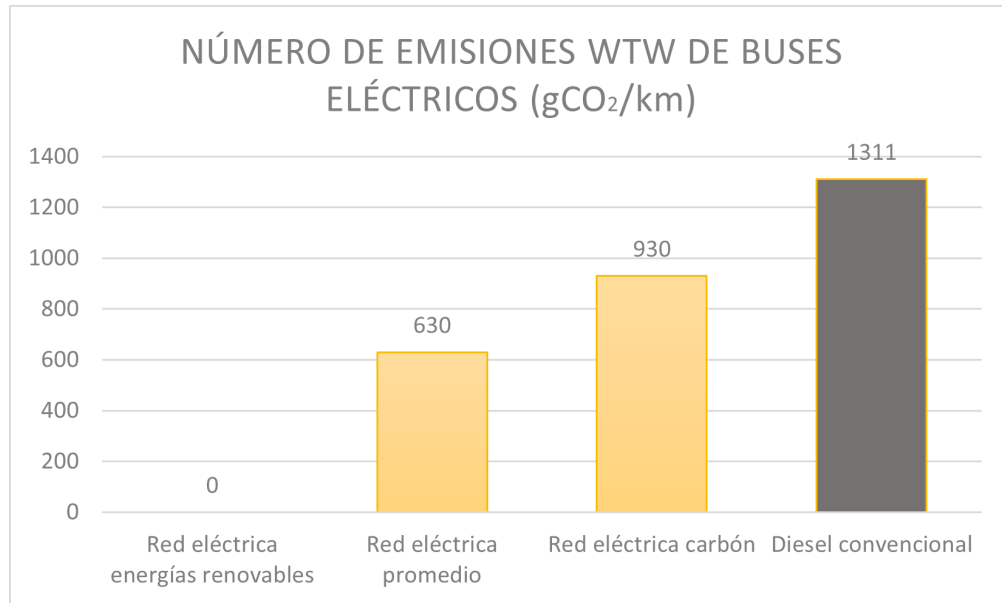


Figura 1.3: Número de emisiones WTW de gases de efecto invernadero por tipo de generación. [2]

Este tipo de cambios a su vez produce alteraciones en las redes de distribución, por ejemplo, se puede dar el incremento de demanda eléctrica a causa de alimentar los buses y los diferentes tipos de cargadores, que son necesarios para la carga de los automotores. El objetivo de este trabajo estará enfocado en estos cambios, mostrando al lector los impactos que se puedan tener a causa de poseer una flota de transporte público eléctrica.

1.2. Objetivos

Objetivo general

Evaluar los efectos en el sistema de distribución debido a buses eléctricos.

Objetivos específicos

- Estudiar los diferentes tipos de buses eléctricos existentes y operativos en el mundo.
- Elegir entre los tipos de buses existentes el adaptable a las condiciones de operación de sistemas de transporte como Transmilenio y SITP.

- Estudiar los posibles efectos en los sistemas de distribución que conllevan la puesta en operación de los tipos de buses eléctricos estudiados y seleccionados previamente.
- Hacer una revisión de posibles modelos de consumo para vehículos eléctricos de transporte público masivo desarrollado en herramientas computacionales.

1.3. Metodología

La metodología utilizada para la realización de este trabajo dirigido se resume en la figura 1.4, paso seguido se puede ver una pequeña explicación de cada ítem presente en la misma figura.

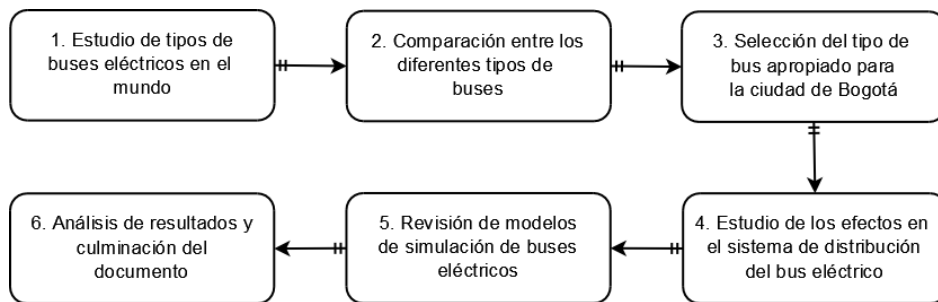


Figura 1.4: Esquema de metodología.

1. Se realiza un estudio de diferentes documentos sobre los tipos de buses eléctricos que en la actualidad ruedan por las diferentes ciudades del mundo.
2. Se hace un comparativo de los tipos de buses estudiados en el ítem anterior con el fin de tener claridad sobre los pros y contras entre estos buses.
3. Con base a las exigencias del sistema de transporte en la ciudad de Bogotá, se selecciona el tipo de bus eléctrico apropiado para la ciudad.
4. Se realiza un estudio de diferentes artículos, trabajos de tesis y documentos de fabricantes sobre los efectos en los sistemas de distribución eléctrica, causados por los buses eléctricos de transporte.
5. Se hace una revisión de diferentes artículos y trabajos de tesis sobre modelos implementados para simulación de buses eléctricos en herramientas computacionales.
6. Se realiza el respectivo análisis de resultados de los estudios sobre los efectos de los buses eléctricos en los sistemas de distribución eléctrica para la culminación del documento del trabajo dirigido.

1.4. Organización del documento

Aquí se presenta la estructura que llevará esta tesis, con esto se pretende darle al lector una idea clara de lo que va a encontrar en este documento.

Capítulo 1 : Introducción

En este capítulo se comentan las causas por las cuales surge la necesidad de hacer una investigación sobre el tema en cuestión. Allí también se indican a que objetivos se plantea llegar y que metodología se va a seguir para realizar la investigación sobre los efectos del transporte público en las redes de distribución.

Capítulo 2 : Marco Teórico

El segundo capítulo abordará toda la información sobre que es un bus eléctrico, sus partes y hasta su evolución. También se informará que fabricantes de este tipo de buses existen en el mundo y así mismo, cómo se ha ido implementando en el mundo esta tecnología.

Capítulo 3 : Incidencia de los buses eléctricos en las Redes de Distribución

En el siguiente capítulo se enuncian todos los impactos encontrados en diferentes documentos que trae consigo el implementar modelos de transporte público con buses eléctricos, para las redes de distribución. Así mismo, se presentan los diferentes modelos computarizados hechos sobre la utilización de esta tecnología, a través, de los resultados y conclusiones obtenidas por los diferentes autores.

Capítulo 4 : Conclusiones y recomendaciones

Finalmente se presentan todas las conclusiones sobre lo que se investigo en los diferentes documentos. Además, se complementará con algunas recomendaciones sobre el uso de la tecnología y todas las investigaciones que se puedan realizar a futuro, para la implementación de la mejor manera de los buses públicos eléctricos.

Capítulo 2

Marco teórico

Los buses eléctricos surgieron como una respuesta de la industria del transporte público a como minimizar la contaminación producida por esta. En este capítulo no solo encontrará las características de estos buses, sino que también su evolución, sus fabricantes y las ciudades que ya apostaron por esta tecnología.

2.1. Evolución de los buses eléctricos

La idea de tener buses eléctricos nace en China a causa de problemas de contaminación en el aire urbano y en seguridad energética. En consecuencia, a estos problemas surgieron los buses híbridos (HEB, también conocidos como “buses híbridos convencionales”), los cuales poseen dos motores uno de combustión y uno eléctrico, en estos buses se carga una batería ya sea con un generador o con el motor eléctrico funcionando como alternador, puesto que no se tiene posibilidad de una carga eléctrica externa, la batería permite recorrer distancias pequeñas sin necesidad de gastar combustible. Existen dos tipos de buses híbridos, la configuración en paralelo que es presentada en la figura 2.1 y la configuración en serie que es mostrada en la figura 2.2.

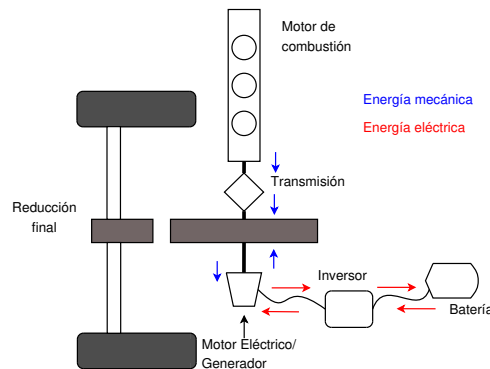


Figura 2.1: Configuración paralelo en buses híbridos [2]

En configuración en paralelo tanto el motor eléctrico como el motor de combustión están conectados a la transmisión, con lo cual, cualquiera de los dos puede impulsar el vehículo de forma independiente. Además, la energía que se pierde en la frenada se recupera y esta misma se utiliza para realizar la carga de la batería, este proceso se conoce como frenada regenerativa.

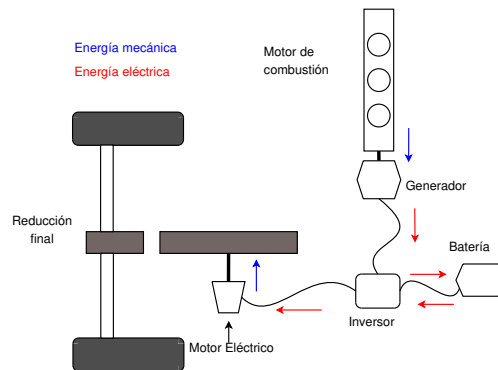


Figura 2.2: Configuración serie en buses híbridos [2]

En la configuración en serie el motor de combustión cumple la función de darle potencia al generador, este a su vez carga la batería y la batería hace funcionar el motor eléctrico, el cual finalmente, es el que hace girar las ruedas del bus. El motor de combustión en ocasiones es apagado por cortos momentos de tiempo para tener un funcionamiento puramente eléctrico.

La evolución de esta tecnología llevo a la creación de los buses eléctricos híbridos enchufables (PHEB), en estos buses la batería ya se puede cargar de forma externa, lo que permite una mayor autonomía cuando el autobús funciona de manera 100 % eléctrica, lo cual contribuye a que se necesite menos combustible y así mismo se generen menos emisiones de gases de efecto invernadero. La posterior mejora en las baterías permitió llegar finalmente al bus eléctrico de batería (BEB) o tan solo “bus eléctrico”, en estos vehículos ya no es necesario el motor de combustión, por la buena autonomía que se logra funcionando solo de manera eléctrica.

Hacia 2015 se calculó que en China el total de vehículos privados era de 172 millones, los cuales consumieron el 58 % de las 1.75 trillones de toneladas de combustible Diesel y la dependencia de petróleo extranjero en el país era del 60.2 %, lo que llevo a las autoridades a tomar la decisión de realizar inversiones y que los buses en su mayoría fueran BEB, la figura 2.3 muestra una evolución de las tecnologías desde el año 2007 hasta el año 2016 en China. Al ser un problema a nivel mundial, la tecnología empezó a ser exportada hacia otros países, lo cual llevo a que fuera necesario adaptar esta solución a distintos tamaños; la figura 2.4 muestra un resumen de todos, dependiendo del tipo de tecnología.

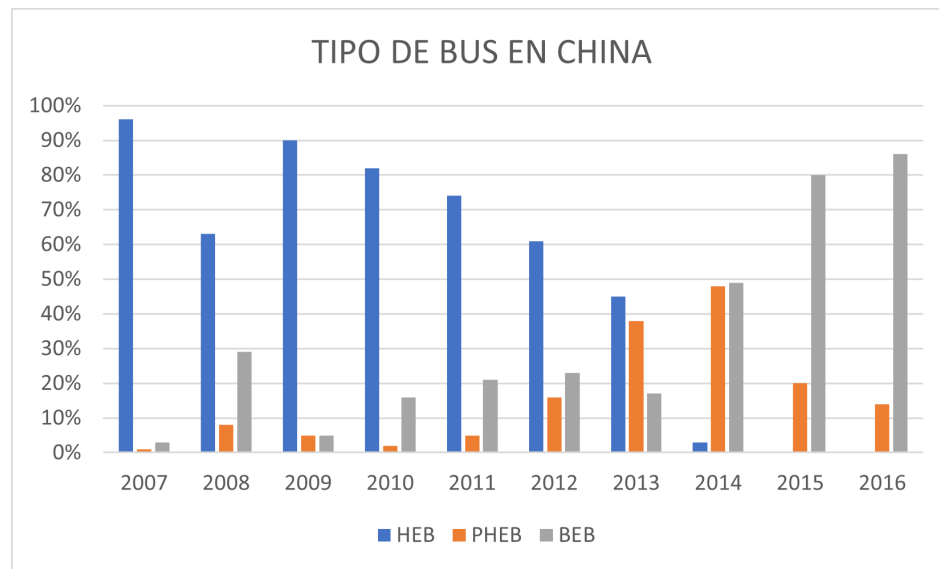


Figura 2.3: Evolución de la tecnología de los buses eléctricos [3]

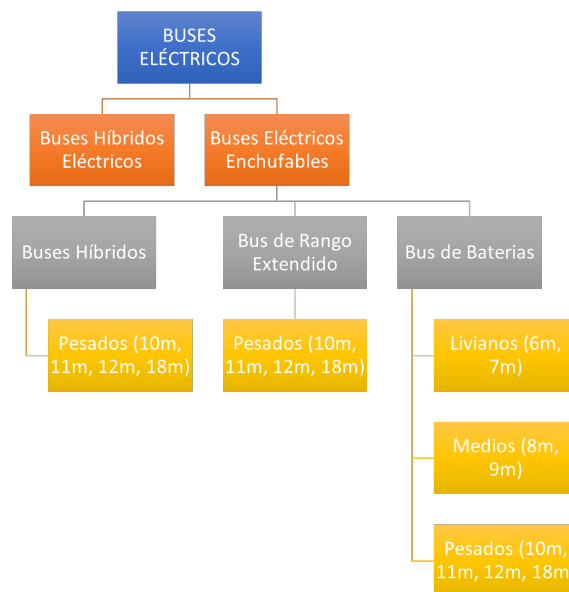


Figura 2.4: Longitud de los buses eléctricos [3]

Esta cantidad de tamaños no existían desde la creación de los buses híbridos, paulatinamente a través de los años se fueron incluyendo más tamaños, empezando con solo el de 12m en el 2009, hasta tener todos los tamaños en el año 2015, la figura 2.5 presenta la evolución de esto y la gran expansión de los buses eléctricos en el total de los buses en general en el mismo 2015.

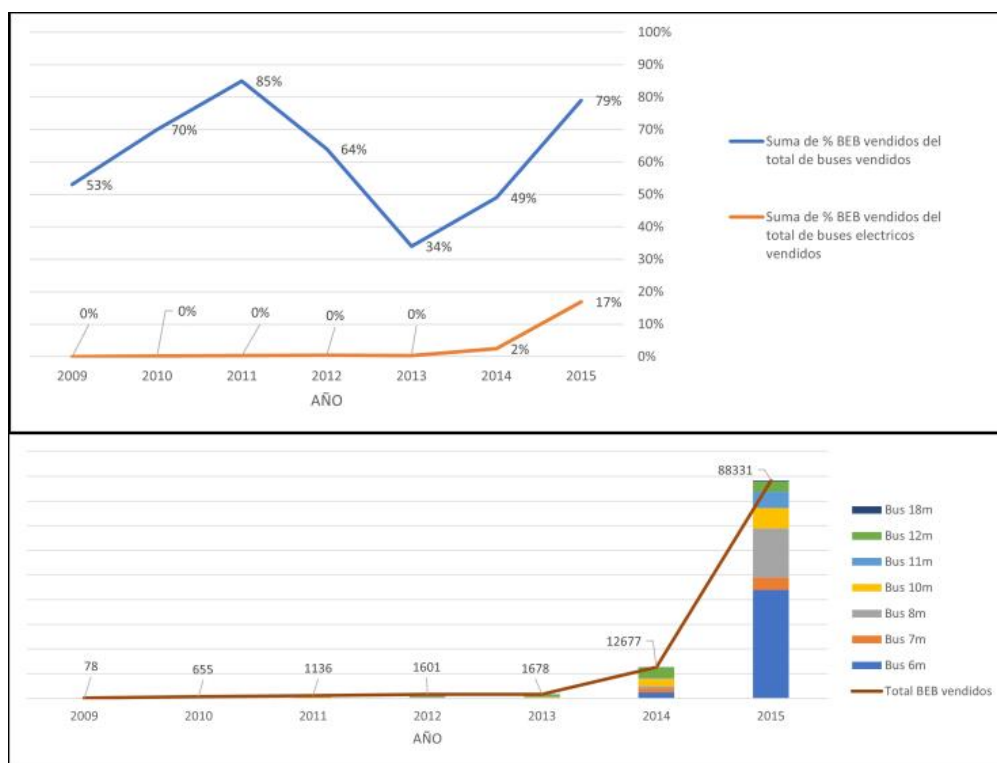


Figura 2.5: Cantidad de BEB's a través de los años [3]

2.2. Buses eléctricos

Los buses eléctricos se diferencian de los buses convencionales (Diesel o Gas Natural) en su tren de potencia, éste está compuesto por todos los componentes necesarios para que se pueda desplazar el bus. El tren de potencia está dividido en tres grupos; el primero se encarga de la tracción eléctrica, donde podemos encontrar las partes como motor eléctrico, convertidor e inversor de potencia, la unidad electrónica de control, la transmisión mecánica y las ruedas. En el segundo grupo tenemos los componentes que se encargan de almacenar la energía, en este grupo están la batería, la unidad de gestión y la unidad de reabastecimiento de energía. En el último grupo están partes auxiliares, estas son la climatización del vehículo, la dirección electrónica, el compresor de aire, etc.

2.2.1. Partes principales

Las siguientes son las partes principales que conforman los buses eléctricos, estas partes componen uno de los tres grupos mencionados anteriormente y son los componentes más esenciales para el funcionamiento del sistema.

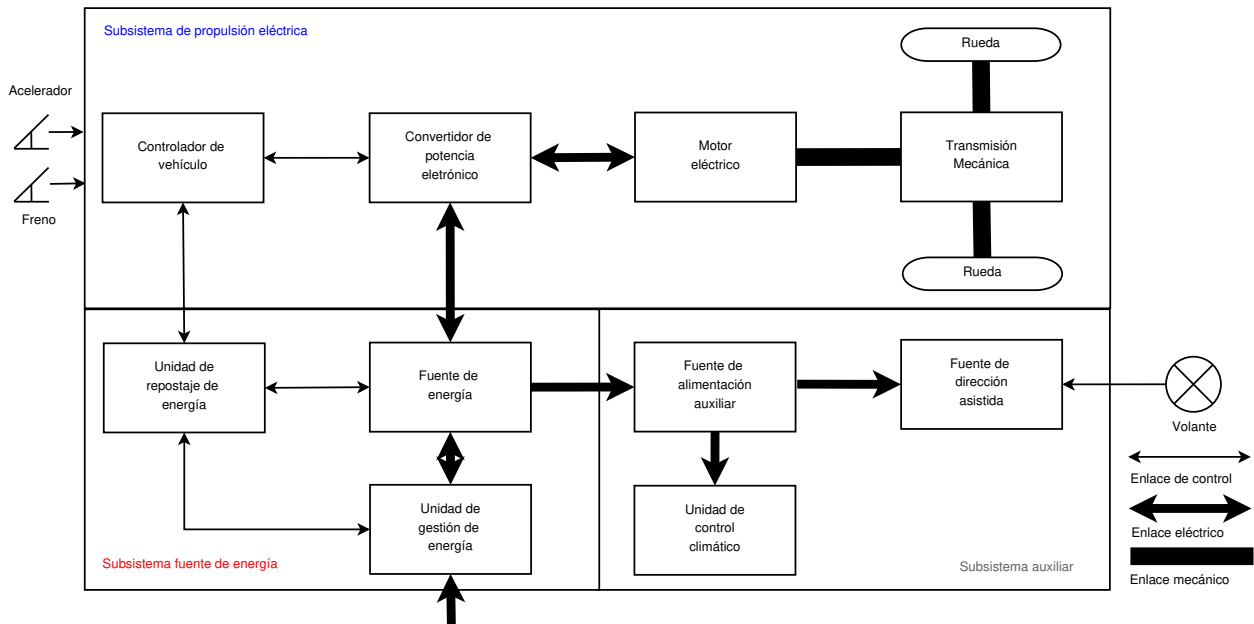


Figura 2.6: Configuración de un vehículo eléctrico [4]

Batería

Es un dispositivo electroquímico en el cual su funcionamiento se basa en un proceso de conversión de doble dirección, entre energía eléctrica y energía química. La batería está compuesta por varias celdas, donde las conversiones suceden. Las celdas están compuestas por un electrodo negativo y otro positivo, además de un electrolito el cual es el medio por el cual existe conducción iónica entre los electrodos.

La batería es una de las partes más importantes del bus eléctrico, debido a que, además de almacenar energía, ella determina la potencia del motor, la autonomía del vehículo y hasta el diseño. La batería al ocupar un gran volumen no puede ocupar cualquier sitio, además, se debe tener presente la temperatura del sitio, porque la temperatura puede afectar el funcionamiento de esta.

Motor eléctrico

Es el elemento encargado de transformar la energía eléctrica que recibe, en energía mecánica para la tracción del bus. Según el diseño del bus y las prestaciones que se requieran, un bus puede tener más de un motor, así mismo, estos pueden ser de corriente continua o alterna. Debido a que la curva de funcionamiento de un motor eléctrico es muy parecida a la curva ideal de tracción, no se necesita una caja de cambios. Entre los requerimientos más importantes del motor está tener una alta relación par/inercia para lograr buenas aceleraciones, tener un alto par en el arranque y pendientes y una alta potencia en autopista.

Controlador

Es la central electrónica que gestiona todos los controladores del sistema para comprobar un correcto funcionamiento del sistema por eficiencia y seguridad, regula la energía que recibe o entrega el motor a la batería y determina en todo momento el estado de carga de la batería.

El sistema de gestión de la batería (BMS) es un sistema que controla varias funciones vitales, esto para un correcto funcionamiento del sistema eléctrico de almacenamiento de energía. Dentro de las funciones del BMS se puede destacar la monitorización de las temperaturas, voltajes y corrientes, optimización del desempeño de la batería, predicción y prevención de fallas y recolección de datos, entre otras funciones.

Inversor

Este es el encargado de realizar las conversiones necesarias, para alimentar el motor a partir de la energía proporcionada por la batería; suministrando la energía necesaria para que el motor funcione a las revoluciones necesarias. También cumple la función de transferir la energía entregada por el motor/generador, que se logra por la frenada regenerativa y entregarla nuevamente a la batería para un posterior uso.

Transformador

Este elemento se encarga de absorber la energía de la red y transformarla a unos niveles de tensión y corriente adecuados para la carga de la batería. Por otro lado, se encarga de la refrigeración, la cual evita riesgos por explosión o derrames.

Sistemas auxiliares

Aquí se agrupan todos los sistemas como el aire acondicionado, calefacción, dirección asistida, bombas de vacío y algunas bombas de agua, estos sistemas cumplen diversas funciones y son alimentados por energía suministrada por la batería.

2.2.2. Tipos de formas de carga

Para la carga de los buses eléctricos se están utilizando principalmente tecnologías conductoras, con lo cual es necesario hacer contacto con un conductor para la transferencia eléctrica. Pero, últimamente se está presentando programas piloto para utilizar mejor tecnología inductiva, donde la transferencia eléctrica se da sin contacto alguno. La figura **2.7** resume los tres tipos de forma de carga existentes actualmente.

Los cargadores de carga rápida también son conocidos como de oportunidad y los de carga lenta como carga nocturna. Si tenemos carga rápida será necesario instalar infraestructura

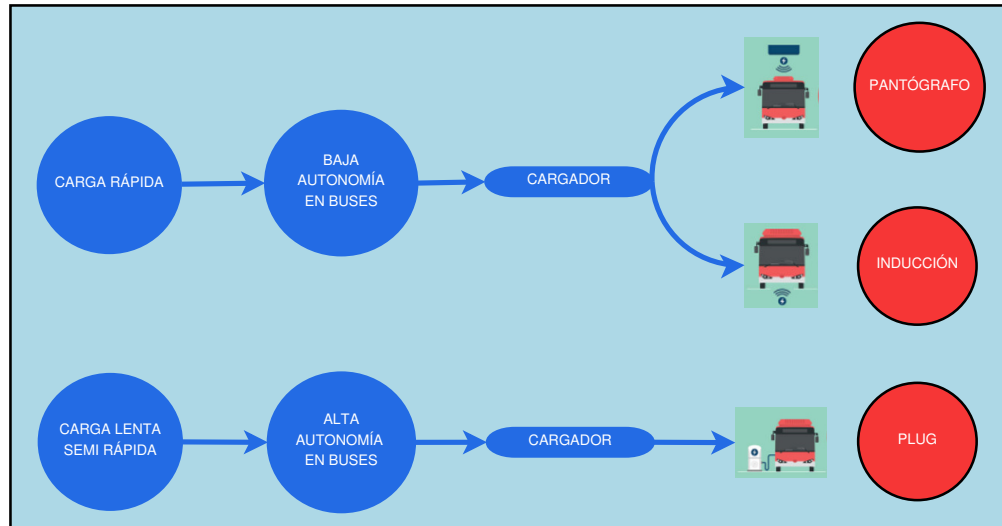


Figura 2.7: Tipos de cargadores para BEB [5]

adicional en paraderos o en la vía, su carga se dará mientras los pasajeros entran o salen del bus. Los cargadores de carga lenta son instalados en los terminales de los buses y los vehículos son cargados cuando están fuera de servicio, ya sea en la noche o en alguna hora valle donde no sean requeridos por el bajo flujo de usuarios.

Cargador tipo plug - in

Es el cargador más popular en la actualidad, ya que, es el que permite mayor autonomía en los buses y, por otro lado, son más fáciles de instalar que los de carga rápida. Este tipo de cargador ha tenido avances hasta el punto de que han podido ser estandarizados, llegando a presentar modelos compatibles con cualquier fabricante de bus. Estos cargadores también han avanzado hacia una carga más rápida, presentando cargadores que ya permiten cargar el 80% de cualquier batería en tan solo 30 minutos. La figura 2.8 muestra las ventajas y desventajas que presenta el cargador tipo plug-in.

Cargador tipo pantógrafo

Este tipo de cargador todavía no está presente de forma masiva en los buses eléctricos, pese a que ofrece una autonomía operacional con menos cantidad de baterías y, esto a su vez, buses con menor costo de inversión y más livianos. El poco avance en baterías eficientes y la obra eléctrica - civil adicional que se necesario realizar, hace que no sean muy tenidos en cuenta como tipo de cargador para los buses eléctricos.

Los cargadores tipo pantógrafo son puestos en las paradas de los buses y verdaderamente son de carga rápida, ya que, lo que se alcanzaría con una carga lenta en 30 minutos, el

pantógrafo permite hacerlo en solo 5 minutos. La figura 2.9 presenta las ventajas y desventajas de el cargador tipo pantógrafo.

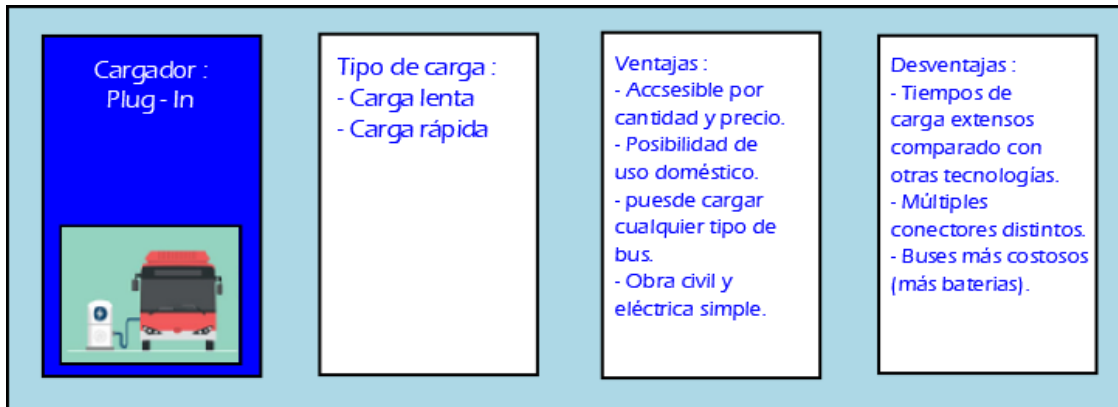


Figura 2.8: Ventajas y desventajas del cargador Plug – In [5]

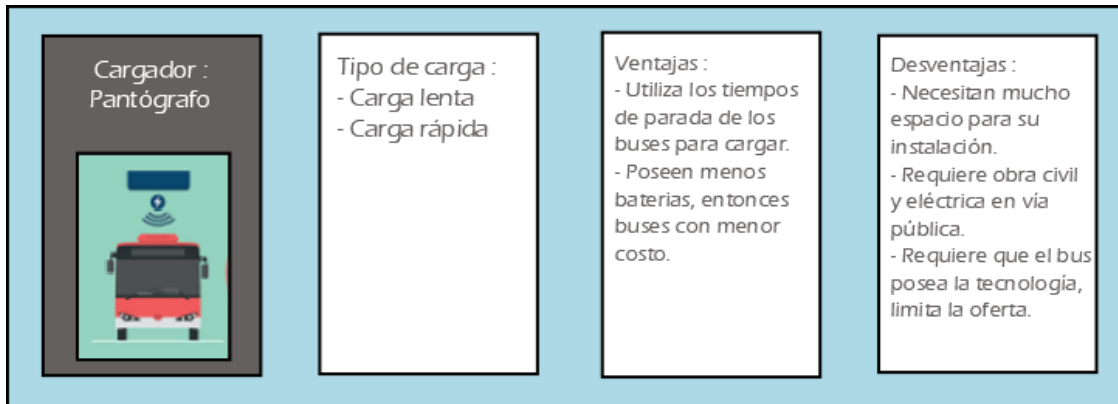


Figura 2.9: Ventajas y desventajas del cargador tipo pantógrafo [5]

Cargador por inducción

El despliegue de esta tecnología presenta los mismos problemas que los cargadores de tipo pantógrafo, una obra civil – eléctrica adicional y la necesidad de realizar algunas modificaciones a los buses para poder ser cargados a través de este sistema. No existen muchos fabricantes con ofertas de buses que utilicen este tipo de tecnología, dentro de los que se pueden destacar están Solaris, Van Holl y Hess Swiss.

Corea del Sur está realizando trabajos con esta tecnología, a través, de una aplicación conocida como Online Electric Vehicle (OLEV) que es desarrollada por el Korea Advanced Institute of Science and Technology. La tecnología consiste en que el vehículo es cargado

inalámbrica-mente mientras se mueve utilizando inducción magnética, con esto el bus no tiene que detenerse para ser cargado y no es necesario instalar una obra adicional en la vía como un pantógrafo en el suelo. La figura 2.10 expone las ventajas y desventajas de este método de carga.

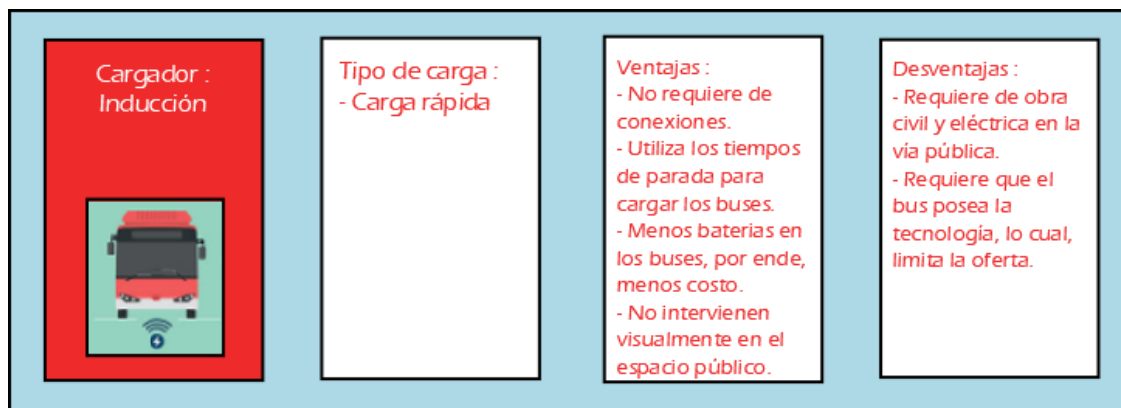


Figura 2.10: Ventajas y desventajas del cargador por inducción [5]

2.3. Adopción del bus eléctrico en el mundo

La Figura 2.11 muestra la cantidad de buses eléctricos en el mundo, evidenciando que donde más existen es en el continente asiático, gracias a China. Eliminando las cifras de China, Asia estaría muy a la par de Sudamérica y Europa, el lector podrá evidenciar esto con los cuadros por cada continente.

Las figuras que serán presentadas a continuación están divididas en 5 regiones (Asia, Europa, Norteamérica, Suramérica y Colombia), esto con el fin de desglosar de mejor manera cuales son los países a nivel mundial que avanzan con un buen número de buses eléctricos y, así mismo, como se encuentra el país en este rubro (en las cifras solo son tenidos en cuenta los buses eléctricos de baterías, estos pueden utilizar cualquier tipo de cargador, lo cual no está detallado en las figuras).

Asia

La distribución de buses eléctricos en el continente asiático está presentada en la figura 2.12, allí se muestran los países que ya cuentan con este tipo vehículos y los fabricantes que han distribuido los automotores en el continente. Como se evidencia en la figura 2.12, las cifras de China comparadas con los demás países de la región son de una gran diferencia, con lo cual no es preciso afirmar que el continente es el más avanzado respecto a la tecnología de los buses eléctricos de baterías.



Figura 2.11: Cantidad de buses eléctricos según continente o subcontinente

Europa

La figura 2.13 muestra la distribución de los buses eléctricos en el continente de Europa, ahí se pueden ver una mayor cantidad de países y así mismo de fabricantes de estas maquinas con respecto a las demás regiones presentadas en el estudio. Como se puede ver en la figura 2.13, Europa muestra una buena cifra de buses eléctricos en su región, esto al comparar con las demás regiones. La gran cantidad de fabricantes (la mayoría de origen europeo) también demuestra el interés de toda la región por implementar las flotas de buses eléctricos en sus países.

Norteamérica, Centroamérica y el Caribe

Toda la distribución de los buses en la región de Norteamérica, Centroamérica y el Caribe se encuentra consignada en la figura 2.14. Esta muestra que en la región hace falta interés en empezar a traer buses eléctricos hacia los países en cuestión, esto puede ser dado por posiciones políticas como en el caso de Estados Unidos, donde la disminución de uso de barriles de petróleo no es una prioridad en el país.

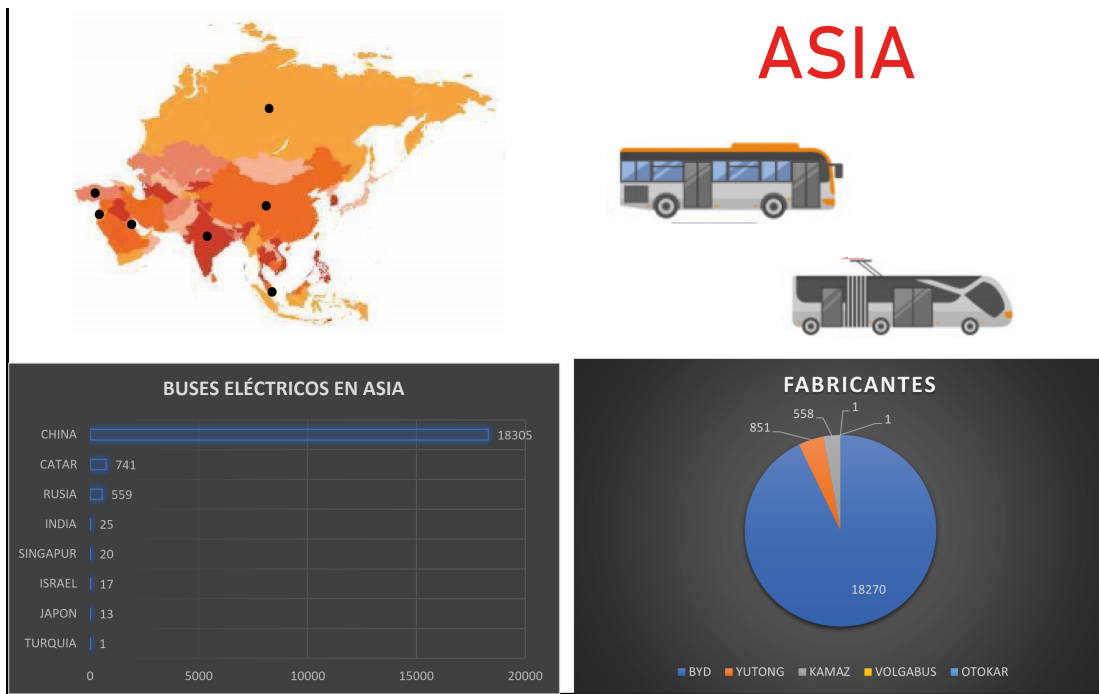


Figura 2.12: Cantidad de buses eléctricos en Asia

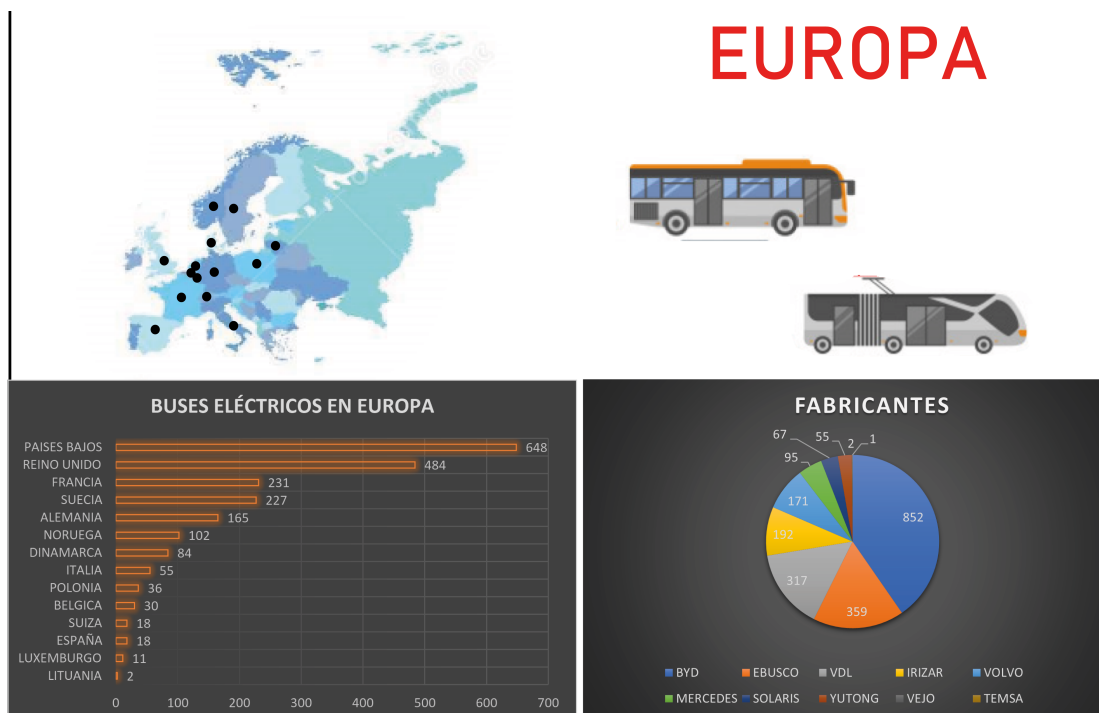


Figura 2.13: Cantidad de buses eléctricos en Europa

Suramérica

Como se han ido moviendo los buses eléctricos en Suramérica es expuesto en la figura 2.15, aquí no se incluye Colombia, puesto que, el país fue considerado como una región aparte. Aunque la figura 2.15 muestra una buena cantidad de países en Suramérica con buses eléctricos funcionando; la región tiene el problema que todos los fabricantes son de origen asiático, con lo cual, están expuestos a subidas de precios sin ningún límite por parte de los fabricantes y una mala evaluación de la calidad de los automotores, dado que, no existen más alternativas. Una solución a esto sería observar fabricantes europeos o realizar inversiones para tener fabricantes propios en la región.

Colombia

La distribución de la cantidad de buses eléctricos de baterías en el país es mostrada en la figura 2.16, junto con los fabricantes de estos buses. Colombia muestra un buen interés por los buses eléctricos como se puede ver en la figura 2.16, donde Bogotá tiene una cifra más alta que incluso Chile, que es pionero en la investigación y uso de nuevas tecnologías. Así mismo, solo Bogotá posee más buses que toda la región de Norteamérica, Centroamérica y el Caribe; pero, el país tiene el mismo problema que presenta Suramérica, lo cual es importante empezar a investigar en los próximos años.



Figura 2.14: Cantidad de buses eléctricos en Norteamérica, Centroamérica y el Caribe

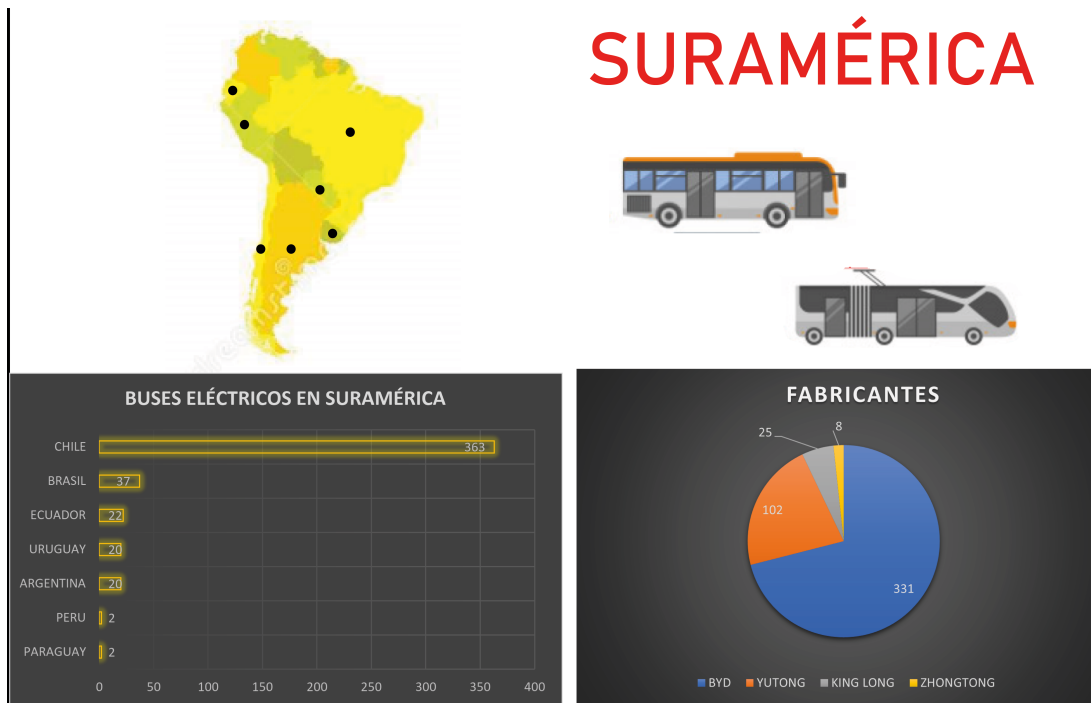


Figura 2.15: Cantidad de buses eléctricos en Suramérica

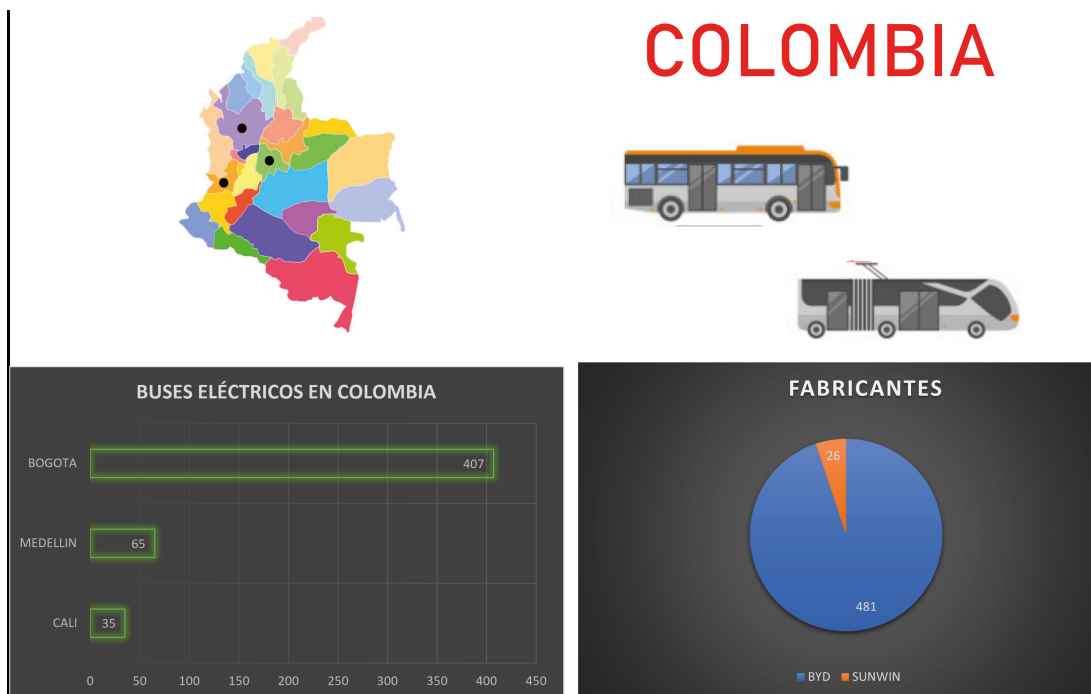


Figura 2.16: Cantidad de buses eléctricos en Colombia

2.4. Fabricantes de buses eléctricos

A continuación, serán presentados todos los fabricantes¹ de buses eléctricos presentes a nivel mundial, para los cuales se presentarán las especificaciones de cada bus de los fabricantes enunciados, entre las cuales se resaltan dimensiones y pesos, capacidad (número de pasajeros), tren motriz (componentes que se usan para producir la energía que sirve para que el bus se desplace), carga (muestra la capacidad máxima que puede entregar el cargador) y almacenamiento de energía (muestra la capacidad máxima de la batería).

BYD

BYD² es una compañía de origen chino que remonta sus orígenes a inicios de 1995, en la ciudad de Shenzhen. Sus inicios se dan en la industria de la telefonía celular, con el desarrollo de baterías, lo cual llevo a que la empresa se pudiera expandir hasta el mercado de los automóviles eléctricos.

Haciendo honor a su eslogan “build your dreams” es una de las empresas que más a impulsado el imaginar un transporte eléctrico eficiente y sustentable a largo plazo, todo ilustrado en su gran éxito a nivel mundial, el cual se nota con su presencia en 240 ciudades distribuidas, a través, de los 6 continente. A continuación, se encontrarán las especificaciones más importantes de los buses de la marca BYD en las tablas:

Tabla 2.1: Dimensiones y pesos de los buses BYD [6]-[7]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (J6)	7319	2140	2946	7255
PADRÓN (K7)	9400	2400	-	14495.5
PADRÓN (K8)	10911.84	2580.64	3403.6	19699.97
PADRÓN (Ebus12)	12200	2550	3370	19000
PADRÓN (K9)	12000	2500	3400	18000
PADRÓN (K9S)	12252.96	2580.64	3403.6	19699.97
PADRÓN (K9M)	12466.32	2580.64	3403.6	20300
ARTICULADO (K11A)	18250	2550	3370	28500
PADRÓN (ENVIRO 200EV)	11600	2470	3400	18700
DOS PISOS (ENVIRO 400EV)	10800	2550	4300	19200

¹Conocidos hasta la fecha de presentado este documento

²El bus BYD B93S01 no fue añadido a la lista de características por no presentar información, así mismo los buses BYD D11B y BYD D9W no fueron añadidos al ser solo un chasis de la marca y no buses como tal

Tabla 2.2: Capacidad de los buses BYD [6]-[7]

Tipo de bus	Número de pasajeros
PADRÓN (J6)	24
PADRÓN (K7)	45
PADRÓN (K8)	33(Asientos)
PADRÓN (Ebus12)	-
PADRÓN (K9)	81
PADRÓN (K9S)	38(Asientos)
PADRÓN (K9M)	43(Asientos)
ARTICULADO (K11A)	-
PADRÓN (ENVIRO 200EV)	80
DOS PISOS (ENVIRO 400EV)	85

Tabla 2.3: Tren motriz de los buses BYD [6]-[7]

Tipo de bus	Motor eléctrico, potencia máxima (KW)	Par de rueda máximo (Nm)
PADRÓN (J6)	150	550
PADRÓN (K7)	180	450
PADRÓN (K8)	300	1100
PADRÓN (Ebus12)	300	-
PADRÓN (K9)	300	1100
PADRÓN (K9S)	300	1100
PADRÓN (K9M)	360	3000
ARTICULADO (K11A)	300	-
PADRÓN (ENVIRO 200EV)	180	-
DOS PISOS (ENVIRO 400EV)	300	-

Tabla 2.4: Carga de los buses BYD J6, K7, K8 y Ebus12 [6]-[7]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
PADRÓN (J6)	4	200
PADRÓN (K7)	2.5	250
PADRÓN (K8)	2.5 - 3.5	253
PADRÓN (Ebus12)	4 - 5	250

Tabla 2.5: Carga de los buses BYD K9, KS9, KM9, K11A y ENVIRO 200 y 400 [6]-[7]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
PADRÓN (K9)	4 - 5	250
PADRÓN (K9S)	2.5 - 3.5	251
PADRÓN (K9M)	3 - 3.5	258
ARTICULADO (K11A)	2.5 - 3	250
PADRÓN (ENVIRO 200EV)	-	260
DOS PISOS (ENVIRO 400EV)	-	260

Tabla 2.6: Almacenamiento de energía de los buses BYD [6]-[7]

Tipo de bus	Capacidad de la batería (KWh)	Tipo de batería
PADRÓN (J6)	135	Fosfato de Hierro-Litio
PADRÓN (K7)	156.6	Fosfato de Hierro-Litio
PADRÓN (K8)	266	Fosfato de Hierro
PADRÓN (Ebus12)	324	Fosfato de Hierro-Litio
PADRÓN (K9)	324	Fosfato de Hierro-Litio
PADRÓN (K9S)	313	Fosfato de Hierro
PADRÓN (K9M)	352	Fosfato de Hierro
ARTICULADO (K11A)	438	Fosfato de Hierro-Litio
PADRÓN (ENVIRO 200EV)	348	Fosfato de Hierro-Litio
DOS PISOS (ENVIRO 400EV)	382	Fosfato de Hierro-Litio

EBUSCO 2.2, IRIZAR y KAMAZ

La empresa Ebusco es pionera en autobuses eléctricos urbanos y regionales, puesto que, trabaja en ellos desde 2012, a través del desarrollo, comercialización y venta de estos vehículos. Su objetivo es contribuir a mejorar el entorno de vida de las personas con un transporte público confiable y libre de emisiones.

Actualmente la empresa Ebusco ya tiene operando 300 de sus buses en 7 países de Europa y en las ciudades más importantes del “viejo continente” como Ámsterdam o Múnich. Ebusco sigue innovando y ya trabaja en la versión 3.0 de su bus, la cual garantiza lograr hasta 500 km de autonomía y ser un 33 % más ligero que su predecesor.

Por su parte la empresa Irizar pertenece al grupo del mismo nombre, el cual está presente en 6 sectores económicos, el transporte de pasajeros, electromovilidad, electrónica, motores y generadores eléctricos, conectividad y energía. El grupo fundado en 1889, ya tiene 13 plantas

distribuidas en varios países y un centro I+D.

El área del transporte de pasajeros es gestionado por la empresa Irizar, la empresa ofrece autocares y autobuses, los cuales pueden ser convencionales, híbridos o 100 % eléctricos para ser usados en servicios urbanos e interurbanos. Otras empresas del grupo referentes a esta área se dedican a fabricar infraestructura vial o programas que gestionan información, para realizar diagnósticos o mantenimiento predictivo y preventivo.

Por último, Kamaz es una empresa rusa que se dedica a fabricar grandes camiones y autobuses. Sus instalaciones principales están ubicadas en Naberezhnye Chelny, Rusia y sus inicios se remontan a 1969.

Kamaz logro tomar más del 50 % de participación en el mercado ruso en 2015, su crecimiento a logrado que pueda fabricar 60 mil vehículos y 85 mil motores y trenes de fuerza al año. Así mismo se destaca que con sus autos lograron ganar el Rally Dakar. Aquí se encontrarán las especificaciones más importantes de los buses de las marcas Ebusco, Irizar y Kamaz:

Tabla 2.7: Buses de las marcas Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10]

Tipo de Bus	Marca
PADRÓN (12M)	Ebusco
PADRÓN (12.9M)	Ebusco
ARTICULADO (18M)	Ebusco
PADRÓN (i2e)	Irizar
PADRÓN (ie bus 10.8)	Irizar
PADRÓN (ie bus 12)	Irizar
PADRÓN (ie tram 12)	Irizar
ARTICULADO (ie tram 18)	Irizar
ARTICULADO (ie bus 18)	Irizar
PADRÓN (6282)	Kamaz

Tabla 2.8: Dimensiones y pesos de los buses Ebusco e Irizar i2e [8]-[9]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (12M)	12000	2550	3350	12850
PADRÓN (12.9M)	12900	2550	3350	13550
ARTICULADO (18M)	18000	2550	3200	19000
PADRÓN (i2e)	11980	2550	3209	20100

Tabla 2.9: Dimensiones y pesos de los buses Irizar y Kamaz [9]-[10]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (ie bus 10.8)	10850	2550	3209	20100
PADRÓN (ie bus 12)	12160	2550	3300	21200
PADRÓN (ie tram 12)	12165	2550	3400	20500
ARTICULADO (ie tram 18)	18730	2550	3400	30500
ARTICULADO (ie bus 18)	18730	2550	3300	30500
PADRÓN (6282)	12155	2500	3480	19000

Tabla 2.10: Capacidad de los buses Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10]

Tipo de bus	Número de pasajeros
PADRÓN (12M)	90
PADRÓN (12.9M)	75
ARTICULADO (18M)	130
PADRÓN (i2e)	82
PADRÓN (ie bus 10.8)	76
PADRÓN (ie bus 12)	95
PADRÓN (ie tram 12)	100
ARTICULADO (ie tram 18)	155
ARTICULADO (ie bus 18)	155
PADRÓN (6282)	85

Tabla 2.11: Tren motriz de los buses Ebusco e Irizar [8]-[9]

Tipo de bus	Motor eléctrico, potencia máxima (KW)	Par de rueda máximo (Nm)
PADRÓN (12M)	270	1800
PADRÓN (12.9M)	270	1800
ARTICULADO (18M)	250	2200
PADRÓN (i2e)	180	1400
PADRÓN (ie bus 10.8)	180	1500
PADRÓN (ie bus 12)	180	1500
PADRÓN (ie tram 12)	180	1500
ARTICULADO (ie tram 18)	240	2300

Tabla 2.12: Tren motriz de los buses Irizar ie bus 18 y Kamaz [9]-[10]

Tipo de bus	Motor eléctrico, potencia máxima (KW)	Par de rueda máximo (Nm)
ARTICULADO (ie bus 18)	240	2300
PADRÓN (6282)	230	850

Tabla 2.13: Carga de los buses Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
PADRÓN (12M)	1.5	350-450
PADRÓN (12.9M)	1.5	350-450
ARTICULADO (18M)	1.5	350-450
PADRÓN (i2e)	6-7	200-220
PADRÓN (ie bus 10.8)	3-4	250
PADRÓN (ie bus 12)	3	250
PADRÓN (ie tram 12)	3-4	220
ARTICULADO (ie tram 18)	4	220
ARTICULADO (ie bus 18)	4	250
PADRÓN (6282)	6 - 20 (min)	100

Tabla 2.14: Almacenamiento de energía de los buses Ebusco, Irizar y Kamaz [8]-[10]

Tipo de bus	Capacidad de la batería (KWh)	Tipo de batería
PADRÓN (12M)	363-423	Litio ferrofosfato
PADRÓN (12.9M)	363-423	Litio ferrofosfato
ARTICULADO (18M)	363-525	Litio ferrofosfato
PADRÓN (i2e)	282-376	Sodio-Níquel
PADRÓN (ie bus 10.8)	350	Ion litio
PADRÓN (ie bus 12)	350	Ion litio
PADRÓN (ie tram 12)	350	Ion litio
ARTICULADO (ie tram 18)	525	Ion litio
ARTICULADO (ie bus 18)	525	Ion litio
PADRÓN (6282)	105.6	Litio - Titanio

KING LONG, MERCEDES BENZ, OTOKAR Y PROTERRA

King Long es una empresa que fue establecida en diciembre de 1988 y se dedica a todo el proceso de I+D, fabricación y venta de todo tipo de autobuses grandes y medianos y furgonetas. Su producción anual es de 20000 unidades entre buses grandes y medianos y 30000 unidades de furgonetas.

King Long ha estado en el listado de las "500 marcas más valiosas de China" durante 14 años dicha lista la realizó la firma World Brand Laboratory. También entro al top 10 de marcas de automóviles de China, con su valor de marca de 30.645 billones de yuanes.

Por otro lado, Mercedes Benz es una compañía de origen alemán es el resultado de la unión de dos empresas, Daimler-Motores-Gesellschaft y Benz & Cie. Su primer vehículo fue fabricado en 1926 y una de sus compañías origen (Benz), se ubica como la primera empresa fabricante de automóviles.

Su logotipo a sufrido pocos cambios a través de la historia y se comenta que su origen es dado por los tres campos en los que una de sus empresas (Daimler) operaba; la tierra, el mar y el aire. Mercedes-Benz no solo se dedica a fabricar automóviles y buses, sino que también ha hecho su introducción al mundo de los vehículos deportivos con la marca Mercedes-AMG que en 2017 cumplió 50 años.

Por otra parte, Otokar es una empresa turca que tiene su origen en 1963. Sus instalaciones se encuentran en la región de Sakarya y cuenta con más de 2000 empleados. Las áreas en las que trabaja la empresa son la industria automotriz y de defensa.

La empresa fabrica autobuses para el campo del transporte público, camiones ligeros para el sector del transporte y algunos vehículos blindados usados en la industria de la defensa.

En último lugar, Proterra es una empresa estadounidense que ha vendido buses eléctricos desde 2004 cuando Dale Hill decidió fundarla en Golden, Colorado; desde entonces ha vendido más de 1000 de sus buses en a más de 130 comunidades esparcidas por EE.UU y en algunas provincias de Canadá.

La empresa no solo se dedica a vender el bus a sus clientes, sino que le ofrece el "plan completo", ya que, con la compra de una flota de buses Proterra incluye el diseño, construcción, financiamiento, operaciones, mantenimiento y optimización energética de la infraestructura de carga. Seguidamente se encontrarán las especificaciones más importantes de los buses de la marca King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra:

Tabla 2.15: Buses de las marcas King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]

Tipo de Bus	Marca
PADRÓN (XMQ6127G)	King Long
PADRÓN (eCitaro)	Mercedes Benz
ARTICULADO (eCitaro G)	Mercedes Benz
PADRÓN (e-KENT C)	Otokar
PADRÓN (ZX5)	Proterra

Tabla 2.16: Dimensiones y pesos de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (XMQ6127G)	11980	2550	3070-3470	17345
PADRÓN (eCitaro)	12135	2550	3400	20000
ARTICULADO (eCitaro G)	18125	2550	3400	30000
PADRÓN (e-KENT C)	12000	2540	3145	17955
PADRÓN (ZX5)	11252.2	3017.52	3251.2	19050.88

Tabla 2.17: Capacidad de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]

Tipo de bus	Número de pasajeros
PADRÓN (XMQ6127G)	86
PADRÓN (eCitaro)	70-85
ARTICULADO (eCitaro G)	135-151
PADRÓN (e-KENT C)	95
PADRÓN (ZX5)	95

Tabla 2.18: Tren motriz de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]

Tipo de bus	Motor eléctrico, potencia máxima (KW)	Par de rueda máximo (Nm)
PADRÓN (XMQ6127G)	200	2800
PADRÓN (eCitaro)	250	990
ARTICULADO (eCitaro G)	250	990
PADRÓN (e-KENT C)	250	2200
PADRÓN (ZX5)	250	-

Tabla 2.19: Carga de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
PADRÓN (XMQ6127G)	2	215
PADRÓN (eCitaro)	6	200-320
ARTICULADO (eCitaro G)	6	180-220
PADRÓN (e-KENT C)	4	300
PADRÓN (ZX5)	1.5	200

Tabla 2.20: Almacenamiento de energía de los buses King Long, Mercedes Benz, Otokar y Proterra [11]-[14]

Tipo de bus	Capacidad de la batería (KWh)	Tipo de batería
PADRÓN (XMQ6127G)	374.65	Litio-Ferrosulfato
PADRÓN (eCitaro)	146-441	Ion litio
ARTICULADO (eCitaro G)	194-441	Ion litio
PADRÓN (e-KENT C)	300	Ion litio
PADRÓN (ZX5)	225	Sistema de gestión de batería integrado

SUNWIN, VDL, VEJO Y VOLGABUS

Sunwin³ (Shanghai Sunwin Bus Corporation) es una subsidiaria de la empresa SAIC MOTOR, con una inversión total de 2250 millones de Yenes y un total de capital registrado de 1271.16 millones de Yenes, esta empresa posee una capacidad de producción anual de 2000 autobuses y 3000 Chasis.

SAIC (Shanghai Automotive Industry Corporation) es una empresa multinacional China de carácter estatal, es uno de los 6 grandes fabricantes de automóviles chinos. Esta compañía hace automóviles en conjunto con Volkswagen y ha tenido una empresa conjunta con General Motors.

Adicionalmente, VDL se dedica al diseño, la fabricación, la comercialización y el servicio post-venta de varios autobuses, autocares y bastidores modulares. También participan en actividades como modificar algunos minibuses y midibuses o en compraventa de autobuses usados.

VDL BUS pertenece a VDL Groep que tiene sede en Eindhoven, Holanda. Es una empresa familiar que ya consta de 107 empresa operativas que se reparten en 20 países. Los sectores

³Falta mucha información por parte del fabricante, solo se añade la encontrada

más destacados de las otras empresas del grupo son la metalurgia, sistemas mecatrónicos, procesamiento de plásticos, entre otras.

Igualmente, Vejo⁴ es un grupo empresarial que decidió desarrollar una solución para el transporte eléctrico, que incluyera mantenimiento completo y un suministro de energía verde para e-buses.

El grupo empresarial esta compuesto por 5 empresas, las cuales cada una se dedica a un área diferente, estas son: producción de autobuses, instalación de infraestructura de carga, servicio y mantenimiento de buses, investigación y desarrollo y por último, ventas y servicios financieros.

En último lugar, Volgabus es una de las tres principales empresas fabricantes de buses en Rusia. Volgabus produce buses eléctricos, a gas y diésel para fines diversos. Además la empresa interactúa de manera constante con universidades, centros educativos y científicos de Rusia para traer más y mejores innovaciones a sus buses.

Esta compañía se destaca por haber aportando el 70% de los nuevos productos en la industria de los autobuses rusos, durante los últimos 20 años y ya ha alcanzado una capacidad de producción de 3000 buses. La empresa también es reconocida por sus carrocerías, que son conocidas como una de las más fiables de la industria. Aquí se encontrarán las especificaciones más importantes de los buses de la marca Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus:

Tabla 2.21: Buses de las marcas Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]

Tipo de Bus	Marca
PADRÓN (SWB6868BEV)	Sunwin
PADRÓN (LLE-99)	VDL
PADRÓN (SLF-120)	VDL
ARTICULADO (SLFA-180)	VDL
PADRÓN (DANCER BUS)	Vejo
PADRÓN (CityRhythm 12 ELF)	Volgabus

Tabla 2.22: Dimensiones y pesos de los buses Sunwin y VDL LL-99 [15]-[16]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (SWB6868BEV)	8600	2500	3450	12900
PADRÓN (LLE-99)	9950	2500	3290	14870

⁴Los datos sobre el tren motriz no fueron encontrados

Tabla 2.23: Dimensiones y pesos de los buses VDL, Vejo y Volgabus [16]-[18]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (SLF-120)	12000	2550	3290	18745
ARTICULADO (SLFA-180)	18000	2550	3290	29000
PADRÓN (DANCER BUS)	12100	2500	3200	9775
PADRÓN (CityRhythm 12 ELF)	11990	2500	3250	18000/19000

Tabla 2.24: Capacidad de los buses Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]

Tipo de bus	Número de pasajeros
PADRÓN (SWB6868BEV)	20 (Asientos)
PADRÓN (LLE-99)	78
PADRÓN (SLF-120)	72
ARTICULADO (SLFA-180)	130
PADRÓN (DANCER BUS)	90
PADRÓN (CityRhythm 12 ELF)	90

Tabla 2.25: Tren motriz de los buses Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]

Tipo de bus	Motor eléctrico, potencia máxima (KW)	Par de rueda máximo (Nm)
PADRÓN (SWB6868BEV)	-	-
PADRÓN (LLE-99)	160	2500
PADRÓN (SLF-120)	160	2500
ARTICULADO (SLFA-180)	240	3600
PADRÓN (DANCER BUS)	-	-
PADRÓN (CityRhythm 12 ELF)	115	4500 (rpm)

Tabla 2.26: Carga de los buses Sunwin y VDL [15]-[16]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
PADRÓN (SWB6868BEV)	-	230
PADRÓN (LLE-99)	1.25	250
PADRÓN (SLF-120)	1.25	250

Tabla 2.27: Carga de los buses VDL SLFA-180, Vejo y Volgabus [16]-[18]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
ARTICULADO (SLFA-180)	1.25	250
PADRÓN (DANCER BUS)	0.17	90
PADRÓN (CityRhythm 12 ELF)	6	200

Tabla 2.28: Almacenamiento de energía de los buses Sunwin, VDL, Vejo y Volgabus [15]-[18]

Tipo de bus	Capacidad de la batería (KWh)	Tipo de batería
PADRÓN (SWB6868BEV)	220	-
PADRÓN (LLE-99)	216	9 paquetes
PADRÓN (SLF-120)	216	9 paquetes
ARTICULADO (SLFA-180)	216	9 paquetes
PADRÓN (DANCER BUS)	60	Titanato de litio
PADRÓN (CityRhythm 12 ELF)	115	Ferrofosfato de Litio

VOLVO, YUTONG Y ZHONGTONG

Volvo es una empresa cuya sede se encuentra Gotemburgo, Suecia. Desde allí busca soluciones de transporte (camiones y autobuses), de construcción, de energía para aplicaciones marinas e industriales; además investiga como mejorar la productividad para sus clientes.

Volvo se fundó en el año de 1927, desde ese año ha logrado introducir 12 marcas distintas en su portafolio. Esta empresa es conocida a nivel mundial pero sus ventas se centran más que todo en el continente europeo donde realiza el 40 % de todas sus ventas a nivel mundial.

Entre tanto, La empresa Yutong es el constructor de autobuses y autocares más grande del mundo, su capacidad de producción en el último año alcanzo 70000 buses grandes y su producción diaria consiguió ser de 400 unidades, pero su producción anual esta destinada hasta las 80000 unidades.

Yutong en lo que respecta a buses eléctricos se interesa en mejorar la calidad de la batería de sus buses, lo que haría que tuvieran una vida útil mas larga. Así mismo mejorando la calidad de estos dispositivos se logrará tener periodos más largos entre cargas y un costo de venta más barato.

Finalmente, Zhongtong El nombre completo de esta compañía es Zhongtong Bus Holding Co. Ltd, es una de las primeras fabricantes de autobuses que comenzaron a participar en la bolsa de valores. Su tiempo en la industria alcanza los 40 años, lo que la convierte en una empresa experta en el campo.

Durante su tiempo de experiencia en el campo de los autobuses a logrado obtener más de 100 patentes, 30 estándares estatales y más de 50 premios no solo a nivel local, sino que también internacional. Aquí se encontrarán las especificaciones más importantes de los buses de la marca Volvo, Yutong y Zhongtong:

Tabla 2.29: Buses de las marcas Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]

Tipo de Bus	Marca
PADRÓN (LFSe)	Volvo
PADRÓN (7900)	Volvo
ARTICULADO (7900)	Volvo
PADRÓN (U12)	Yutong
PADRÓN (E12)	Yutong
PADRÓN (ZK5120C)	Yutong
ARTICULADO (E15)	Yutong
PADRÓN (LCK6122EVG)	Zhongtong

Tabla 2.30: Dimensiones y pesos de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]

Tipo de Bus	Longitud (mm)	Ancho (mm)	Altura (mm)	Peso (Kg)
PADRÓN (LFSe)	12200	2600	3350	-
PADRÓN (7900)	12000	2550	3300	19500
ARTICULADO (7900)	17849	2550	3320	29000
PADRÓN (U12)	11970	2550	3200	18000
PADRÓN (E12)	12170	2550	3310	18700
PADRÓN (ZK5120C)	12000	2550	3700	18900
ARTICULADO (E15)	14790	2550	3330	19000
PADRÓN (LCK6122EVG)	11990	2540	3280.32	18000

Tabla 2.31: Capacidad de los buses Volvo y Yutong U12 [19]-[20]

Tipo de bus	Número de pasajeros
PADRÓN (LFSe)	71
PADRÓN (7900)	95
ARTICULADO (7900)	150
PADRÓN (U12)	91

Tabla 2.32: Capacidad de los buses Yutong y Zhongtong [20]-[21]

Tipo de bus	Número de pasajeros
PADRÓN (E12)	86
PADRÓN (ZK5120C)	86
ARTICULADO (E15)	47 (asientos)
PADRÓN (LCK6122EVG)	70

Tabla 2.33: Tren motriz de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]

Tipo de bus	Motor eléctrico, potencia máxima (KW)	Par de rueda máximo (Nm)
PADRÓN (LFSe)	230	2700
PADRÓN (7900)	200	1900
ARTICULADO (7900)	400	3100
PADRÓN (U12)	120	-
PADRÓN (E12)	200	2400
PADRÓN (ZK5120C)	-	-
ARTICULADO (E15)	-	-
PADRÓN (LCK6122EVG)	160	1000

Tabla 2.34: Carga de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]

Tipo de bus	Tiempo de carga (h)	Autonomía (Km)
PADRÓN (LFSe)	0.12 (por h de uso)	-
PADRÓN (7900)	1.25	-
ARTICULADO (7900)	1.25	-
PADRÓN (U12)	-	-
PADRÓN (E12)	2.12	320
PADRÓN (ZK5120C)	-	75
ARTICULADO (E15)	-	-
PADRÓN (LCK6122EVG)	4	300

Tabla 2.35: Almacenamiento de energía del bus Volvo LFSe [19]

Tipo de bus	Capacidad de la batería (KWh)	Tipo de batería
PADRÓN (LFSe)	150/200/250	Ion litio

Tabla 2.36: Almacenamiento de energía de los buses Volvo, Yutong y Zhongtong [19]-[21]

Tipo de bus	Capacidad de la batería (KWh)	Tipo de batería
PADRÓN (7900)	150/200/250	Ion litio
ARTICULADO (7900)	200/250	Ion litio
PADRÓN (U12)	422	Litio-ferrofosfato
PADRÓN (E12)	374	Ion litio
PADRÓN (ZK5120C)	147	Litio-ferrofosfato
ARTICULADO (E15)	563.83	Litio-ferrofosfato
PADRÓN (LCK6122EVG)	374.65	Litio-ferrofosfato

Zhongtong es el último fabricante conocido de buses eléctricos hasta la fecha de presentado este documento, como el área del transporte eléctrico publico es de un alto interés actual, eso puede tener como consecuencia que surjan varios en los próximos años.

La tablas **2.37** y **2.38** muestra el país de origen de todos los fabricantes⁵ y algunos lugares donde tienen instaladas plantas⁶ estos mismos.

Tabla 2.37: Fabricantes en el mundo de buses eléctricos de la B a la S [6]-[15]

FABRICANTE	PAÍS DE ORIGEN	PAÍS CON PLANTA
BYD	China	China, Brasil, Japón, EEUU, Hungría e India
EBUSCO	Países Bajos	Países Bajos y China
IRIZAR	España	España, Marruecos, Brasil, México y Sudáfrica
KAMAZ	Rusia	Rusia
KING LONG	China	China
MERCEDES BENZ	Alemania	Alemania y España
OTOKAR	Turquía	Turquía
PROTERRA	Estados Unidos	Estados Unidos
SOLARIS	Polonia	Polonia, España, Francia, Reino Unido, Brasil, México y EEUU
SUNWIN	China	China

⁵La empresa Solaris no tiene suficiente información de las especificaciones de sus buses, por lo cual se decidió no añadir las tablas correspondientes

⁶Las plantas de producción de la empresa Solaris fuera de Polonia son de la empresa CAF, quien compro Solaris

Tabla 2.38: Fabricantes en el mundo de buses eléctricos de la V a la Z [16]-[21]

FABRICANTE	PAÍS DE ORIGEN	PAÍS CON PLANTA
VDL	Países Bajos	Países Bajos
VEJO	Lituania	Lituania
VOLGABUS	Rusia	Rusia
VOLVO	Suecia	Suecia, Dinamarca, Alemania, India, Brasil y Polonia
YUTONG	China	China
ZHONGTONG	China	China

2.5. Ciudades con buses eléctricos

Como es conocido cada vez más ciudades se animan a incluir dentro de sus sistemas de transporte público buses eléctricos. A continuación serán presentadas todas las ciudades en donde sus sistemas de transporte ya están incluidos este tipo de vehículos y como es el relieve donde trabajan.

ASIA

Las tablas⁷ 2.39⁸ y 2.40 contienen las ciudades que en el continente asiático cuentan con buses eléctricos.

Tabla 2.39: Cantidad de buses en Catar y China [2], [22]-[25]

Catar		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
El país en general	Yutong U12 (741)	Plano
China ⁹		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Dalian	BYD Ebus12 (1200)	Montañoso
Hong Kong	BYD (36)	Montañoso
Nanjing	BYD Ebus12 (600)	Montañoso
Shenzhen	BYD (16359), BYD Ebus12 (1300)	Montañoso
Zhengzhou	Yutong E12 (110)	Plano

⁷En paréntesis el número de buses utilizados por fabricante y referencia

⁸China no presenta mayor información sobre la tecnología usada, es por eso que en algunas ciudades solo se presentan las marcas

Tabla 2.40: Cantidad de buses en India, Israel, Japón, Rusia, Singapur y Turquía [25]-[30]

India		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Silvassa	BYD K7 (25)	Plano
Israel		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Tel Aviv	BYD K9 (17)	Plano
Japón		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Nagasaki	BYD J6 (1), BYD K9 (1)	Montañoso
Okinawa	BYD K9 (10)	Plano
Tokio	BYD J6 (1)	Plano
Rusia		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Moscú	Kamaz 6282 (558)	Montañoso
Volgogrado	Volgabus CityRhythm 12 ELF (1)	Plano
Singapur		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
El país en general	BYD K9 (20)	Montañoso
Turquía		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Estambul	Otokar e-KENT C (1)	Montañoso

De las tablas presentadas para Asia se puede concluir que el país que más ha trabajado en la electrificación del sector del transporte público es China, como se esperaba, donde cuatro de las cinco ciudades presentadas ya cuentan con más de 100 de este tipo de buses dentro del sector. Otro punto a destacar es que países “petroleros” como Catar se han animado también a involucrarse en el cambio, se espera que en el futuro sean muchos más. Finalmente con la información presentada no es posible determinar si el relieve afecta en algo los buses de cada fabricante, hasta ahora todo parece indicar que los de la empresa BYD no tienen problema en este aspecto.

EUROPA

Las tablas **2.41**, **2.42** y **2.43** presentan las ciudades que dentro del continente europeo ya usan buses eléctricos para sus sistemas de transporte.

Tabla 2.41: Cantidad de buses en Alemania, Bélgica, Dinamarca y España [8]-[9], [16], [30]-[34]

Alemania		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Bad Tolz	Ebusco 2.2 12M (4)	Montañoso
Bocholt	Ebusco 2.2 12M (1)	Plano
Bochum	BYD Ebus12 (22)	Montañoso
Borkum	Ebusco 2.2 12M (1)	Plano
Dusseldorf	Irizar ie bus 12 (10)	Plano
Eisenach	Ebusco 2.2 12M (12)	Montañoso
Frankfurt	Ebusco 2.2 12M (13)	Plano
Gelsenkirchen	BYD Ebus12 (22)	Plano
Hamburgo	Irizar ie bus 12 (8)	Plano
Kiel	VDL Citea SLF-120 (20), SLFA-180 (47)	Plano
Munich	Ebusco 2.2 12M (10)	Plano
Munster	VDL Citea SLF-120 (5)	Plano
Bélgica		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Bruselas	Solaris Urbino 8.9 (7)	Plano
Lovaina	VDL Citea SLF-120 (13)	Plano
Tienen	Ebusco 2.2 12M (10)	Plano
Dinamarca		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Copenhague	VDL Citea SLF-120 (8), SLFA-180 (21)	Plano
Odense	Yutong E12 (55)	Plano
España		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Barcelona	Irizar i2e (2)	Montañoso
Madrid	BYD Ebus12 (15)	Plano
San Sebastián	Irizar i2e (1)	Montañoso

Tabla 2.42: Cantidad de buses en Francia, Italia, Lituania, Luxemburgo, Noruega y Países Bajos [8]-[9], [16], [19], [27], [33]-[36]

Francia		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Aix	Irizar ie Tram 12 (15)	Montañoso
Amiens	Irizar ie Tram 18 (43)	Plano
Estrasburgo	Irizar ie Bus 12 (49)	Plano
Frontignan	Solaris Urbino 8.9 (2)	Montañoso
Orleans	Irizar ie Tram 12 (29), VDL Citea SLFA- 180 (1)	Plano
Rennes	Mercedes Benz Ecitaro (33), Ecitaro G (59)	Plano
Italia		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Bérgamo	Solaris Urbino 12 (12)	Plano
Génova	Irizar ie Bus 10.8 (14)	Montañoso
Milán	Solaris Urbino 12 (10)	Plano
Turín	BYD Ebus12 (19)	Plano
Lituania		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Klaipeda	Vejo Dancer Bus (2)	Plano
Luxemburgo		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Differdange	Volvo 7900 (4)	Montañoso
Dudelange	VDL Citeas LLE-99 (1)	Montañoso
Luxemburgo	Irizar ie Bus 12 (6)	Montañoso
Noruega		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Oslo	VDL Citea SLF-120 (19), SLFA-180 (83)	Montañoso
Países Bajos		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Amsterdam	VDL Citea SLF-120 (9), SLFA-180 (22), Ebusco 2.2 12M, 12.9M, 18M (156)	Plano
Dordrecht	Ebusco 2.2 12M (37)	Plano

Tabla 2.43: Cantidad de buses en Países Bajos, Polonia, Reino Unido, Suecia y Suiza [8]-[9], [19], [27]-[28], [31], [33], [37]-[40]

Países Bajos		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Groningen	VDL Citea SLF-120 (32), SLFA-180 (11), Ebusco 2.2 12M (60)	Plano
Haarlem	Ebusco 2.2 12M (45)	Plano
Ijssel	BYD Ebus12 (256)	Plano
Utrecht	Ebusco 2.2 12M (20)	Plano
Polonia		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Cracovia	Solaris Urbino 18 (3), 12 (17)	Montañoso
Jaworzno	Solaris Urbino 18 (9), 12 (3), 8.9 (4)	Plano
Reino Unido		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Guildford	BYD ADL Enviro200EV (178), 400EV (37)	Montañoso
Londres	BYD ADL Enviro200EV (240), 400EV (29)	Plano
Suecia		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Goteborg	Volvo 7900 articulado (18)	Montañoso
Halland	BYD Ebus12 (16)	Montañoso
Linkoping	BYD K11A (18)	Plano
Ockero	TEMSA MD9 (1)	Plano
Umea	VDL Citeas SLFA-180 (25)	Plano
Vasteras	Volvo 7900 (10)	Montañoso
Suiza		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Schaffhausen	Irizar ie Tram 12 (7), Tram 18 (8)	Montañoso
Zurich	Mercedes Benz Ecitaro G (3)	Montañoso

Europa con su amplia cantidad de países con flotas de buses eléctricos muestra el gran cambio que se está dando en el sector del transporte público, aunque Alemania en el continente lleva la delantera con doce ciudades, países como Francia, Países Bajos o Suecia indican

que el cambio va a ser en general. Vale la pena destacar que en Europa la mayoría de los buses eléctricos son fabricados por empresas de origen europeo y que modelos como el Dancer Bus, que es hecho con materiales reciclados, o los BYD ADL Enviro400 EV, el cual es de dos pisos, llevan la tecnología a otro nivel de innovación.

NORTEAMÉRICA, CENTROAMÉRICA Y EL CARIBE

Las tablas 2.44 y 2.45 exhiben las ciudades que están dentro de la parte norte y centro del continente americano, así como algunos países del Caribe, donde ya se cuenta con buses eléctricos¹⁰ en funcionamiento.

Tabla 2.44: Cantidad de buses en Barbados, Canadá, Costa Rica, Cuba, Estados Unidos y México [25], [27], [41]-[50]

Barbados		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Bridgetown	BYD K8 (33)	Plano
Canadá		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Toronto	BYD K9M (10)	Plano
Vancouver	Volvo LFSe (15)	Plano
Costa Rica		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
San José	BYD K9 (3)	Montañoso
Cuba		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
La Habana	Yutong E12 (1)	Plano
Estados Unidos		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Los Ángeles	BYD K9 (25), Proterra ZX5 (1)	Montañoso
Macon	BYD K9S (2)	Montañoso
New York	BYD Ebus12 (1)	Plano
México		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Ciudad de México	Yutong E15 (1), ZK5120C (63), Volvo 7900 (1)	Montañoso

¹⁰La empresa Evergo que opera en República Dominicana está asociada a un proyecto universitario, pero se agrega porque su bus es usado como transporte público

Tabla 2.45: Cantidad de buses en Panamá y República Dominicana [51]-[52]

Panamá		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Ciudad de Panamá	BYD K7 (1), K9 (1)	Montañoso
República Dominicana		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Santo Domingo	Evergo (1)	Plano

Como se presentaba en Asia todo parece señalar que los buses de la empresa BYD no tienen problema alguno con el tipo de relieve que presente el lugar, con los demás fabricantes es difícil señalar la misma conclusión dado que no tienen el mismo número de ejemplares en funcionamiento. Llama la atención que aunque BYD domina el mercado en la zona, todos los buses no son de origen asiático e incluso ya existe un fabricante de la región, este es Proterra.

SUDAMÉRICA

Finalmente las tablas 2.46 y 2.47 muestran en la última región que ciudades cuentan actualmente con flotas de buses eléctricos.

Tabla 2.46: Cantidad de buses en Argentina, Brasil y Chile [5], [31], [53]-[56]

Argentina		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Buenos Aires	Yutong E12 (2)	Plano
Mendoza	BYD K9 (12)	Plano
Brasil		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Campinas	BYD K9 (10)	Montañoso
Sao José	BYD D11B (12)	Montañoso
Sao Paulo	BYD D9W (15)	Montañoso
Chile		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Santiago	BYD K9 (238), King Long XMQ6127G (25), Yutong E12 (100)	Plano

Tabla 2.47: Cantidad de buses en Colombia, Ecuador, Paraguay, Perú y Uruguay [5], [31], [34], [56]-[57]

Colombia		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Bogotá	BYD K9 (134), K7 (272), K11A (1)	Montañoso
Cali	BYD B93S01 (9), Sunwin SWB6868BEV (26)	Plano
Medellín	BYD K9 (65)	Montañoso
Ecuador		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Cuenca	BYD K9 (1)	Montañoso
Guayaquil	BYD K9 (20)	Plano
Quito	BYD K11A (1)	Montañoso
Paraguay		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Asunción	Zhongtong LCK6122EVG5 (2)	Plano
Perú		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Arequipa	BYD K9 (1)	Plano
Lima	BYD K9 (1)	Montañoso
Uruguay		
Ciudad	Modelo de bus	Relieve
Montevideo	BYD K9 (20)	Plano

Para el caso de Sudamérica todos los fabricantes si son de origen asiático, pero se puede ver que empresas no muy conocidas como es el caso de Sunwin tienen la posibilidad allí de experimentar con su tecnología, esto logra ampliar la gama de opciones. En este caso se puede notar que en relieves montañosos solo existen buses BYD, pero como sucede con las demás regiones por el número de empresas fabricantes y buses disponibles no sería adecuado llegar a alguna conclusión, pero si es algo que llama la atención. También vale la pena indicar que es una región donde se le ha dado una gran importancia al uso de esta tecnología, lo cual se puede ver con la cantidad de vehículos que existen en ciudades como Bogotá o Santiago en donde su flota llega a tener más de 300 buses, lo cual no es un dato menor.

2.6. Comparación y elección del mejor bus eléctrico

Para realizar una comparación de los diferentes buses estudiados, con el fin de hacer una posterior elección del bus más conveniente, se escogieron los aspectos más relevantes presentados por los fabricantes¹¹. Una vez escogidos dichos aspectos, se le asignaron puntajes de 0 a 100 a cada fabricante por aspecto, usando una regla de tres, ya fuera inversa o directa según el caso para luego organizarlos de mayor a menor. Una vez puntuados todos los fabricantes en los aspectos seleccionados, se unieron los resultados en una única tabla, donde a cada aspecto se le fijo un peso de 0 % a 100 %, el cual es multiplicado por cada nota. Con la suma de todos los resultados se escoge el bus con mayor calificación.

AUTONOMÍA

Uno de los aspectos a comparar fue la autonomía, puesto que, este aspecto es importante al darnos el dato de cuantos km puede recorrer cada bus, sin tener que volver a recargarse. Los resultados se muestran en la tabla 2.48 para los padrones de 12m y 2.49 para los articulados de 18m.

Tabla 2.48: Comparación de padrones según autonomía

Fabricante	Autonomía (km)	Puntaje
EBUSCO 2.2 12M	450	100
MERCEDES BENZ ECITARO	320	71.11
YUTONG E12	320	71.11
OTOKAR E-KENT C	300	66.67
ZHONGTONG LCK6122EVG	300	66.67
BYD K9	250	55.56
VDL SLF-120	250	55.56
IRIZAR IE BUS 12	250	55.56
IRIZAR I2E	220	48.89
IRIZAR IE TRAM 12	220	48.89
KING LONG XMQ6127G	215	47.78
VOLGABUS CITYRHYTHM 12 ELF	200	44.44
PROTERRA ZX5	200	44.44
KAMAZ 6282	100	22.22
VEJO DANCER BUS	90	20

¹¹Solo fueron escogidos los buses de los fabricantes que tenían los datos completos en los aspectos seleccionados

En este aspecto y para este tipo de bus la empresa Ebusco es la que tiene un mayor desempeño al tener una autonomía de 450 Km con una sola recarga.

Tabla 2.49: Comparación de articulados según autonomía

Fabricante	Autonomía (km)	Puntaje
EBUSCO 2.2 18M	450	100
VDL SLFA-180	250	55.56
IRIZAR IE TRAM 18	220	48.89
MERCEDEZ BENZ ECITARO G	220	48.89

En este aspecto y para este tipo de bus la empresa Ebusco es la que tiene un mayor desempeño al tener una autonomía de 450 Km con una sola recarga.

TIEMPO DE CARGA

Otro aspecto importante es el tiempo de carga, el cual brinda información de cuantas horas son necesarias de carga para que las baterías del bus estén al 100 % y cumplir con la autonomía ofrecida por cada fabricante. Los resultados para los padrones se observan en la tabla 2.50 y para los articulados en la Tabla 2.51.

Tabla 2.50: Comparación de padrones según tiempo de recarga

Fabricante	Tiempo de recarga (h)	Puntaje
VEJO DANCER BUS	0.17	100
KAMAZ 6282	0.333	51.05
VDL SLF-120	1.25	13.6
EBUSCO 2.2 12M	1.5	11.33
PROTERRA ZX5	1.5	11.33
KING LONG XMQ6127G	2	8.5
YUTONG E12	2.12	8.02
IRIZAR IE BUS 12	3	5.67
OTOKAR E-KENT C	4	4.25
ZHONGTONG LCK6122EVG	4	4.25
IRIZAR IE TRAM 12	4	4.25
BYD K9	5	3.4
VOLGABUS CITYRHYTHM 12 ELF	6	2.83
MERCEDES BENZ ECITARO	6	2.83
IRIZAR I2E	7	2.43

En tiempo de carga los mejores buses son los de la empresa Vejo, los cuales solo necesitan 0.17 horas (aproximadamente 10 minutos) para realizar una carga.

Tabla 2.51: Comparación de articulados según tiempo de recarga

Fabricante	Tiempo de recarga (h)	Puntaje
VDL SLFA-180	1.25	100
EBUSCO 2.2 18M	1.5	83.33
IRIZAR IE TRAM 18	4	31.25
MERCEDEZ BENZ ECITARO G	6	20.83

En tiempo de carga los mejores buses son los de la empresa VDL, los cuales solo necesitan 1.25 horas (aproximadamente 1 hora y 15 minutos) para realizar una carga.

CAPACIDAD DE LA BATERÍA

Otra característica para evaluar fue la capacidad de la batería, esta entrega información sobre cuántos kWh nos ofrece cada una de las baterías de los automotores. El resultado se observa en la Tabla 2.52 para los padrones y en la tabla 2.53 para los articulados.

Tabla 2.52: Comparación de padrones según capacidad de la batería

Fabricante	Capacidad batería (kWh)	Puntaje
MERCEDES BENZ ECITARO	441	100
EBUSCO 2.2 12M	423	95.92
IRIZAR I2E	376	85.26
ZHONGTONG LCK6122EVG	374.65	84.95
KING LONG XMQ6127G	374.65	84.95
YUTONG E12	374	84.81
IRIZAR IE BUS 12	350	79.37
IRIZAR IE TRAM 12	350	79.37
BYD K9	324	73.47
OTOKAR E-KENT C	300	68.03
PROTERRA ZX5	225	51.02
VDL SLF-120	216	48.98
VOLGABUS CITYRHYTHM 12 ELF	115	26.08
KAMAZ 6282	105.6	23.95
VEJO DANCER BUS	60	13.61

Los mejores buses en esta característica son los fabricados por Mercedes Benz, las baterías de cada bus nos aguantan hasta 441 kWh.

Tabla 2.53: Comparación de articulados según capacidad de la batería

Fabricante	Capacidad batería (kWh)	Puntaje
EBUSCO 2.2 18M	525	100
IRIZAR IE TRAM 18	525	100
MERCEDEZ BENZ ECITARO G	441	84
VDL SLFA-180	216	41.14

Los mejores buses en esta característica son los fabricados por Ebusco e Irizar, las baterías de cada bus nos aguantan hasta 525 kWh.

CAPACIDAD DE PASAJEROS

El cuarto aspecto evaluado fue la capacidad de pasajeros, aspecto bastante importante, ya que, nos dirá cuántos buses son necesarios utilizar dependiendo del flujo de pasajeros. La tabla 2.54 presenta los resultados obtenidos para los padrones y así mismo la tabla 2.55 los presenta para los articulados.

Tabla 2.54: Comparación de padrones según capacidad de pasajeros

Fabricante	Cantidad de pasajeros	Puntaje
IRIZAR IE TRAM 12	100	100
OTOKAR E-KENT C	95	95
IRIZAR IE BUS 12	95	95
PROTERRA ZX5	95	95
VOLGABUS CITYRHYTHM 12 ELF	90	90
EBUSCO 2.2 12M	90	90
VEJO DANCER BUS	90	90
YUTONG E12	86	86
KING LONG XMQ6127G	86	86
KAMAZ 6282	85	85
MERCEDES BENZ ECITARO	85	85
IRIZAR I2E	82	82
BYD K9	81	81
VDL SLF-120	72	72
ZHONGTONG LCK6122EVG	70	70

La mejor en este rubro es Irizar con una capacidad de 100. Las capacidades de todas las empresas no difieren mucho, dado que, las pruebas hechas en los automotores muestran que con estas capacidades el motor trabaja con su máxima eficiencia.

Tabla 2.55: Comparación de articulados según capacidad de pasajeros

Fabricante	Cantidad de pasajeros	Puntaje
IRIZAR IE TRAM 18	155	100
MERCEDEZ BENZ ECITARO G	151	97.42
EBUSCO 2.2 18M	130	83.87
VDL SLFA-180	130	83.87

Nuevamente los mejores buses son los Irizar con una capacidad de 155.

CANTIDAD DE BUSES VENDIDOS

Por último, tenemos la cantidad de buses vendidos, los cuales nos dan una muestra de que tan confiable es la empresa en el mundo, puesto que, si tienen muchas ventas es sinónimo de una empresa confiable y así mismo, tiene experiencia en el negocio de los buses eléctricos. La tabla **2.56** enseña los resultados para padrones y la tabla **2.57** los presenta para articulados.

Tabla 2.56: Comparación de padrones según unidades vendidas

Fabricante	Buses vendidos	Puntaje
BYD K9	19173	100
KAMAZ 6282	550	2.91
EBUSCO 2.2 12M	203	1.06
YUTONG E12	158	0.82
VDL SLF-120	106	0.55
IRIZAR IE BUS 12	73	0.38
IRIZAR IE TRAM 12	51	0.27
MERCEDES BENZ ECITARO	33	0.17
KING LONG XMQ6127G	25	0.13
ZHONGTONG LCK6122EVB	8	0.04
IRIZAR I2E	3	0.02
VEJO DANCER BUS	2	0.01
VOLGABUS CITYRHYTHM 12 ELF	1	0.01
OTOKAR E-KENT C	1	0.01
PROTERRA ZX5	1	0.01

La empresa que más a vendido buses es BYD, lo cual era esperado, por los años que tiene la empresa en el negocio de los buses eléctricos.

Tabla 2.57: Comparación de articulados según unidades vendidas

Fabricante	Buses vendidos	Puntaje
VDL SLFA-180	210	100
MERCEDEZ BENZ ECITARO G	62	29.52
IRIZAR IE TRAM 18	51	24.29
EBUSCO 2.2 18M	26	12.38

La empresa que más a vendido articulados es VDL, relativamente no tan lejos de su perseguidor Mercedes Benz. Esta estadística no es tan confiable, puesto que, esto va cambiando día tras día de manera acelerada y no aparecen empresas como BYD que quizá tengan más ventas por su experiencia en el mercado.

RESULTADOS FINALES

Una vez puntuados todos los fabricantes por aspecto seleccionado, se reunieron todos los resultados en una única tabla, donde se selecciona el bus mejor calificado, multiplicando los resultados de los aspectos por sus respectivos pesos. En la tabla **2.58** se muestran los pesos usados.

Tabla 2.58: Pesos asignados según aspecto evaluado

Aspecto	Peso
Autonomía	0.3
Tiempo de carga	0.2
Capacidad de batería	0.2
Número de pasajeros	0.25
Buses vendidos	0.05

Se le dio más peso a la autonomía y al número de pasajeros, puesto que, son aspectos que me dan a conocer cuántos buses necesitaría para una determinada ruta. Se considera más importante la autonomía, ya que, la diferencia más pequeña entre buses son 10 Km y eso puede representar recorrer una ruta más, sin tener que volver a recargar el bus, mientras que el número de pasajeros que puede llevar un bus no tiene mucha variación entre los primeros puestos.

Los demás aspectos son bastantes importantes, por eso, aunque tienen menor peso la diferencia no es mucha con los aspectos de mayor peso. La única excepción es la cantidad de

buses vendidos debido a que la madurez del negocio a nivel mundial no permite aún hacer juicios sobre la calidad de los buses fabricados, frente a la cantidad de unidades vendidas por cada fabricante. Los resultados finales de los diferentes fabricantes de buses eléctricos se muestran en la Tabla 2.59 para padrones y en la tabla 2.60 para articulados.

Tabla 2.59: Resultados de los padrones según aspecto y peso por aspecto

Fabricante	Puntaje total
EBUSCO 2.2 12M	74
MERCEDES BENZ ECITARO	63.16
YUTONG E12	61.44
OTOKAR E-KENT C	58.21
IRIZAR IE BUS 12	57.44
BYD K9	57.29
IRIZAR IE TRAM 12	56.4
ZHONGTONG LCK6122EVB	55.34
KING LONG XMQ6127G	54.53
IRIZAR I2E	52.71
VEJO DANCER BUS	51.22
PROTERRA ZX5	49.55
VDL SLF-120	47.21
KAMAZ 6282	43.06
VOLGABUS CITYRHYTHM 12 ELF	41.62

Tabla 2.60: Resultados de los articulados según aspecto y peso por aspecto.

Fabricante	Puntaje total
EBUSCO 2.2 18M	88.25
VDL SLFA-180	70.86
IRIZAR IE TRAM 18	67.13
MERCEDEZ BENZ ECITARO G	61.46

Ebusco es la empresa que mejor desempeño obtuvo y se presenta como un fabricante para tener en cuenta para la adquisición de buses eléctricos para la ciudad de Bogotá, teniendo en cuenta que ciudades con relieves parecidos a Bogotá ya cuentan con estos tipos de buses en servicio. Algo importante a resaltar es que los buses BYD quedaron en sexto lugar, a pesar de ser los más vendidos en el mundo.

Capítulo 3

Incidencia de los buses eléctricos en las redes de distribución

El uso del bus eléctrico se está volviendo cada vez más común y en consecuencia se están evidenciando algunos impactos en las redes de distribución que antes no se tenían y que eran difícil de preveer, puesto que, no se tenía punto de comparación con otro medio de transporte ya electrificado, ya fuera por necesitar más potencia como por ejemplo con respecto a los carros particulares o por otro lado, no utilizaban baterías como su forma para de ser eléctrico como los trolebuses. Es por eso que en este capítulo se presentaran esos impactos que se encontraron en toda la literatura que hay respecto al tema y se lograron identificar con diferentes modelos computarizados o experimentos reales realizados con flotas electrificadas ya existentes.

3.1. Impactos sobre las redes

Existen múltiples impactos sobre las redes de distribución que tienen origen en el momento de carga de las flotas de buses eléctricos, en [58] consideran que son cinco los aspectos principales los cuales el autor opina que degradan la calidad de la energía, como consecuencia de la electrificación del transporte público, estos aspectos son:

- Aumento de la carga máxima.
- Caídas de la tensión.
- Distorsión armónica.
- Aumento de la corriente.
- Pérdida de energía.

Ahondando en la literatura existente respecto al tema, se puede confirmar que lo que el autor en [58] determino es cierto, aquí en esta sección se presentará lo que varias investigaciones lograron determinar.

Para empezar se presenta lo que la investigación que abrió esta sección encontró. Allí aunque el trabajo no está enfocado en los impactos sobre las redes, si se encontraron algunos de ellos, ya que, la investigación pretende mostrar cuanto es el costo económico de tener este tipo de cargas operando sobre las redes de distribución, lo cual lleva a que los impactos sean una parte importante del análisis. Dentro de los resultados más importantes sobre el tema en cuestión está que en un 20 % a 40 % sube la carga que los alimentadores deben brindar por culpa de las flotas de buses eléctricos, lo que conlleva a que se congestione la red y se creen cuellos de botella, esto a su vez logra inducir flujos que exceden los límites de diseño de las redes. Así mismo en el documento se llegó a la conclusión que muchas de las flotas de buses eléctricos traen consigo cargadores de carga rápida, lo cual impacta de peor forma la carga de la red, ya que, este tipo de cargadores exigen entre 10 a 100 veces la potencia nominal.

Por su parte, en [59] se identifica que existen impactos en la tensión de las redes en forma de caídas, las cuales son mucho peores si la carga es a través de un cargador de carga rápida. Esto se puede notar al comparar las gráficas 15 y 16 (gráficas que muestran los perfiles de tensión resultantes de la investigación) donde el nivel en pu de la red desciende en varios casos hasta un 3 %, lo cual aunque no sería preocupante puesto que está dentro de los rangos permitidos, si da evidencia del efecto. En ese mismo camino, los autores de este documento afirman que este impacto es difícil de afrontar si se tienen cargadores rápidos, dado que es complicado tener certeza de la hora y la cantidad de autobuses que llegan a cargar.

El autor de [60] también presenta el impacto de la tensión dentro de los resultados de su trabajo. Adicional a esto logra determinar que el cargador entre más capacidad tenga produce una caída de tensión peor. En este caso si se tienen niveles por debajo de incluso los 0.94 pu de tensión, que dependiendo de la regulación de cada país, estos valores serian un problema. El autor también afirma que en donde más se evidencia el problema es en los transformadores de la red, esto agudiza un poco más la situación, puesto que, en el trabajo se evidenciaron hasta un total de 40 transformadores con problemas de tensión en una sola red de distribución.

Este autor también logra identificar que en algunos puntos no solo existen impactos de la tensión, la corriente también presenta efectos sobre la red. Esta se eleva produciendo problemas, debido al aumento de temperatura, para los conductores más cercanos a los alimentadores, puesto que, son los que deben alimentar a todos los usuarios. El problema más crítico se evidencia nuevamente en la red que contiene el cargador con más capacidad de potencia, allí hasta 2 km de red tendría que ser sustituida consecuencia del incremento de

corriente.

Por su parte en [61] nuevamente se logra ver la disminución de la tensión en la red, en el documento al hacer análisis con una red pequeña la caída de tensión es de unos pocos voltios, pero el efecto existe. Además de eso los autores con sus análisis logran encontrar otro aporte a partir de la potencia en la carga, allí muestran que el aumento de la carga no es solo de naturaleza activa, sino que también hay un aumento en la potencia reactiva. Por otra parte, se puede precisar que todos los perfiles de potencia son iguales, con lo cual se concluye en el documento que si se logra controlar las pérdidas en el sistema, se disminuirían los incrementos de potencia activa y reactiva; y disminuirá la caída de la tensión.

Como deja claro el documento anterior la potencia es el parámetro importante y esto la corroboran los autores de [62]. En el documento basados en las investigaciones se concluye que la potencia del cargador es el factor que gobierna la carga del autobús eléctrico y a su vez determina el tamaño o la capacidad de los transformadores. Cuando se tiene una cargador de carga rápida la potencia de estos es mucho mayor que los de carga lenta, con lo cual, los tamaños de los transformadores para carga rápida suelen ser 5 o 6 veces el tamaño de los transformadores para las cargas lentas. Estos resultados se muestran en la tabla **3.1** cuyos datos fueron extraídos del documento.

Tabla 3.1: Tamaño del transformador según tipo de carga [62]

Tipo de carga	Rápida	Rápida	Rápida	Lenta	Lenta
Poder del cargador (kW)	500	250	250	80	200
Tamaño del transformador (kVA)	1500	1250	1250	250	400
Demanda promedio (kVA)	173.612	164.93	197.92	144.17	145.84

Así mismo los autores identificaron que la electrificación del transporte trae consigo la disminución en la vida útil de los transformadores, aunque en este caso en especial no en un gran porcentaje. Los intercambiadores de tomas incluidos en los transformadores son los que sufrieron en mayor medida las consecuencias, puesto que, existe un mayor número de cambios de tensión en los días de operación, incrementando estos en más de un 700 % (este problema solo se presento con los cargadores de carga rápida debido a que al usar estos no se tiene un perfil de carga constante, como se menciona anteriormente). Así mismo, las pérdidas en la red se incrementaron en un 30 %. Los datos de estos cambios son presentados en la tabla **3.2**.

Siguiendo con la revisión se encuentra el trabajo [63] donde no solo se confirma lo dicho por los demás autores como que hay caídas de tensión por el uso de cargadores para flotas de buses electrificadas (en este caso de estudio a través de las gráficas puestas en el trabajo, se

pueden notar caídas de tensión de hasta 70V para un valor medido como tensión de fase en una red de BT) y que también existe un aumento de la carga por el uso de estos dispositivos (para el caso del trabajo en la ciudad de experimentación se creció un 65 % de demanda nominal). Aquí también se encontró subidas del THD de la red con respecto a la tensión, el cual se puede evidenciar en la figura 3.1 (los valores fueron extraídos del documento), Allí se logra ver que el principal problema se tiene sobre el armónico de orden 11 donde creció más de un 800 %, pero en general hay aumentos en los demás ordenes (a excepción de los ordenes 5 y 7).

Tabla 3.2: Impactos sobre el transformador según el tipo de carga [62]

Tipo de carga	Sin cargadores	Rápida	Rápida	Rápida	Lenta	Lenta
Poder del cargador (kW)	0	500	250	250	80	200
Pérdida de vida útil	2.46 %	2.56 %	2.55 %	2.563 %	2.522 %	2.527 %
Cambios LTC (diarios)	7	98	50	55	8	8
pérdidas diarias (MWh)	1.51	1.96	1.8856	1.9353	1.5462	1.67495

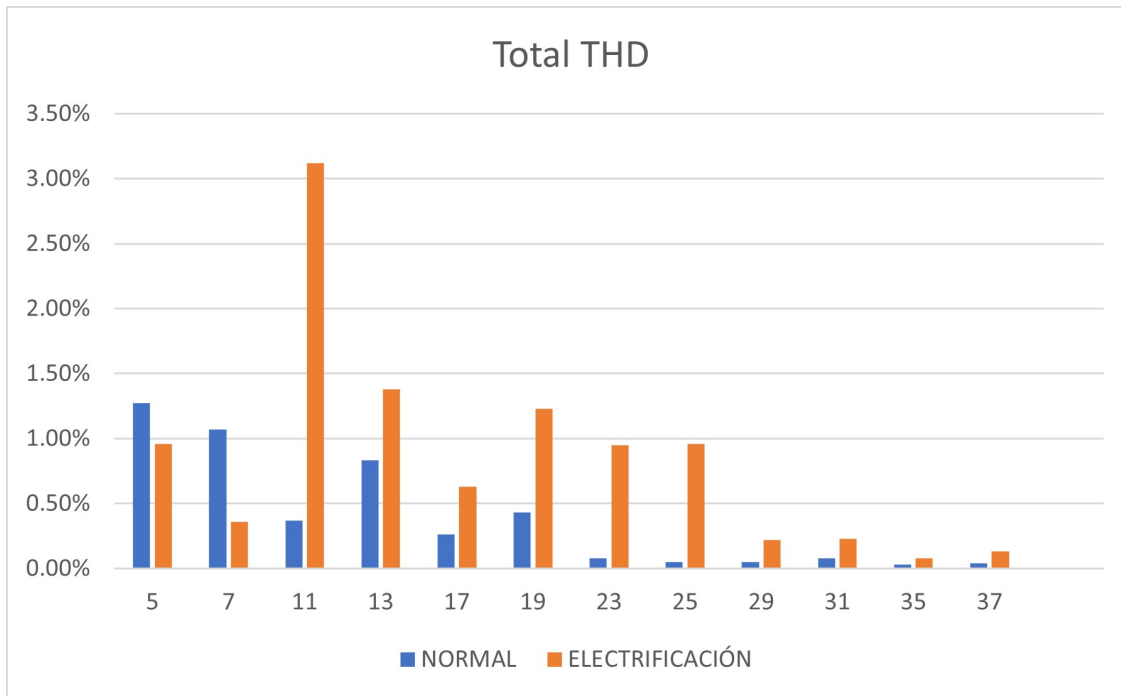


Figura 3.1: Armónicos con respecto a la tensión de la red que alimenta la ciudad [63]

Luego esta el trabajo [64], en esta investigación como muchas otras presenta en sus resultados sobre el caso estudiado subidas en la potencia demandada, en este caso de hasta 3

veces la potencia nominal, incrementos en la potencia aparente (confirmando que se sube la potencia activa y reactiva), subidas en la carga del transformador de hasta un 6 %, en el peor de los casos, y caídas de tensión de hasta 1 %. Adicional a esto hace un comparativo entre alimentar los cargadores por medio de una red de BT y una de MT presentando otro aporte más a la investigación. En el documento se llegó a la conclusión que lo mejor es poner los cargadores en redes de MT, puesto que, cuando experimentaron colocando los cargadores en BT, al momento de hacer uso de los cargadores los cables en la red se sobrecargaron hasta en un 250 %.

Como se encontró en muchas investigaciones todo parece indicar que los cargadores que presentan más problemas son los cargadores para carga rápida (estos son los que se utilizan para cargar las baterías de forma inductiva), es por ello que muchos autores decidieron enfocar sus análisis respecto a estos cargadores. Para este estado del arte se encontraron tres investigaciones con resultados importantes.

En primer lugar tenemos el trabajo [65], los autores de este trabajo realizaron cálculos estimativos de como sería usar en una ciudad cargadores con esta tecnología. Se dividió la investigación en 6 escenarios, en uno tenemos la red sin cargadores para buses eléctricos, en otro se suman cargadores para cargas lentas y para los demás casos a los cargadores de carga lenta se le suman algunos cargadores para carga rápida. En los últimos casos tenemos dos de ellos donde se tiene en cuenta la demanda dinámica y en los otros dos no, el resumen de los casos se muestra en la tabla **3.3**.

Tabla 3.3: Escenarios según número de cargadores y tipos de este [65]

Escenario	Subcaso	No. de cargadores lentos	No. de cargadores rápidos	Perfil dinámico
A		0	0	No
B		1000	0	No
C	I	1000	100	No
C	II	1000	300	No
D	I	1000	100	Si
D	II	1000	300	Si

Conociendo esta distribución de los casos y luego de simular estos, en el documento se llegaron a los siguientes resultados, los peores escenarios son los catalogados con la letra D; en este escenario entre subcasos, los resultados no variaron prácticamente en nada, con lo cual parece indicar que si se tiene un perfil dinámico el número de cargadores no tiene relevancia (faltaría hacer estudios con un número más amplio de autobuses). También se puede llegar a la conclusión que si no se tuviera un perfil dinámico en los cargadores de carga rápida, los

efectos sobre las redes de distribución serian muy parecidos a los que causan los cargadores de carga lenta. En la tabla 3.4 se presentan los resultados experimentales donde se reconfirma lo ya dicho varias veces en esta sección y con estos el lector puede sacar sus propias conclusiones adicionales.

Tabla 3.4: Resultados de los escenarios usados en la investigación [65]

Escenario	A	B	C-I	C-II	D-I	D-II
Pico de demanda (MW)	7.28	9.31	9.37	9.47	10.49	10.49
Pérdidas diarias (MW)	11.5	12.4	12.7	13.3	16	16.3
Max. desviación de tensión (%)	0.89	1.19	1.2	1.21	1.41	1.42
Min. valor de tensión (pu)	0.965	0.959	0.959	0.959	0.955	0.955
Max. carga de la linea(%)	68.5	87.7	88.3	89.4	99.9	99.9

El siguiente trabajo encontrado es el [66], en este el autor confirma que los cargadores rápidos pueden crear problemas para la red de distribución, debido a que en este tipo de cargadores el perfil de tensión y la carga en la linea se interrumpen varias veces. Así mismo asegura que los cargadores rápidos pueden suministrar hasta un total de 600 KW, con lo cual su impacto se ve medido en que cuando se utiliza el cargador representa una carga significativamente grande para la red. En la tabla 3.5 se presentan los cargadores utilizados para la simulación del caso base de esta investigación.

Tabla 3.5: Tipo de cargadores utilizados en la investigación [66]

Lugar de uso	Fabricante del cargador	Tipo de cargador
Suiza	ABB y HESS	Cargador rápido de 600kW
Canada	BYD y New Flyer	Cargador lento de 60kW
Estados Unidos	Proterra	Cargador rápido de 300kW y lento
Reino Unido	BYD y ADL	Cargador lento
China	Yutong y BYD	Cargadores rápidos y lentos

Finalmente tenemos la investigación hecha en [67], aquí se utilizaron cargadores de 300kW de potencia y se llegaron a notar caídas en la tensión del sistema como en múltiples investigaciones mostradas en este trabajo. El aporte adicional de esta investigación es que los autores experimentaron alimentar los cargadores de los buses eléctricos a través de generación distribuida, con esto lograron que las caídas de tensión fueran menores, así como las perdidas. Este efecto se logra gracias a que la generación distribuida sube la tensión de los alimentadores y parte de la potencia que necesitan las cargas se suple a través de esta generación, existen

casos donde la potencia excede lo que necesitan las cargas, lo cual permite que parte de esa potencia sea inyectada a la red. En la tabla **3.6** se resumen los resultados de la investigación.

Tabla 3.6: Uso de generación distribuida para alimentar cargadores [67]

Caso	Ten. mín. alimentador (pu)	Ten. media alimentador (pu)	Per. pot. (MW)
Caso base	0.9	0.9414	0.18286
Con cargadores	0.8139	0.9014	0.18314
Con GD	0.9533	0.9735	0.15804

3.2. Consumos de los buses

Como se pudo observar en la sección anterior los impactos de los buses eléctricos sobre las redes de distribución se dan por las altas cargas que solicitan los vehículos y que también brindan los diferentes cargadores existentes. Si esta carga se pudiera disminuir ya no serían necesarios cargadores con altas capacidades y como consecuencia no tendríamos efectos como la disminución en la tensión, subidas en las corrientes o aumentos en los fenómenos armónicos, entre otros. Es por ello que es importante revisar que componentes en los buses eléctricos son los que gastan más energía, dado que si se controlan los consumos en estos, se podrá disminuir la cantidad de potencia en las baterías de los buses.

En primer lugar, tenemos el trabajo hecho en [68], esta investigación dentro de sus resultados presenta cuales son los aspectos a tener en cuenta para la medición de los consumos de energía de los buses eléctricos. La importancia de cada aspecto es mostrada a través de un porcentaje, lo que ayuda a enfocar cuales son los aspectos que se deben tener en cuenta primero. La tabla **3.7** presenta todos los aspectos encontrados en la investigación ordenados por grado de importancia.

En el mismo trabajo presentan unas gráficas en las cuales los autores presentan como deben estar algunos de los factores para que disminuya el consumo de energía. Se destaca que la velocidad media de viaje se recomienda mayor a los 60 Km/h, la pendiente de la ruta ojala sea cero grados o menor, el número de paradas debe ser 10 o menos, la distancia de parada promedio en lo posible mayor a 1.5 km, el tiempo en parada se recomienda menor a 20s y mejor si se conduce después de las 8 de la noche.

Así mismo, los autores lograron determinar cuánto es el consumo promedio por km de un BEB de 12m (el BEB de 12m es el autobús eléctrico más usado en el mundo por eso lo determinaron para este). En la tabla **3.8** aparece este valor junto con otros valores hallados

por otros autores¹.

Tabla 3.7: Aspectos importantes de consumo en BEB [68]

Categoría	Variable	Grado importancia (%)
Condiciones operación	Velocidad media de viaje	25.27
Característica ruta	Pendiente	22.57
Característica ruta	Número paradas	18.96
Característica ruta	Distancia promedio parada	10.63
Condiciones operación	Tiempo medio de permanencia en parada	5.26
Característica ruta	Grado de rectitud	4.96
Atributos temporales	Hora del día	4.72
Flujo pasajeros	Carga promedio de pasajeros en parada	2.9
Flujo pasajeros	Carga promedio de pasajeros en viaje	2.25
Flujo pasajeros	Desviación estándar de pasajeros en viaje	1.33
tributos temporales	Día de la semana	1.15

Tabla 3.8: Consumo de energía promedio de BEB [68]

Autor	Energía (kWh/km)
Investigación	1.42
Gallet	1.75
Zhou	1.62
Gao	1.24

Revisando la tabla 3.7 se puede notar que el más importante es la velocidad media de viaje, es por ello que en [69] se investigó el consumo dependiendo de las condiciones del tráfico. Los autores lograron determinar que en la condición de congestión se puede aumentar en un 21 % el consumo de energía de los BEB comparado con una situación donde exista flujo libre, todo esto es presentado en la tabla² 3.9.

Con esto se puede concluir que la peor condición es cuando se presenta congestión en el tráfico. En el trabajo también se muestran los perfiles de tensión respecto a los escenarios mostrados, donde se ve claramente que cuando se realiza la carga de los BEB la tensión cae, esto simplemente refuerza lo dicho por los autores en la sección anterior.

¹Los otros autores se pueden encontrar como referencias dentro de esta investigación

²La relación v/c presentada en la tabla se refiere a la relación entre el volumen de tráfico y la capacidad de la calzada

Tabla 3.9: Consumo de energía promedio de BEB dependiendo del trafico [69]

Parámetro	Trafico libre	Trafico ligero	Trafico congestionado
Relación v/c	0.35	0.55	0.92
Consumo (kWh/km)	0.825	1.1	1.65

De igual manera revisando la tabla **3.7**, se puede ver que los autores de esta no tuvieron en cuenta el aire acondicionado, el cual trabajos como [70] demuestran que este parámetro es realmente influyente en el consumo de las baterías y se caería en un error no considerarlo. La tabla³ **3.10** presenta los resultados de la investigación hecha sobre un BEB promedio de 12m.

Tabla 3.10: Consumo de energía de un BEB promedio dependiendo del aire acondicionado [70]

Caso	1	2	3
Energía consumida bus (kWh/km)	1.1	1.0	0.9
Energía consumida por ruta (kWh)	22.55	20.5	18.45
Energía consumida por paradas (kWh)	5.4	5.4	3.6
Energía consumida total por viaje (kWh)	27.95	25.9	22.05

El estudio también enseña en su parte final algunas gráficas de como creció la potencia en el momento que el BEB utilizado para los análisis es conectado a la red para ser cargado, lo cual como ocurre con el trabajo anterior sirve simplemente para confirmar un impacto sobre la red ya conocido.

De igual modo, se puede ver en la tabla **3.7** que otro de los factores que influyen bastante en el consumo de energía es la capacidad de pasajeros, trabajos como el presentado en [71] estudiaron cual era la influencia de este aspecto en el consumo de potencia desde las baterías junto con el uso del aire acondicionado, lo cual se puede considerar como un complemento al estudio anterior. Las tablas **3.11** y **3.12** exhiben los parámetros de los buses utilizados para realizar la investigación y la figura **3.2** enseña los resultados obtenidos por los autores.

Como se puede observar en la figura **3.2**, cuando el aire acondicionado y la carga de pasajeros están en sus valores máximos el consumo de energía aumenta hasta en un 27 %, también todo parece indicar que el uso de aire acondicionado ejerce un mayor impacto, que la carga de pasajeros sobre el consumo de energía.

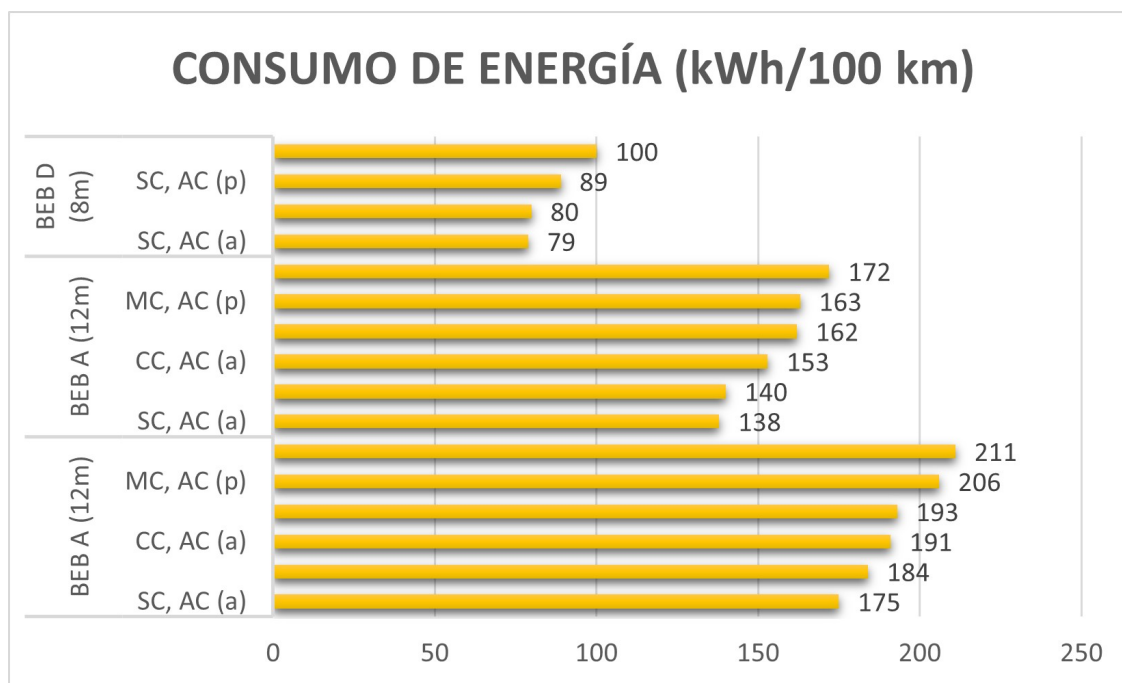
³El caso 1 corresponde a la unidad de aire acondicionado totalmente encendida, el 2 solo el 50 % y el 3 la unidad totalmente apagada

Tabla 3.11: Modelo del bus de prueba usado en la investigación [71]

Código	BEB A	BEB B	BEB D
Fabricante	Ankai	BYD	Dongfeng Yangzijang
Modelo	HFF6128G03EV	K9D	KLQ6101GE3 A/T

Tabla 3.12: Características del bus de prueba usado en la investigación [71]

Código	BEB A	BEB B	BEB D
Longitud (m)	12.0	12.0	8.2
Peso bruto vehículo (kg)	18000	18000	12500
Peso en vacío (kg)	13800	13800	8800
Capacidad batería (kWh)	170	324	104
Peso batería (kg)	1800	3654	1340

**Figura 3.2:** Consumo de energía por escenario usado en la investigación [71]

A manera de complementar la información, la investigación logra concluir que a mayores velocidades es menor el consumo de energía (ratificando lo dicho por el estudio anterior) y que cuando se ejerce la acción de frenado⁴, la potencia disponible en las baterías crece, creando el efecto conocido como "frenada regenerativa".

⁴La acción de frenado acaba cuando la velocidad del vehículo llega a cero

3.3. Diseño de un sistema urbano de buses eléctricos

Para finalizar el capítulo se presenta una guía realizada en [72]. En esta guía⁵ se presenta un paso a paso para realizar un modelo de sistema urbano de buses eléctricos, en ella se presentan todos los aspectos a tener en cuenta para crear un modelo y además se recomienda en ella tener en cuenta lo manifestado en las secciones de este capítulo.

1. Tecnologías del bus eléctrico

Para empezar el diseño se deben escoger que tipo de tecnologías se van a utilizar en el bus eléctrico urbano. La tabla 3.13 resume que tipo de opciones de tecnología podemos escoger dependiendo de la función que estemos analizando.

Tabla 3.13: Tecnologías disponibles por función [72]

Función	Opciones
Fuente de energía	Red (BT, MT, AT) / Almacenamiento local (Batería estacionaria, tanque de H ₂)
Estrategia de carga	Rápida / En movimiento / Lenta
Interfaz de carga	Plug-in / Pantógrafo / Inducción / Trolebús / Intercambio de baterías
Fuente de energía a bordo	Batería (NMC, LFP, LTO) / Capacitor / Tanque de H ₂
Motor de accionamiento	Síncrono de imanes permanentes / Síncrono eléctricamente excitado / Asíncrono / Reluctancia conmutada
Topología de conducción	Motor central / Motor de cubo de rueda
Tamaño del cuerpo	Padrón / Articulado / Biarticulado / Dos pisos
Enfriamiento	Aire acondicionado eléctrico / Ninguno
Calefacción	Calentamiento por resistencia eléctrica / Bomba de calor eléctrica / Calentamiento de combustible

2. Requerimientos generales

Luego de esto se toman en cuenta las características de la vía por donde el bus prestara su servicio, así como algunos datos generales del sitio. En la siguiente lista se enumeran las características que son necesarias conocer:

- Características de la vía

1. Velocidad

⁵La guía al ser extensa y no ser el objetivo principal de este documento se presenta de manera resumida

2. Longitud

- Datos climáticos

1. Temperatura
2. Radiación solar

3. Requerimientos operacionales

Paso seguido se definen que características operacionales se deben cumplir. En la siguiente lista se detallan las características que son necesarias de determinar:

- Característica de línea

1. Perfil de velocidad
2. Altitud
3. Tiempo de ocurrencia de pasajeros y de paradas

- Supuestos operativos

1. Número de viajes de ida y vuelta hasta la recarga
2. Tiempo máximo de parada

- Propiedades de la celda de batería

1. Tipo de batería
2. Volumen y peso
3. Curva de descarga
4. Capacidad
5. Cableado

- Sistema de carga

1. Potencia nominal de carga
2. Volumen y peso
3. Tiempo de retardo
4. Eficiencia de transmisión

- Tipo de cuerpo del vehículo

1. Peso en vacío sin batería y sistema de carga
 2. Peso máximo adicional de batería y sistema de carga
 3. Área frontal
 4. Coeficiente de arrastre
- Tren motriz
 1. Relación de transmisión
 2. Tipo de máquina motriz
 3. Potencia nominal
 4. Resistencia a la rodadura
 5. Diámetro de rueda
 - Potencia auxiliar

4. Modelo de simulación del sistema de bus

Con todos los datos y parámetros definidos en 1, 2 y 3, se realiza la primera simulación del sistema, con lo que se obtiene un modelo de pre-selección en el cual se obtienen los siguientes resultados:

- Consumo de energía
- Tiempo requerido de carga
- Peso adicional
- Eficiencia de carga
- Factor de regeneración
- Envejecimiento de la batería
- Tasa de recuperación

5. Datos sobre costos

Se evalúan los costos de adquisición de elementos, de operación, de disposición, valor de rescate y costos financieros, respecto a estos se realizan las respectivas modificaciones al modelo obtenido en 4 y finalmente se logran los siguientes datos definitivos:

- Datos operacionales
 1. Velocidad de la línea
 2. Longitud de la línea
 3. Frecuencias de rutas
 4. Tiempos de parada
 5. Tiempo de operación diario
- Datos tecnológicos
 1. Cargadores lentos
 2. Cargadores rápidos
 3. Potencia de carga y eficiencia
 4. Capacidad de la batería
 5. Estrategia para la batería
- Datos de costos
 1. Costo de adquisición de vehículos
 2. Costo de adquisición de infraestructura
 3. Costos operativos
 4. Costos de disposición / valor de rescate
 5. Costos financieros

6. Modelo TCO

Finalmente simulamos con los datos obtenidos en 5 y con ello obtenemos un modelo TCO definitivo. La última lista que será presentada enseguida detalla los resultados finales:

- Costos de adquisición
 1. Vehículo necesario
 2. Infraestructura necesaria
- Costos de operación
 1. Personal
 2. Mantenimientos

Por último, el diagrama de flujo que se presenta en la figura **3.3** presenta un resumen final de todos los pasos presentados a través de la sección.

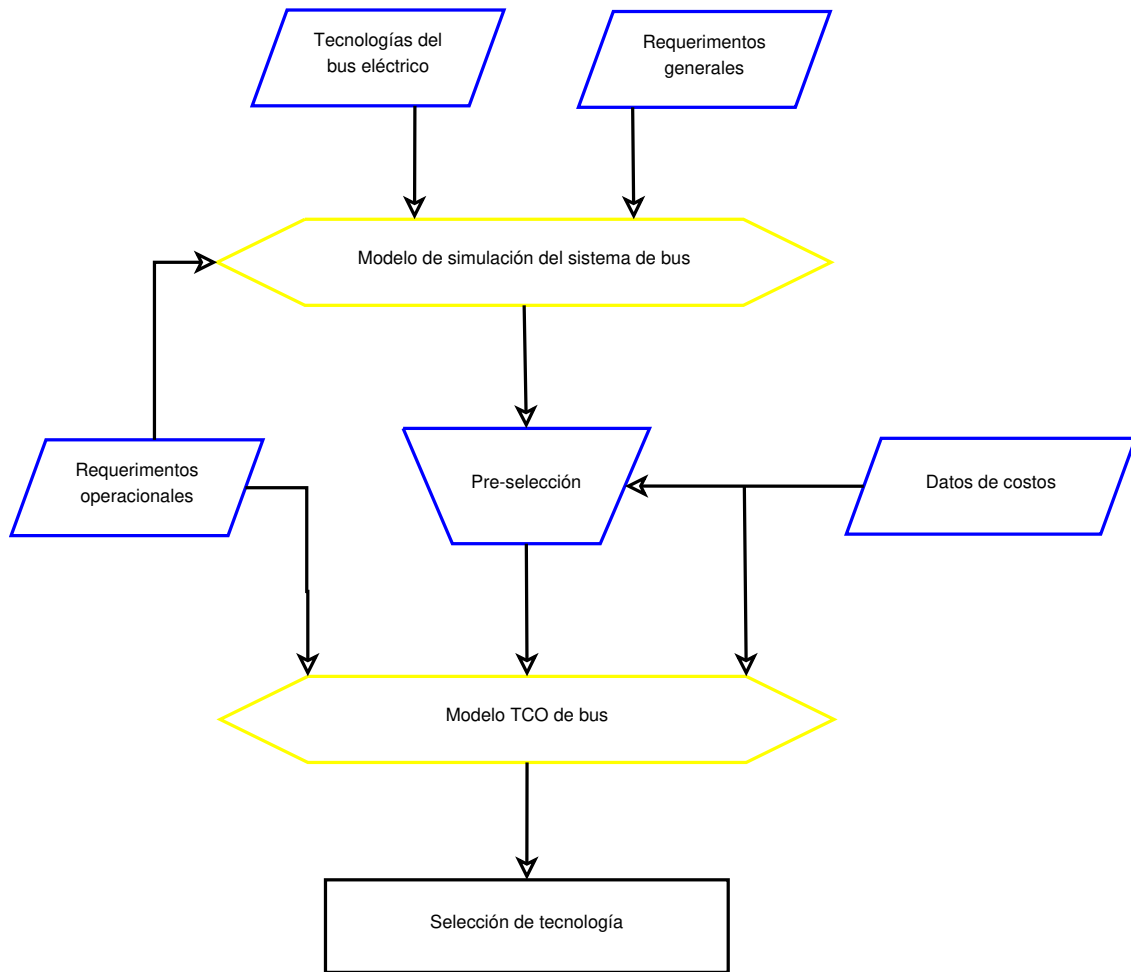


Figura 3.3: Diagrama de flujo para obtener un modelo [72]

Capítulo 4

Conclusiones

4.1. Conclusiones generales

Para concluir se puede observar que cada vez son más los países que optan por electrificar las flotas de sus buses públicos como una forma de disminuir los efectos de los gases de efecto invernadero, puesto que, la industria del transporte público es la que más contribuye a la contaminación. Sumado a todo esto no se ve otra tecnología que a corto plazo logre cambios significativos en mejoras ambientales, como lo hace el electrificar el transporte público.

Investigaciones como la de [73] concluyen esto, allí a través de tres pilares se explica el porque se debe pensar en la idea de la electrificación del transporte público, como la única tecnología capaz de presentar resultados contundentes respecto al tema de la contaminación y logran brindar más importancia a realizar investigaciones como la que se presenta en este documento, los tres pilares son:

- El cambio es inevitable, así lo muestran las tasas actuales de consumo de recursos fósiles, se calcula que para 2040 las reservas disminuyan un 20 % comparado con los niveles actuales y el mismo panorama se prevé para industrias como el gas y carbón, debido a la evolución de la industria de la electricidad se estima que sea la vía más deseada para la producción de energía en una etapa post-petroleo.
- Las tecnologías híbridas y de combustión interna están llegando a su potencial. Además se consideran como soluciones únicamente a corto plazo. Es por ello que las tecnologías híbridas deben tomar el papel de ser el puente hacia una electrificación total, mientras las tecnologías de combustión interna al depender de combustibles fósiles poseen el mismo panorama desfavorable que el petroleo.
- Lo único que prácticamente contamina en la industria del transporte eléctrico es de donde proviene la energía utilizada para cargar los vehículos, si esta llega a ser limpia, pues el uso del transporte también lo será.

Conociendo estos tres pilares y concluyendo que los tres son ciertos, toman fuerza la siguientes conclusiones generales adicionales acerca de la investigación:

- Teniendo en cuenta el último pilar se debe generar con energías renovables, esta acción no solo contribuye a disminuir la contaminación, sino que también como se vio en la revisión de la literatura, trabajar con generación distribuida contribuye a disminuir los efectos negativos de la electrificación del transporte, y como se sabe las energías renovables en su mayoría están en este tipo de generación.
- También se puede concluir que en la región de Sudamérica se debe procurar buscar la manera de como tener fabricantes de buses eléctricos propios de la región, como sucede en la demás regiones. Puesto que, si se sigue solo utilizando el mercado asiático, la región estará sometida a que la fabricas que venden la tecnología tengan la libertad de imponer cualquier precio y ofertar productos de cualquier calidad, puesto que no existe alguna competencia.
- Se debe procurar que las vías que serán utilizadas para el uso del transporte público eléctrico tengan una velocidad media de viaje mayor a los 60 Km/h, su pendiente debe ser cero grados o menor, el número de paradas de la ruta debe ser 10 o menos, la distancia de parada promedio en lo posible mayor a 1.5 km y el tiempo de parada menor a 20s.

4.2. Trabajos futuros

Se considera que sería importante hacer investigaciones en estos campos, dado que la información que se posee actualmente no es la suficiente:

- Actualmente la mayoría de los estudios sobre los efectos de la carga de los vehículos en las redes de distribución están enfocados en vehículos ligeros, con lo cual sería importante hacer una unificación de los efectos de los vehículos con los buses eléctricos y así poder tener una mirada más amplia y realista sobre el tema.
- En la actualidad casi no se ha hablado sobre los efectos en materia de calidad de energía que se crean sobre las redes de distribución al conectar los cargadores para la carga de buses y/o automóviles ligeros .
- Es importante estudiar que efectos sobre la parte de generación y transmisión tiene conectar los cargadores en la red, puesto que cada vez son más las flotas electrificadas y no se conoce a ciencia cierta cuales podrían ser las consecuencias sobre estas áreas.

- Ahondar sobre como la frenada regenerativa puede ser usada para que la potencia necesaria de carga para las baterías de los vehículos eléctricos sea cada vez menor.
- Investigar si existe alguna influencia del tipo de relieve en el rendimiento de los buses eléctricos, no solo en el aspecto de cual es la mejor pendiente para estos, sino también si el cambio repentino de esta influye, entre otros aspectos.

Referencias

- [1] Iea, “Data and statistics.” <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-browser/?country=WORLD&fuel=Energy%20consumption&indicator=OilProductsConsBySector>, 2020.
- [2] J. Grütter, “Rendimiento real de buses híbridos y eléctricos,” tech. rep., Grütter Consulting AG, 2015.
- [3] J. D. y F. Li y J. Li y X. Wu y Z. Song y Y. Zou y M. Ouyang, “Evaluating the technological evolution of battery electric buses: China as a case,” *Energy*, 2019.
- [4] F. Calderón, “Desarrollo de un modelo de configuración eléctrica de autobús urbano con baterías,” Master’s thesis, Instituto Universitario de Investigación del Automóvil Francisco Aparicio Izquiero, 2020.
- [5] PlataformadeElectromovilidad. [Internet]. Disponible en <https://energia.gob.cl/>, s.f.
- [6] Byd. [Internet]. Disponible en <https://en.byd.com/bus/>, s.f.
- [7] Byd. [Internet]. Disponible en <https://www.bydeurope.com/pdp-bus-coach>, s.f.
- [8] Ebusco. [Internet]. Disponible en <https://www.ebusco.com/electric-buses/>, 2021.
- [9] Irizar. [Internet]. Disponible en <https://irizar-emobility.com/vehiculos>, s.f.
- [10] Kamaz, “Buses y camiones.” [Internet]. Disponible en <https://www.kamazindustrialservice.com/wp-content/uploads/2017/07/ESP-Camiones-y-autobuses-KAMAZ-archivo-compacto-2017.pdf>, 2017.
- [11] KingLong. [Internet]. Disponible en <http://king-long.com/>, s.f.
- [12] MercedesBenz. [Internet]. Disponible en https://www.mercedes-benz-bus.com/es_ES/home.html, 2021.

- [13] Otokar. [Internet]. Disponible en <https://www.otokar.com.tr/products/commercial-vehicles>, 2021.
- [14] Proterra. [Internet]. Disponible en <https://www.proterra.com/applications/public-transit/>, 2021.
- [15] CV-EXPORT, “Sunwin swb6868bev 8.6m 20seats.” [Internet]. Disponible en <https://www.cv-export.com/ar/vehicles/sunwin/22095/>, 2020.
- [16] VDL. [Internet]. Disponible en <https://www.vdlbuscoach.com/es>, 2021.
- [17] DancerBus. [Internet]. Disponible en https://www.dancerbus.com/pages/specifications?utm_campaign=product-block&utm_source=teamtaylor-page, s.f.
- [18] Volgabus. [Internet]. Disponible en <https://www.volgabus.ru/models/>, 2021.
- [19] Volvo. [Internet]. Disponible en <https://www.volvobuses.es/es-es/our-offering/buses/volvo-7900-electric/explore.html>, 2021.
- [20] Yutong. [Internet]. Disponible en <https://en.yutong.com/products/>, 2021.
- [21] Zhongtong. [Internet]. Disponible en <http://zhongtongbus.es/>, s.f.
- [22] Moves, “741 autobuses eléctricos yutong para el mundial de fifa qatar 2022.” [Internet]. Disponible en <https://moves.com.mx/2020/12/01/741-autobuses-electricos-yutong-para-el-mundial-de-fifa-qatar-2022/>, 2020.
- [23] S. Arboleda, “El primer autobús eléctrico en hong kong.” [Internet]. Disponible en <https://vidamasverde.com/2013/el-primer-autobus-electrico-en-hong-kong/>, 2014.
- [24] Avem, “Bus Électriques pour les villes de dalian et nanjing.” [Internet]. Disponible en <https://www.avem.fr/2014/03/21/chine-2000-bus-electriques-pour-les-villes-de-dalian-et-nanjing/>, 2014.
- [25] MotorPasión. [Internet]. Disponible en <https://www.motorpasion.com/>, s.f.
- [26] Byd. [Internet]. Disponible en <https://www.byd.com/en/index.html>, s.f.
- [27] Nexotrans. [Internet]. Disponible en <https://www.nexotrans.com/seccion/5/nexobus/>, s.f.
- [28] Forococheselectricos. [Internet]. Disponible en <https://forococheselectricos.com/>, 2021.

- [29] Revistacolectibondi, “Rusia: Volgabus presenta su nuevo autobús eléctrico.” [Internet]. Disponible en <https://www.revistacolectibondi.com.ar/2017/07/18/rusia-volgabus-presenta-su-nuevo-autobus-electrico/>, 2017.
- [30] HibridosyElectricos. [Internet]. Disponible en <https://www.hibridosyelectricos.com/>, s.f.
- [31] Byd. [Internet]. Disponible en <https://bydelectricos.com/>, s.f.
- [32] Expansión, “Irizar suministrará 8 autobuses eléctricos a Hamburgo.” [Internet]. Disponible en <https://www.expansion.com/pais-vasco/2021/02/04/601c361c468aeb8f0b8b4601.html>, 2021.
- [33] RevistaViajeros. [Internet]. Disponible en <https://www.revistaviajeros.com/>, s.f.
- [34] Colombiabus. [Internet]. Disponible en <https://colombiabus.com.co/>, 2021.
- [35] M. Ormazabal, “Irizar fabricará 43 autobuses eléctricos para Amiens, el mayor contrato de Europa.” [Internet]. Disponible en https://elpais.com/economia/2017/11/24/actualidad/1511539764_842383.html, 2020.
- [36] J. Coves, “Eléctrico, hecho con botellas y recargable en 6 minutos: así es el bus del futuro.” [Internet]. Disponible en <https://www.lavanguardia.com/motor/eco/20200821/32845/electrico-recargable-6-minutos-asi-bus-futuro.html>, 2020.
- [37] F. Vallejo, “Londres y los Ángeles completarán sus flotas con 163 buses eléctricos Byd.” [Internet]. Disponible en <https://www.vehiculoselectricos.co/londres-y-los-angeles-completaran-sus-flotas-con-163-buses-electricos-byd/>, 2020.
- [38] Electromov, “Se incrementa la flota de buses eléctricos en el Reino Unido.” [Internet]. Disponible en <https://www.electromov.cl/2019/01/09/se-incrementa-la-flota-de-buses-electricos-en-el-reino-unido/>, 2019.
- [39] Temsa, “Temsa delivers its first electric bus to Sweden’s most environmentally-friendly island.” [Internet]. Disponible en https://www.temsa.com/eu/en/news/temsa-delivers-its-first-electric-bus-to-sweden-s-most-environmentally-friendly-island-HacpoVM7J_, 2020.
- [40] Autobuses&autocares, “Mercedes-Benz entrega tres autobuses eléctricos articulados en Suiza.” [Internet]. Disponible en <https://www.autobusesyautocares.com/mercedes-benz-entrega-tres-autobuses-electricos-articulados-en-suiza/>, 2020.

- [41] WorldEnergyTrade, “Byd proporciona 33 nuevos autobuses eléctricos a la isla de barbados.” [Internet]. Disponible en <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/general/byd-proporciona-33-nuevos-autobuses-electricos-a-la-isla-de-barbados>, 2020.
- [42] Tyt, “Van 15 autobuse eléctricos nova bus para vancouver.” [Internet]. Disponible en <https://www.tyt.com.mx/nota/van-15-autobuses-electricos-nova-bus-para-vancouver>, 2021.
- [43] M. Soto, “Tres buses serán la ‘punta de lanza’ en la electrificación del transporte público.” [Internet]. Disponible en <https://ojoalclima.com/tres-buses-seran-la-punta-de-lanza-en-la-electrificacion-del-transporte-publico/>, 2020.
- [44] R. Urrechaga, “Autobús eléctrico chino, nuevo hito en el transporte público cubano.” [Internet]. Disponible en <http://spanish.people.com.cn/n3/2017/1130/c31617-9298916.html>, 2017.
- [45] D. Gracia, “Los autobuses eléctricos se abren paso en usa.” [Internet]. Disponible en <https://hackercar.com/los-autobuses-electricos-se-abren-paso-en-usa/>, 2020.
- [46] A. Garcia, “Autobuses 100 % eléctricos en los Ángeles, ¿los buses del futuro?.” [Internet]. Disponible en <https://www.seminuevos.com/blog/autobuses-electricos-en-los-angeles/>, 2015.
- [47] V. Fernández, “Los Ángeles recibe su primer autobús eléctrico.” [Internet]. Disponible en <https://www.diariomotor.com/2010/09/14/los-angeles-recibe-su-primer-autobus-electrico/>, 2010.
- [48] K. Tovar, “Metrobús de la cdmx tiene su primer autobús eléctrico, ¿cómo funciona?.” [Internet]. Disponible en <https://www.milenio.com/politica/comunidad/metrobus-cdmx-como-funciona-su-primer-autobus-electrico>, 2020.
- [49] M. Silva, “En operación autobuses eléctricos chinos en cdmx.” [Internet]. Disponible en <http://www.automotores-rev.com/en-operacion-autobuses-electricos-chinos-en-cdmx/>, 2019.
- [50] R. Pérez, “El primer autobús eléctrico de volvo inicia pruebas en el metrobús de la cdmx.” [Internet]. Disponible en <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/27/autos/el-primer-autobus-electrico-de-volvo-inicia-pruebas-en-el-metrobus-de-la-cdmx/>, 2021.

- [51] Lanetwork, “Mibus en ciudad de panamá inicia transición de su flota de buses.” [Internet]. Disponible en <https://la.network/mibus-en-ciudad-de-panama-inicia-transicion-de-su-flota-de-buses/>, 2020.
- [52] Serviciosdeacento, “Presentan el primer autobús eléctrico de la república dominicana.” [Internet]. Disponible en <https://acento.com.do/ecologia/presentan-el-primer-autobus-electrico-de-la-republica-dominicana-8868137.html>, 2020.
- [53] Vial, “La incorporación de buses eléctricos en la ciudad de mendoza.” [Internet]. Disponible en <https://revistavial.com/la-incorporacion-de-buses-electricos-en-la-ciudad-de-mendoza/>, 2020.
- [54] C. Sánchez, “Autobuses eléctricos byd en brasil.” [Internet]. Disponible en <https://movilidadelectricacom/byd-brasil/>, 2015.
- [55] A. Cruz, “King long xmq6127 red santiago.” [Internet]. Disponible en <http://administracionytransportes.cl/2020/05/16/king-long-xmq-6127-red-santiago/>, 2020.
- [56] F. K. y M. Andreoni y A. Bermúdez y A. Cuellar, “Buses eléctricos chinos se despliegan en américa latina.” [Internet]. Disponible en <https://dialogochino.net/es/clima-y-energia-es/36128-los-buses-electricos-chinos-se-despliegan-en-toda-america-latina/>, 2020.
- [57] AgenciadeInformaciónParaguaya, “Empresa del transporte público incorpora nuevos buses eléctricos.” url:<https://www.ip.gov.py/ip/empresa-del-transporte-publico-incorpora-nuevos-buses-electricos/>, 2019.
- [58] Z. Wu, *Double Demand Responsive Electric Bus Operation to Passengers and Power System*. PhD thesis, Imperial College London, 2018.
- [59] A. A.-O. y A. Ramasamy y T. Tengku y A. Al-Masri y Y. Hoon y N. Neamah y R. Verayiah y M. Marsadek, “Estimation of the energy consumption of battery driven electric buses by integrating digital elevation and longitudinal dynamic models: Malaysia as a case study,” *Applied Energy*, 2020.
- [60] A. Braga, “Electrificación del transporte – buses eléctricos y el sistema de distribución,” Master’s thesis, Universidad de Chile, 2020.
- [61] *Impact of electric bus charging in power distribution systems*, 2013.

- [62] M. M. y H. Farag y N. El-Taweel y M. Ferguson, "Simulation of electric buses on a full transit network: Operational feasibility and grid impact analysis," *Electric Power Systems Research*, 2016.
- [63] K. Z. y J. Paska y M. Klos y K. Pawlak y P. Marchel y M. Bartecka y L. Michalski y P. Terlikowski, "Impact of electric bus charging on distribution substation and local grid in warsaw," *Energies*, 2020.
- [64] D. S. y D. Reihls y S. Ledinger y F. Lehfuss, "Impact assessment of high power electric bus charging on urban distribution grids," *Electric Energy Systems*, 2019.
- [65] I. K. y E. Karfopoulos y N. Hatziargyriou, "Impact of dynamic and static fast inductive charging of electric vehicles on the distribution network," *Electric Power Systems Research*, 2016.
- [66] A. Franca, "Electricity consumption and battery lifespan estimation for transit electric buses: drivetrain simulations and electrochemical modelling," Master's thesis, University of Victoria, 2015.
- [67] T. B. y A. Paudel y P. Dawan y B. Marungsri, "Impact of dynamic and static fast inductive charging of electric vehicles on the distribution network," *Bus Test System*, 2019.
- [68] X. M. y R. Miao y X. Wu y X. Liu, "Examining influential factors on the energy consumption of electric and diesel buses: A data-driven analysis of large-scale public transit network in beijing," *Energy*, 2020.
- [69] N. A. E.-T. y Z. Farag y M. Mohamed, "Integrated utility-transit model for optimal configuration of battery electric bus systems," *IEEE Systems Journal*, 2019.
- [70] M. A. y T. Lie y B. Seet y S. Ahsan y H. Khan, "Plug-in electric bus depot charging with pv and ess and their impact on lv feeder," *Energies*, 2020.
- [71] B. Z. y Y. Wu y B. Zhou y R. Wang y W. Ke y S. Zhang y J. Hao, "Real-world performance of battery electric buses and their life-cycle benefits with respect to energy consumption and carbon dioxide emissions," *Energy*, 2016.
- [72] D. G. y T. Fay y D. Jefferies y E. Lauth y A. Kunith y X. Zhang, "Design of urban electric bus systems," *Design Science*, 2018.
- [73] M. M. y R. Garnett y M. Ferguson y P. Kanaroglou, "Electric buses: A review of alternative powertrains," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.