

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

Facultad de Ingeniería en
Electricidad
y Computación



TRABAJO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención de título de:

MAGÍSTER EN ELECTRICIDAD

PROPUESTA DE DESCARBONIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO DE LA CIUDAD DE GUAYAQUIL

AUTOR: Luis Alberto Moreno Rios

Ingeniero Eléctrico

DIRECTOR: Renán Xavier Zambrano Aragundy

Doctor en Ingeniería Eléctrica

Guayaquil - Ecuador
2022

Agradecimiento

Agradezco este logro, en primer lugar, a Dios todopoderoso por su infinita bondad y misericordia; por brindarme la oportunidad de seguir creciendo profesionalmente.

A mis amados padres y hermano, mami Lulu y papi Bolo que desde arriba en el cielo me están cuidando en cada paso que doy, por dárme todo en la vida, por estar siempre presentes en cada momento de mi vida, por sostenerme, ayudarme y a Aurelio mi hermano. A mi esposa Karlita y a mi hija Vika, gracias, ustedes son los motores de mi vida.

Agradezco al programa de MSEP de esta prestigiosa institución, ESPOL, a sus directivos, autoridades y al personal administrativo de la Unidad de Post-gradados de la FIEC. A mis profesores de la carrera, por compartir sus conocimientos y experiencias, pero de manera muy especial a mi director de Trabajo de Titulación, Dr. Renán Xavier Zambrano Aragundy, por brindarme su amistad y por el importante aporte en cada etapa de este trabajo, ya que sin su valioso soporte y ayuda no hubiese podido culminar este proceso.

Dedicatoria

Le dedico este trabajo a mi tesoro máspreciado, mi hija, María Victoria Moreno y a mi esposa Karlita. A mis padres, Luz María Ríos y Bolívar Moreno y a mi hermano Bolívar Aurelio Moreno Ríos y a toda mi familia, con inmenso amor.

Luis Alberto Moreno Rios.

Declaración expresa

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este trabajo de titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

Ing. Luis Alberto Moreno Ríos

Evaluadores

M.Sc. Fernando Arturo Vaca Urbano
PROFESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D. Xavier Zambrano
TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

M.Sc. Otto Alvarado Moreno
PROFESOR REVISOR

Índice general

Índice de figuras	4
Índice de tablas	9
Acrónimos	10
1. Planteamiento y estructura del proyecto	13
1.1. Descripción del problema	13
1.2. Identificación del problema	13
1.3. Justificación	15
1.4. Descripción de la solución propuesta	15
1.5. Objetivos	16
1.5.1. Objetivo general	16
1.5.2. Objetivos específicos	16
1.6. Metodología	16
1.7. Alcance y resultados esperados	17
1.8. Elementos diferenciadores o innovadores	17
2. Marco teórico	19
2.1. El contexto energético en el Ecuador	19
2.1.1. Marco legal de fomento a la electromovilidad en el transporte	19
2.1.2. Ordenanzas GAD	21
2.1.3. Regulaciones ARCERNR	22
2.1.4. Pliego tarifario	23
2.1.5. Situación energética actual del transporte en el Ecuador	25
2.1.6. Análisis de la energía primaria	25
2.1.7. Consumo de energía	25
2.1.8. PLANEE	25
2.1.9. Esquema de implementación PLANEE	26
2.2. Historia de los vehículos	27
2.3. Evolución	27
2.4. La movilidad eléctrica y la revolución silenciosa	30
2.5. Contexto regional de la movilidad eléctrica	30
2.5.1. Estados Unidos	31
2.5.2. Brasil	32
2.5.3. Costa Rica	33
2.5.4. Chile	34
2.5.5. España	35
2.6. Movilidad eléctrica a nivel nacional	37

2.6.1.	Situación actual	37
2.6.2.	El vehículo eléctrico y la comercialización de la energía	38
2.7.	Tecnologías limpias en el sector del transporte público	39
2.7.1.	El vehículo eléctrico	40
2.7.2.	Tipos de vehículos eléctricos	40
2.7.3.	Convertidor	42
2.7.4.	Baterías	42
2.7.5.	Operación de un vehículo eléctrico	46
2.8.	Cargadores ultrarrápidos	52
2.8.1.	Tipos de pantógrafos	52
2.9.	Vehicle to grid (V2G) o del vehículo a la red	56
2.10.	Mantenimiento de un vehículo eléctrico	57
2.11.	Efectos del vehículo eléctrico en la red de distribución eléctrica	58
2.12.	Transporte público de Guayaquil	59
2.12.1.	Sistema de buses	60
2.12.2.	Metrovía	62
2.12.3.	Análisis FODA de la Electrometrovía como medio de reducción de CO ₂ :	64
3.	Análisis de calidad de energía	67
3.1.	Inyección de armónicos	67
3.2.	Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE en la ciudad de Guayaquil	67
3.2.1.	Análisis técnico	69
3.3.	Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE tipo camioneta	82
3.3.1.	Análisis técnico	83
3.4.	Análisis de calidad de energía de un cargador rápido en la ciudad de Milagro	95
3.4.1.	Análisis técnico	96
4.	Análisis de inversión y contaminación al medio ambiente	111
4.1.	Análisis económico de un VE tipo auto	111
4.1.1.	Costo de la unidad (CU)	111
4.1.2.	Costo de mantenimiento (CM)	112
4.1.3.	Costo de operación y consumo energético (CO)	112
4.1.4.	Costo total (CT)	112
4.1.5.	Evaluación a corto, mediano y largo plazo	113
4.2.	Flujo de caja esperado de un taxi 100 % eléctrico	117
4.2.1.	Supuestos a considerar	117
4.2.2.	Estado de resultados	119
4.2.3.	Flujo de caja	119
4.2.4.	Índices de inversión	119
4.3.	Análisis económico de un bus 100 % eléctrico	120
4.3.1.	Costo de la unidad (CU)	120
4.3.2.	Costo de mantenimiento (CM)	121
4.3.3.	Costo de operación y consumo energético (CO)	121
4.3.4.	Evaluación a corto, mediano y largo plazo	121
4.4.	Flujo de caja esperado de un bus 100 % eléctrico	126

4.4.1. Supuestos a considerar	126
4.4.2. Estado de resultados	128
4.4.3. Flujo de caja	128
4.4.4. Índices de inversión	128
4.5. Propuesta de Implementación de la electrometrovía	130
4.5.1. Análisis económico de prefactibilidad	131
4.5.2. Índices de inversión del proyecto total	131
4.6. Análisis ambiental-CO2 evitado	132
4.6.1. Medios necesarios para captura de CO2	132
4.7. Financiamiento	133
4.7.1. Agencias financieras a nivel local	133
4.7.2. Agencias financieras a nivel regional e internacional	134
5. Conclusiones y trabajos futuros	137
5.1. Conclusiones	137
5.2. Trabajos futuros	138
5.3. Cronograma de actividades	138
Bibliografía	139
Apéndice	143
A. Apéndice de las entrevistas realizadas	143
A.1. Entrevista con representante de BYD Ecuador	143
A.2. Entrevista con representante de la compañía de transporte Saucinc S.A.	147
A.3. Reunión de trabajo con representante de Heliox Energy.	149

Índice de figuras

1.1. Emisiones de GEI originadas de la quema de combustibles.	13
1.2. Evolución de emisiones en Ecuador.	14
1.3. Medios de descarbonización del medio ambiente.	15
2.1. PLANEE Etapa II 2020-2030.	26
2.2. PLANEE Etapa III 2030-2035.	27
2.3. Primer auto eléctrico en el año 1915.	27
2.4. Benz Motorwagen 1886, el primer auto de la historia.	28
2.5. Farmacia de Wiesloch.	29
2.6. Las primeras bombas de gasolina.	29
2.7. La primea gasolinera en México.	30
2.8. Vehículo eléctrico de Tesla.	31
2.9. Centros de carga rápida de la ruta eléctrica que une Sao Paulo con Río de Janeiro.	32
2.10. Puntos de recarga en Costa Rica.	33
2.11. Buses eléctricos de baterías destinados a operar en Santiago de Chile.	35
2.12. Puntos de recarga en el zona norte de Madrid-Alcobendas.	36
2.13. Número de VE vendidos en Ecuador de 2016 a 2020.	37
2.14. Sistemas de vehículos híbridos.	40
2.15. Sistemas de vehículos híbrido serie y paralelo.	41
2.16. Principales componentes del vehículo eléctrico	41
2.17. Primera línea de la Aerovía en funcionamiento.	42
2.18. Convertidor de un VE.	42
2.19. Ubicación de banco de baterias en el VE.	43
2.20. Diagrama de bloques del BMS.	44
2.21. Diagrama arquitectura centralizada.	44
2.22. Diagrama arquitectura distribuida.	45
2.23. Configuración de cargadores de VE.	47
2.24. Tipos de carga de VE.	47
2.25. Modo 1 de recarga de VE.	48
2.26. Modo 2 de recarga de VE.	48
2.27. Modo 3 de recarga de VE.	48
2.28. Modo 4 de recarga de VE.	49
2.29. Conector tipo 1.	49
2.30. Conector tipo 2.	50
2.31. Conector tipo 3.	50
2.32. Conector tipo 4.	51
2.33. Conector GB/T.	51

2.34. Tipos de pantógrafos.	52
2.35. Pantógrafo en techo.	53
2.36. Pantógrafo invertido.	53
2.37. Vista lateral del dispositivo del sistema automático de carga.	54
2.38. Vista superior de las rieles-polos.	54
2.39. Posición de la antena wi-fi.	55
2.40. Sistema de carga HVC.	56
2.41. Vehicle to grid V2X.	57
2.42. Mapa del área de cobertura de la ATM.	59
2.43. Buses urbanos de transporte masivo de la ciudad de Guayaquil.	60
2.44. BRT de la ciudad de Guayaquil.	61
2.45. Taxis de la ciudad de Guayaquil.	61
2.46. Aerovía de la ciudad de Guayaquil.	62
2.47. Mapas de ruta de la metrovía de la ciudad de Guayaquil.	62
2.48. Troncales de la metrovía de la ciudad de Guayaquil	63
2.49. Imagen de un bus y articulado eléctrico, Volvo 7900 electric y 7900 electric articulated, respectivamente.	64
3.1. Múltiples cargadores conectados a la red eléctrica y la forma de onda.	67
3.2. Cargador lento marca Duosida.	68
3.3. Punto de medición del cargador lento del VE marca BYD E5 400.	68
3.4. Pantalla de monitoreo de la frecuencia del cargador lento.	70
3.5. Diagrama de bloque de variación de la frecuencia.	70
3.6. Pantalla de monitoreo de tensión línea-línea (V1-2).	71
3.7. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea-línea.	71
3.8. Pantalla de monitoreo de tensión línea 1 - neutro (V1-N).	72
3.9. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 1 - neutro (V1-N).	72
3.10. Pantalla de monitoreo de tensión línea 2 - neutro (V2-N).	73
3.11. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 2 - neutro (V2-N).	73
3.12. Gráfico de consumo de corriente A1 y A2.	73
3.13. Pantalla de monitoreo del factor de potencia.	74
3.14. Registro del factor de potencia.	74
3.15. Gráfico de FC de V1-2, V1-N y V2-N.	75
3.16. Diagrama de bloque de FC de V1-2, V1-N y V2-N.	75
3.17. Gráfico de PST1 y PST2.	76
3.18. Diagrama de bloque de PST1 y PST2.	76
3.19. Gráficos de potencia activa, reactiva y aparente del cargador lento.	77
3.20. Gráfico de armónicos totales de tensión del cargador lento.	78
3.21. Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión del cargador lento.	78
3.22. Gráfico de monitoreo de armónicos totales de corriente.	79
3.23. Gráfico de tendencias de armónicos totales de demanda TDD.	79
3.24. Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de tensión V1-N y V2-N.	80
3.25. Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de tensión V1-2.	80
3.26. Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de corriente A1 y A2.	81
3.27. Vehículo eléctrico Dongfeng modelo Rich 6EV.	82

3.28. Punto de medición del cargador lento Dongfeng Rich 6EV.	82
3.29. Pantalla de monitoreo de frecuencia del cargador lento.	83
3.30. Diagrama de bloque de variación de frecuencia.	83
3.31. Pantalla de monitoreo de tensión línea-línea (V1-2).	84
3.32. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea-línea.	84
3.33. Pantalla de monitoreo de tensión de línea 1 - neutro (V1-N).	85
3.34. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 1 - neutro (V1-N).	85
3.35. Pantalla de monitoreo de tensión de línea 2 - neutro (V2-N).	86
3.36. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 2 - neutro (V2-N).	86
3.37. Gráfico de consumo de corriente A1 y A2.	87
3.38. Pantalla de monitoreo del factor de potencia.	87
3.39. Registro del factor de potencia.	88
3.40. Gráfico de FC de V1-2, V1-N y V2-N.	88
3.41. Diagrama de bloque de FC de V1-2, V1-N y V2-N.	89
3.42. Gráfico de PST1, PST2.	89
3.43. Diagrama de bloque de PST1 Y PST2.	90
3.44. Gráficos de potencia activa, reactiva y aparente del cargador lento.	90
3.45. Gráfico de armónicos totales de tensión del cargador lento.	91
3.46. Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión.	91
3.47. Gráfico de monitoreo de armónicos totales de corriente.	92
3.48. Gráfico de tendencias de armónicos totales de demanda TDD.	92
3.49. Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de V1-N y V2-N	93
3.50. Gráfico de tendencias de armónicos individuales de V1-2.	93
3.51. Gráfico de tendencias de armónicos individuales corriente A1 y A2.	94
3.52. Cargador rápido marca Mc.	95
3.53. Características técnicas del cargador.	95
3.54. Punto de medición del cargador rápido del VE BYD Q10.	96
3.55. Pantalla de monitoreo de la frecuencia del cargador rápido.	97
3.56. Diagrama de bloque de variación de la frecuencia del cargador rápido.	97
3.57. Pantalla de monitoreo de variación de tensión línea-línea (V1-2, V2-3 y V3-1).	98
3.58. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión (V1- 2, V2-3 y V3-1).	98
3.59. Pantalla de monitoreo de tensión línea-neutro (V1-N, V2-N y V3-N).	99
3.60. Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea-neutro (V1-N, V2-N y V3-N).	99
3.61. Gráfico de consumo de corriente A1, A2 y A3.	100
3.62. Pantalla de monitoreo del factor de potencia del cargador rápido.	100
3.63. Gráfico de variación de factor de potencia.	101
3.64. Gráfico de FC V1-N, V2-N y V3-N.	101
3.65. Gráfico de variación de FC de V1-N, V2-N y V3-N.	102
3.66. Gráfico de FC de línea-línea V1-2, V2-3 y V3-1.	102
3.67. Gráfico de variación línea-línea de FC V1-2, V2-3 y V3-1.	103
3.68. Gráfico de FC de corriente A1, A2 y A3.	103
3.69. Gráfico de PST1, PST2 y PST3.	104

3.70. Diagrama de bloque de PST1, PST2 y PST3.	104
3.71. Gráficos de potencia activa, reactiva y aparente.	105
3.72. Gráfico de armónicos totales de tensión V1-N, V2-N y V3-N.	105
3.73. Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión V1-N, V2-N y V3-N.	106
3.74. Gráfico de armónicos totales de tensión V1-2, V2-3, V3-1.	106
3.75. Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión V1-2, V2-3 y V3-1.	107
3.76. Gráfico de monitoreo de armónicos totales de corriente.	107
3.77. Gráfico de tendencias de armónicos totales de corriente.	108
3.78. Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de V1-N, V2-N y V3-N.	108
3.79. Gráfico de tendencias de armónicos individuales de V1-2, V2-3 y V3-1.	109
3.80. Gráfico de tendencias de armónicos individuales de corriente A1, A2 y A3.	109
4.1. Imágenes del automóvil marca BYD E5 y Nissan Versa.	111
4.2. Diagrama de barras del costo total a corto plazo de VE y VC.	113
4.3. Diagrama de barras de generación a corto plazo de CO2 de VC y VE.	114
4.4. Diagrama de barras de los costos a mediano plazo de VE y VC tipo auto.	115
4.5. Diagrama de barras de emisiones de CO2 a mediano plazo (5 años) de VC y VE.	115
4.6. Diagrama de barras de los costos a largo plazo de los VE y VC.	116
4.7. Generación de CO2 de VC y VE a largo plazo.	117
4.8. Imágenes de los buses marca BYD k9G y Mercedes Benz 1721.	120
4.9. Diagrama de barras del costo total a corto plazo de BE y BC.	122
4.10. Generación de CO2 de BC y BE a corto plazo.	123
4.11. Costo a mediano plazo de los buses.	124
4.12. Generación a mediano plazo de CO2 de los buses.	124
4.13. Diagrama de barras del Costo total a largo plazo de BE y BC.	125
4.14. Generación a largo plazo de CO2 de BC y BE.	126
4.15. Especificaciones troncal 1.	130
4.16. Gramos de CO2 por pasajero/kilómetro.	132
5.1. Cronograma de actividades.	138
A.1. Cotización heliox energy.	149

Índice de tablas

2.1. Limite máximo del costo del servicio de carga - vehículos livianos. . . .	24
2.2. Limite máximo del costo del servicio de carga - vehículos pesados. . . .	24
2.3. Límites de distorsión de voltaje.	58
2.4. Límites de distorsión de corriente I_{sc}/I_l	59
3.1. Configuración de equipo AEMC instruments 8333.	69
3.2. Transformador de corriente de 1600 A.	96
4.1. Costo de las unidades (CU).	112
4.2. Costo del mantenimiento durante los 100.000 km.	112
4.3. Costo de operación y consumo energético de un VE y VC en 100.000 km.	112
4.4. Costo total a corto plazo.	113
4.5. Costo total a mediano plazo (5 años o 500.000 km).	114
4.6. Costo a largo plazo.	116
4.7. Tabla de resultado de un VE tipo taxi.	119
4.8. Flujo de caja de un VE tipo taxi.	120
4.9. Flujo de caja libre del VE tipo taxi.	120
4.10. Costos de las unidades (CU) de los buses.	121
4.11. Costos del mantenimiento (CM) de un BE y BC tipo bus.	121
4.12. Costos de operación y consumo energético de un BE y BC.	121
4.13. Costo a corto plazo de los buses.	122
4.14. Costo total a mediano plazo de buses.	123
4.15. Costo total a largo plazo de los buses.	125
4.16. Tabla de resultados de un BE del año 1 al 10.	129
4.17. Tabla de resultados de un BE del año 11 al 20.	129
4.18. Tabla del flujo de caja un BE del 1 al 10 año.	129
4.19. Tabla del flujo de caja un BE del 11 al 20 año.	129
4.20. Tabla del flujo de caja libre, VAN, TIR Y PB de un BE.	130
4.21. Índices financieros del proyecto de prefactibilidad de la electrometrovia.	132
4.22. Parámetros promedio de especies de árboles.	133
4.23. Cantidad total de CO2 producido anualmente por tipo de vehículo de combustión.	133
4.24. Principales instituciones financieras en Ecuador.	134
4.25. Principales instituciones financieras en Colombia.	134
4.26. Principal institución financiera en Chile.	135
4.27. Principal institución financiera en Perú.	135
4.28. Principal institución financiera en España.	135

Acrónimos

Acrónimos de Unidades

kt:	kilotoneladas.
kBEP:	Miles de barriles equivalente de petróleo.
MtCO _{2e} :	Millones de toneladas de dióxido de carbono equivalente.
GWh:	Gigavatios hora.
ppm/año:	Partes por millon al año.
pph:	Personas por hora.
ppd:	Personas por día.

Acrónimos de Entidades

SNEE:	Sistema Nacional de Eficiencia Energética.
GAD:	Gobiernos Autónomos Descentralizados.
ARCERNNR:	Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.
PLANEE:	Plan Nacional de Eficiencia Energética.
CO ₂ :	Dióxido de carbono.
GEI:	Gases de Efecto Invernadero.
NiMH:	Níquel-metal hidruro.
NiCd:	Níquel cadmio.
OECD:	Organización Cooperación Económica y de Desarrollo.
NDC:	Contribución Determinada a Nivel Nacional.
CNEE:	El Comité Nacional de Eficiencia Energética.
COA:	Código Orgánico de Ambiente.
ATM:	Agencia de Tránsito y Movilidad de Guayaquil
MIMG:	Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil.
SINEE:	Sistema de Indicadores Nacionales de Eficiencia Energética.
VE, VC, VHE:	Vehículo eléctrico, Vehículo combustión, Vehículo híbrido.
BE,BC:	Bus eléctrico, Bus combustión.
SOC:	State of charge (estado de carga).
SOH:	State of Health (estado de salud).
CAN:	Controller Area Network (controlador de red área).
NEDC:	New European Driving Cycle (nuevo ciclo de conducción europeo).

PLANTEAMIENTO Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO

1.1. Descripción del problema

La contaminación proveniente de los gases de efecto invernadero es generada principalmente por el sistema de transporte, debido a la fuente de energía primaria proveniente de recursos fósiles. A causa del incremento de la población y el consecuente aumento del número de vehículos a combustión interna, las emisiones de CO₂ mantienen su tendencia a la alza, siendo el transporte una de las fundamentales fuentes de contaminación a nivel mundial. Para mitigar los problemas antes mencionados, se debe buscar fuentes de energía primaria amigables con el medio ambiente que disminuya la huella de carbono presente en el transporte.

1.2. Identificación del problema

En la Figura 1.1, se puede apreciar la contribución de América Latina a los GEI por la quema de combustibles fósiles, la misma que es, relativamente baja, respecto a otros países desarrollados [Bedoya, 2016].

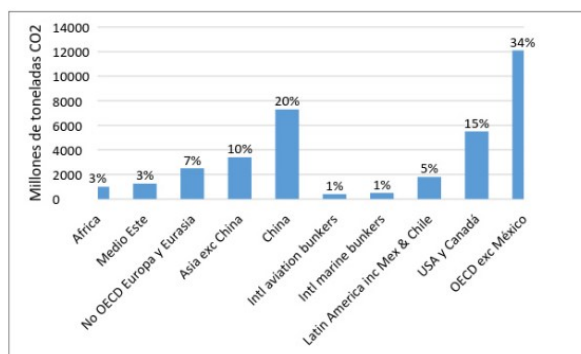


Figura 1.1 – Emisiones de GEI originadas de la quema de combustibles.
Fuente: [Bedoya, 2016].

Sin embargo, en términos de emisiones per cápita, para los países del OECD, el 28 % de las emisiones de CO₂ vienen del transporte, mientras que para Latinoamérica este valor es del 35 %, por lo tanto, América Latina posee mayores emisiones per cápita que los países desarrollados en el ámbito del transporte [Díaz-Vázquez y Cancelo, 2010].

En la Figura 1.2, se muestra el registro de las emisiones per cápita de CO₂ en Ecuador que, debido a todos estos considerables niveles de contaminación, su control, reducción y transformación es objeto de un creciente debate, tanto por la preocupación sobre la calidad del aire en nuestras ciudades, sino también por la revolución que está experimentando gracias al ingreso de nuevas tecnologías limpias en el sector del transporte, en las nuevas y diversa formas de movilizarse, como podría ser el caso de la electromovilidad, y el cumplimiento de las disposiciones del marco legal ecuatoriano a través de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética y su Reglamento General.

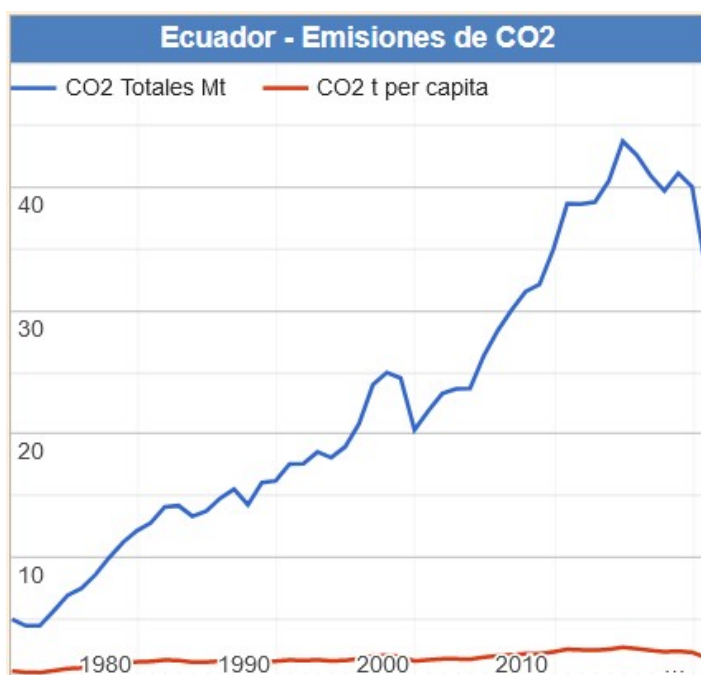


Figura 1.2 – Evolución de emisiones en Ecuador.

Fuente: <https://datosmacro.expansion.com>.

El parque automotor es el sector que genera el mayor volumen de gases de efecto invernadero en el mundo, y Ecuador no es la excepción [Toala, 2021]. Las emisiones de CO₂ son un problema social, ambiental y económico. El 39 % de la contaminación del aire en la ciudad de Guayaquil proviene de los automotores según la última evaluación. Guayaquil genera 6.8 toneladas de CO₂ al año del total de emisiones de CO₂ en la urbe, el 39 % proviene del transporte, (principalmente por el consumo de gasolina), 25 % de residuos por disposición de desechos, 16 % de zonas residenciales (consumo de energía eléctrica), 14 % del sector industrial (por uso de electricidad y diésel) y 6 % del comercial e institucional, siendo los tres mayores factores contaminantes: transporte, residencias e industrias [Toala, 2021]. Se estima que de no tomarse medidas urgentes la huella de carbono en el aire se incrementaría en aproximadamente un 37 % hasta el 2032.

1.3. Justificación

En las últimas décadas, los altos niveles de emisión de CO₂ son un tema que está preocupando al mundo entero. Desde los años 50, se está experimentando importantes cambios en los niveles de temperatura global y contaminación del aire, nunca antes visto. En los periodos de 1970 al 2010, el CO₂ representó el 78 % de las emisiones totales, y se ha incrementado a una tasa de 1.90 ppm/año desde 1995. Del total de emisiones de CO₂, el 56.6 % es originado por el uso de los combustibles fósiles consumidos principalmente por el parque automotor en todo el mundo [Bedoya, 2016].

En la Figura 1.3, se observan los principales medios de descarbonización que están siendo incorporados con el afán de cuidar el medio ambiente.



Figura 1.3 – Medios de descarbonización del medio ambiente.
Fuente: <https://www.iberdrola.com>.

En virtud de estos antecedentes, respecto a las experiencias vividas en los países de América Latina, Ecuador tiene como meta el cumplimiento a las políticas y objetivos de reducción de emisiones propuesto en el Plan Nacional de Eficiencia Energética-PLANEE, conforme lo establece Ley Orgánica de Eficiencia Energética. En el ámbito del transporte eficiente, tanto la ciudadanía como el sector del transporte público dispone de una mayor receptividad para su descarbonización, a través de la electromovilidad, fundamentado en: (i) cero emisiones de gases, (ii) rentabilidad económica, (iii) subvenciones, (iv) madurez tecnológica, (v) cero contaminaciones auditivas, (vi) ventajas fiscales, etc.

1.4. Descripción de la solución propuesta

El transporte público en el Ecuador consume aproximadamente el 40 % de la energía producida [Palacios y Brito, 2018]. Por sus características, basadas en el consumo de combustibles fósiles, tienen un alto impacto en la emisión de GEI a nivel nacional. El presente documento busca verificar que el cambio de los automotores de combustión por eléctricos no causarán perturbaciones relevantes o significativas a la red eléctrica,

mitigando la contaminación producida por los gases y ruido de los vehículos de transporte público masivo de combustión, como es el caso de los taxis y buses en la ciudad de Guayaquil.

Esta propuesta está basada en la implementación de la electromovilidad en el sistema de transporte masivo de Guayaquil, la cual evaluará los siguientes parámetros de eficiencia energética: el impacto de la carga del vehículo eléctrico en la calidad de la energía en la red, consumo evitado de combustibles fósiles, ahorro económico debido al cambio de la energía primaria, cuantificación de la huella de carbono mitigada, viabilidad técnico-económico, etc.

1.5. Objetivos

Evaluar y formular opciones de descarbonización del sistema de transporte público de la ciudad de Guayaquil, a través de la electromovilidad.

1.5.1. Objetivo general

Proponer un sistema sustentable de descarbonización a mediano plazo, aplicado al transporte público de la ciudad de Guayaquil, buscando alternativas que propicien la sustitución de los vehículos basados en combustibles fósiles por unidades 100 % eléctricas en los sistemas de transporte público y privado.

1.5.2. Objetivos específicos

- Analizar el marco normativo ecuatoriano aplicable a la electromovilidad (transporte terrestre).
- Conocer la situación energética actual en el Ecuador, con énfasis en el transporte, evaluando el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles, y que pueda ser remplazado por energía eléctrica.
- Estudiar la movilidad eléctrica a nivel nacional y en el contexto latinoamericano.
- Analizar las nuevas tecnologías limpias aplicadas al sector del transporte.
- Estudiar los incentivos orientados a la eficiencia energética en el transporte público masivo en Guayaquil.
- Formular un sistema de transporte público basado en la electromovilidad en la ciudad de Guayaquil.

1.6. Metodología

En primer lugar, se aplicará el método o razonamiento deductivo, ya que se comenzará desde las ideas generales hasta llegar a lo particular, tomando una premisa general para elaborar, a partir de ésta, una conclusión específica que debe poseer a su vez elementos independientes, realizando una comparación con los datos que se tienen, considerando que la veracidad de la conclusión que resulta de un razonamiento deductivo depende totalmente de una premisa correcta [Daen, 2011]. Continuando, en

segundo lugar con el método explicativo, el cual implica plantear hipótesis explicativas, así como un diseño explicativo, cuya finalidad es hallar las razones o motivos por las cuales ocurren los hechos estudiados, observando las causas y los efectos que existen identificando las circunstancias [Daen, 2011]. Para finalizar, concluiremos con el método de análisis, descomponiendo el planteamiento de las hipótesis en varios elementos que se pasan a estudiar de manera minuciosa, a fin de encontrar una respuesta lógica a los hechos que están ocurriendo debido a los fenómenos generados [Cabezas, 2018].

1.7. Alcance y resultados esperados

- Formular una propuesta técnica y económicamente sostenible de descarbonización del transporte público de la ciudad de Guayaquil, a través de la electromovilidad.
- Obtener un análisis de los gases de efecto invernadero a reducir por el reemplazo de vehículos eléctricos en el transporte público en la ciudad de Guayaquil.
- Describir las posibles vías de financiamiento o apalancamiento del proyecto mediante la emisión de certificados verdes.

1.8. Elementos diferenciadores o innovadores

- Introducción de vehículos eléctricos de uso masivo como medio de descarbonización.
- Incentivos orientados a la eficiencia energética en el transporte público.
- Planes de financiamiento de organismos nacionales e internacionales para proyectos de eficiencia energética aplicados en el transporte de uso masivo.
- Evaluación de tecnologías vanguardistas para el proceso de carga rápida y ultrarrápida de vehículos eléctricos en transporte público masivo.

MARCO TEÓRICO

2.1. El contexto energético en el Ecuador

El objetivo de este capítulo es conocer el marco legal aplicable para el fomento de la electromovilidad en Ecuador, lo aplicable en la Constitución de la República del Ecuador, los acuerdos internacionales, la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, la Ley Orgánica de Transporte Público, Tránsito y Seguridad Vial, Código Orgánico Penal, Ordenanzas de los GAD, Regulaciones ARCERNNR, etc. Conocer y aprovechar los acuerdos internacionales e incentivos económicos que brinda el estado ecuatoriano para el cambio de vehículos de transporte masivo público y privado.

2.1.1. Marco legal de fomento a la electromovilidad en el transporte

Conocer y tener claro la Constitución de la República, Acuerdos Internacionales, Ley Orgánica de Eficiencia Energética, Código Orgánico Ambiental, entre otras, son de alta importancia, a fin de formular una adecuada propuesta de electromovilidad para el transporte público en la ciudad de Guayaquil.

i) Constitución de la República del Ecuador

Los artículos de la Constitución de la República del Ecuador, que están enfocados a que el Estado facilitará todas las condiciones necesarias para que, tanto la empresa pública como privada desarrollen proyectos, implementen mecanismos progresivamente a fin de tener una mejor calidad de vida, aumento de nuevas plazas de trabajo, oportunidad de inversión Nacional y extranjera, y todas las subvenciones que se ofrecen a fin de apoyar la sustitución de los combustibles fósiles por electricidad [Ecuador, 2008a].

ii) Acuerdos Internacionales

Ecuador firmó el Acuerdo de París en Nueva York, en julio de 2016, y su ratificación está establecida mediante Decreto Ejecutivo No. 98, del 27 de julio de 2017 [Enríquez, 2017]. Desde mediados del año 2017, Ecuador inició el proceso de recopilación y procesamiento de información, mapeo de actores y roles, identificación de

iniciativas sectoriales y arreglos institucionales necesarios, construcción de escenarios incondicional y condicionado y planteamiento de priorización de medidas y líneas de acción para la construcción de la contribución determinada a nivel nacional (NDC).

El proceso participativo de la NDC ha sido diseñado con tres principios rectores:

- Facilitar la participación de los actores como agentes de cambio, y fomentar su compromiso con el proceso de formulación.
- Transversalizar el enfoque de género en cada fase del proceso.
- Generar mecanismos de mejora constante de los resultados y actividades.

A través de la implementación de esta NDC, Ecuador busca cumplir con las obligaciones del Acuerdo de París [González, 2017], relacionados a:

- Limitar el aumento de temperatura global por debajo de los 2 grados centígrados, respecto a niveles preindustriales.
- Aumentar la habilidad de adaptarse a los impactos adversos del cambio climático, y aumentar la resiliencia alimentaria de una forma que no amenace la producción alimenticia.
- Hacer que los flujos financieros sean consistentes con un desarrollo bajo en emisiones y resiliente al clima.

iii) Ley Orgánica de Eficiencia Energética en el Ecuador

Como síntesis de esta Ley, es responsabilidad de los Gobiernos autónomos descentralizados implementar las acciones y medidas necesarias, en el campo de sus competencias y atribuciones, para que las normas, reglamentos y disposiciones que se emitan en el ámbito del SNEE sean aplicados, en nuestro caso de estudio, nos enfocaremos en la eficiencia energética en el transporte público por medios eléctricos que se priorizara como medida de eficiencia energética en la planificación pública. En base de estas primicias, los GAD podrán, en el ámbito de sus competencias, establecer planes de chatarrización y, a partir del año 2025, todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial en el Ecuador continental deberá ser únicamente de medio motriz eléctrico. Apoyados en la investigación y desarrollo tecnológico con mecanismo de planes de financiamiento, y de los incentivos de eficiencia energética que contará con las condiciones de financiamiento enfocados en el transporte eléctrico, particular y público el mismo que contará con tarifas preferenciales durante el periodo en que los GAD establecerán incentivos que fomenten el uso de movilidad eléctrica [Paredes, 2019].

El Presidente de la República de Ecuador, Guillermo Lasso Mendoza, publicó mediante Decreto Ejecutivo No. 229 del 21 de octubre de 2021 el Reglamento General de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, en donde el transporte eléctrico podrá aplicar tarifas diferenciadas preferenciales para carga de vehículos eléctricos hasta el año 2024 (Disposición Transitoria Octava).

iv) Ley Orgánica de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial.

la introducción masiva de vehículo eléctricos a media plazo, debe ir de la mano con una reforma a la Ley Orgánica de Transporte, Tránsito y Seguridad Vial, de tal manera que se garantice la electromovilidad [Ecuador, 2008b].

v) Código Orgánico Ambiental

El pasado 12 de abril del 2021, entró en rigor el cuerpo normativo más importante del País en Derecho Ambiental el COA. El objetivo es informar los principales puntos contenidos [Moscoso, 2019]:

- Derecho a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado.
- Derechos de la naturaleza.
- Deberes comunes del Estado y de las personas.
- Principios ambientales.
- Responsabilidad objetiva.
- Imprescriptibilidad de la responsabilidad ambiental.
- Inversión de la carga de la prueba.
- Cambio climático.
- Incentivos ambientales.
- Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de contaminación ambiental con energías limpias con la introducción de la electromovilidad.
- Establecer medidas adecuadas y transversales para la mitigación del cambio climático con la introducción de la electromovilidad.

2.1.2. Ordenanzas GAD

El martes 24 de marzo de 2020, se publica en el registro oficial las ordenanzas de los GAD, entre ellos del cantón Guayaquil, de estímulo a la transportación eléctrica.

En el capítulo II, las principales y mas importantes disposiciones urbanísticas constan los siguientes artículos:

Artículo 13.- De las estaciones o puntos de carga en el cantón se rigen a las disposiciones siguientes:

- 13.1.- Estaciones o punto de carga en edificios de uso residencial, comercial y/o servicio.
- 13.2.- Estaciones o puntos de carga en centros comerciales.
- 13.3.- Estaciones o puntos de carga en estaciones de servicio o gasolinera.
- 13.4.- Estaciones o puntos de carga en urbanizaciones.

- 13.5.- Estaciones o puntos de carga en instalaciones de operación de transporte.
- 13.6.- Estaciones o puntos de carga en parqueos públicos y privados.

Artículos 14.- Exclusividad de espacios para punto de carga.

Artículos 15.- Sanción por ocupación indebida de los espacios de carga.

Artículos 16.- Del consumo eléctrico en centros de recarga.

En el capítulo III, las principales disposiciones urbanísticas asociadas a la electromovilidad, se tiene:

Artículos 17.- Incentivos para centros comerciales, estaciones de servicios (gasolineras) y universidades se estipula que como mínimo se debe implementar 3 puntos de carga eléctrica, haciéndose acreedores a recibir incentivo tributario de rebaja de hasta el 25 % de los tributos municipales, por un periodo de 5 años.

Artículo 18.- Incentivos a la movilidad eléctrica se estipula que el programa tendrá por objeto la habilitación de nuevas unidades y/o la sustitución progresiva de las unidades vehiculares a combustión, otorgar incentivos económicos a favor de operadoras y/o socios que soliciten la habilitación de unidades vehiculares eléctricas para el servicio de transporte terrestre público y/o comercial en taxi.

Artículo 19.- De los vehículos deberán cumplir en su totalidad el proceso de homologación vehicular.

Artículo 20.- Solicitud para operadoras existentes consiste en los propietarios que se quieren acoger al proceso de renovación de la flota, incremento de cupos, etc.

Artículo 21.- Solicitud para la creación de nuevas operadoras de transporte eléctrico en el caso de existir interesados en la creación de nuevas operadoras de transporte eléctrico.

Artículo 22.- Informe favorable de la ATM una vez emitidos los informes técnicos favorables, se solicitará a las áreas financieras la certificación de los fondos, que permitan financiar el 50 % del presupuesto necesario para la ejecución por parte de la MIMG y ATM.

Artículo 23.- Asignación de incentivos: una vez que se encuentren con los informes técnicos y certificación de los fondos la operadora y/o socios que habiliten unidades vehiculares eléctricas al servicio de transporte terrestre público de pasajeros y taxis del cantón Guayaquil, la suma de \$15.000,00 y \$4.000,00 respectivamente por la adquisición de cada vehículo eléctrico.

2.1.3. Regulaciones ARCERNNR

La ARCERNNR dentro del marco de la introducción de la electromovilidad y reducción de los GEI, en la Regulación No. ARCERNNR 003/20 resuelve expedir la presente regulación denominada Modelo de contrato de suministro para proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos cuyo objetivo es establecer el modelo del contrato de suministro a ser suscrito entre la empresa distribuidora y las personas naturales o jurídicas, y cuyo alcance debe de ser de cumplimiento obligatorio para las empresas eléctricas de distribución y para las personas naturales o jurídicas que sean calificadas para proveer el servicio de carga de energía a vehículos eléctricos.

2.1.4. Pliego tarifario

- **Tarifa general de bajo voltaje con registrador de demanda horaria para vehículos eléctricos.** Aplica a los usuarios de bajo voltaje, propietarios de un vehículo eléctrico, para lo cual, se deberá instalar un medidor, para la facturación mensual del servicio público de energía eléctrica, exclusivamente, del vehículo eléctrico, tendrán un régimen de carga liviana o de carga lenta, esto es, de hasta 10 kW.

El consumidor debe pagar:

- a) Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
- b) Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable (indicada en el numeral 8.1) como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGDVE) señalado en el numeral 9.3.
- c) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de punta de 18:00 hasta las 22:00 horas, de lunes a domingo.
- d) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda media de 08:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a viernes; equivalente al 80 % del cargo en el periodo de punta (literal c).
- e) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de base de 22:00-08:00 horas de lunes a domingo y 08:00-18:00 horas, sábado y domingo; equivalente al 50 % del cargo en el periodo de punta (literal c) [Arconel, 2019].

- **Tarifa general de medio voltaje con registrador de demanda horaria para las estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos.** Aplica a los usuarios de la categoría general de medio voltaje, para estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos, para lo cual, se deberá instalar un medidor, para la facturación mensual del servicio público de energía eléctrica.

El consumidor debe pagar:

- a) Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
- b) Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable (indicada en el numeral 8.1) como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGDVE) señalado en el numeral 9.3.
- c) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de punta de 18:00 hasta las 22:00 horas, de lunes a domingo.
- d) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de media, de 08:00 hasta las 18:00 horas, de lunes a viernes; equivalente al 80 % del cargo en el periodo de punta (literal c).
- e) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de demanda de base de 22:00-08:00 horas, de lunes a domingo y 08:00-18:00 horas sábado y domingo; equivalente al 50 % del cargo en el periodo de punta (literal c)[Arconel, 2019].

- **Tarifa general de alto voltaje para las estaciones de carga rápida de vehículos eléctricos.**

Se aplica a los consumidores de energía eléctrica conectados a alto voltaje, Grupo 1-AV1, es decir, para voltajes de suministro en el punto de entrega mayor a 40 kV y hasta 138 kV. A estos consumidores se les aplica la estructura y nivel tarifario correspondiente a la tarifa indicada a consumidores de medio voltaje [Arconel, 2019].

■ **Pliegos tarifario para los proveedores del servicio de carga de energía a vehículos eléctricos para establecer los límites máximo del costo - resolución No.ARCERNNR - 011/2022.**

- **Facturación:** la facturación del servicio de carga es el resultado de multiplicar la energía empleada por el costo de la carga fijada por el proveedor del servicio, limitada por el valor máximo establecida en la resolución No.ARCERNNR - 011/2022, como se muestra en la siguiente expresión.

$$FSCVE = E * CCVE \tag{2.1}$$

donde:

FSCVE: Factura por el servicio de VE. (USD).

E: Energía empleada para cargar el VE.

CCVE: Costo de carga fijada por el proveedor de este servicio (USDkwh).

- **Régimen tarifario:** para el cálculo en primera instancia es importante definir el tipo de VE, que según la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2656 son livianos y pesados [Orbea, 2022], y a continuación el límite del costo de servicio de carga definido en las siguientes tablas:

	Potencia Kw	límite del costo del servicio de carga(ctvs./kWh)
Semi - rápida AC	$V \leq 22 \text{ kW}$	17.15
Rápida AC	$V > 22 \text{ kW}$	19.94
Ultra - rápida DC	$V \geq 50 \text{ kW}$	28.51

Tabla 2.1 – Límite máximo del costo del servicio de carga - vehículos livianos.

	Potencia Kw	límite del costo del servicio de carga(ctvs./kWh)
Rápida - AC	$V \geq 22 \text{ kW}$	16.10
Ultra - rápida DC	$V \geq 50 \text{ kW}$	17.51

Tabla 2.2 – Límite máximo del costo del servicio de carga - vehículos pesados.

2.1.5. Situación energética actual del transporte en el Ecuador

La principal fuente de energía para la movilización del parque automotor en Ecuador son los derivados de los combustibles fósiles, llegando a un consumo del 42 % [Sánchez, 2019] de toda la producción Nacional, debido al aumento de vehículos a combustión, lo cual debe ir cambiando con el aumento del consumo de energía eléctrica, con el incremento en corto plazo de vehículos eléctricos, y de acuerdo con los objetivos planteados en PLANEE.

2.1.6. Análisis de la energía primaria

Se conoce como energía primaria aquella que está disponible en la naturaleza antes de ser convertida o transformada. Se considera la energía contenida en los combustibles crudos, leña, carbón y otras energías que son una entrada al sistema energético. En la industria energética se distinguen diferentes etapas: la producción de energía primaria, su almacenamiento y transporte en forma de energía secundaria, y su consumo como energía final. Los productos energéticos primarios también pueden dividirse en combustibles de origen fósil y productos energéticos renovables. Los combustibles fósiles se extraen de los recursos naturales que se formaron a partir de biomasa en el pasado geológico. En el caso del transporte terrestre, la energía primaria consumida son los derivados del petróleo, llegando a un 42 % de toda la demanda de energía a nivel nacional.

2.1.7. Consumo de energía

El consumo de energía del transporte terrestre representa 42 % del total demandado a nivel nacional. Los principales combustibles que demanda son: diésel 45 %, gasolina 41 % y fuel oil 7 % [Jordan y Alejandro, 2020].

El consumo de electricidad como energía primaria en el transporte es mínima en Ecuador, debido al incremento de automóviles y motocicletas de consumo de combustible fósiles, factor totalmente opuesto a lo que ocurre en los países industrializados. Sin embargo, la tendencia se va invirtiendo a nivel mundial, y una de las razones es la volatilidad de los precios del petróleo, lo que conlleva al uso masivo del cambio de la fuente de energía del parque automotor con la penetración de medios de transporte 100 % eléctricos.

2.1.8. PLANEE

Las prioridades de la planificación sostenible del Ecuador han establecido una estrategia de desarrollo que defiende los derechos de la población a vivir en un ambiente sano, el respeto a los derechos de la naturaleza y el acceso a fuentes amigables, renovables y eficientes de energía. Estos principios están consagrados en la Constitución de la República, que busca el buen vivir, fomentando la sustitución progresiva de combustibles y fuentes de energía con alto impacto ambiental por otros con bajo contenido de carbono, enfocándose en las siguientes acciones a realizar:

- Revisar y actualizar la normativa de transporte, para incluir criterios de eficiencia energética.

- Ampliar y realizar mantenimiento de vías e infraestructura complementaria, como las paradas para el transporte público.
- Implementar sistemas integrales de movilidad que permitan la planificación y control del flujo vehicular de manera inteligente en las ciudades.
- Impulsar la implementación de sistemas de transporte público masivo eco-amigable dentro de las ciudades, así como la incorporación de vías exclusivas, incremento de unidades, construcción de metro eléctrico.
- Implementar sistemas de revisión vehicular en todas las ciudades.
- Realizar campañas de capacitación y difusión.
- Proyectos de incorporación de vehículos eléctricos, mecanismos para incentivar la importación/fabricación nacional de vehículos eléctricos o de nuevas tecnologías.

2.1.9. Esquema de implementación PLANEE

En un plan de ejecución, es importante establecer los recursos y la programación de las actividades que se desarrollarán. Por tanto, se priorizaron las principales acciones en tres etapas distintas, las cuales se describen a continuación:

- Etapa I (2017-2020). Son todas aquellas acciones, programas y proyectos que actualmente se desarrollan a nivel Nacional [Miranda, 2020].
- Etapa II (2020-2030). Se consideran todas aquellas acciones, programas y proyectos que tienen una facilidad media de implementación: identificación de los actores responsables de ejecutarlos y de los recursos necesarios para hacerlo, en el periodo establecido en el figura 2.1 [Miranda, 2020].



Figura 2.1 – PLANEE Etapa II 2020-2030.

Fuente: PLANEE.

- Etapa III (2030-2035). Se consideran aquellas acciones que requieren apoyo interinstitucional, apoyos financieros, eficiencia energética, cambios estructurales institucionales y del marco jurídico, sistema de información, identificación de usos finales, para que se puedan cumplir con los plazos establecidos en la figura 2.2 [Miranda, 2020].

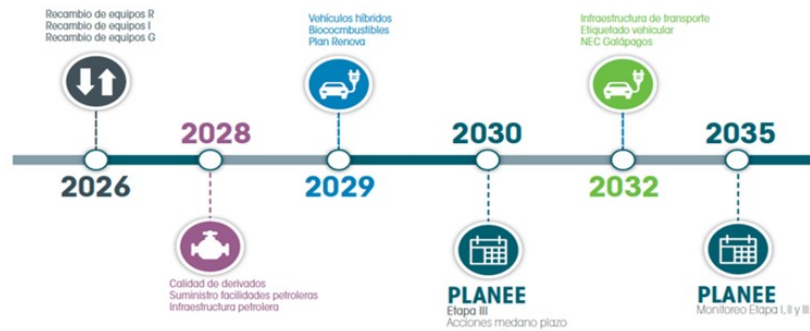


Figura 2.2 – PLANEE Etapa III 2030-2035.
Fuente: PLANEE.

2.2. Historia de los vehículos

El automotor que se observa en la figura 2.3, es un auto eléctrico de 1915, uno de los cerca de 40.000 producidos por la estadounidense Anderson Electric Car Company en Detroit entre 1906 y 1940.

Alcanzaba una velocidad máxima de unos 40 kilómetros por hora, con una autonomía de 80 kilómetros, antes de que necesitara una recarga de sus baterías de plomo.



Figura 2.3 – Primer auto eléctrico en el año 1915.
Fuente: <https://elnoti.com>.

2.3. Evolución

El boom del automóvil data sus inicios en el año de 1890. Muchos cambiaron sus carrozas haladas por caballos por autos con motor de combustible, como el creado por Karl Benz.

- **La primera gasolinera en el mundo.** Los orígenes de las estaciones de servicio o comúnmente llamadas gasolineras van de la mano con la creación de los primeros automóviles, impulsados con motor de combustible líquido. Karl Friedrich Benz, fue un ingeniero mecánico alemán, diseñador e inventor del primer automóvil. En el año de 1878 desarrolló un motor de dos tiempos y, posteriormente uno de cuatro tiempos. En 1885 dio mejoras al motor equipado con un propulsor de combustión interna, el cual fue denominado el Benz Motorwagen n°3, que era un triciclo con la rueda delantera dirigible que podemos observar en la figura 2.4. El 29 de enero de 1886, este vehículo fue patentado en Alemania con número 37455, otorgado por su funcionalidad y diseño.



Figura 2.4 – Benz Motorwagen 1886, el primer auto de la historia.
Fuente: <https://www.daimler.com>.

En agosto de 1888, convencida del éxito del nuevo automóvil, la señora Bertha Benz emprendió un viaje junto a sus dos hijos adolescentes, iniciando lo que sería el primer viaje interurbano en automóvil y el primero más largo de la historia. Durante el recorrido se presentaron numerosos contratiempos que tuvo que sortear la Sra. Benz con inteligencia y astucia, como fue la limpieza de la tubería que administraba combustible al motor, el cambio de los forros que cubrían los frenos, entre otros. Posteriormente, y debido a la longitud del viaje, tuvo que realizar una parada en una pequeña farmacia en la ciudad de Wiesloch 11 como se aprecia en la figura 2.5, para abastecerse de combustible, ligroin, un derivado de hidrocarburo que servía como limpiador y que le ayudaría a mezclarlo en el motor. A medida que se normalizó el uso de automóviles en la sociedad fueron creciendo los puntos de venta de combustible. La primera guía de gasolineras se publicó en Alemania en el año 1909. Esta guía contaba con más de 2000 puntos de venta entre los que se encontraban droguerías, tiendas de bicicletas y casas de hospedaje [López y Basanta, 2015].



Figura 2.5 – Farmacia de Wiesloch.
Fuente: <https://lilemus.wordpress.com>.

- **La primera gasolinera en Estados Unidos.** América del Norte en la ciudad de Seattle, Estado de Washington, en el año de 1907, surgió la primera gasolinera establecida como tal, por la compañía Standard Oil of California, hoy en día conocida como Chevron Corporation. Debido a que el auge de automóviles aumentaba considerablemente, se percibió la necesidad de incrementar el número de gasolineras para expendir el combustible. En años posteriores, se fueron instalando más surtidores de combustibles en los diferentes estados por parte de la Standard Oil, e incluso cruzando fronteras hacia México, Alemania, Reino Unido, Europa, entre otros países [Campoverde y Pérez, 2013].



Figura 2.6 – Las primeras bombas de gasolina.
Fuente: [Campoverde y Pérez, 2013].

- **En México.** En el año de 1923 procedente de Milwaukee, Wisconsin, llega a México Walter Frank Siebold para establecerse en esa ciudad y ofrecer un servicio de gasolinera tal como se ve en la figura 2.7.



Figura 2.7 – La primera gasolinera en México.

Fuente: <https://aprende.mexico.com>.

- **En America Sur.** Entre los años 1935 y 1970 ya se habían asentado las estaciones de servicio en Venezuela, Perú, Chile, Brasil, Uruguay, Paraguay y, en Ecuador, en el año 1960 la empresa Petrolera TEXACO construyó las primeras estaciones de servicio de combustible.

2.4. La movilidad eléctrica y la revolución silenciosa

El desafío de reemplazar el parque automotor actual consiste en un cambio de paradigma e interés de los seres humanos en el cambio del tipo de energía primaria del transporte terrestre, aéreos, marítimos y todo tipo de proceso que se pueda migrar del consumo de combustibles provenientes de recursos fósiles, estudiando casos de incorporación de vehículos eléctricos de transporte público de algunos países de la región, EE. UU y España, además de cómo se está desarrollando la electromovilidad en Ecuador. El proceso está en marcha hace ya unos años, aunque no nos terminamos de enterar. La movilidad eléctrica ha ido introduciendo nuevos actores en nuestras vidas, pero ha sido de forma tan paulatina sin darnos cuenta, sin embargo, están ahí, dando forma a la nueva movilidad sin emisiones [Sebastián, 2019].

2.5. Contexto regional de la movilidad eléctrica

La región está estructurando rápidamente planes de descarbonización, estrategias de movilidad y otros elementos normativos que potencian y aceleran la transición hacia modelos sostenibles, tanto del sector energético como del transporte.

2.5.1. Estados Unidos

- **Política pública y marco legal.** Las leyes y políticas públicas están enfocadas en medidas o tienen por objetivo reducir las emisiones de CO₂, también tiene una fuerte carga geopolítica, económica y de competitividad tecnológica. Se busca posicionar a Estados Unidos como líder en el desarrollo y la fabricación de vehículos, el presidente ha dicho que necesitan crear puestos de trabajo bien remunerados y sindicalizados en nuestro país, liderar los vehículos eléctricos en todo el mundo y ahorrar dinero a los consumidores estadounidenses. Como consecuencia de esta tendencia, Estados Unidos se está apresurando para tomar la delantera invirtiendo fuertemente en todo lo que rodea al vehículo eléctrico, desde la fabricación y montaje final de piezas y componentes en territorio nacional (por ejemplo, nuevas fábricas de baterías y motores) hasta la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan reducir la dependencia de terceros países en ciertas materias primas, como el litio, el cobalto o las tierras raras.
- **Vehículos eléctricos e infraestructura de carga.** En Estados Unidos se han vendido, desde 1999 y 2010 respectivamente, unos 5,4 millones de coches híbridos y 1,4 millones de coches eléctricos siendo su principal constructor el fabricante de autos eléctricos Tesla, (ver figura 2.8). Según datos del Departamento de Energía, ahora mismo hay disponibles 90.000 enchufes en aproximadamente 28.000 estaciones de recarga, aunque no todos funcionan igual. Uno de cada cinco es exclusivo de la empresa Tesla y, del resto, uno de cada 10 es capaz de cargar rápidamente la batería para un viaje largo.



Figura 2.8 – Vehículo eléctrico de Tesla.
Fuente: <https://www.elagoradiario.com>.

- **Transporte público eléctrico.** El Departamento de Transporte de Los Ángeles (LADOT por su sigla en inglés) realizó el mayor pedido de buses eléctricos en la historia de los EE. UU., de los cuales 134 unidades son de la marca BYD. California vuelve a liderar el camino para la regulación ambiental en Estados

Unidos. Hoy, el estado de la costa oeste impulsa un plan de transición para tener en 2040 una flota totalmente eléctrica de autobuses públicos. La ciudad de Nueva York planea transformar su flota de autobuses públicos para hacerla 100 % eléctrica para el año 2040.

2.5.2. Brasil

- **Política pública y marco legal.** Brasil es uno de los mayores fabricantes de vehículos en el mundo. El país ha apostado por incorporar biocombustibles para abastecer el transporte predominantemente, etanol. Como consecuencia, los vehículos de combustible flexible, en los últimos 15 años, han aumentado a más del 60 % de los automóviles, y vehículos comerciales ligeros en Brasil funcionan con motores de combustible flexible, lo que representa 35 millones de automóviles [Silveira y Cocco, 2013]. En mayo de 2018, un frente parlamentario para la defensa de la movilidad eléctrica en Brasil fue establecido en donde uno de los objetivos de este frente es crear una Política Eléctrica Nacional, entre otras está los vehículos eléctricos están exentos del arancel de importación del 35 % y los híbridos tienen una reducción que oscila entre el 0 % y el 7 % [Avances, 2013].
- **Vehículos eléctricos e infraestructura de carga.** En Brasil se registran dos asociaciones promotoras de la movilidad eléctrica: primero, la Asociación Brasileña de Vehículos Eléctricos (ABVE) y, segundo, la Asociación de Propietarios de Vehículos Eléctricos Innovadores (ABRAVEi). Este año, EDP (compañía eléctrica) y BMW Brasil inauguraron un corredor de carga de vehículos eléctricos interestatal rápido de 434 km, similar al que se puede ver en la figura 2.9, que conecta Sao Paulo y Río de Janeiro, lo que convierte este corredor de carga de vehículos eléctricos el más grande de América Latina. Un consorcio privado entre el fabricante chino de vehículos eléctricos BYD y el fabricante local de autobuses Marcopolo ya comenzó a producir autobuses a batería eléctrica en Brasil [Cubides, 2018].



Figura 2.9 – Centros de carga rápida de la ruta eléctrica que une Sao Paulo con Río de Janeiro.

Fuente: [Avances, 2013].

- **Transporte público eléctrico.** A partir de abril de 2018, dos de estos autobuses eléctricos han comenzado a operar en Campinas, donde se producen los autobuses eléctricos [Silva, 2020]. Otro proyecto piloto de autobuses eléctricos ya está en funcionamiento en Río de Janeiro [Vasconcelos, 2020]. En términos de taxis eléctricos, hay proyectos piloto en Sao Paulo (2013), Río de Janeiro (2014), Campinas (2015), Belo Horizonte (2017), y la ciudad de Palmas y Curitiba también planean introducir taxis eléctricos [Marchán y Viscidi, 2015].

2.5.3. Costa Rica

- **Política pública y marco legal.** Costa Rica es el primer país de la región que aprobó una ley integral para promover el transporte eléctrico, localmente conocida como Ley 9518. La ley propicia la adquisición de vehículos eléctricos en licitaciones públicas del Estado, y establece la meta para electrificar, al menos, el 5% de la flota de autobuses cada dos años. Asimismo, delega al Estado la implementación de la infraestructura de recarga. También abre la puerta a asociaciones público privadas para el despliegue de puntos de recarga. El objetivo de la ley es el uso de automóviles 100% eléctricos [Avances, 2013].
- **Vehículos eléctricos e infraestructura de carga.** Actualmente, este país cuenta con cuatro modelos comerciales de vehículos eléctricos disponibles en el mercado: BMW i3, Nissan Leaf, Hyundai Ioniq y un modelo de BYD, por otro lado, Costa Rica cuenta también con Teslas importados de forma independiente. A inicios de diciembre 2018, GrupoICE (grupo de empresas eléctricas del Estado), lanzó su flota de 100 vehículos eléctricos de baterías y anunció la colocación 110 centros de carga para vehículos eléctricos en las instalaciones de la Empresa a lo largo del país, tal como se observa en la figura 2.10.

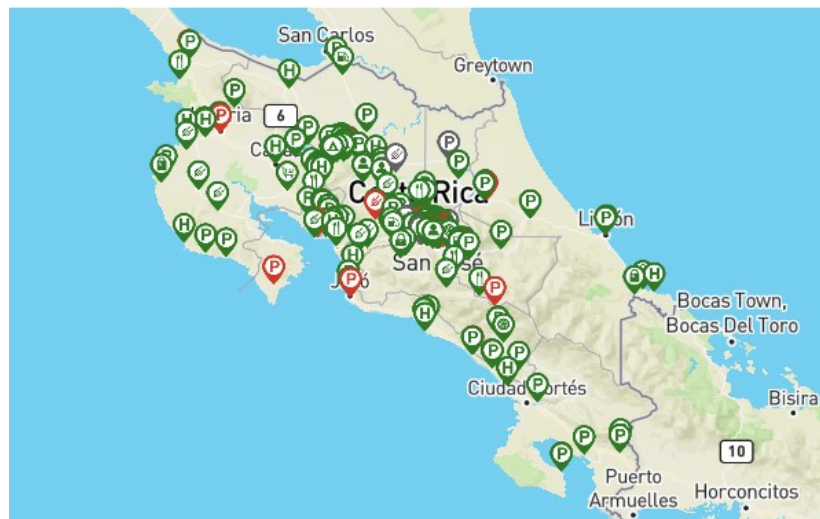


Figura 2.10 – Puntos de recarga en Costa Rica.

Fuente: <https://www.electromaps.com>.

- **Transporte público eléctrico.** En junio de 2018, se lanzó una iniciativa público privada (conocida como IETP-Bus) para promover y coordinar la introducción de buses en Costa Rica. Esta iniciativa cuenta con el apoyo del MINAE, el Ministerio de Transporte de Costa Rica, GrupoICE, ONU Medio Ambiente, la Agencia Alemana de Cooperación GIZ, Fundación CRUSA, el Banco Interamericano de Desarrollo, así como agrupaciones de sociedad civil, tal como Costa Rica Limpia y ASOMOVE. La ONU Medio Ambiente, con el apoyo de la Fundación CRUSA, brinda asistencia técnica para crear las condiciones habilitantes para una mejora comercial de los autobuses eléctricos en este país [Ventura, 2019].

2.5.4. Chile

- **Política pública y marco legal.** Chile se ha convertido en un referente para la movilidad eléctrica en América Latina, este país lanzó la estrategia nacional y un Consorcio de movilidad eléctrica, el cual tendrá una de las mayores flotas de autobuses eléctricos del mundo después de China. Chile tiene uno de los programas de etiquetado de ahorro de combustible más antiguos en la región, que se ha expandido a vehículos eléctricos. La estrategia nacional de movilidad eléctrica de Chile fue el resultado del trabajo de tres ministerios: energía, medio ambiente y transporte. A pesar de tener menos de 200 vehículos eléctricos en 2017, la estrategia plantea el objetivo de electrificar el 100 % del transporte público, y el 40 % de los vehículos privados para el 2050. Además, la Ruta Energética 2018-2022 fue lanzada por el Ministerio de Energía de Chile en mayo de 2018, con la meta de aumentar diez veces la flota actual de vehículos eléctricos en el país para 2022, la misma que también define la regulación y estandarización de la carga de vehículos eléctricos y su interoperabilidad como prioridad [Chesta, 2013].
- **Vehículos eléctricos e infraestructura de carga.** Con respecto a la carga de vehículos eléctricos, la empresa Enel ha instalado una red de 27 estaciones de carga públicas y privadas en Santiago, Valparaíso, Viña del Mar y Concepción (incluidos centros de carga rápidos y semi-rápidos) desde 2012, las mismas que atenderán a los buses y autos, conforme se ilustra en la figura 2.11. Adicionalmente se está trabajando en una hoja de ruta nacional para la carga de vehículos eléctricos para desplegar unidades de carga pública en estaciones de servicio existentes. La primera etapa de implementación se centrará en Santiago, y la segunda extenderá la cobertura a lugares fuera de la capital. La empresa Engie (otro grupo de electricidad en Chile) ha instalado 10 estaciones de carga públicas adicionales, y se espera que instale 20 más este año. A principios de 2018, la Superintendencia de Electricidad y Combustibles de Chile (SEC) emitió una comunicación oficial que permite que cualquier actividad comercial instale estaciones de recarga públicas de vehículos eléctricos, abriendo el campo a nuevas empresas, además de la de distribución de electricidad y las empresas minoristas [Ruz y Piñeiro, 2013].



Figura 2.11 – Buses eléctricos de baterías destinados a operar en Santiago de Chile.

Fuente: <https://ecoinventos.com>.

- **Transporte público eléctrico.** El principal impulso para la movilidad eléctrica en Chile se centra en los autobuses eléctricos. La empresa Transantiago, la entidad pública a cargo de operar el sistema de autobuses en la capital de Chile, comenzó a probar el primer autobús eléctrico gracias a una alianza entre Enel y el fabricante chino BYD. El primer bus eléctrico comenzó a funcionar en mayo de 2016 y más de 10.000 pasajeros lo han usado hasta ahora, En julio de 2018, Enel, Metbus (operador de autobuses) y BYD anunciaron una asociación para introducir 100 buses eléctricos más para operar en Transantiago, y como parte de esta iniciativa, 30 conductores de autobuses han sido capacitados para operar buses eléctricos. En julio de 2018, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) de Chile aprobó la operación de 60 taxis eléctricos en Santiago, el 50 % será propiedad de Engie, además está desarrollando otra licitación para introducir 125 taxis eléctricos más en Valparaíso. Chile ha estado experimentando con taxis eléctricos desde 2015, a través de un proyecto piloto liderado por Enel [Barra y González, 2020].

2.5.5. España

- **Política pública y marco legal.** El gobierno español lanzará inmediatamente un paquete regulatorio para impulsar y facilitar la movilidad eléctrica en el país, para lo que se está trabajando en un marco legal que saldrá en breve a consulta pública. En concreto, se lanzará un Real Decreto de regulación de puntos de recarga y mantenimiento de instalaciones, así como otro informativo para conocer dónde hay puntos de recarga, el tiempo y sus costes [Ezcurra, 2015]. El plan MOVES III está presupuestado por 400 millones de euros, cuyo objetivo es alcanzar los 250.000 vehículos eléctricos para 2023, así como los 100.000 puntos de recarga [Press, 2015]. Con respecto a los reglamentos para la electromovilidad en España, se establecen normas de comportamiento en materia de emisiones de los turismos nuevos como parte del enfoque integrado de la Comunidad para reducir las emisiones de CO₂ de los vehículos ligeros, relativa a la promoción de

vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes. En los garaje comunitarios, se evita la necesidad de una votación a la hora de instalar un punto de recarga, estableciendo la metodología de cálculo de los precios para el pequeño consumidor de energía eléctrica y su régimen jurídico de contratación, en que se encuentra la del vehículo eléctrico.

- **Vehículos eléctricos e infraestructura de carga.** En España, la planificación de infraestructuras de recarga para vehículo eléctricos principalmente impulsa su desarrollo comenzando en las zonas urbanas, y en las vías de interconexión entre ciudades, como por ejemplo, el centro de carga instalado en el sector de Alcobendas, como se puede apreciar en al figura 2.12. Sin embargo, hay muchas vías secundarias y otras zonas en el interior del país que apenas cuentan con la posibilidad de acceder a un punto de recarga de acceso público, es más, se puede estimar que casi el 45% de los puntos de carga se concentran en Madrid y Barcelona.



Figura 2.12 – Puntos de recarga en el zona norte de Madrid-Alcobendas.
Fuente: <https://movilidadeléctrica.com/puntos-de-carga-alcobendas/>

- **Transporte público eléctrico.** Varias ciudades españolas han realizado pedidos de autobuses eléctricos a BYD, destacando el lote de 15 vehículos por parte de EMT Madrid del pasado mayo. Es la primera vez que el operador de transporte público de la capital hace un pedido de buses eléctricos puros al fabricante chino; la entrega de la nueva flota está programada para principios de 2020. Este contrato es el último que ha firmado la compañía china tras una serie de pedidos importantes por toda España, con Barcelona, Valencia y Badajoz entre sus compradores. Iberdrola prevé instalar estaciones de recarga de vehículos eléctricos en las principales autovías y corredores de España, así como en los espacios de acceso público de las principales ciudades. El plan, que incluye la puesta en marcha de al menos una estación de recarga rápida cada 50 km, permitirá viajar por todo el país con autonomía [Barra y González, 2020].

2.6. Movilidad eléctrica a nivel nacional

En esta sección, se describe la situación actual de la movilidad eléctrica en Ecuador, las marcas de vehículos que están transitando en el territorio y su desarrollo comercial.

2.6.1. Situación actual

Ecuador es un país ideal para la movilidad eléctrica, porque su capacidad de generación de energía a través de sus hidroeléctricas es de un 90 % de su demanda total, y su superficie territorial requiere relativamente de pocas electrolineras para abastecer los vehículos eléctricos en sus recorridos. Sin embargo se observa escaso interés de los gobernantes en la electromovilidad, ya que es necesarios dos focos más donde se debe trabajar para promover la movilidad sustentable: el financiamiento y la instalación de una red de carga. Las tasas de financiamiento pueden llegar al 20 % tanto para el sector privado como público y además exigen garantías de 120 %. No existe aún una normativa nacional que estipule una homologación de cargadores de los vehículos eléctricos. Como muestra, hasta agosto de 2020, en Ecuador se habían matriculado apenas 485 vehículos eléctricos, lo que representa menos del 0.02 % del parque automotor; mientras que, en ningún año, los enchufables habían logrado acaparar más del 0.2 % de las ventas totales del mercado automotriz.

- Marcas y modelos de vehículos 100 % eléctricos en Ecuador.** Los modelos de los vehículos 100 % eléctricos actualmente son seis en el país, los cuales son: 1.- KIA con su modelo SOUL con un precio de \$30.990, 2.- Renault con el modelo Twizy con un precio de \$14.990, 3.- Nissan Leaf con un costo de \$35000, 4.- BYD E5 con un costo de \$36.000,00, 5.- el suv Skywell que lo comercializa Mavesa con un costo de \$43.000,00, 6.- la camioneta doble cabina Dongfeng con un valor de \$40.000,00. El numero de vehículos eléctricos vendidos en Ecuador se ilustra en la figura 2.13.

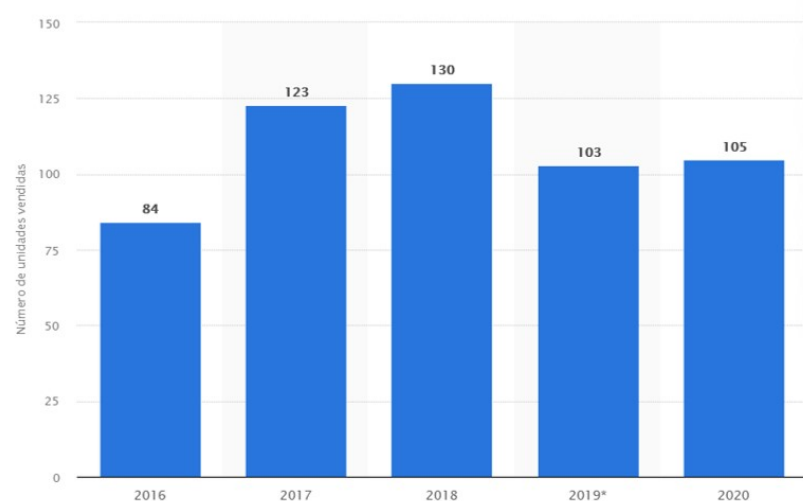


Figura 2.13 – Número de VE vendidos en Ecuador de 2016 a 2020.

Fuente: <https://es.statista.com>.

- **Ecuador, el país ideal para la movilidad eléctrica.** En este sentido, el representante de BYD enumera tres características del país que lo hace perfecto para el desarrollo de la electromovilidad y debe ser prioridad para las autoridades.
 - i) La mala calidad del combustible. A esto se le suma que el sector del transporte es el que más los consume (más del 70 % de los combustibles del país).
 - ii) El 90 % de la electricidad proviene de hidroeléctricas. Es decir, la generación eléctrica está basado en fuentes renovables.
 - iii) El tamaño del país permite tener muy pocos cargadores rápidos a nivel nacional para conectar todo el territorio. En consecuencia, se requiere poca inversión. Por último, la movilidad eléctrica no es solo un tema ambiental, sino también social y macroeconómico. Con la movilidad eléctrica, no compraríamos combustible, entonces, no se obtendría divisas y las que quedan se invierten en electricidad generada en Ecuador. Ese dinero se queda en la economía y la fortalece.

2.6.2. El vehículo eléctrico y la comercialización de la energía

El interesado en instalar una estación de carga para vehículos eléctricos, deberá firmar un contrato de suministro como proveedor del servicio de carga con la empresa que realice la actividad de comercialización de energía y tendrá como requisito un depósito que consiste en una garantía al momento de la suscripción del contrato, cuyo valor máximo será el equivalente a un mes de consumo, calculado sobre la base de la demanda declarada, aplicando la tarifa vigente. Así mismo, la instalación de carga de vehículos eléctricos deberá presentar a la empresa distribuidora los siguientes requisitos:

- Solicitud de factibilidad del servicio de energía eléctrica conforme a los requerimientos de la distribuidora.
- Documentación que acredite propiedad, dominio, posesión o arrendamiento del bien inmueble donde se emplazaría la estación de carga de vehículos eléctricos. Para el caso de arrendamiento, se requiere autorización escrita del propietario del inmueble.
- RUC de la persona natural o jurídica, debidamente inscrito en el Servicio de Rentas Internas (SRI) del Ecuador para realizar dicha actividad.
- Certificado de compatibilidad de uso de suelo que habilite el emplazamiento de una estación de carga, emitido por el Gobierno Autónomo Descentralizado de la localidad o la autoridad competente que corresponda.
- Plano de ubicación georeferenciado del predio en donde se pretende emplazar la estación de carga de vehículos eléctricos.
- Para el caso de personas jurídicas: la constitución de la empresa debidamente registrada en la Superintendencia de Compañías y nombramiento del Representante Legal.
- Diseño eléctrico del proyecto de la estación de carga.
- De ser caso, el permiso ambiental expedido por la autoridad competente.

Todos estos requisitos deberán tener muy en cuenta la normativa sobre calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica.

Por otro lado, las responsabilidades del proveedor del servicio de carga, distribuidora y ARCENNR son las siguientes:

■ **Proveedora del servicio de carga.**

- i) Instalar a su costo toda la infraestructura eléctrica asociada a la estación de carga (establecida en el diseño eléctrico).
- ii) Cumplir con la normativa técnica y estándares nacionales e internacionales en la instalación y operación de las estaciones de carga. Contar con las condiciones de seguridad y protecciones reglamentarias para los usuarios de las estaciones de carga, de acuerdo con las normas técnicas aplicables.
- iii) Instalar en cada módulo de carga de vehículos eléctricos, los equipos de medición, control y protección necesarios para este servicio.
- iv) Brindar el mantenimiento adecuado de las instalaciones eléctricas internas y obras civiles.
- v) Atender los reclamos de los usuarios del servicio de carga de vehículos eléctrico.
- vi) Ejecutar las acciones correctivas que correspondan a fin cumplir los requerimientos técnicos y comerciales.
- vii) Cumplir con las exigencias establecidas en la presente regulación.

■ **Distribuidora.**

- i) Revisar y aprobar los diseño y construcción de la estación de carga.
- ii) Remitir la ubicación georeferenciada y potencia de las estaciones de carga en su área de servicio.
- iii) Evaluar e informar a la ARCENNR sobre el cumplimiento de los requerimientos técnicos referentes a la prestación del servicio de carga de vehículos eléctricos.

■ **ARCENNR.**

- i) Dirimir las controversias entre el prestador del servicio de carga y los usuarios.
- ii) Aplicar las sanciones que correspondan por los incumplimientos a la normativa aplicable para el servicio de carga.

2.7. Tecnologías limpias en el sector del transporte público

Todos los gobiernos del mundo están adoptando la electromovilidad con el objetivo de reducir los GEI, mejorar la calidad del aire y hacerles frente a los cambios climáticos que producen pérdidas materiales y humanas, enfocando todas las políticas, leyes e incentivos económicos en la reducción de consumo de combustibles fósiles y mejoramiento de la calidad de los vehículos de uso masivo de transporte público.

2.7.1. El vehículo eléctrico

Los vehículos eléctricos actualmente están constituidos por uno o más motores eléctricos o de tracción para la propulsión. Existen tres modelos fundamentales de vehículos, los que se alimentan directamente de una estación de alimentación externa, con electricidad de sistema de almacenamiento como una batería, y los que funcionan a partir de un generador acoplado un motor de combustión de un vehículo (híbrido) o una célula de combustible de hidrógeno.

2.7.2. Tipos de vehículos eléctricos

En esta sección, se describen las principales tecnologías actualmente implementada alrededor del mundo, en las diferentes marcas de los constructores de vehículos híbridos y 100 % eléctricos.

- **Vehículo eléctrico híbrido (VHE)**. Es un vehículo que tiene la capacidad de ser impulsado por dos motores de distintas tecnologías, como se puede apreciar en la figura 2.14, un motor de combustión y un motor eléctrico. El funcionamiento de los motores es alternado ambas fuentes de energía, optimizando el consumo de combustible y reduciendo las emisiones de CO₂. La diferencia con un auto convencional (combustión), es que el mismo está compuesto por un generador que transforma la energía cinética que se genera cada vez que se actúan los frenos en energía eléctrica, la misma que es almacenada en un banco de baterías y que es controlado por un sistema de gestión, el mismo que actúa tomando las decisiones más eficientes en cada momento de su funcionamiento [Muevecela, 2018].

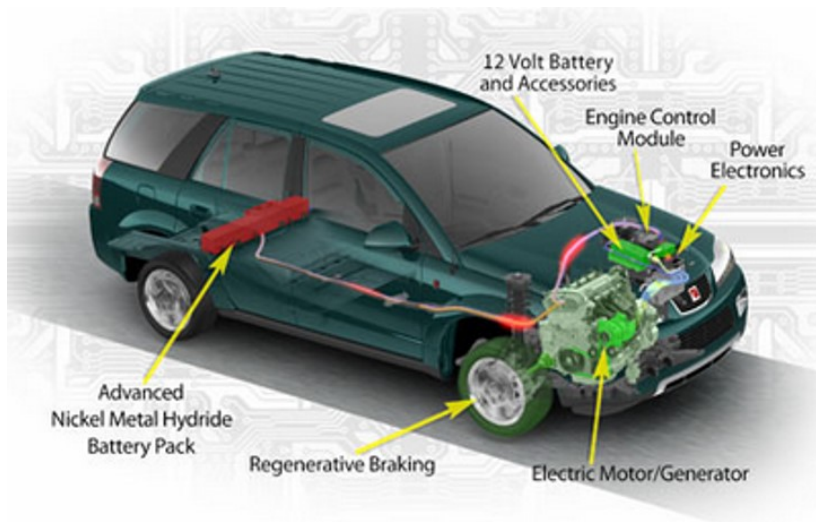


Figura 2.14 – Sistemas de vehículos híbridos.
Fuente: [Muevecela, 2018].

Los frenos regenerativos aprovechan el 30 % de energía que se pierde en forma de calor, convirtiéndola de energía cinética en eléctrica. Los sistemas híbridos están compuestos por arreglos serie, combinado y paralelo [Osses, 2013].

- El modelo serie está conectado el motor de combustión en serie con el motor eléctrico, y la tracción la ejecuta el motor eléctrico.
- El combinado trabaja de tal forma que, a bajas velocidades solo funciona el motor eléctrico, mientras que a altas velocidades ambos trabajan en conjunto.
- En el paralelo el motor de combustión y el eléctrico realizan la tracción de manera independiente o acoplados, tal como se aprecia en el figura 2.15.

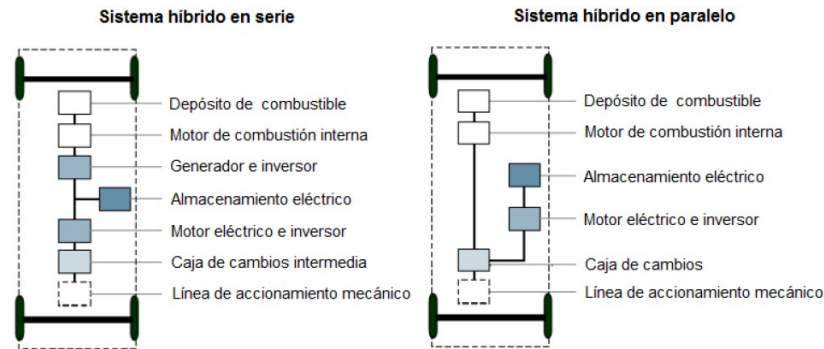


Figura 2.15 – Sistemas de vehículos híbrido serie y paralelo.

Fuente: [Osses, 2013].

- **Vehículo eléctrico enchufable.** Los vehículos 100 % eléctricos se alimentan de la energía del banco de baterías recargables que tienen en su mayoría instalados en el piso, y cuyo objetivo es cumplir con una cierta cantidad de kilómetros de autonomía con restricciones que afectan la duración de acuerdo con el peso que lleva, las elevaciones de la carretera por donde va a circular, etc. Básicamente está constituido por una unidad de recarga interna, las baterías, los sistemas de cargadores e inversores y el motor eléctrico como se puede apreciar en la figura 2.16.

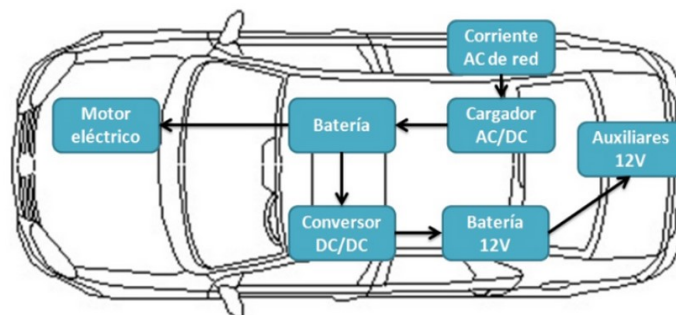


Figura 2.16 – Principales componentes del vehículo eléctrico .

Fuente: <https://www.simonelectric.com>.

- **Vehículo eléctrico de uso masivo.** En el Ecuador, los principales vehículos eléctricos de uso masivo son los taxis, buses de transporte terrestre, tranvia y el transporte aerosuspendido de personas.

- Vehículo eléctrico especial.** La Aerovía, como se observa en la figura 2.17, es un sistema de uso masivo de transportación pública aerosuspendida en Ecuador, que conecta las ciudades de Guayaquil y Durán. El GAD de la ciudad de Guayaquil empezó a tratar el tema en el año 2014, y la construcción empezó en el 2019, entrando en operaciones el 21 de diciembre de 2020. Tiene un recorrido aproximado de 4 km.



Figura 2.17 – Primera línea de la Aerovía en funcionamiento.
Fuente: <https://es.wikipedia.org>.

2.7.3. Convertidor

La electrónica de un vehículo eléctrico está compuesta en resumen por lo descrito en la figura 2.18, en donde se describe el tipo de convertidor, si es AC o DC, si es aislado o no y si el modo de funcionamiento es unidireccional o bidireccional.

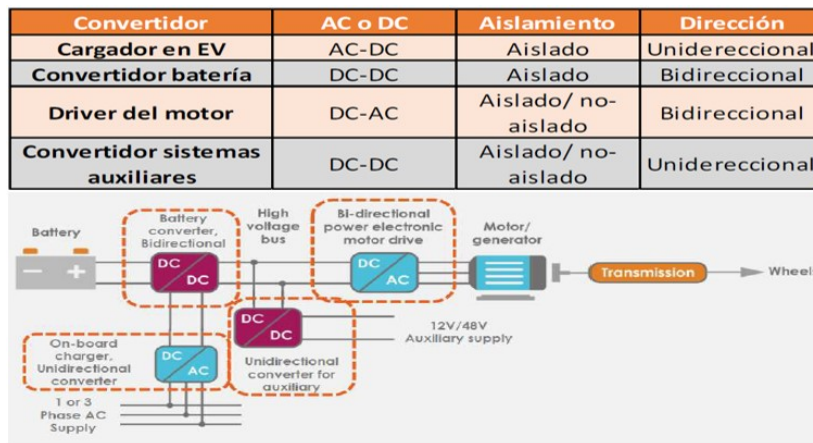


Figura 2.18 – Convertidor de un VE.
Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

2.7.4. Baterías

La batería de un vehículo eléctrico es un equipo que acumula energía que almacena electricidad, la misma que será transmitida al motor eléctrico ya sea de tecnología continua o alterna para producir el movimiento del medio de transporte. Particularidades:

- Densidad (Wh/kg): A mayor densidad energética, mayor cantidad de almacenamiento y mayor autonomía del vehículo.
- Potencia (W/kg): A mayor potencia, mejores bondades del vehículo.
- Eficiencia: Es el rendimiento de la batería que es capaz de entregar, que es directamente proporcional a la energía acumulada en el proceso de carga.
- Ciclo de vida: Número de veces que puede ser cargada y descargada antes de que sea desechada.
- Velocidad de carga: Hay 4 tipos de carga:
 - Ultrarrápida (5 - 8 min)
 - Rápida (10 - 40 min)
 - Semi-rápida (1.5 a 3 horas)
 - Lenta (5-8 horas)
- **Funcionamiento.** Es un dispositivo que almacena energía química para ser entregada después en energía eléctrica, al momento de poner en marcha un equipo que se mueva con electricidad, de tal forma que al poner en operación, como por ejemplo un vehículo eléctrico, específicamente el motor eléctrico fluye electricidad y cierra el circuito, tal como se muestra en la figura 2.19.

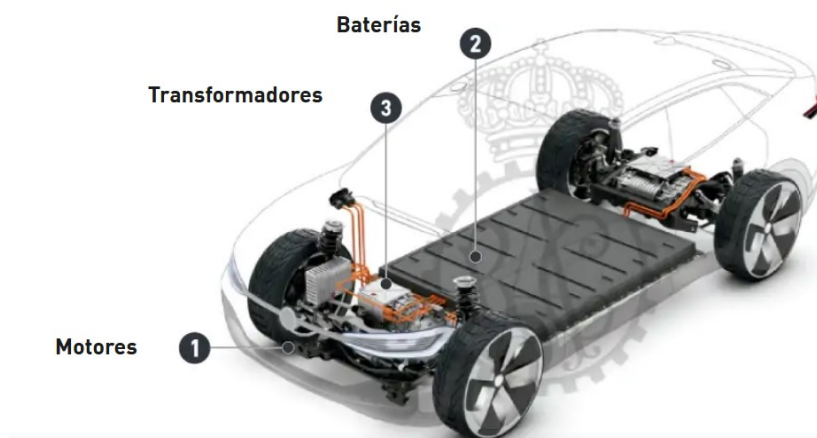


Figura 2.19 – Ubicación de banco de baterías en el VE.

Fuente: <https://www.race.es>.

- **BMS (Battery Management System).** El funcionamiento principal de un BMS o sistema de gestión de batería, como se puede apreciar en la figura 2.20, es asegurarse de la correcta operación del banco de baterías monitoreando y controlando los siguientes parámetros [Valencia y Grisales, 2017]:
 - Adquisición de datos.
 - Resolución del estado de la batería.
 - Vigilar la carga y descarga de la batería.

- Administración térmica y de seguridad.
- Comunicación con la interfaz de usuario.
- Equilibrio electrónico del sistema de control. En la figura 2.15, podemos observar los bloques de un BMS y la relación entre los mismos.

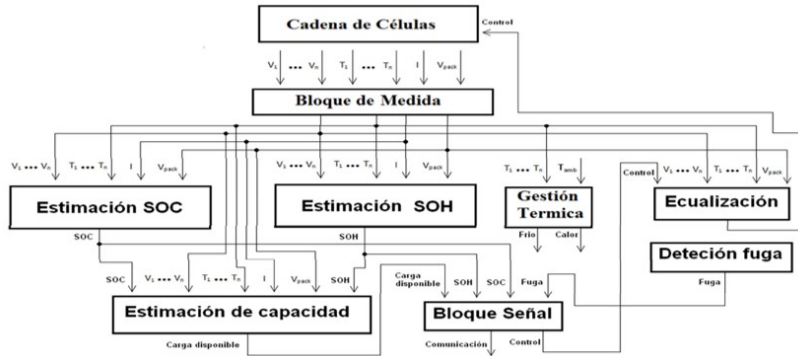


Figura 2.20 – Diagrama de bloques del BMS.
Fuente: [Valencia y Grisales, 2017].

• Tipos de BMS

- **Centralizado.** El monitoreo es realizado por un solo controlador mediante numerosos cables hacia cada celda del banco de batería, como se puede apreciar en la figura 2.21.



Figura 2.21 – Diagrama arquitectura centralizada.
Fuente: [Valencia y Grisales, 2017].

- **Distribuido.** El monitoreo es realizado por varios controladores instalados en cada celda, que se comunican con el controlador central en un arreglo maestro esclavo, como se observa en la figura 2.22.

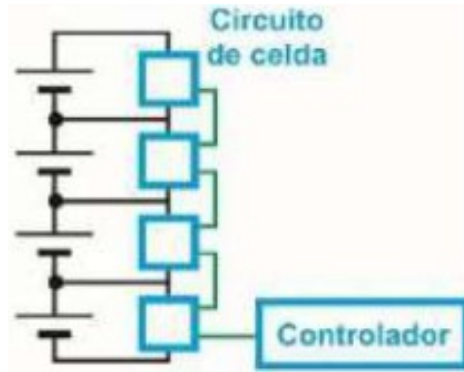


Figura 2.22 – Diagrama arquitectura distribuida.

Fuente: [Valencia y Grisales, 2017].

- **Descripción de los bloques de un BMS.** la función de cada bloque que se describe a continuación:
 - **Bloque de toma de medidas:** Tratándose del monitoreo de un banco de baterías de un vehículo eléctrico, se debe realizar en menos de un segundo, donde los parámetros muestreados son el voltaje, corriente, temperatura de cada celda y la temperatura ambiente.
 - **Detección de fuga:** Por lo general, el voltaje de un banco de batería de los vehículos eléctricos varía entre los 200 y 400 voltios, y una corriente de hasta 1000 amperios. La fuga de corriente en el chasis del vehículo es realmente un gran problema, y una situación de extremo peligro, los sensores que se encargan de medir el aislamiento entre la batería y el chasis (tierra), deben funcionar de tal manera que si el nivel está por debajo de 500 ohm/vol se genera una orden de separar la misma. Cabe destacar que el BMS y los contactores de aislamiento deben estar alimentados de otra fuente de energía.
 - **Bloque de gestión térmica:** La función principal de este bloque es mantener el control de temperatura entre las celdas del banco de baterías.
 - **Estimación de SOC (State of Charge):** Es la capacidad disponible de carga de una batería o banco de baterías, el mismo que puede ser comparado en el caso que hablemos de vehículos eléctricos el porcentaje de carga que tiene la batería con respecto a nivel de combustible que tenga el vehículo de combustión. El SOC es representado como un porcentaje tomando como referencia la carga completa del vehículo que es actualizado periódicamente, las unidades de carga pueden ser Columbios (C), amperios-hora (Ah) o Kilovatios-hora (kWh).
 - **Estimación de SOH (State of Heal):** En un vehículo eléctrico el SOH es la capacidad máxima de la batería en comparación con la capacidad nominal de una nueva, da como información el estado del ciclo de vida. Para calcular este valor se puede usar cualquier parámetro que varíe con la edad, como son la impedancia o conductancia.
 - **Estimación de la capacidad:** Tiene como objetivo principal reducir la corriente de carga y descarga en cada momento, este módulo tiene

comunicación con la unidad de control y, de este modo, la batería está controlada contra cargas y descargas fuera de los límites específicos.

- **Ecualización:** Como las celdas en la fabricación no son idénticas, esta diferencia provoca que no se carguen de manera uniforme, lo que provoca que no todas las celdas se terminen de cargarse al mismo tiempo, para evitar este efecto, este bloque se encargaría de reducir la diferencia de carga entre las celdas. Este equilibrio se consigue de dos maneras:
 - ◇ **Método disipativo:** Iguala la carga a la celda que está menos cargada disipando el exceso a las otras celdas.
 - ◇ **Método activo:** Aprovecha la carga de las más cargadas para cargar las que están menos cargadas.
- **Bloque de señal:** Es el bloque que comunica el BMS con ECU (unidad de control electrónica), mediante los siguientes caminos más frecuentes:
 - ◇ Bus CAN (Control Area Networking)
 - ◇ Cableado directo
 - ◇ DC-Bus
 - ◇ Comunicación inalámbrica

2.7.5. Operación de un vehículo eléctrico

Los vehículos eléctricos son impulsados por uno o más motores ubicados en la transmisión delanteras en algunos modelos y, en otros, en la transmisión trasera, estas configuraciones dependen del fabricante. Los motores consumen energía eléctrica almacenada en las baterías recargables, y la convierte en energía cinética, siendo las principales características las siguientes:

- Fuente de energía únicamente de electricidad.
- Funciona con un motor eléctrico, el mismo que es económico, pequeño y eficiente.
- Poco mantenimiento.
- Sistema de frenado regenerativo.
- Batería para suficiente autonomía.
- Capacidad de carga lenta, semi-rápida y rápida.
- **Modos de carga.** El proceso de carga de un VE tiene diferentes niveles de comunicación entre el vehículo eléctrico y la infraestructura de la red eléctrica que proporciona la carga. Los niveles de comunicación y control de los procesos de carga se lo ha denominado modos de recarga. La configuración de los cargadores de baterías de los vehículos eléctricos está compuesta principalmente por los bloques que se muestran en la figura 2.23.

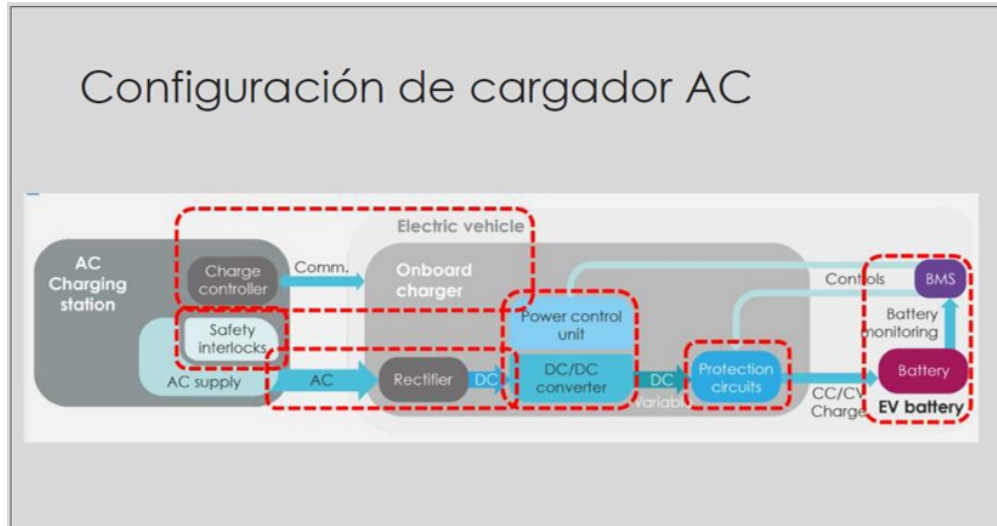


Figura 2.23 – Configuración de cargadores de VE.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución , M.Sc. Jimmy Córdova.

- **Tipos principales de carga de un VE.** Los tipos de carga de un VE son los que se muestran descritos en la figura 2.24.



Figura 2.24 – Tipos de carga de VE.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución , M.Sc. Jimmy Córdova.

- **Tipos principales de voltaje de carga de un VE.** Dependiendo de la rapidez de carga de las condiciones de las baterías , se establecen tres tipos: 1.- Semi-rápida AC: menores o iguales a 22 kW. 2.- Rápida AC: mayores a 22 kW. 3.- Ultra-rápida AC: mayores o iguales a 50 kW.
- **Modos principales de carga de un VE.** Los modos de cargar de un VE son los descritos a continuación:
 - **Modo 1.** Recarga básica de conexión entre el vehículo y la red eléctrica, la misma que realiza a través de una toma de corriente convencional tipo Schuko. En este modo, no se tiene comunicación entre la red de recarga y el

vehículo eléctrico, la corriente máxima que se maneja es 10 Amp (2.3 kW), como se puede apreciar en la figura 2.25.



Figura 2.25 – Modo 1 de recarga de VE.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

- **Modo 2.** A diferencia del modo 1, en este caso existe un sistema de seguridad entre la conexión del VE y la red, en el cable que permite controlar la fiabilidad de la conexión del VE, con potencia máxima de 7.4 kW en tensión monofásica y hasta 22 kW en trifásica, con una corriente máxima de 32 A por fase, como se observa en la figura 2.26.

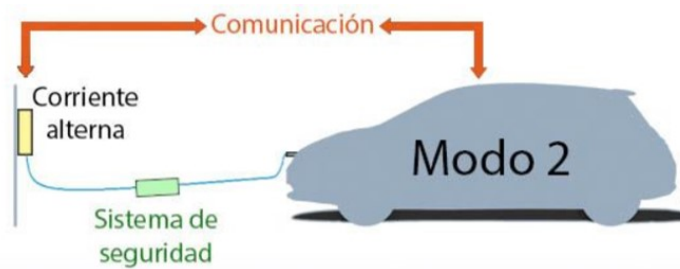


Figura 2.26 – Modo 2 de recarga de VE.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

- **Modo 3.** Se recarga mediante un cargador específico diseñado con una serie de funciones adicionales como la comprobación permanente de la toma a tierra, verificación de conexión correcta, activación y desactivación de carga, y alcanza una potencia máxima de 7.4 kW en tensión monofásica, y hasta 22 kW en trifásica, con una corriente máxima de 32 A por fase, como se puede ilustrar en la figura 2.27.

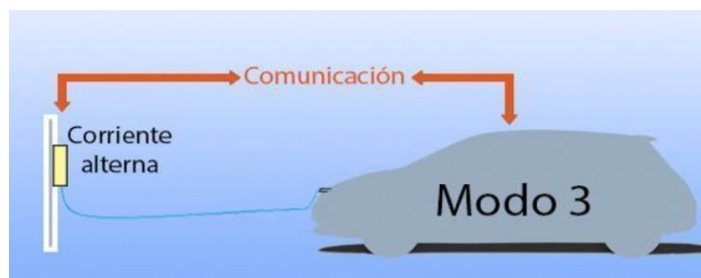


Figura 2.27 – Modo 3 de recarga de VE.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución , M.Sc. Jimmy Córdova.

- **Modo 4.** Tiene las mismas funciones del modo 3, con otras mejoras como la verificación de la conexión correcta, activación y desactivación de carga, así como también poder escoger la potencia de recarga. El modo 4 de recarga no se realiza en CA, en este caso la recarga se realiza en CC, llegando a soportar actualmente potencias de recarga que oscilan entre los 22 y 50 kW, como se puede observar en la figura 2.28.

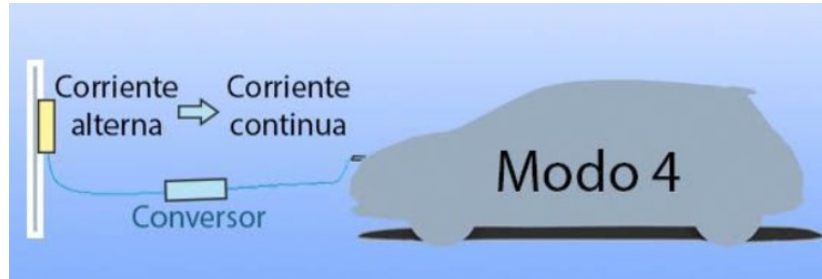


Figura 2.28 – Modo 4 de recarga de VE.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

- **Tipos de conectores.** Los tipos de cargadores para autos eléctricos para la casa, trabajo o de una estación de carga publica se debe tomar en cuenta un aspecto esencial, que el tipo de conector de la estación de carga debe adaptarse al tipo de conector del vehículo eléctrico.
 - **El tipo 1 o conector SAE J1772.** Es un enchufe monofásico y es un estándar dedicado para los vehículos eléctricos de América y Asia, la potencia de carga es de 7.4 kW. En la figura 2.29, como se muestra físicamente cuenta con cinco bornes, dos de corriente, dos complementarios (comunicación con el vehículo) y un último de tierra, en estos conectores se puede utilizar para dos niveles de carga, una carga lenta de 32 amperios y una rápida de 80 amperios.



Figura 2.29 – Conector tipo 1.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

- **El tipo 2 o conector Mennekes.** Puede ser utilizado para uso doméstico, es un enchufe trifásico que tiene la capacidad de cargar al vehículo eléctrico más rápido que el conector tipo 1, como se muestra en la figura 2.30, ya que es de 22 kW. Adicionalmente, el cargador de las estaciones públicas tiene una capacidad de carga de 43 kW. El conector mennekes alcanza los 16 amperios en cargas monofásicas y llega a los 63 amperios en cargas trifásicas.



Figura 2.30 – Conector tipo 2.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución , M.Sc. Jimmy Córdova.

- **El tipo 3 o conector Chademo.** Este sistema es desarrollado en Japón, constan de 10 bornes y está construido para las cargas rápidas en CC, alcanzando 200 amperios (hasta 62.5 kW), como se puede ilustrar en la figura 2.31.



Figura 2.31 – Conector tipo 3.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

- **El tipo 4 o conector CSS.** Está siendo desarrollado para ser utilizado en Europa y Estados Unidos. Como se puede observar en la figura 2.32, consiste en la combinación de un conector de CA, y en la parte inferior 2 bornas de CC, permitiendo la carga de los modos 2, 3 y 4. En CA llega a 63 amperios

y 43 kW como el Mennekes, y en CC podría alcanzar una recarga rápida de 100 kW (aunque actualmente están limitados a 50 kW).



Figura 2.32 – Conector tipo 4.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución , M.Sc. Jimmy Córdova.

▪ **El conector tipo Guobiao GB/T standard o chino.**

En China, bajo la supervisión de la comisión de normalización de Guobiao, se desarrolló un enchufe GB/T en AC, y actualmente es el único que se utiliza en china, cabe señalar que es el país con la red más densa de estaciones de carga y tiene la mayor participación de autos eléctricos en el mundo. A primera vista, el conector parece ser el mismo que el Tipo 2 como lo podemos ver en la figura 2.33, pero los cables del interior están dispuestos en orden inverso, por lo que no son compatibles. Al igual que con la carga de CA, China tiene sus propios estándares para la carga de CC. GB/T está trabajando actualmente con CHAdeMO para desarrollar una tercera generación de conectores que deberían ser capaces de transmitir 900 kW.

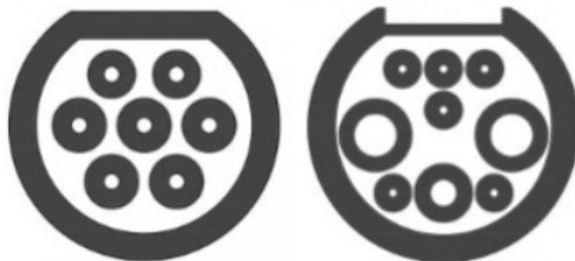


Figura 2.33 – Conector GB/T.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

2.8. Cargadores ultrarrápidos

Los sistemas de carga ultrarrápida conocido por sus siglas HVC (heavy vehicle charge) para buses eléctricos y articulados, están basados en los siguientes estándares:

- SAE
- Oppcharge

2.8.1. Tipos de pantógrafos

El estándar Oppcharge tiene implementado los HVC tipo pantógrafo, de dos formas como se puede apreciar en la figura 2.34:

- En techo
- Invertido



Figura 2.34 – Tipos de pantógrafos.
Fuente: Heliox-Energy.

- **Pantógrafo en techo.** En la figura 2.35, se puede observar que el sistema de carga HVC está instalado en la parte superior del BE. Al momento de llegar a la estación, el bus se estaciona y existe comunicación entre ambos; en ese momento, el mecanismo sube hasta hacer contacto con los polos del sistema de carga DC.



Figura 2.35 – Pantógrafo en techo.
Fuente: <https://new.abb.com>.

- **Pantógrafo invertido.** En la figura 2.36, se muestra que el sistema de carga HVC está instalado en la estación de carga, el bus se estaciona, y existe comunicación entre ambos, en ese momento, el mecanismo baja hasta hacer contacto con los polos, que son 2 regletas que están instalados en la parte superior delantera del BE.



Figura 2.36 – Pantógrafo invertido.
Fuente: <https://new.abb.com>.

- **Sistema automático de conexión ACS.** Es el sistema que controla y monitorea la conexión entre el E-Bus y el dispositivo automático de conexión-ACD (pantógrafo), instalado en la parte superior delantera del vehículo y que tiene un mecanismo que puede ser extensible o retráctil, conectando o desconectando al equipo alimentador del vehículo eléctrico. En la figura 2.37, se observa el sistema de carga DC, el mismo que está compuesto por dos rieles que son los polos (positivo y negativo) del sistema de carga, y el de comunicación que confirma que el BE está dentro de los rangos permitidos para proceder a bajar el pantógrafo.

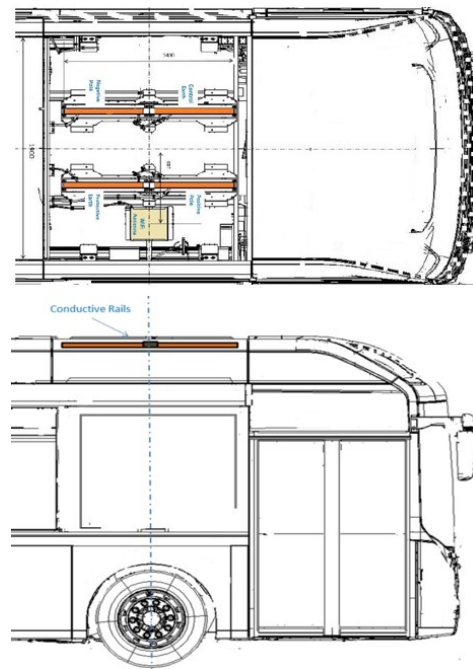


Figura 2.37 – Vista lateral del dispositivo del sistema automático de carga.

Fuente: <https://new.abb.com>.

- **Polos.** El sistema de rieles que está montado en la parte superior del E-Bus está compuesto por 4 polos, como se puede observar en la figura 2.38 y son los siguientes: 1.- positivo, 2.- negativo, 3.- protección de tierra (PE), 4.- control de tierra (CE).

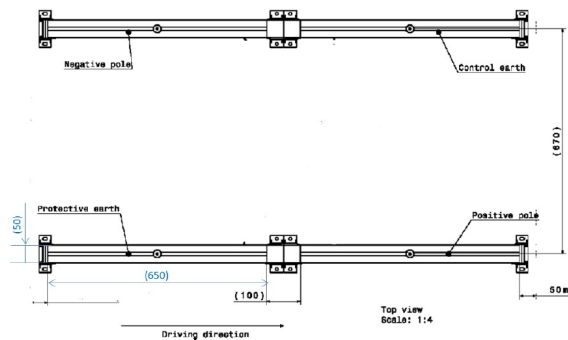


Figura 2.38 – Vista superior de las rieles-polos.

Fuente: OPPCharge.

- **Posición y comunicación Wi-Fi.** Como se observa en la figura 2.39, la posición de la antena wi-fi esta sobre el lado derecho del vehículo, centrado sobre el eje de

la rueda. Para la comunicación entre el ACD y ACS utiliza el medio inalámbrico, el mismo, que trabaja en el rango de 5 GHz ,OPPCharge Wi-Fi y que está basado en los siguientes estándares: 1.- IEEE 802.11 2.- ISO/IEC 15118 3.- IEC 61851-1

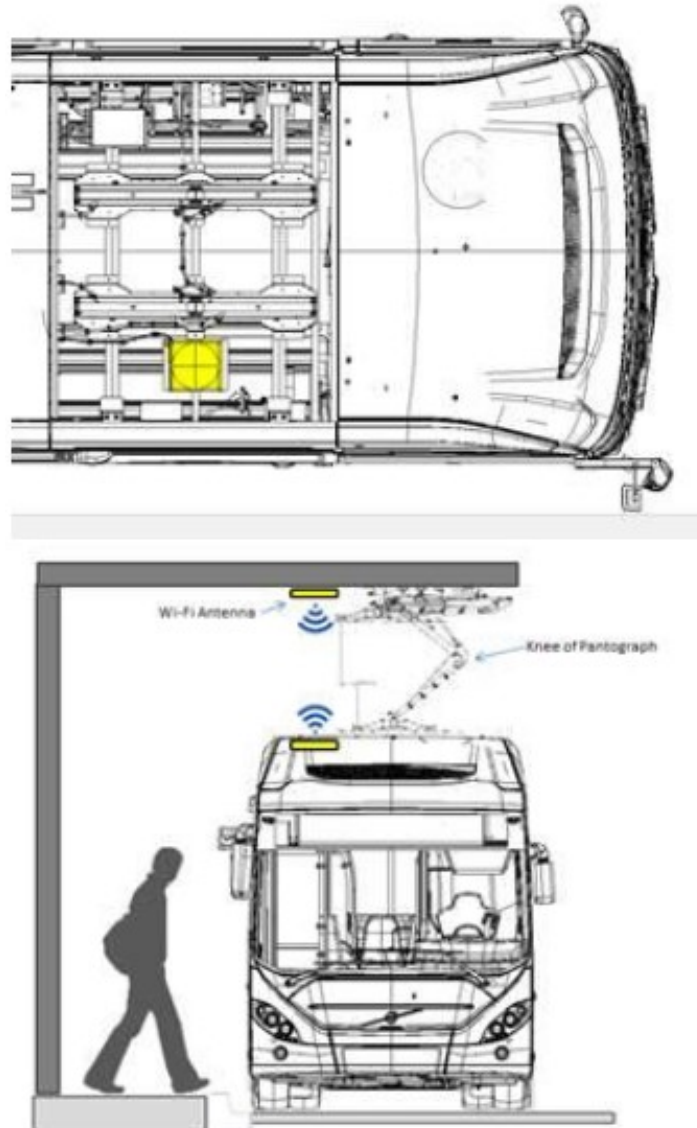


Figura 2.39 – Posición de la antena wi-fi.
Fuente: OPPCharge.

- **Componentes del sistema de control y fuerza.** En la figura 2.40, se puede observar los principales componentes del conjunto de un cargador HVC, los cuales son los siguientes:
 - A: Gabinete de distribución de bajo voltaje.
 - B: Cable de poder.
 - C: Gabinete de 450 kW.

- D: Cable de alimentación desde el gabinete (ACM) de 450 kW hasta el ACS (pantógrafo).
- E: Sistema automático de carga ACS.
- F: Espacio de recarga del E-Bus.
- G: E-Bus.

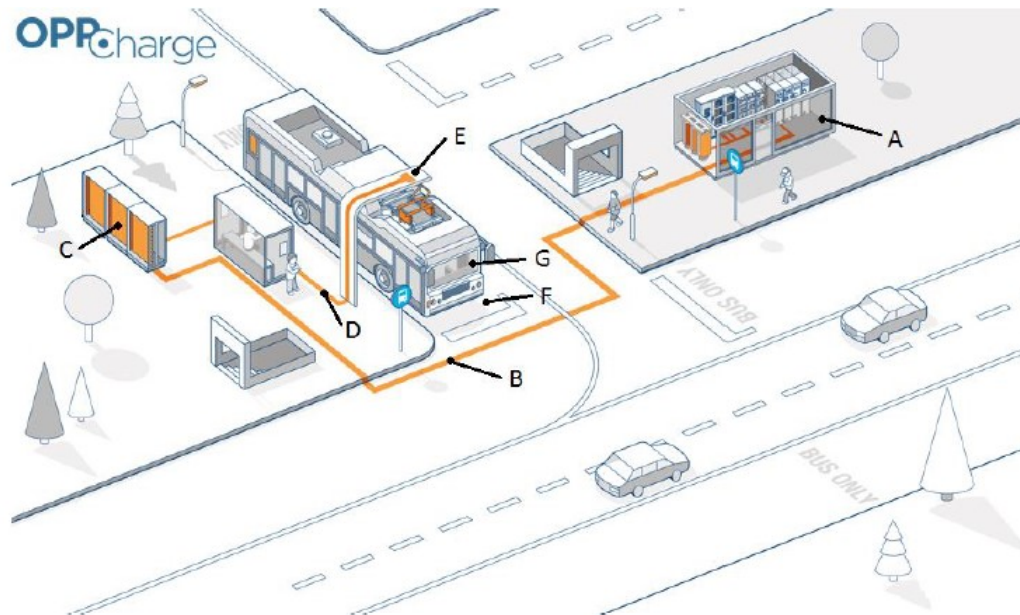


Figura 2.40 – Sistema de carga HVC.
Fuente: HVC 450 kW Charger.

2.9. Vehicle to grid (V2G) o del vehículo a la red

Se entiende este término como la tecnología que permite que desde las baterías de los vehículos eléctricos se inyecte hacia la red eléctrica pública. Está compuesto por un cargador y un vehículo eléctrico además un convertor bidireccional que permite el flujo de energía en los dos sentidos, por lo tanto este concepto puede ser ampliado según a donde se va a dirigir la energía. [Ávila y González, 2009], pudiendo ser las siguientes operaciones:

- Del vehículo a la casa V2H.
- Del vehículo al vehículo V2V.
- Del vehículo al edificio V2B.

En definitiva, de manera general, es posible comentar de V2X tal como se puede apreciar en la figura 2.41.



Figura 2.41 – Vehicle to grid V2X.

Fuente: MSEP ESPOL sistemas de distribución, M.Sc. Jimmy Córdova.

Los beneficios de aplicar esta tecnología principalmente son:

- Reducción de picos de potencia
- V2G como servicio auxiliar de la red.

2.10. Mantenimiento de un vehículo eléctrico

Se describen algunos de los principales aspectos necesarios a evaluar de los vehículos eléctricos, desde el punto mecánico, eléctrico y sistema de control:

- **Comprobar el estado de las baterías:** Posee dos baterías, una se utiliza para arrancar el vehículo, por otro lado, la segunda es la de tracción, que es la que alimenta al motor eléctrico.
- **Aceite, lubricante o grasas:** Chequeo de los niveles adecuados de los sistemas que utilizan algún tipo de lubricación para el correcto funcionamiento del carro.
- **Verificación del desgaste de las llantas:** Los vehículos 100 % eléctricos tienden a gastar más los neumáticos, ya que aceleran y aplican torque con mayor potencia.
- **Examine el estado de los amortiguadores:** Como en el caso anterior, el efecto de la aceleración y el torque provocan mayor desgaste en los amortiguadores.
- **Revisión de los cables que están aislados:** Es obligación, cada vez que se realiza el mantenimiento, hacer un análisis de aislamiento de los cables que llevan energía hacia los equipos principales que, por lo general, necesitan grandes cantidades de corriente.
- **Revisión de los frenos:** Los frenos en los vehículos eléctricos tienen un mayor tiempo de vida útil, debido a que los sistemas de regeneración de energía ahorran trabajo al frenar.
- **Observar el nivel del líquido de los frenos:** Chequear constantemente el nivel de líquido de los frenos con la finalidad de saber si tiene que reponer el líquido.

2.11. Efectos del vehículo eléctrico en la red de distribución eléctrica

Los principales problemas que pueden traer la alta penetración de cargadores de baterías de los auto eléctricos son principalmente los armónicos de corriente y voltaje, que es considerado como una contaminación a la red de distribución.

- Inyección de armónicos de voltaje y corriente.** Para analizar los armónicos en la red eléctrica de distribución en baja tensión, se lo debe hacer en el PCC (punto eléctrico común) donde múltiples cargas y usuarios están conectados y donde es necesario considerar la magnitud de cada armónico respecto a la fundamental, en base a la siguiente fórmula:

$$H_k \% = \frac{H_k}{H_1} \cdot 100 \% \quad (2.2)$$

donde $k = 2,3,4\dots k$

Según la norma IEEE 519-2014 los porcentajes de distorsión armónica individual y total recomendado tanto para voltaje como para corriente se calculan con la formula 2.2.

$$TDH_i \% = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^H I_h^2}}{I_1} \cdot 100 \% \quad (2.3)$$

Los rangos de voltaje se encuentran en la primera columna de la tabla 2.1, la segunda columna hace referencia al máximo porcentaje de distorsión para cada armónico H_k %; y en la tercera columna se detalla el porcentaje máximo THD.

Voltaje del bus V en el PCC	Armónicos individuales (%)	Distorsión armónica total THD (%)
$V \leq 1.0\text{kV}$	5	8.0
$1.0\text{kV} < V \leq 69\text{kV}$	3	5.0
$69\text{kV} < V \leq 161\text{kV}$	1.5	2.5
$161\text{kV} < V$	1.0	1.5

Tabla 2.3 – Límites de distorsión de voltaje.

Fuente: [Mogrovejo y Montero, 2019].

De acuerdo con la tabla 2.3, en el primer rango de voltaje que oscila entre 0 y 1000 V, se espera un máximo de 5 % de distorsión para cada armónico, y un 8 % de distorsión armónica total de voltaje.

En la Norma IEEE 519-2014 están definidos los rangos de distorsión armónica de corriente para sistemas de 120 V a 69 kV, definidos como la relación entre

la corriente de corto circuito en el PCC (ISC), con respecto a la corriente de carga (IL), condiciones normales, y adicionalmente los intervalos de orden de los armónicos impares, en conjunto con la máxima Distorsión Total de la Demanda (TDD) permitida. Estos rangos, para cada intervalo de orden de los armónicos impares, se detallan en la tabla 2.4.

I_{SC} / I_L	Rangos (h)					
	$3 < h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 3$	$35 \leq h < 50$	TDD
<20	4	2	1.5	0.6	0.3	5
20<50	7	3.5	2.5	1	0.5	8
50<100	10	4.5	4	1.5	0.7	12
100<1000	12	5.5	5	2	1	15
<1000	15	7	6	2.5	1.4	20

Tabla 2.4 – Límites de distorsión de corriente I_{sc}/I_L .
Fuente: [Mogrovejo y Montero, 2019].

2.12. Transporte público de Guayaquil

En los últimos 80, años el transporte público en la ciudad de Guayaquil ha estado compuesto por autobuses a combustión interna de pasajeros, distribuidos en un sinnúmero de líneas, dependiendo de la frecuencia de la ruta a las diferentes localidades de la ciudad, además de los taxis que brindan el servicio de transporte público de personas. En el año 2016 se introdujo la Metrovía, cuyo alcance de cobertura se muestra en la figura 2.42, que son buses articulados de transporte público masivo de personas y, en estos últimos años, se implementó otro medio de transporte masivo aerosuspendido, conocido como Aerovía.



Figura 2.42 – Mapa del área de cobertura de la ATM.
Fuente: <https://moovitapp.com>.

2.12.1. Sistema de buses

El sistema de transporte público de la ciudad de Guayaquil está compuesto por buses urbanos privados, la metrovía y la aerovía.

- **Transporte público de cooperativas privada.** El sistema de transporte urbano masivo en la ciudad de Guayaquil vigente está conformado por 63 cooperativas, compuesta por alrededor de 3.500 unidades de autobuses de motor de combustión que se encuentran legalmente registradas por la ATM, las cuales comprende un total de 119 recorridos o rutas. La capacidad de los transportes urbanos, como se observa en la figura 2.43, tiene una capacidad mayor igual de 60 pasajeros y minibuses menor que 60 pasajeros.



Figura 2.43 – Buses urbanos de transporte masivo de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: <https://ultimahoraec.com>.

- **Transporte público municipal-Metrovía.** La ciudad de Guayaquil cuenta con un sistema de transporte público municipal masivo basado en autobuses BRT, como se ilustra en la figura 2.44. Se caracterizan por transitar generalmente por carriles exclusivos en zonas urbanas ubicado en el centro de la calzada, el ingreso a los buses se los hace a través de estaciones, donde previamente pagan los pasajeros, en lugar de realizar el pago en el interior de los buses. Estas estaciones están construidas en plataformas a nivel con el piso del bus para reducir el tiempo de embarque y facilitar la accesibilidad a los buses, cuenta con un flota de 40 buses alimentadores y 59 buses articulados de 160 pasajeros, los mismo que recorren 89 estaciones, distribuidas en 3 troncales y 16 rutas de alimentadores.



Figura 2.44 – BRT de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: <https://metrovia.atm.gob.ec>.

- **Sistema de taxis.** La ciudad de Guayaquil tiene aproximadamente 125 cooperativas de taxis convencionales, incluido los de servicio ejecutivo, y con 11.000 unidades que se encuentran legalmente registradas por la ATM. Por lo general, son automóviles de capacidad de 4 personas sin incluir al conductor, con un cilindraje mayor de 1300 cc, similares a lo que se puede observar en la figura 2.45.



Figura 2.45 – Taxis de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: Fuente: <https://deunanoticias.com>.

- **Aerovía-Sistema de cable.** En general, se conoce como instalaciones de transporte por cable aquellas instalaciones en las que se emplean cables metálicos, construido a lo largo de todo el recorrido igual al sistema que podemos observar en la figura 2.46, para constituir la vía de circulación de los vehículos o para transmitir a los mismos un esfuerzo al motor eléctrico. La aerovia es un sistema de transporte masivo aéreo suspendido, que está compuesto por 4 estaciones de pasajeros: Durán, 4 Mosqueteros, Julián Coronel y Parque Centenario, y una estación técnica o de cambio de sentido exclusivamente.



Figura 2.46 – Aerovía de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: <https://www.eluniverso.com>.

2.12.2. Metrovía

La flota actual de la metrovía de la ciudad de Guayaquil, dispone de 341 buses en total (195 articulados y 146 alimentadores), y tres troncales como podemos apreciar en la figura 2.47.

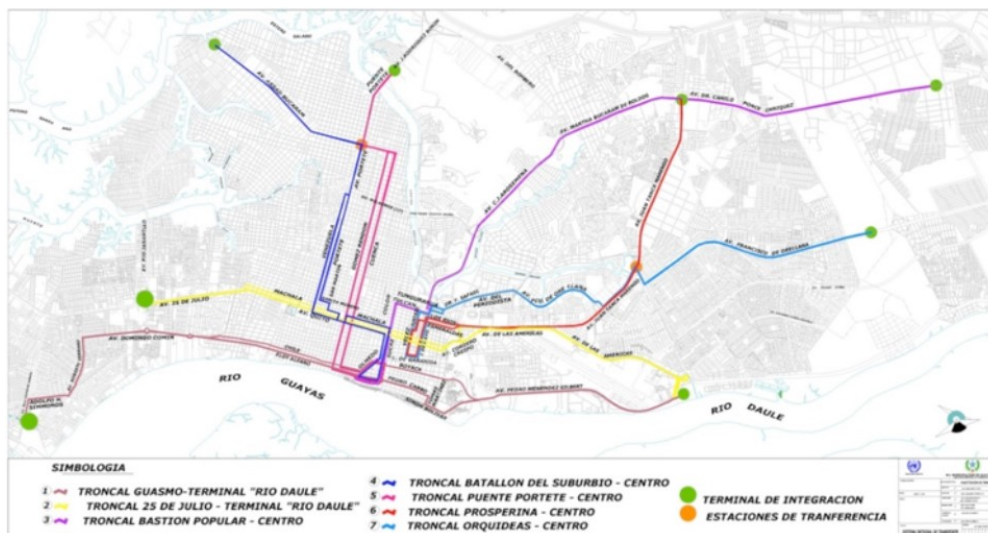


Figura 2.47 – Mapas de ruta de la metrovía de la ciudad de Guayaquil.

Fuente: <https://metrovia.atm.gob.ec>.

Sus tres troncales, se pueden observar en la figura 2.48, y que tienen el siguiente recorrido:

■ **Primera Troncal Terminal El Guasmo - Terminal Río Daule:**

La primera línea troncal T1 corresponde al recorrido desde el Río Daule hasta la terminal de transferencia El Guasmo, con una longitud (ida y vuelta) de 31.59 kilómetros.

■ **Segunda troncal Terminal 25 de Julio - Terminal Río Daule:**

La segunda troncal, conocida como Terminal 25 de Julio - Terminal Río Daule, inicia desde el intercambiador de tráfico ubicado en la intersección de la Vía Perimetral y Avenida 25 de Julio, y culmina en la Terminal Río Daule. Esta troncal tiene una extensión aproximada (ida y vuelta) de 42.63 kilómetros con carriles dobles, tiene 23 paradas de pasajeros más 4 paradas que permiten combinación, sumando 27 paradas en esta troncal.

■ **Tercera troncal Terminal Bastión Popular - Centro:**

La tercera troncal nombrada Terminal Bastión Popular - Centro, tiene una extensión aproximada de 31.49 kilómetros, con 24 paradas de pasajeros a lo largo de su recorrido.

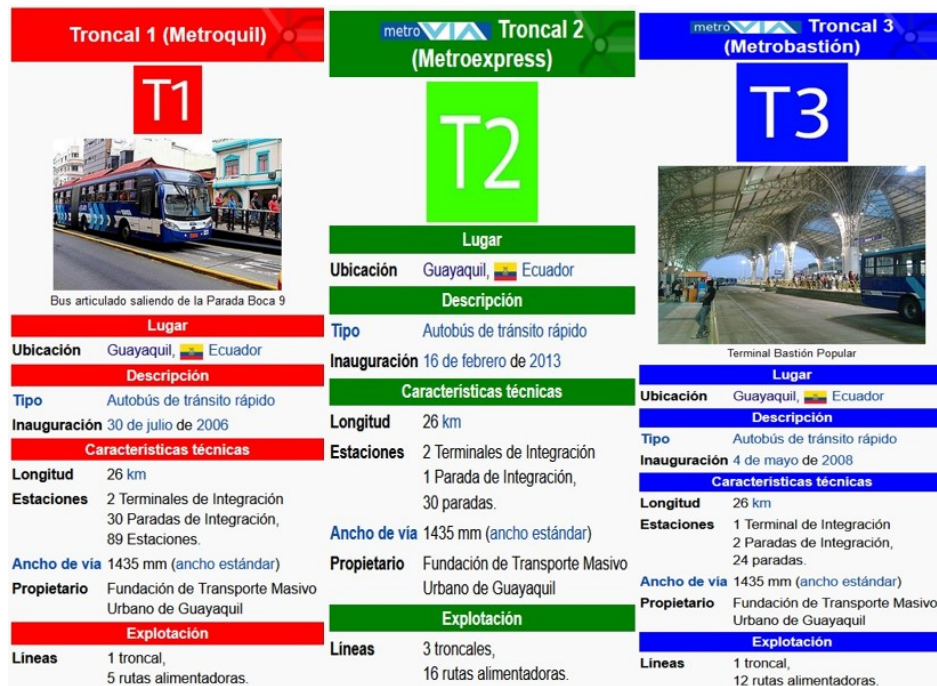


Figura 2.48 – Troncales de la metrovía de la ciudad de Guayaquil

Fuente: <https://metrovia.atm.gob.ec/metrovia/mapaderutas>.

- **Alimentadores y articulados eléctricos:** En la figura 2.49, se ilustra el tipo de alimentador y articulado eléctrico.

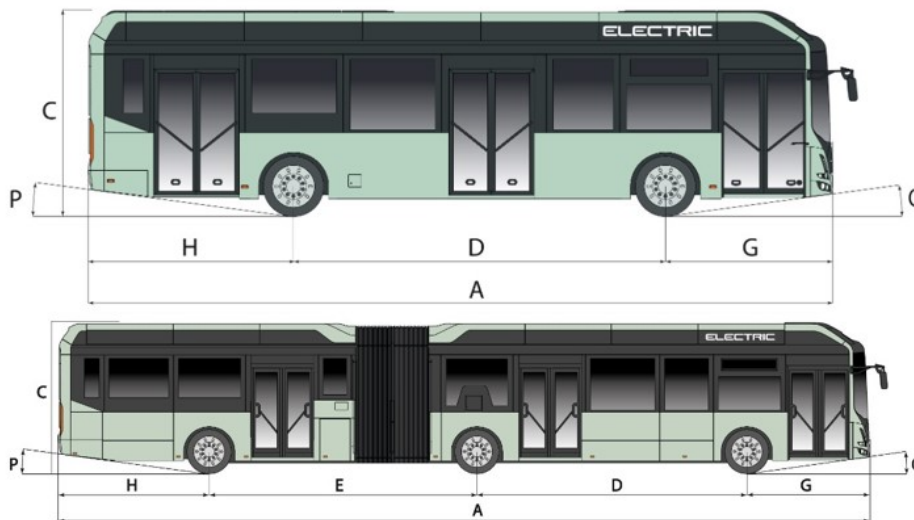


Figura 2.49 – Imagen de un bus y articulado eléctrico, Volvo 7900 electric y 7900 electric articulated, respectivamente.

Fuente: <https://www.volvobuses.com>.

2.12.3. Análisis FODA de la Electrometrovía como medio de reducción de CO₂:

Fortalezas, Oportunidades, Debilidades y Amenazas de la electrometrovía de la ciudad de Guayaquil.

■ FORTALEZAS:

- Un elemento de Movilidad Sostenible y de eficiencia energética.
- Un medio de Reducción de CO₂.
- Un ahorro económico de 6 a 1, en el consumo de combustibles fósiles al ser reemplazo por energía eléctrica.
- Un ahorro económico de 3 a 1, en el mantenimiento de un vehículo de motor de combustión interna con respecto a un vehículo eléctrico.

■ OPORTUNIDADES:

- Mejorar la calidad del aire en la ciudad de Guayaquil.
- Con la electrometrovía se dejaría de comprar combustible, lo que significa que no saldrían divisas fuera del país, invirtiendo en fuentes de energía renovable.
- Catalizador de energías renovables y demanda creciente hacia las tecnologías verdes.
- Desarrollo de redes inteligentes y formación de empresas dedicadas a darle una segunda vida útil a las baterías de los vehículos eléctricos. .

■ DEBILIDADES:

- Costo elevado de construcción y puesta en marcha de los cargadores ultrarrápidos.
 - Costo elevado de los alimentadores y articulados con respecto a su homologo de combustión.
 - Posible falta de energía a nivel de alimentación de los cargadores ultrarrápidos, aun que se podría minimizar con generación de energía auxiliar o energía almacenada.
 - falta de talleres especializados para el mantenimiento en caso de desperfecto.
- **AMENAZAS:**
- Posible desperfecto del sistema de almacenamiento (batería).
 - Posible desperfecto de los sistema de carga ultrarrápidos (pantografo).
 - Alto costo de inversión de los cargadores y unidades de transporte.
 - Resistencia al cambio.

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA

3.1. Inyección de armónicos

El objetivo de esta capítulo es revisar un análisis de calidad de energía para verificar los problemas de los cargadores de los VE, determinando la cantidad de armónicos que inyectan a la red debido a que son cargas de naturaleza no lineal. Por lo tanto, es necesario hacer un estudio sobre las magnitudes de los armónicos individuales y totales de voltaje y corriente que contaminan la red de distribución, para poder calcular todos los contingentes necesarios y así poder mitigar cualquier tipo de perturbación relevante para el sistema. Un cargador de un VE posee una carga de naturaleza no lineal, y esto se evidencia en la forma de onda de consumo de corriente, como se puede observar en la figura 3.1.

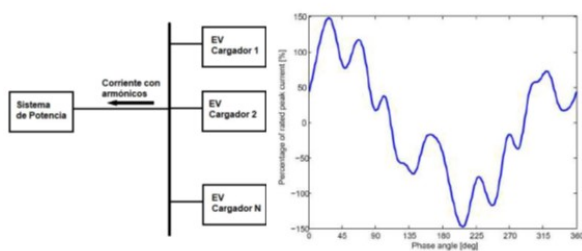


Figura 3.1 – Múltiples cargadores conectados a la red eléctrica y la forma de onda.
Fuente: MSEP ESPOL impacto en la red eléctrica, M.Sc. J. Córdova.

3.2. Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE en la ciudad de Guayaquil

Este análisis de calidad de energía, fue desarrollado a un cargador de un VE, marca DUOSIDA, de una potencia de 7.2 kW, 32 A y 230 V monofásico, empleado por el vehículo marca BYD modelo E5 400. El caso a analizar se encuentra ubicado en el

kilómetro 10.5 vía a Samborondon, ciudadela Fuentes del Río, cuya posición geográfica gps es -2.058149, -79.8870429.



Figura 3.2 – Cargador lento marca Duosida.

En la figura 3.3, se observa un analizador de redes para estudiar la demanda del cargador lento (7.2 kW), conforme normativa IEEE 519-2014.

Cabe indicar que el sistema de medición es dedicado exclusivamente para el control del consumo del cargador del vehículo eléctrico.



Figura 3.3 – Punto de medición del cargador lento del VE marca BYD E5 400.

▪ **Equipo utilizado**

- Marca: AEMC instruments.
- Modelo: 8333.
- Programa de análisis: Powerpad III.
- Parametrización de la configuración del equipo analizador de energía, se ilustra en la tabla 3.1.

Tipo de conexión	Bifásico tres hilos
Sensores	200 A
Distorsión armónica de la fase	Valor de la fundamental como referencia (%f)
Flicker de larga duración (Plt)	Ventana deslizante (%f)
Factor K del transformador	$q = 1.7$ e $= 0.10$ (%f)
Relación de las corrientes	1:1
Relación entre las tensiones entre fase y neutro	1:1
Agregación	10 min
Medidas V L-L	CF, rms, THDr, THDf
Medidas V L-N	CF, Pst, rms, THDr, THDf
Medidas corriente	CF, FHL, rms, THDr, THDf, FK
Otras medidas	(DPF), Hz, PF, S (VA), Q (var), P(W), D(var)
Armónicos voltaje	0 al 50
Armónicos corriente	0 al 50

Tabla 3.1 – Configuración de equipo AEMC instruments 8333.

3.2.1. Análisis técnico

- Normas.
 - Internacional: UNE-EN 50160:2011 [Broshi, 2007].
 - Nacional: Regulación No.ARCERNNR-002/20 [ARCERNNR, 2020].
- Fecha de monitoreo de calidad de energía.
 - Inicio: 2 de noviembre del 2021; hora: 14:00.
 - Final: 9 de noviembre del 2021; hora: 14:00.
- Análisis de parámetros eléctricos.

- **Frecuencia:** En la figura 3.4, se ilustra que más del 99.5%, de los datos muestreados, están dentro de la norma nacional. En la figura 3.5, los niveles de variación de frecuencia se encuentran dentro del rango del $\pm 1.0\%$.

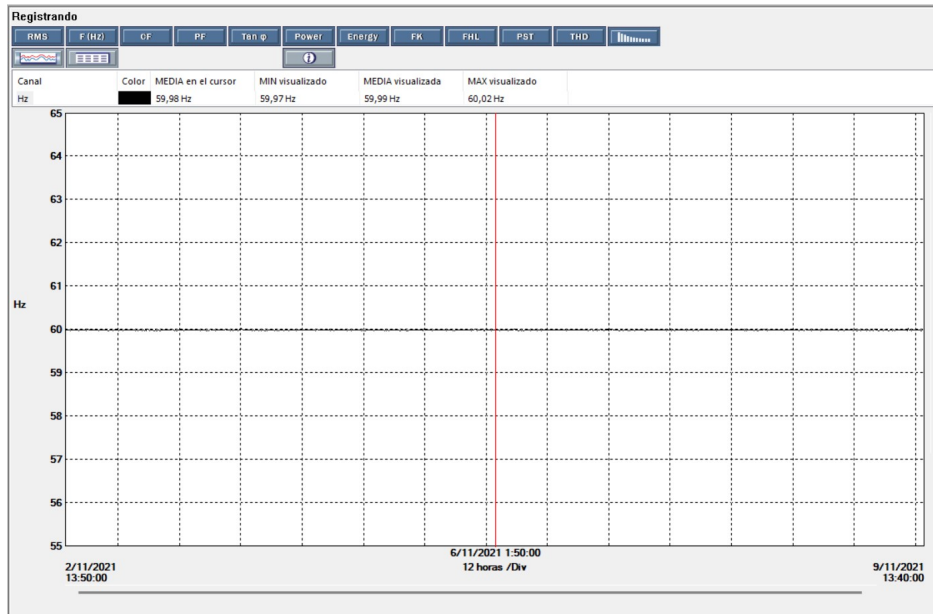


Figura 3.4 – Pantalla de monitoreo de la frecuencia del cargador lento.

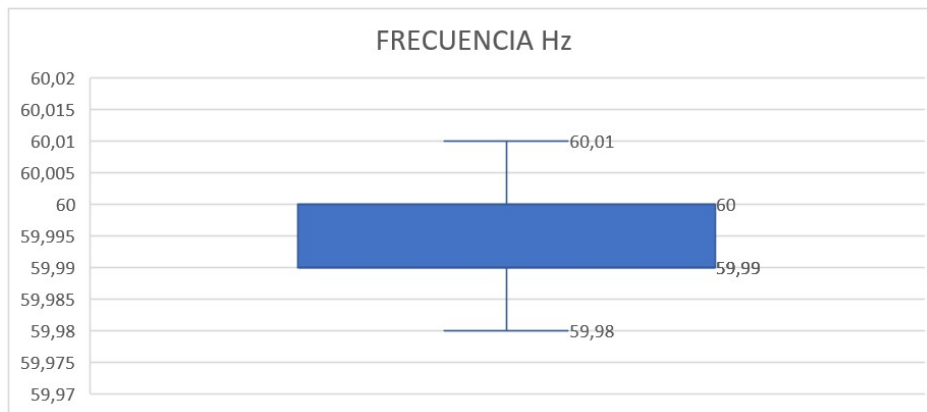


Figura 3.5 – Diagrama de bloque de variación de la frecuencia.

- **V1-2:** En la figura 3.6, se puede apreciar en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía Powerpad III, el comportamiento del voltaje V1-2, que según el criterio de aceptación basado en las normas citadas, que los datos obtenidos, de los niveles de variación de voltaje se encuentran dentro del rango del $\pm 8.0\%$.

En la figura 3.7, se ilustra que mas del 95% de los datos muestreados están dentro de la normativa, ya que cumplen la regulación ARCERNR 002/20. Esto es, que la variación en el diagrama de bloque está dentro del rango del $\pm 8.0\%$.

3.2. Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE en la ciudad de Guayaquil



Figura 3.6 – Pantalla de monitoreo de tensión línea-línea (V1-2).

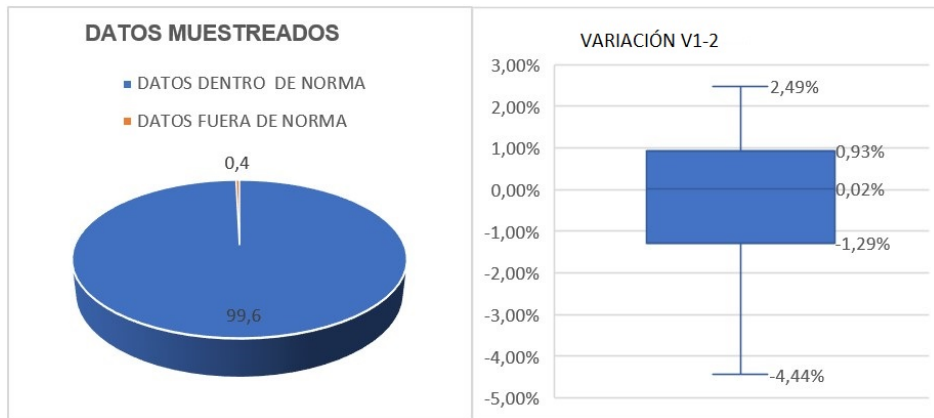


Figura 3.7 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea-línea.

- V1-N:** En la figura 3.8, se ilustra la variación de tensión que se encuentran dentro del rango del $\pm 8.0\%$, conforme normativa nacional. En la figura 3.9, se muestra que más de 95% de los datos muestreados son válidos, y la variación mostrada en el diagrama de bloque está en el rango del $\pm 8.0\%$.

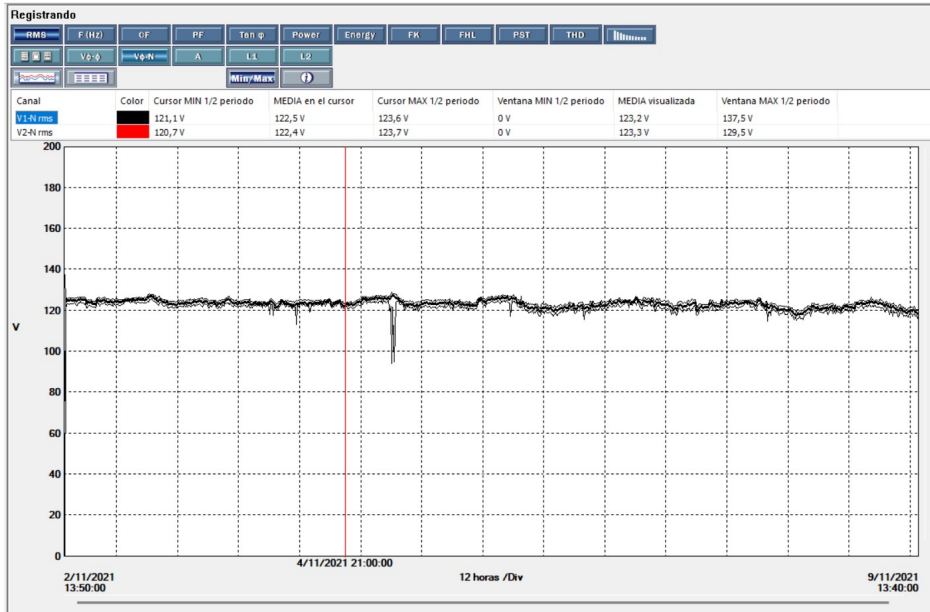


Figura 3.8 – Pantalla de monitoreo de tensión línea 1 - neutro (V1-N).

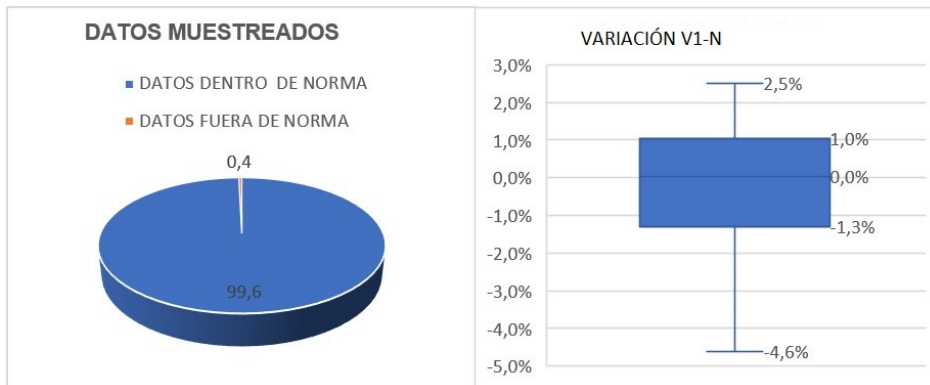


Figura 3.9 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 1 - neutro (V1-N).

- V2-N:** En la figura 3.10, se muestra la variación de tensión del cargador lento BYD, donde los registros evidencian que los datos se encuentran dentro del rango del $\pm 8,0\%$ conforme la normativa nacional.

En la figura 3.11, se ilustra que más de 95% , de los datos muestreados son válidos, y la variación mostrada en el diagrama de bloque está dentro del rango del $\pm 8,0\%$.

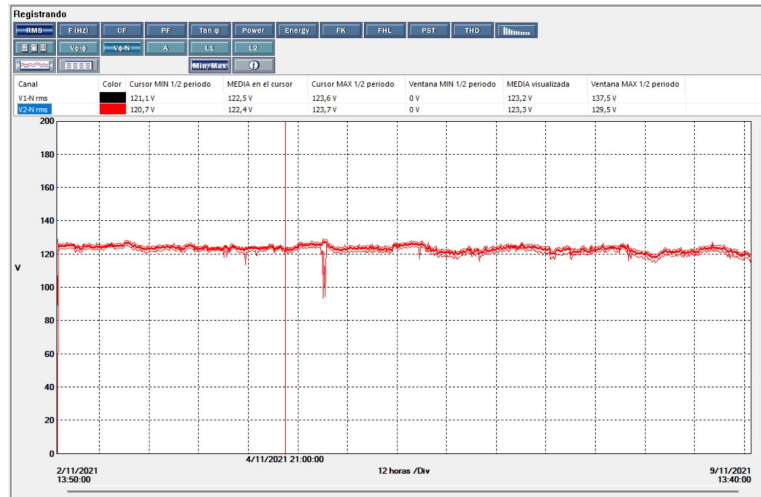


Figura 3.10 – Pantalla de monitoreo de tensión línea 2 - neutro (V2-N).

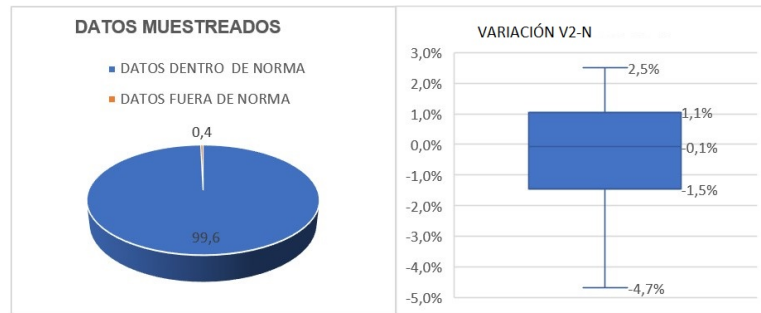


Figura 3.11 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 2 - neutro (V2-N).

- **Corriente A1 y A2:** En la figura 3.12, se grafican los registros del cargador del VE, alcanzando un valor máximo eficaz de 32 A, en demanda por un periodo de registro de una semana.

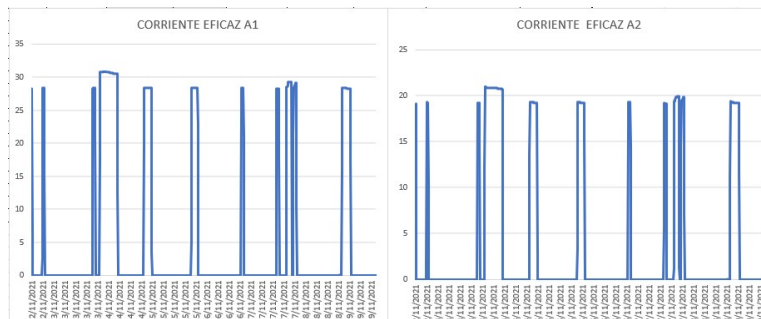


Figura 3.12 – Gráfico de consumo de corriente A1 y A2.

- **Factor de potencia:** En la figura 3.13, se muestra en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía Powerpad III. De

manera específica, se evalúa el factor de potencia del punto de suministro del cargador lento, donde se evidencia un factor de potencia mayor a 0.92 durante el monitoreo de una semana. Es decir, se cumple con la normativa nacional.

En la figura 3.14, se ilustra que casi todos los datos muestreados, tabulados en excel tienen una magnitud en promedio del factor de potencia de 0.98.

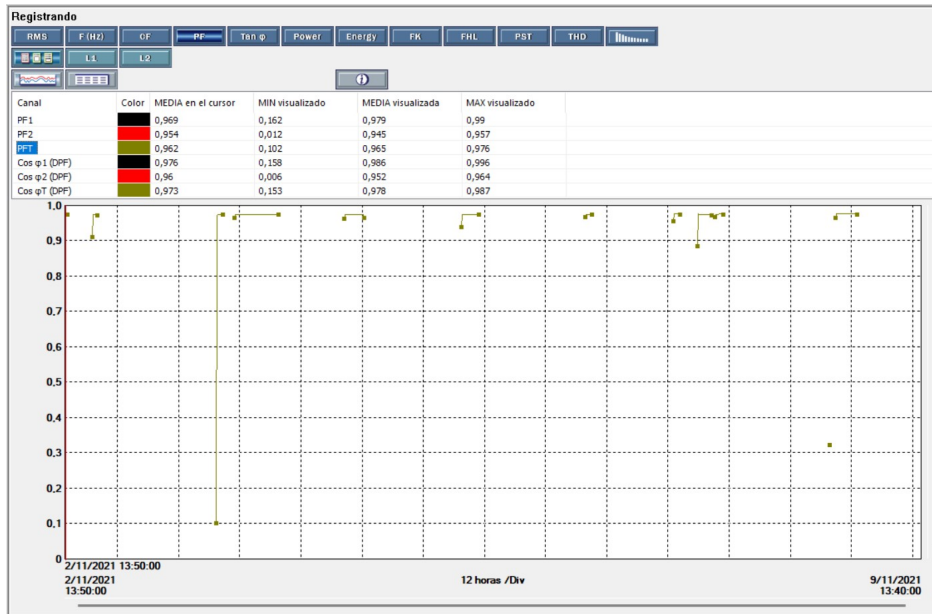


Figura 3.13 – Pantalla de monitoreo del factor de potencia.

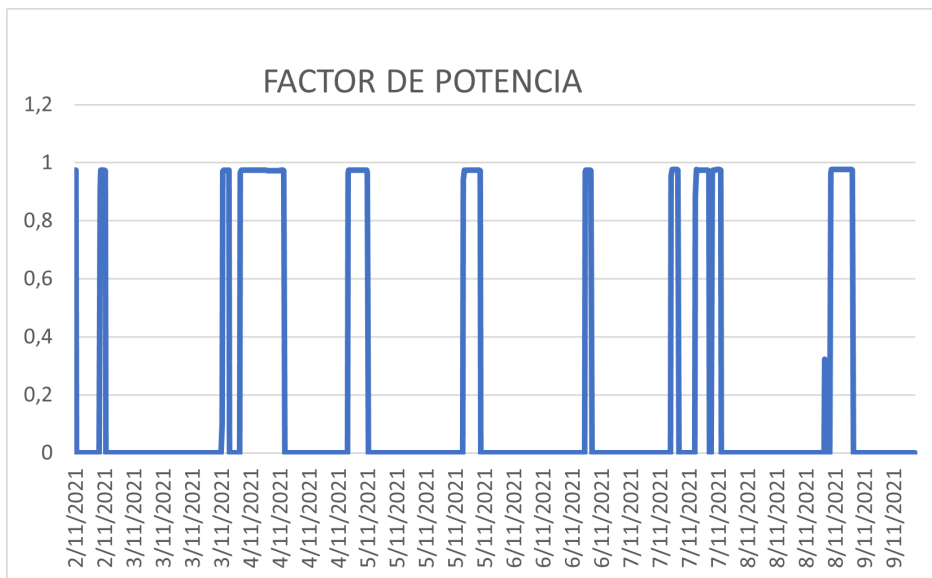


Figura 3.14 – Registro del factor de potencia.

- **Factor de cresta V1-2, V1-N y V2-N:** En la figura 3.15, se muestra en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía

3.2. Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE en la ciudad de Guayaquil

Powerpad III, el comportamiento del factor de cresta (diferencia entre la tensión eficaz y el pico), donde los niveles de variación se encuentran entre 1.41 y 1.43.

En la figura 3.16, se ilustra que los datos muestreados, tienen una magnitud en promedio de 1.42.

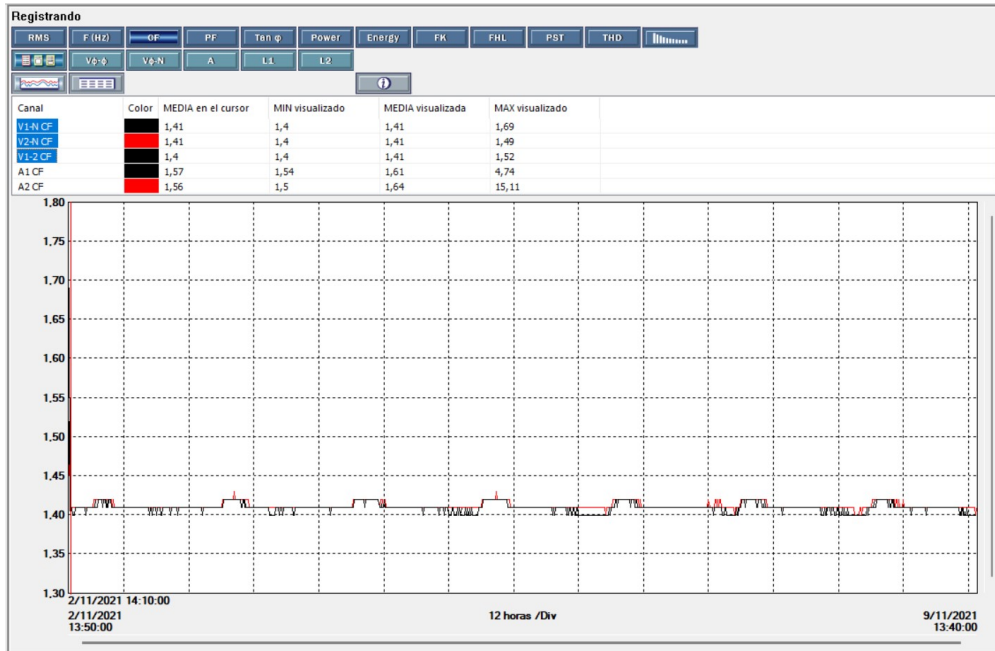


Figura 3.15 – Gráfico de FC de V1-2, V1-N y V2-N.



Figura 3.16 – Diagrama de bloque de FC de V1-2, V1-N y V2-N.

- **PST índice de severidad por flicker de corta duración:** En la figura 3.17, se muestra el comportamiento del PST (índice de severidad de corta duración), donde los niveles de variación se encuentran de manera general por debajo de la unidad.

En la figura 3.18, se ilustra que más de 95%, de los datos muestreados son válidos, y en el diagrama de bloque se aprecia que casi todos los datos tienen una magnitud inferior a la unidad.

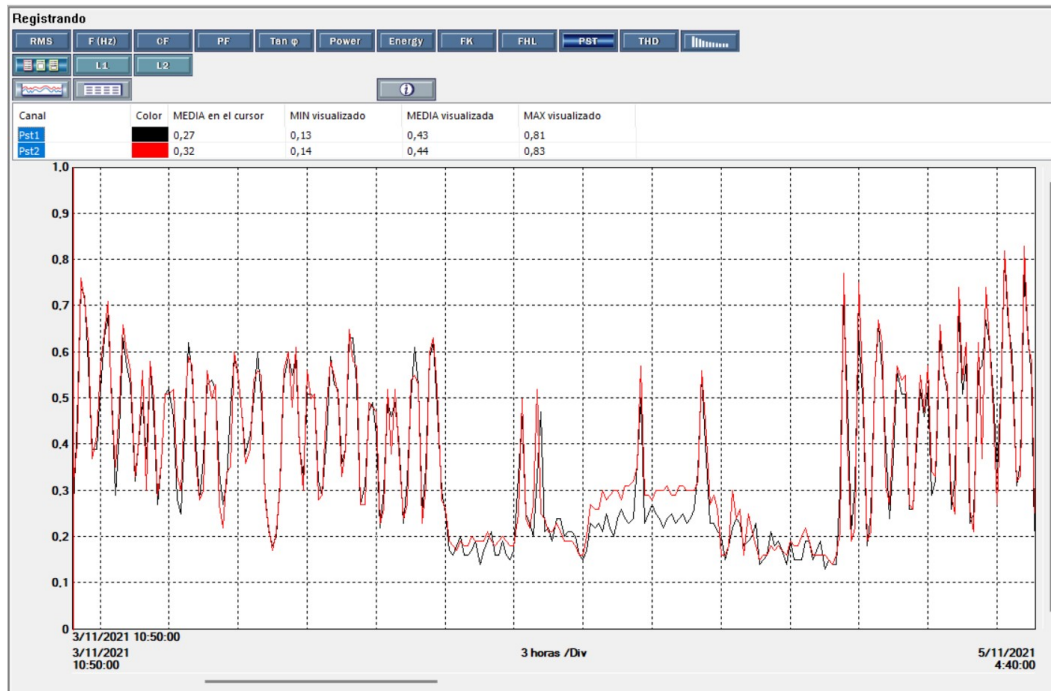


Figura 3.17 – Gráfico de PST1 y PST2.

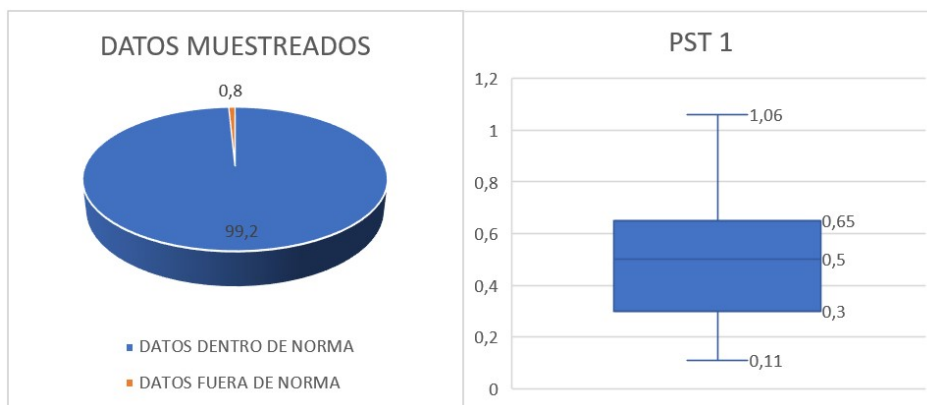


Figura 3.18 – Diagrama de bloque de PST1 y PST2.

- **Potencia activa, reactiva y aparente:** En la figura 3.19, se muestra la potencia activa con un máximo de 6.26 kW, reactiva de 1.07 kVAR y aparente 6.43 kVA del cargador lento.

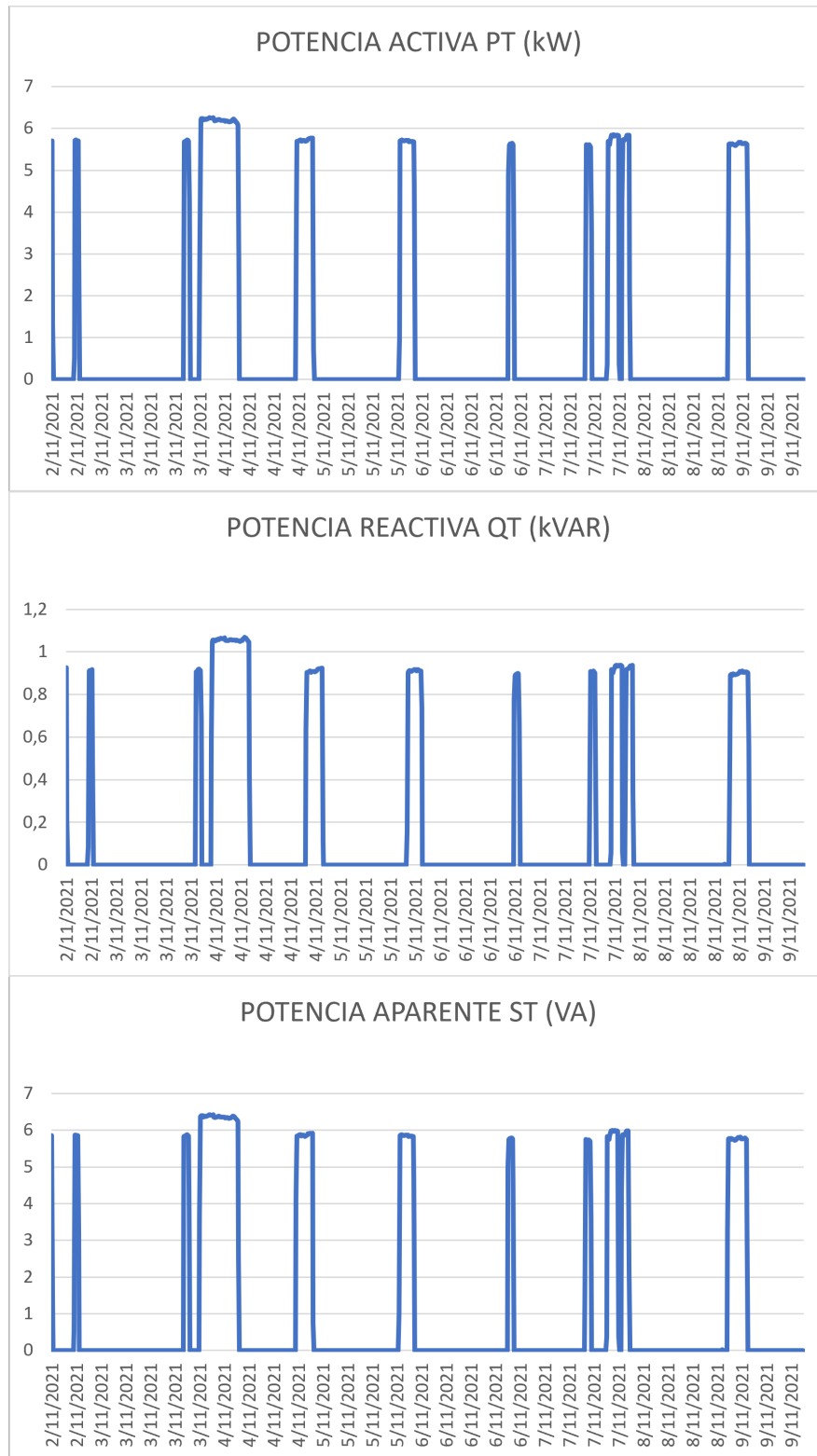


Figura 3.19 – Gráficos de potencia activa, reactiva y aparente del cargador lento.

- **THD armónicos totales V1-N, V2-N y V1-2:** En la figura 3.20, se muestran los registros de armónicos totales de tensión (THD), se evidencia niveles máximos de 1.7 %, lo cual confirmaría el cumplimiento normativo, con límites del 8 %, según regulación ARCERNR 002/20.

En la figura 3.21, en el diagrama de bloque se ilustra, que todos los datos muestreados, tienen una magnitud inferior de 1.6 %.

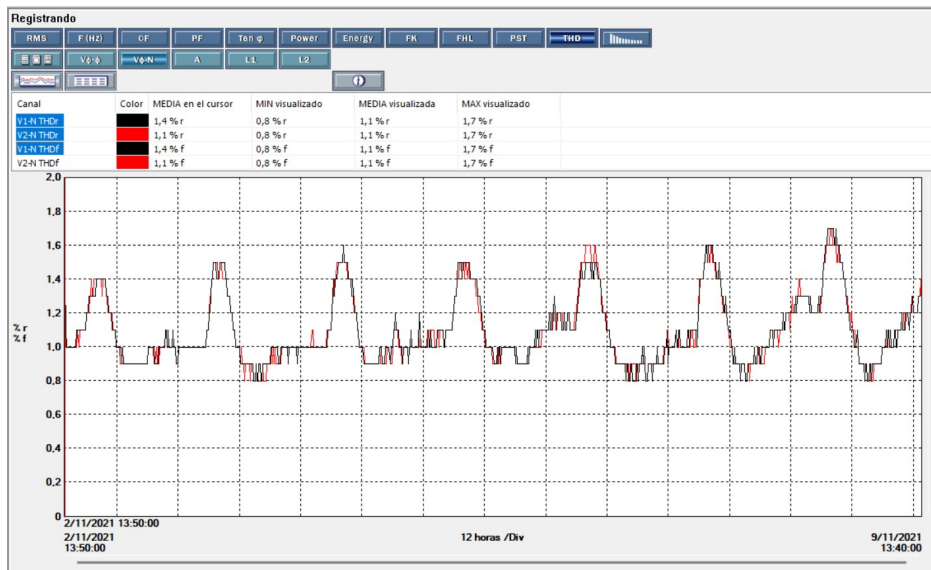


Figura 3.20 – Gráfico de armónicos totales de tensión del cargador lento.

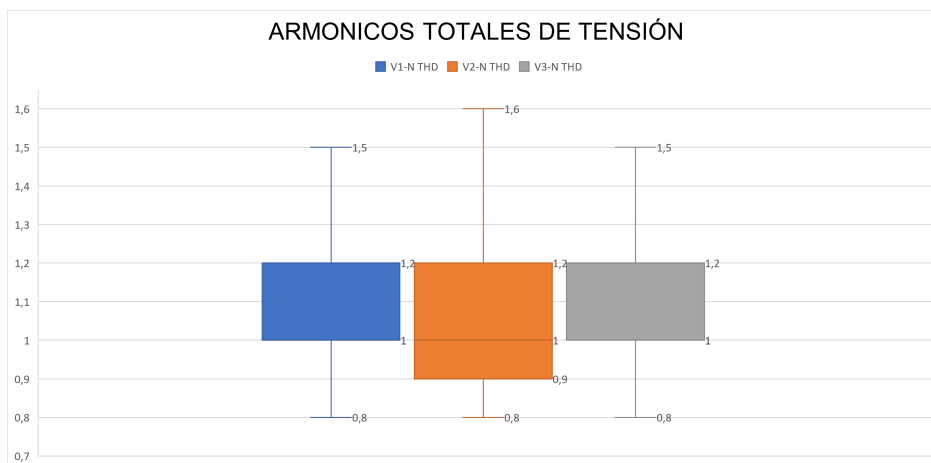


Figura 3.21 – Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión del cargador lento.

- **TDD distorsión de demanda total A1 y A2:** En la figura 3.22, se muestra el comportamiento de distorsión armónica de demanda total TDD, que deacuerdo a la tabla 2.2, está en un TDD menor o igual al 15%. En la figura 3.23, se ilustran los niveles de los armónicos total de demanda de TDD.

3.2. Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE en la ciudad de Guayaquil

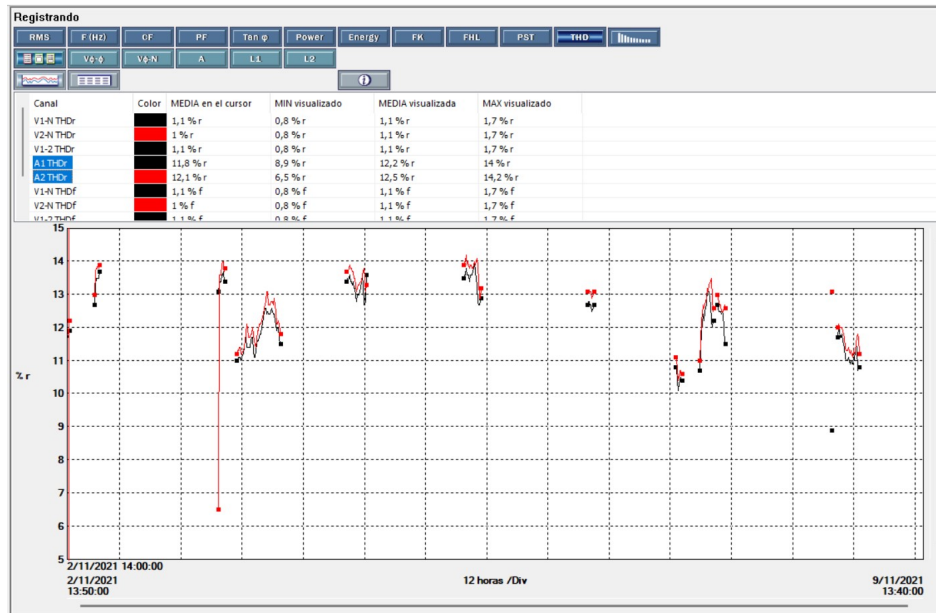


Figura 3.22 – Gráfico de monitoreo de armónicos totales de corriente.

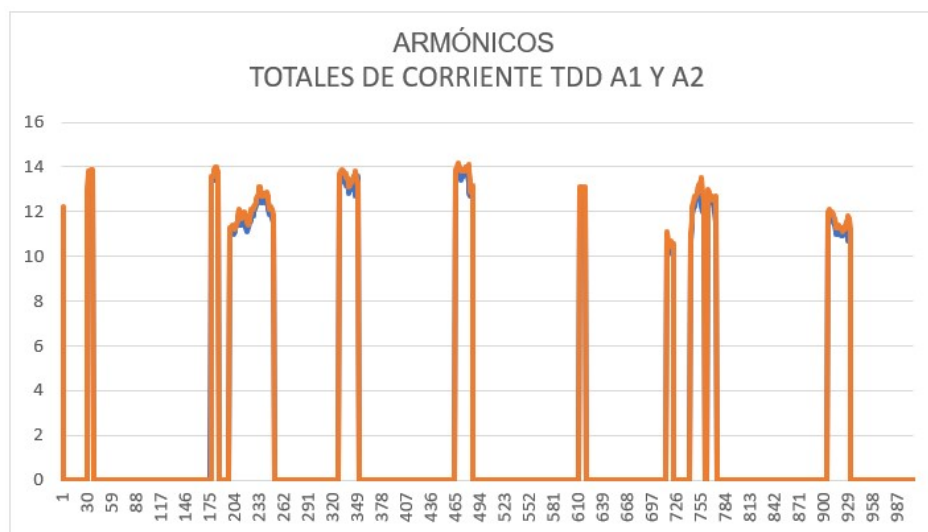


Figura 3.23 – Gráfico de tendencias de armónicos totales de demanda TDD.

- THD armónicos individuales de tensión línea-neutro V1-N y V2-N:**
 En la figura 3.24, se muestran la tendencia del THD individual del armónico 0 al 50, constatando que los niveles de variación del THD no superan el 5 %, con un máximo de 1.5 %, cumpliendo con la normativa nacional.

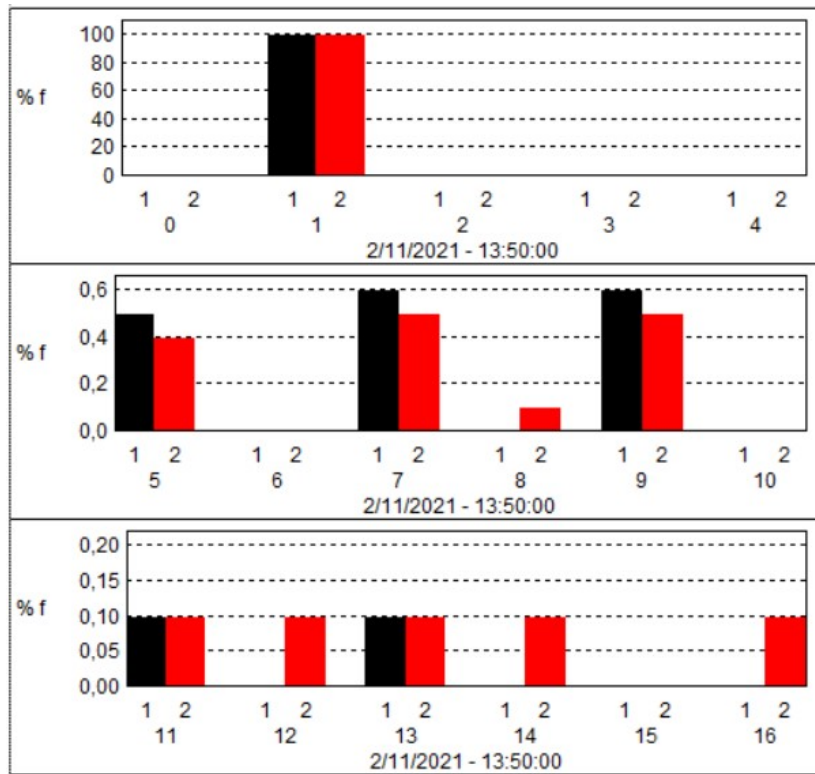


Figura 3.24 – Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de tensión V1-N y V2-N.

- THD armónicos individuales de tensión línea-línea V1-2:** En la figura 3.25, se ilustra el comportamiento del THD individual del armónico 0 al 50, evidenciando que los niveles de variación del THD, se encuentran por debajo del 5%, con un máximo de 1.4%, cumpliendo con la normativa nacional.

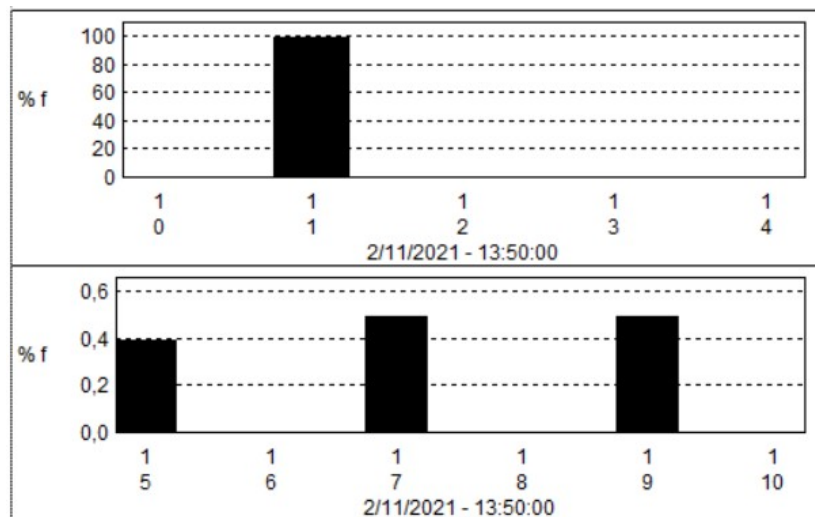


Figura 3.25 – Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de tensión V1-2.

- **TDD distorsión de demanda individuales de corriente A1 y A2:**
En la figura 3.26, se muestra el registro de distorsión armónica de demanda individual TDD, que según la tabla 2.2, está en un TDD menor o igual al 5%.

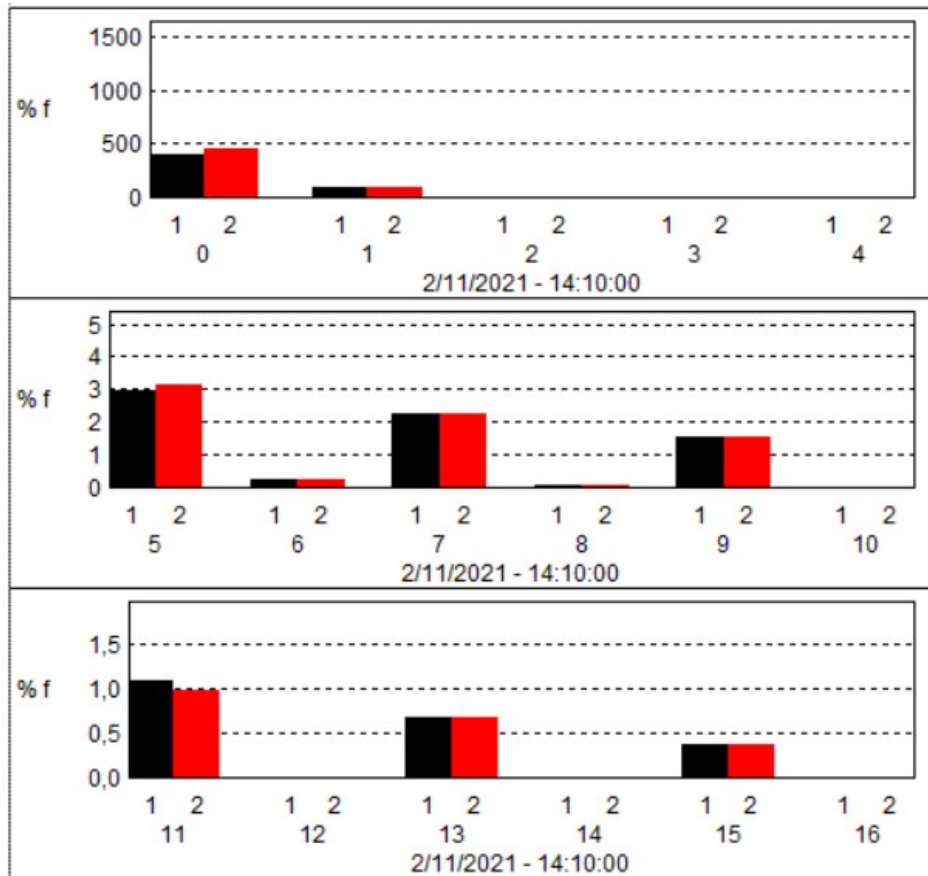


Figura 3.26 – Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de corriente A1 y A2.

3.3. Análisis de calidad de energía de un cargador lento de un VE tipo camioneta

Este análisis de calidad de energía fue desarrollado a un cargador de un VE de una potencia de 7.3 kW, 32 A y 230 V monofásico, empleado por el vehículo marca Dongfeng, modelo Rich 6EV, como se muestra en la figura 3.27, ubicado en la ciudadela el portón de lomas de la urbanización Urdesa.



Figura 3.27 – Vehículo eléctrico Dongfeng modelo Rich 6EV.

En la figura 3.28, se observa la instalación del analizador de calidad de energía, para estudiar el comportamiento de este tipo de cargador, conforme la norma IEEE 519-2014.



Figura 3.28 – Punto de medición del cargador lento Dongfeng Rich 6EV.

3.3.1. Análisis técnico

- Fecha de monitoreo de calidad de energía.
 - Inicio: 23 de noviembre del 2021; hora: 14:00.
 - Final: 30 de noviembre del 2021; hora: 14:00.
- Análisis de parámetros eléctricos.
 - **Frecuencia:** En la figura 3.29, se ilustra que más del 99.5%, de los datos muestreados, están dentro de la norma internacional. En la figura 3.30, los niveles de variación de frecuencia se encuentran dentro del rango del +/- 1.0 %.

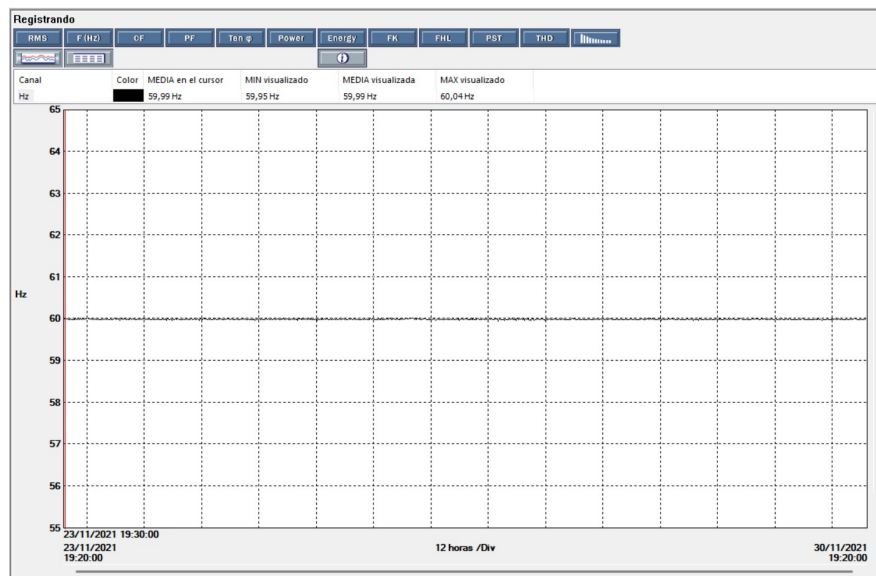


Figura 3.29 – Pantalla de monitoreo de frecuencia del cargador lento.

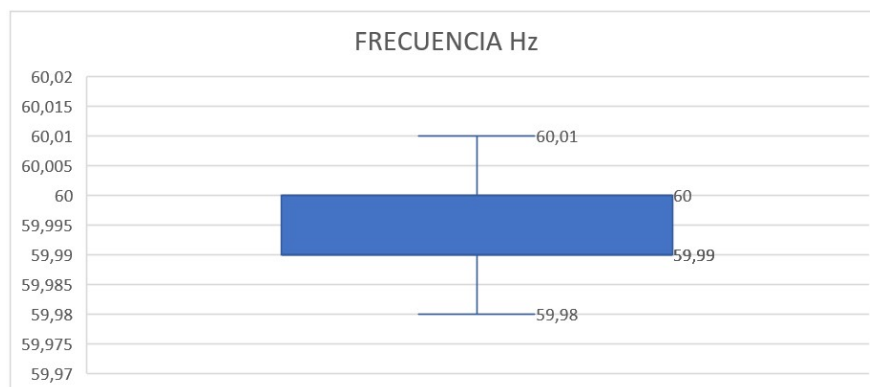


Figura 3.30 – Diagrama de bloque de variación de frecuencia.

- **V1-2:** En la figura 3.31, se observa en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía Powerpad III, el comportamiento del voltaje V1-2 que los niveles de variación de voltaje se encuentran dentro del rango del $\pm 8.0\%$.

En la figura 3.32, se ilustra que más del 95 % de los datos muestreados están dentro de la normativa.

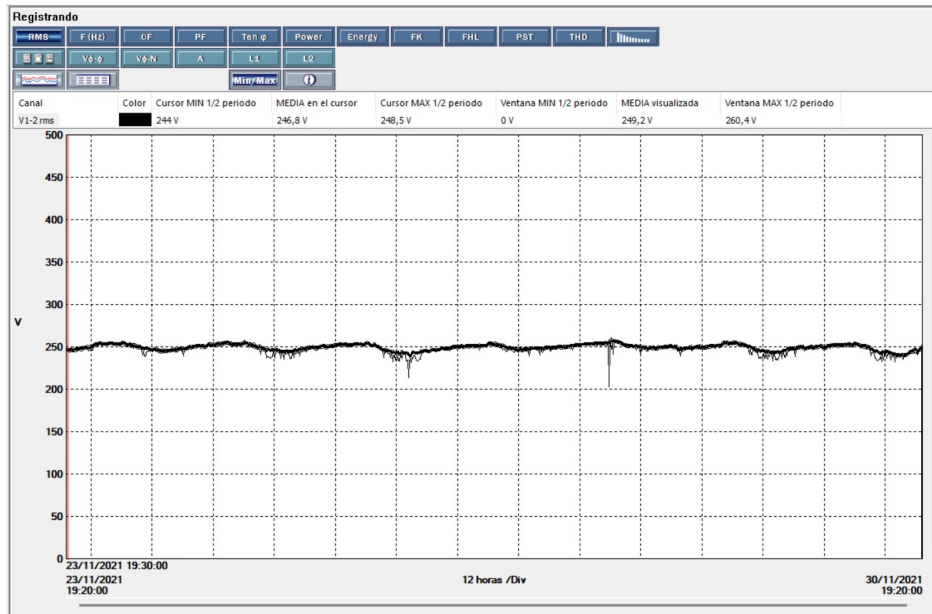


Figura 3.31 – Pantalla de monitoreo de tensión línea-línea (V1-2).

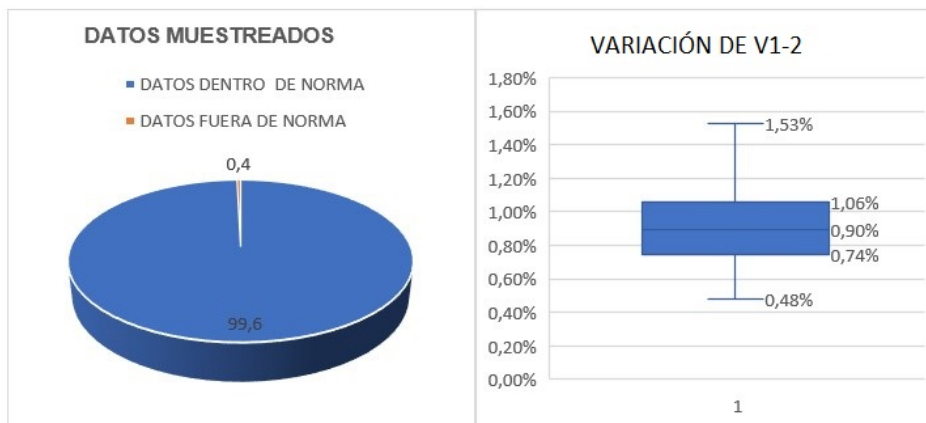


Figura 3.32 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea-línea.

- **V 1-N:** En la figura 3.33, se ilustra la variación de tensión que se encuentran dentro del rango del $\pm 8.0\%$, conforme normativa nacional.
En la figura 3.34, se muestra que más de 95% de los datos muestreados son válidos y la variación mostrada en el diagrama de bloque está en el rango del $\pm 8.0\%$.

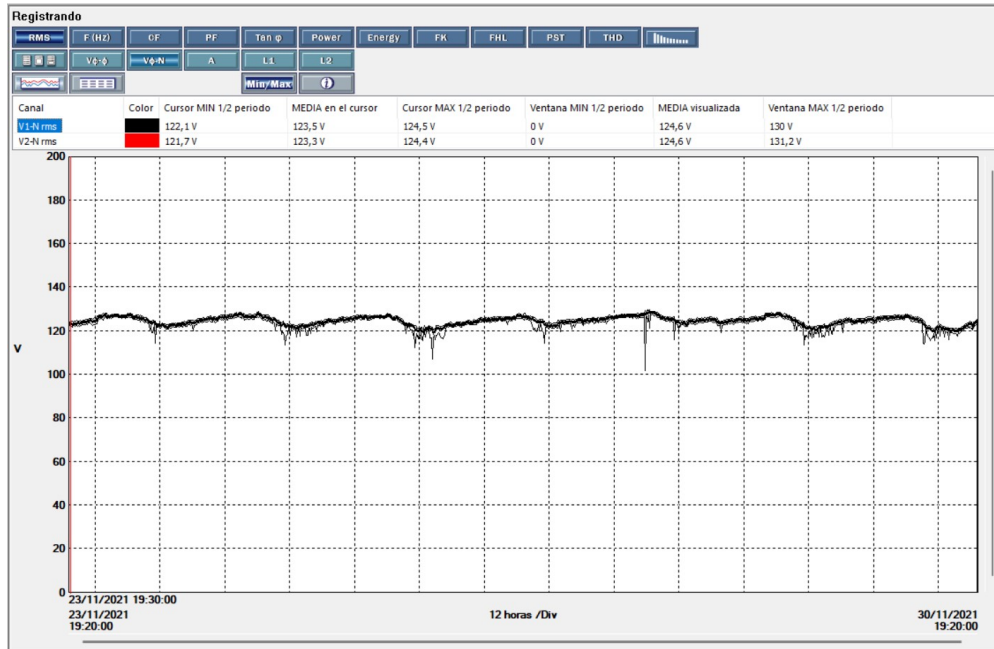


Figura 3.33 – Pantalla de monitoreo de tensión de línea 1 - neutro (V1-N).



Figura 3.34 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 1 - neutro (V1-N).

- V2-N:** En la figura 3.35, se muestra la variación de tensión del cargador lento del vehículo Dongfeng, donde los registros evidencian que los datos se encuentran dentro del rango del $\pm 8.0\%$ conforme la normativa nacional. En la figura 3.36, se ilustra que más de 95%, de los datos muestreados son válidos y están dentro del rango del $\pm 8.0\%$.

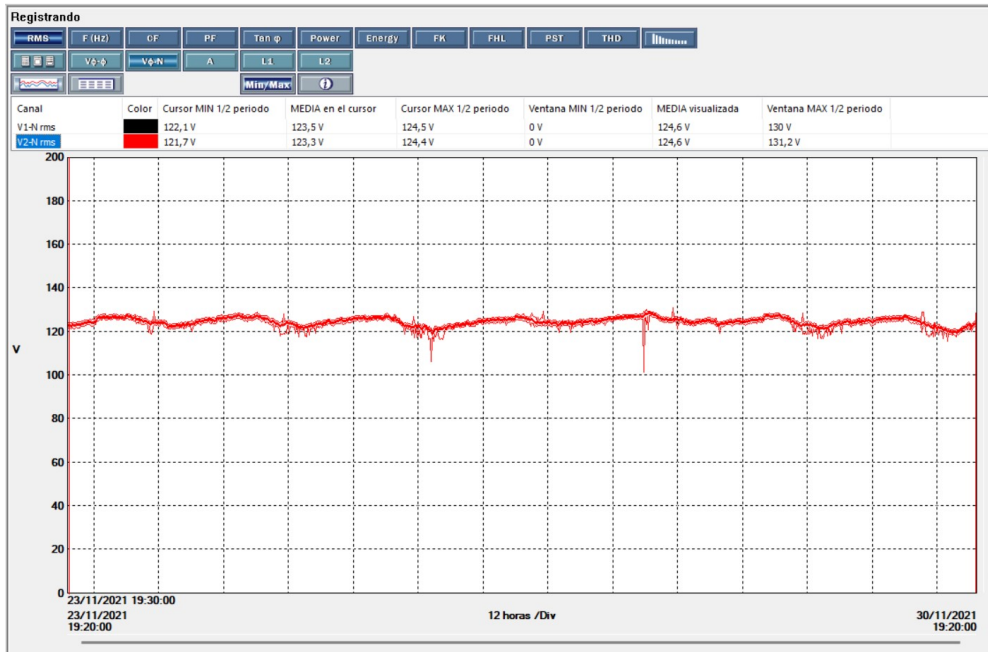


Figura 3.35 – Pantalla de monitoreo de tensión de línea 2 - neutro (V2-N).

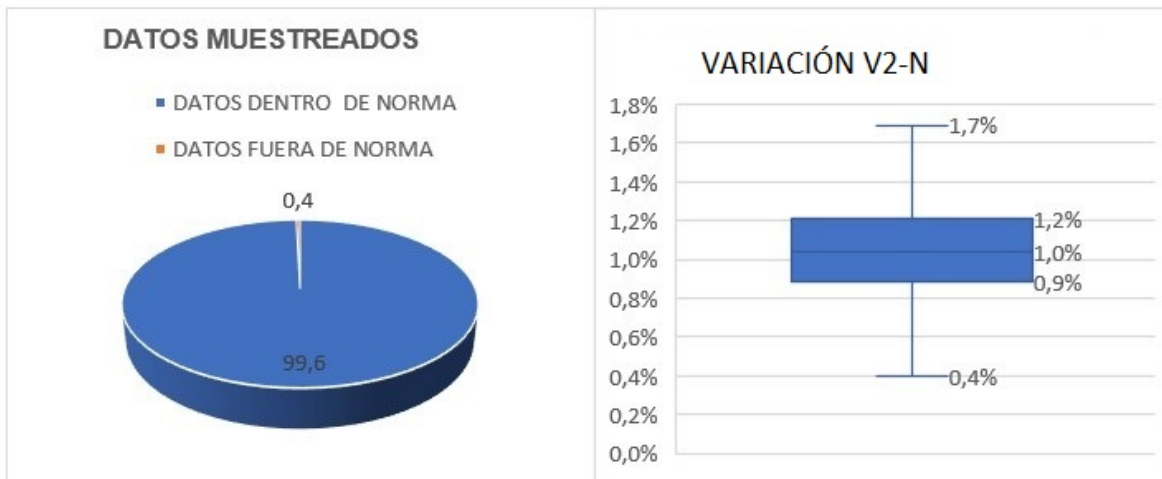


Figura 3.36 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea 2 - neutro (V2-N).

- **Corriente A1 y A2:** En la figura 3.37, se grafican los registros del cargador del VE, alcanzando un valor máximo eficaz de 33.93 A, en demanda por un periodo de registro de una semana.

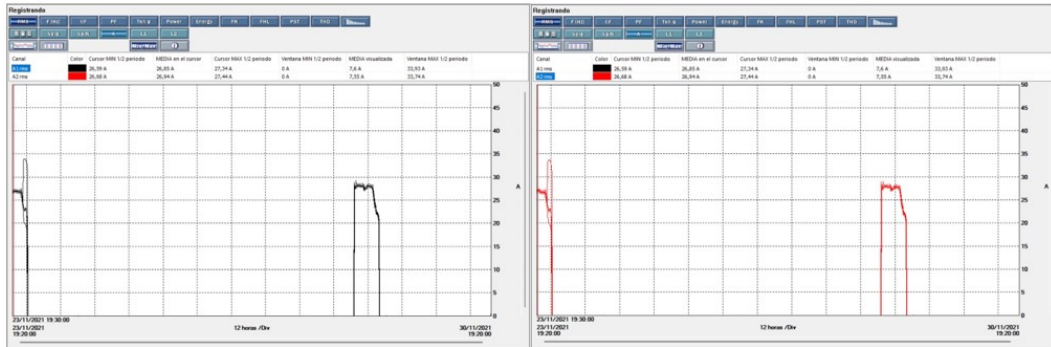


Figura 3.37 – Gráfico de consumo de corriente A1 y A2.

- **Factor de potencia:** En la figura 3.38, se muestra en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía Powerpad III. Se evalúa el factor de potencia del punto de suministro del cargador lento, donde se evidencia un factor de potencia mayor a 0.92 durante el monitoreo de una semana. Es decir, se cumple con la normativa nacional.

En la figura 3.39, se ilustra que casi todos los datos muestreados, tabulados en excel tienen una magnitud en promedio del factor de potencia de 0.99.

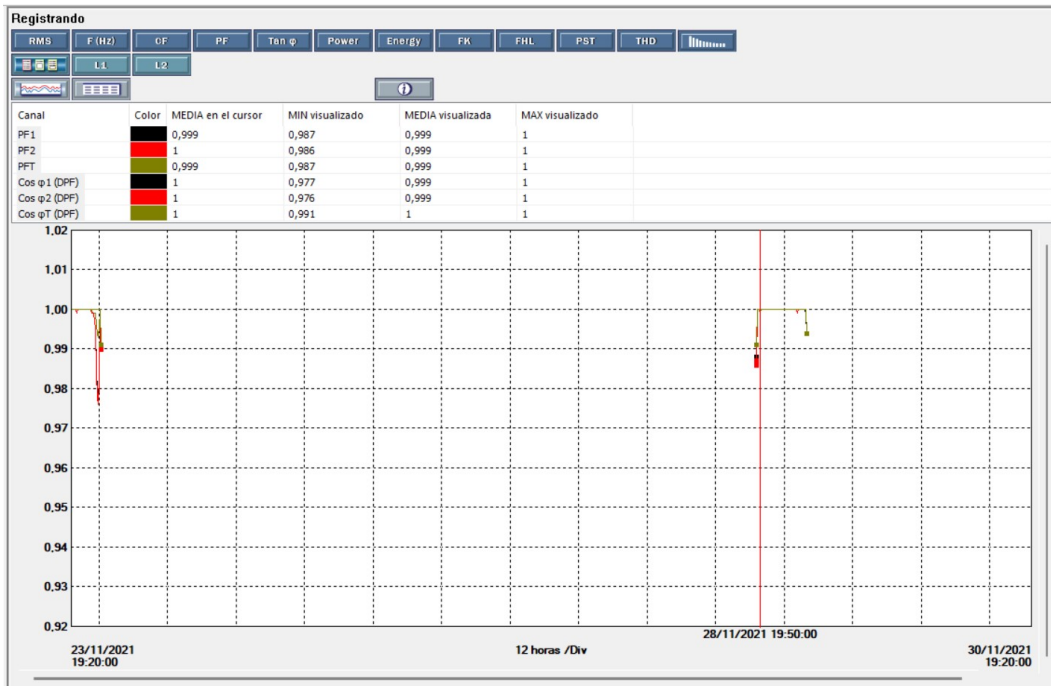


Figura 3.38 – Pantalla de monitoreo del factor de potencia.

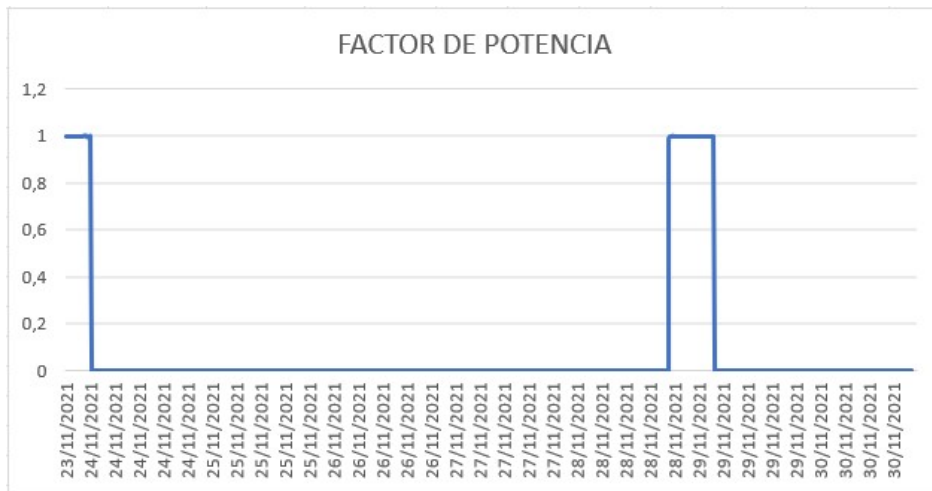


Figura 3.39 – Registro del factor de potencia.

- **Factor de cresta V1-2, V1-N y V2-N:** En la figura 3.40, se muestra en la imagen, el comportamiento del factor de cresta, donde los niveles de variación se encuentran entre 1.41 y 1.42.

En la figura 3.41, se ilustra que los datos muestreados, tienen una magnitud en promedio de 1.42.



Figura 3.40 – Gráfico de FC de V1-2, V1-N y V2-N.

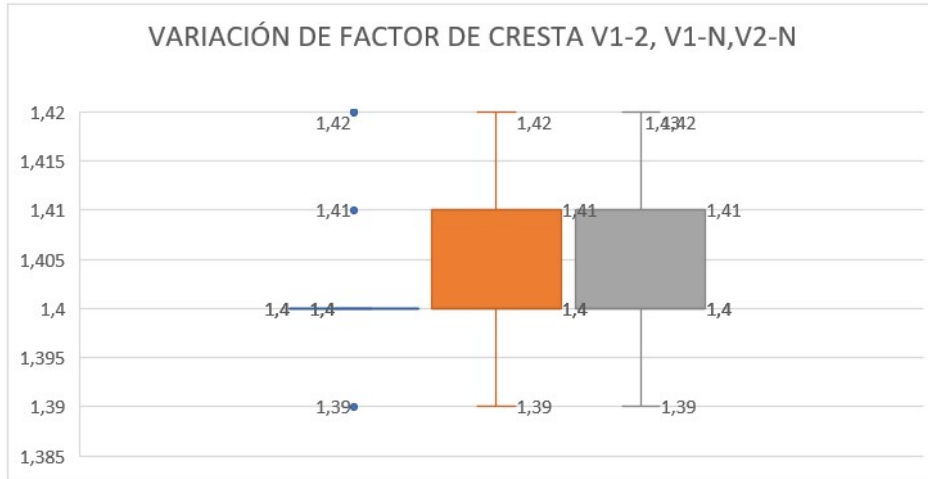


Figura 3.41 – Diagrama de bloque de FC de V1-2, V1-N y V2-N.

- PST índice de severidad por flicker de corta duración:** En la figura 3.42, se muestra el comportamiento del PST, donde los niveles de variación se encuentran de manera general por debajo de la unidad. En la figura 3.43, se ilustra que más de 95 %, de los datos muestreados son válidos, y en el diagrama de bloque se observa que casi todos los datos tienen una magnitud inferior a la unidad.

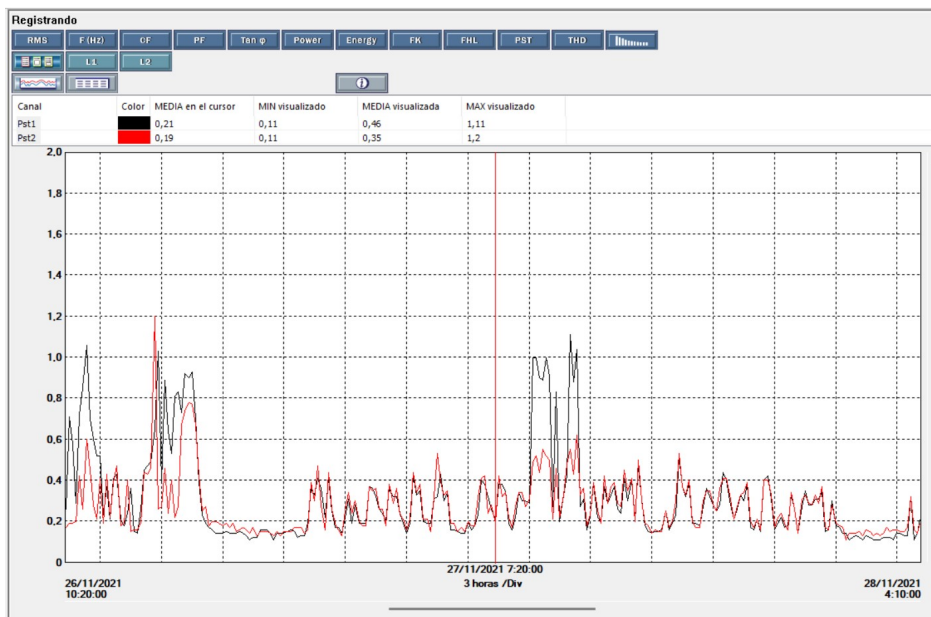


Figura 3.42 – Gráfico de PST1, PST2.

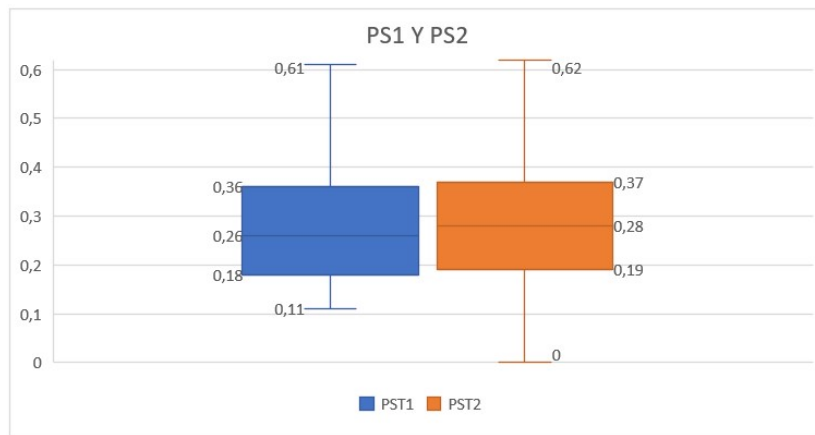


Figura 3.43 – Diagrama de bloque de PST1 Y PST2.

- **Potencia activa, reactiva y aparente:** En la figura 3.44, se muestra la potencia activa con un máximo de 6.26 kW, reactiva de 1.07 kVAR y aparente 6.43 kVA del cargador lento.

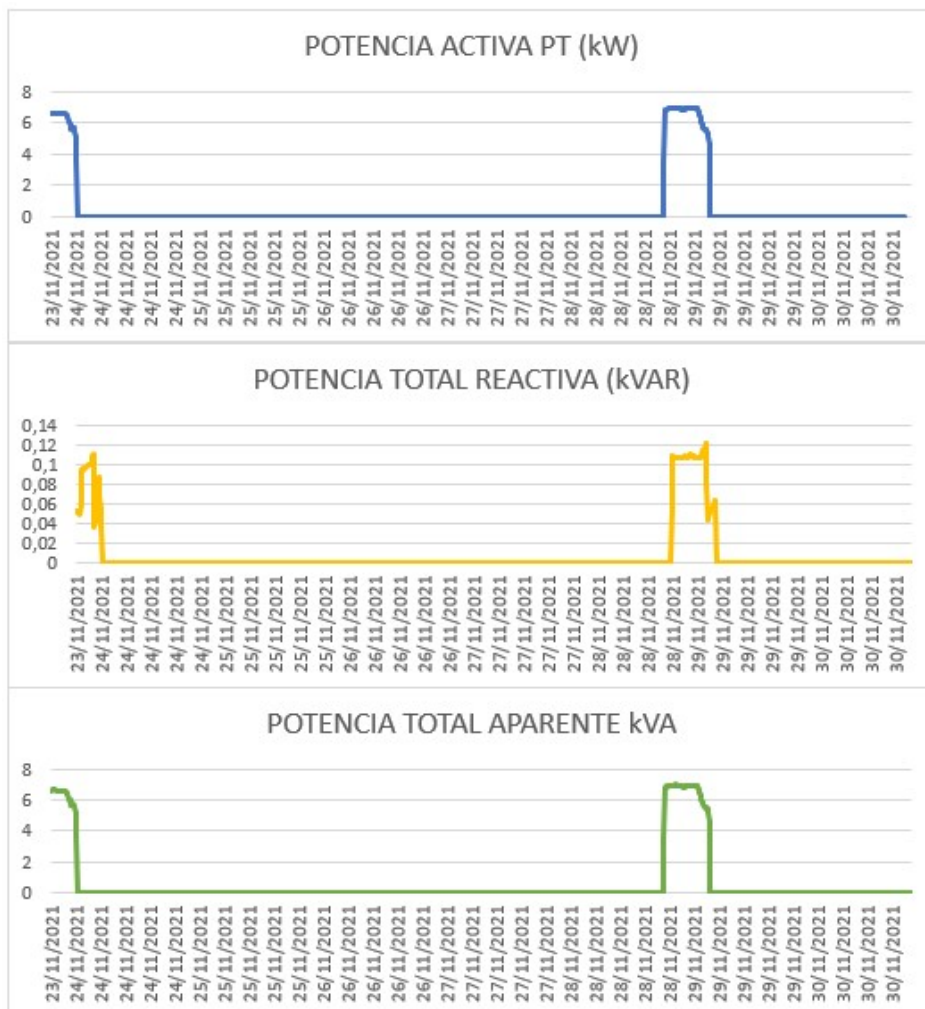


Figura 3.44 – Gráficos de potencia activa, reactiva y aparente del cargador lento.

- **THD armónicos totales de tensión línea-neutro V1-N, V2-N, V1-2:** En la figura 3.45, se muestran los registros de armónicos totales de tensión (THD), donde se evidencia niveles máximos de 4.5 %, lo cual confirmaría el cumplimiento normativo, con límites del 8 %, según regulación ARCERNR 002/20.

En la figura 3.46, en el diagrama de bloque se ilustra, que todos los datos muestreados, tienen una magnitud inferior de 4.5 %.

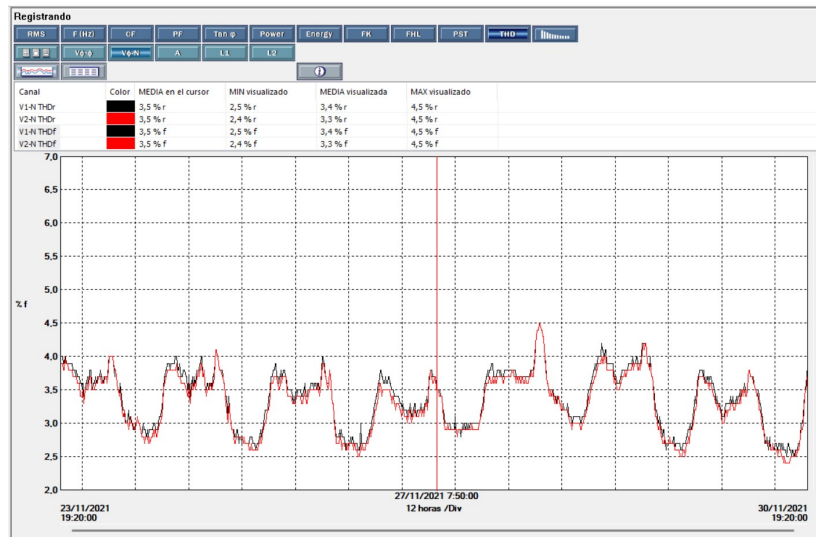


Figura 3.45 – Gráfico de armónicos totales de tensión del cargador lento.

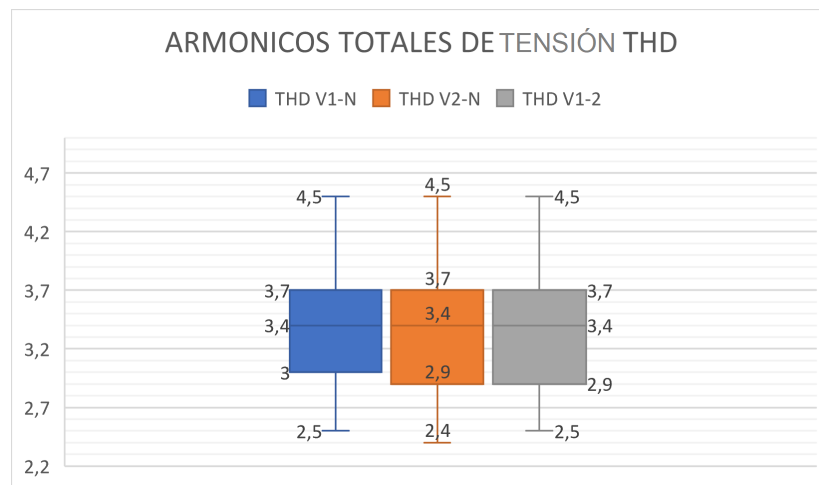


Figura 3.46 – Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión.

- **TDD distorsión de demanda total A1 y A2:** En la figura 3.47, se ilustra el comportamiento de distorsión armónica de demanda total TDD, que según la tabla 2.2, está en un TDD menor o igual al 5.0 %.

En la figura 3.48, se observa los niveles de los armónicos total de demanda de TDD.

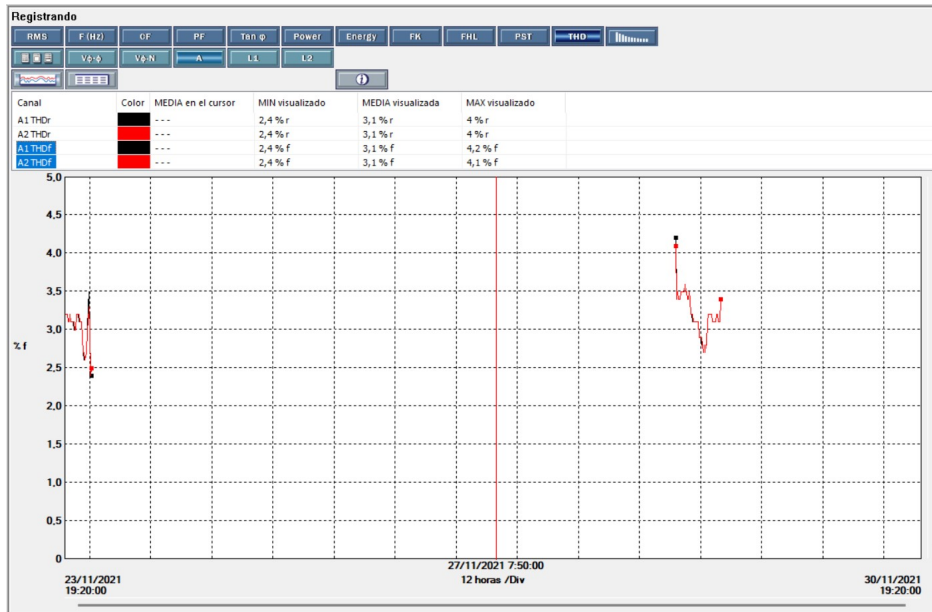


Figura 3.47 – Gráfico de monitoreo de armónicos totales de corriente.

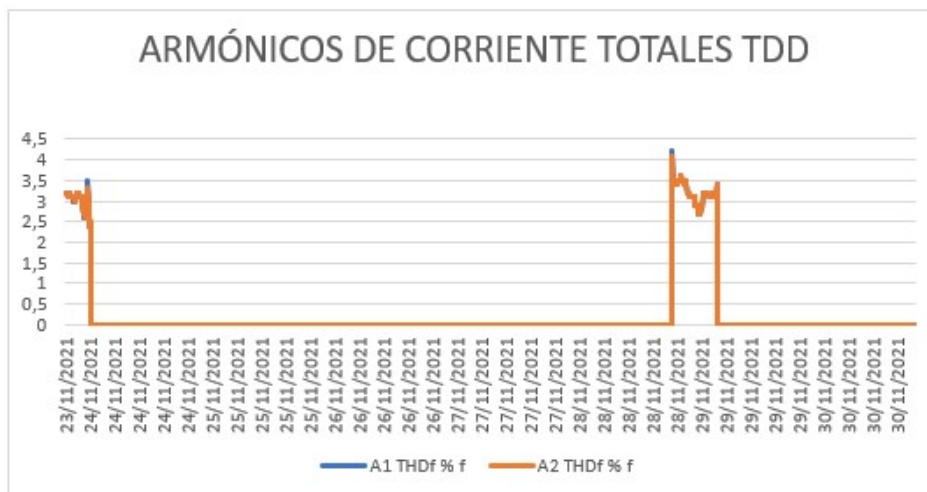


Figura 3.48 – Gráfico de tendencias de armónicos totales de demanda TDD.

- THD armónicos individuales de tensión línea-neutro V1-N y V2-N:** En la figura 3.49, se observa el registro de la variación del THD individual del armónico 0 al 50, constatando que los niveles de variación del THD se encuentran por debajo del 5%, con un máximo de 1.0 %, cumpliendo con la normativa nacional.

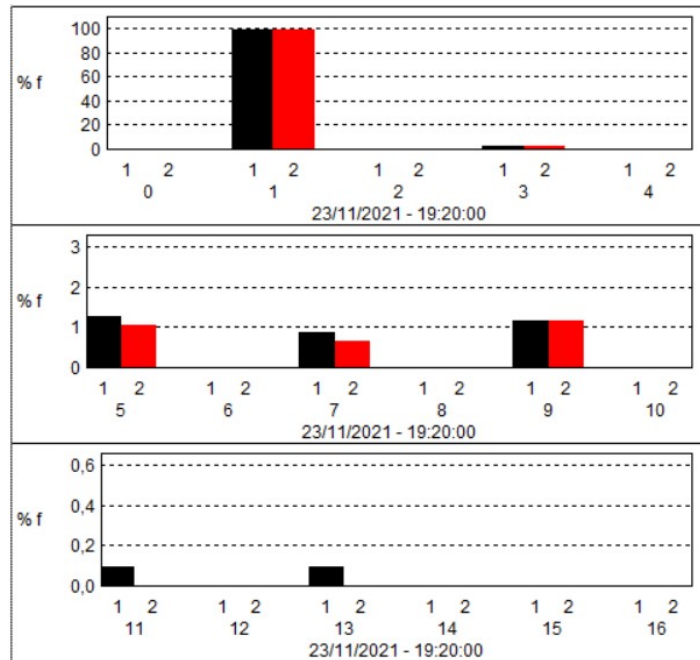


Figura 3.49 – Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de V1-N y V2-N .

- **THD armónicos individuales de tensión línea-línea V1-2:** En la figura 3.50, se muestra la gráfica de tendencia del THD individual del armónico 0 al 50, demostrándose que los niveles de variación del THD , se encuentran por debajo del 5%, con un máximo de 1.4 %.

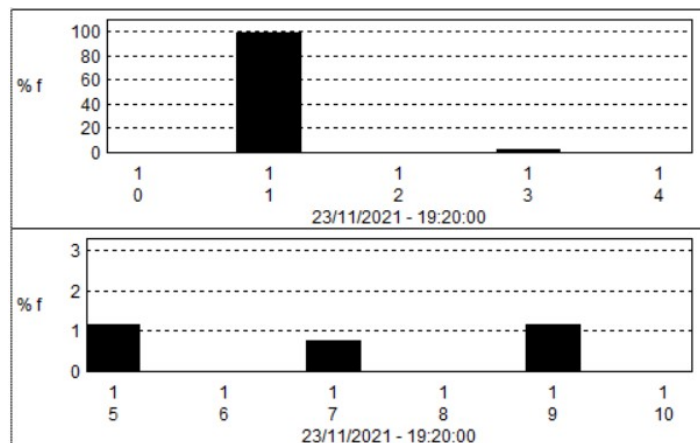


Figura 3.50 – Gráfico de tendencias de armónicos individuales de V1-2.

- **TDD distorsión de demanda individuales de corriente A1 y A2:** En la figura 3.51, se observa el comportamiento de distorsión armónica de demanda individual TDD, que de acuerdo la Tabla 2.2, está en un TDD menor o igual al 5%.

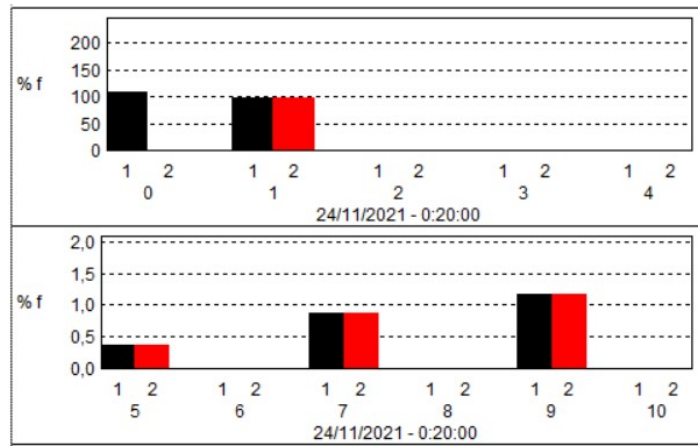


Figura 3.51 – Gráfico de tendencias de armónicos individuales corriente A1 y A2.

3.4. Análisis de calidad de energía de un cargador rápido en la ciudad de Milagro

Este análisis de calidad de energía fue desarrollado a un cargador rápido como se muestra en la figura 3.52, de una potencia de 160 kW, 200 A y 380 V trifásico, cuyos características técnicas se ilustra en la figura 3.53, el mismo que carga un cabezal marca BYD modelo QA1, ubicado a la entrada de la ciudad de Milagro, que da el servicio de transporte de caña de azúcar, desde los canteros hasta la planta de procesamiento.



Figura 3.52 – Cargador rápido marca Mc.

S. NO.	Parameters	Requirements		
General Requirements			21	Cable Type
1	EV charger Type	CCS-2+CCS-2		Supply cable will be with EVSE as per case C defined in section 6.3.1 of IEC61851-1.
2	Charger Capacity	160KW	22	Power Factor
3	Model No.	ENC-DCL160B		≥ 0.99 (Full load)
4	Energy Transfer mode	Conductive	User Interface & Display Requirements	
Input Requirements			23	ON- OFF (Start-Stop) switches
5	AC Supply System	Three-Phase, 5 Wire AC system	24	Emergency stop switch
6	Nominal Input voltage	380VAC (+6% and -10%)		Mushroom headed Push button type (Red color)
7	Input frequency	60Hz	25	Visual Indicators
Environmental Requirements				Error indication, Presence of input supply indication, Charge process indication and other relevant information
8	Ambient Temperature Range	-20 to 55° C	26	Display & touch-screen size
9	Ambient Humidity	5 to 95%		7 inch
10	Storage temperature	-40 to 70° C	27	User Authentication
11	Environmental Condition	Outdoor use		Using mobile application or User interface (OCPP gives only a field mandate, media to be used is open) / QR Code/RFID Card /Password Login
Mechanical Requirements			28	Metering Information
12	Mechanical Stability	As per IEC 61851-1 Section 11.11.2		Consumption Units
13	IP Ratings	IP 54	Communication Requirements	
14	Cooling	Forced air cooled to protect the equipment against temperature hazards	29	Communication between EVSE and Vehicle
15	Mechanical Impact	Shall not be damaged by mechanical impact as defined in Section 11.11.2 of IEC 61851-1	30	Communication between EVSE and Central Server
Output Requirements			31	Metering
16	Number of outputs	2		Grid responsive metering as per units' consumption of each vehicle
17	Type of each output	Max. 160KW, 150-750VDC, 200Amp.	32	Interface between charger and CMS
18	Output Current	Max. 200Amp		Ethernet and GPRS Modem
19	Output Connector Compatibility	CCS-2: IEC 61851-23/-24, IEC 62196-3	Protection & Safety Requirements	
20	Converter Efficiency	≥95% at nominal output power	33	Safety Parameters
				Over current, under voltage, Residual current, Surge protection, leakage protection, Short circuit, Over temperature, etc.

Figura 3.53 – Características técnicas del cargador.

En la figura 3.54, se observa la instalación de los transformadores de corriente y voltaje, cumpliendo la normativa IEEE 519-2014, para el monitoreo del equipo de ca-

alidad de energía.



Figura 3.54 – Punto de medición del cargador rápido del VE BYD Q10.

■ **Equipo utilizado.**

- Cambio en la parametrización de la configuración del equipo analizador de energía, tabla 3.2.

Tipo de conexión	Trifásica cuatro hilos
Sensores	1600 A

Tabla 3.2 – Transformador de corriente de 1600 A.

3.4.1. Análisis técnico

- Fecha de monitoreo de calidad de energía.
 - Inicio: 26 de octubre de 2021; hora: 14:00.
 - Final: 2 de noviembre de 2021; hora: 14:00.
- Análisis de parámetros eléctricos.
 - **Frecuencia:** En la figura 3.55, se ilustra que más del 99.5%, de los datos muestreados, están dentro de la norma nacional. En la figura 3.56, los niveles de variación de frecuencia se encuentran dentro del rango del +/- 1.0%.

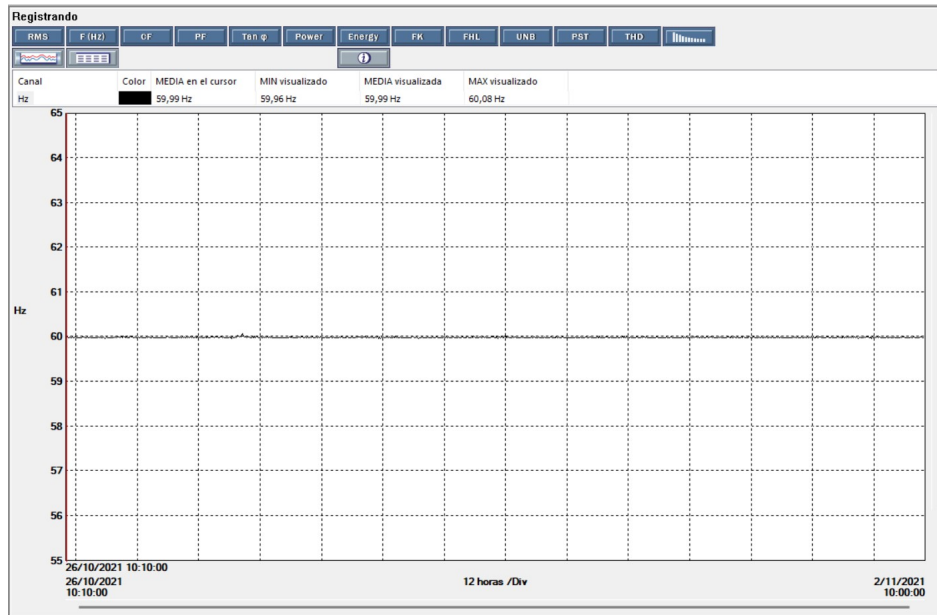


Figura 3.55 – Pantalla de monitoreo de la frecuencia del cargador rápido.

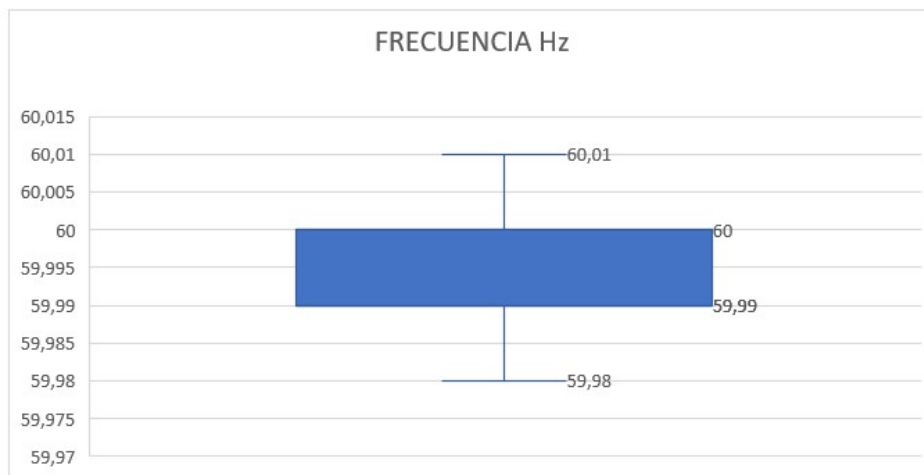


Figura 3.56 – Diagrama de bloque de variación de la frecuencia del cargador rápido.

- **V1-2, V2-3 y V3-1:** En la figura 3.57, se observa la variación de tensión V1-2, V2-3, V3-1, que se encuentran dentro del rango del $\pm 8.0\%$, conforme normativa nacional.

En la figura 3.58, se muestra que más de 95 % de los datos muestreados son válidos, y la variación mostrada en el diagrama de bloque está en el rango del $\pm 8.0\%$.

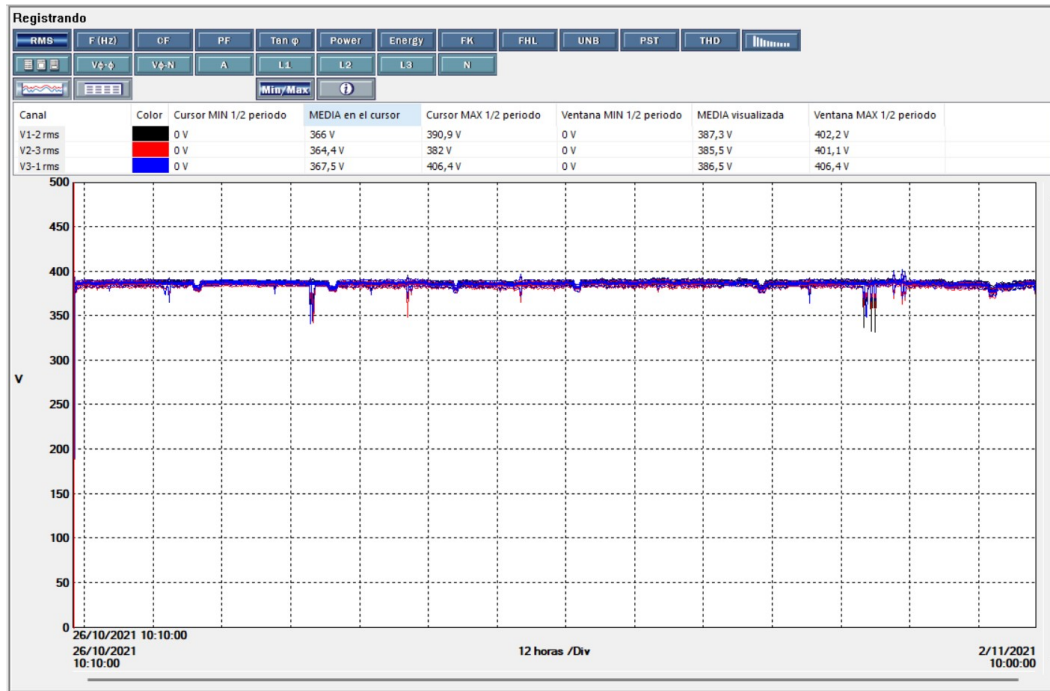


Figura 3.57 – Pantalla de monitoreo de variación de tensión línea-línea (V1-2, V2-3 y V3-1).

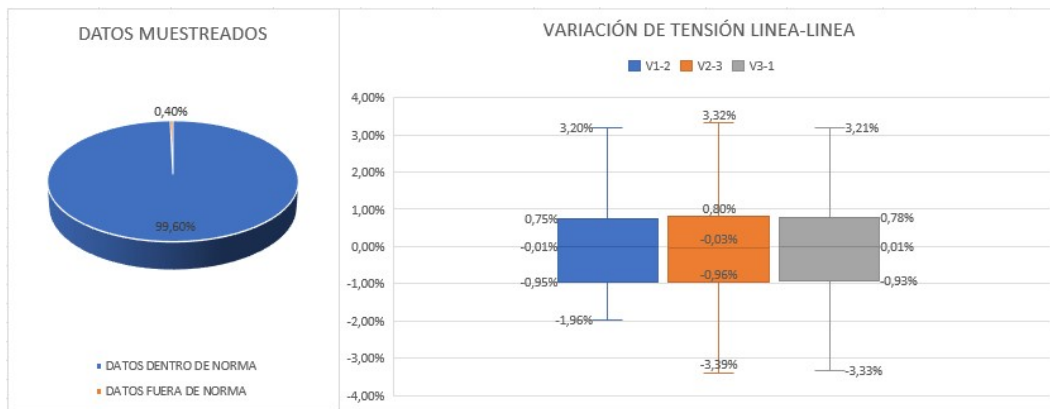


Figura 3.58 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión (V1-2, V2-3 y V3-1).

- **V1-N, V2-N y V3-N:** En la figura 3.59, se muestra la variación de tensión del cargador lento del vehículo BYD Q10, donde los registros evidencian que los datos se encuentran dentro del rango del $\pm 8,0\%$ conforme la normativa nacional.

En la figura 3.60, se ilustra que más de 95%, de los datos muestreados son válidos y variación mostrado en el diagrama de bloque está en el rango del $\pm 8,0\%$.

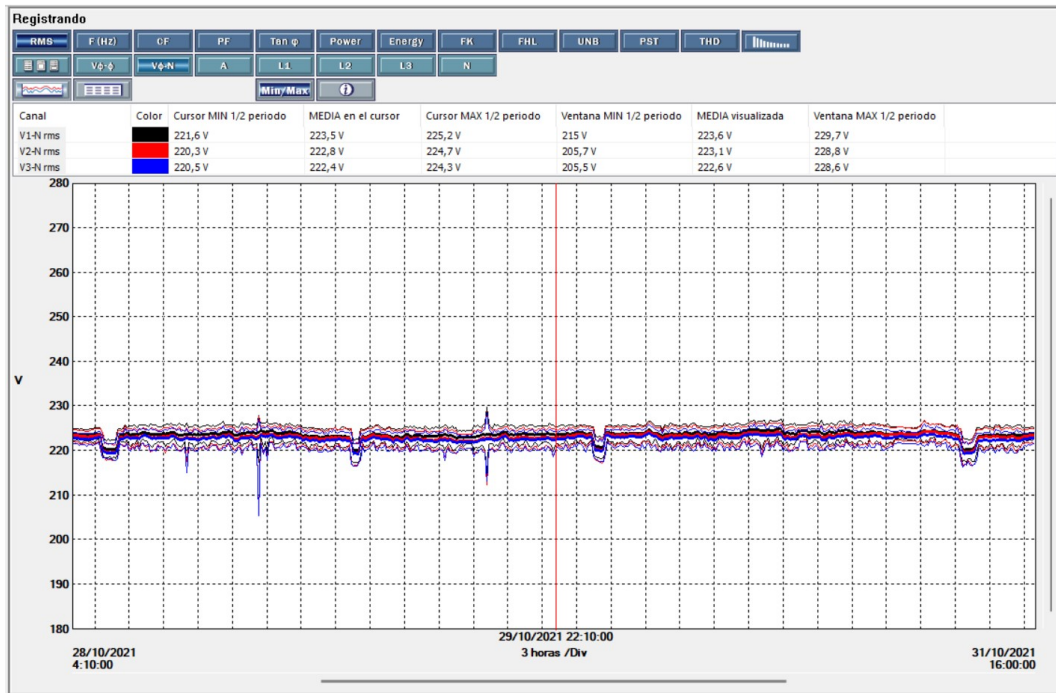


Figura 3.59 – Pantalla de monitoreo de tensión línea-neutro (V1-N, V2-N y V3-N).

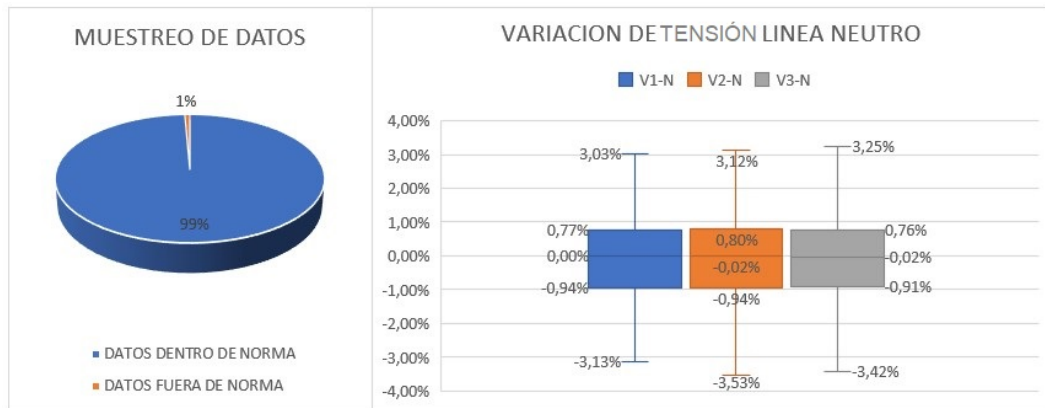


Figura 3.60 – Datos muestreados y diagrama de bloque de la variación de tensión línea-neutro (V1-N, V2-N y V3-N).

- **Corriente A1, A2 y A3:** En la figura 3.61, se grafican los registros del cargador del VE, alcanzando un valor máximo eficaz de A1= 222A, A2= 231A y A3= 219.5A, durante un periodo de registro de una semana.

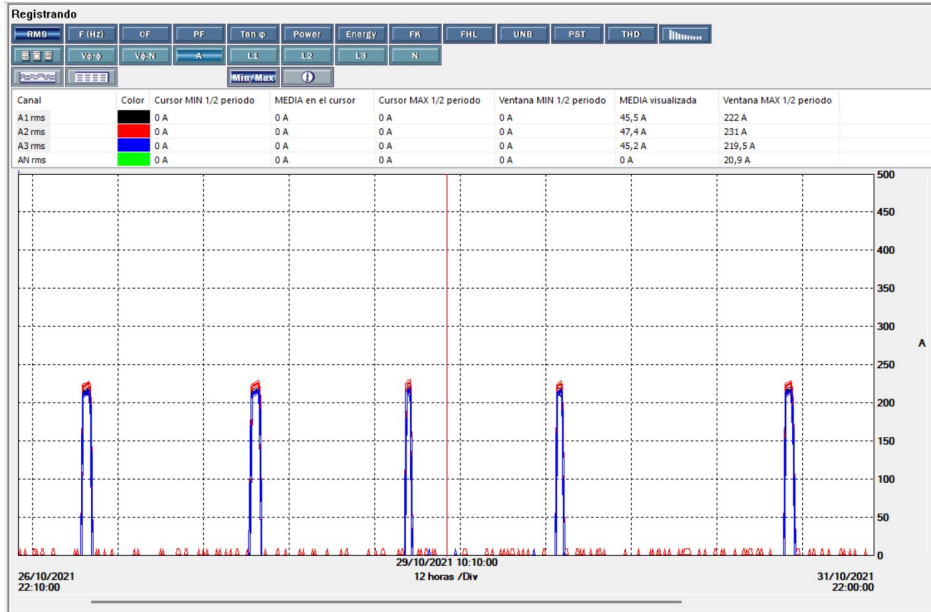


Figura 3.61 – Gráfico de consumo de corriente A1, A2 y A3.

- Factor de potencia:** En la figura 3.62, se muestra en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía Powerpad III. Se evalúa el factor de potencia del punto de suministro del cargador rápido, donde se evidencia un factor de potencia, que en este caso puntual, el valor máximo de 0.625, lo cual está por debajo de los límites establecidos por la normativa nacional, pero eso se deduce que sucede porque solo está trabajando el cargador al 50 % de su capacidad durante el monitoreo de una semana.

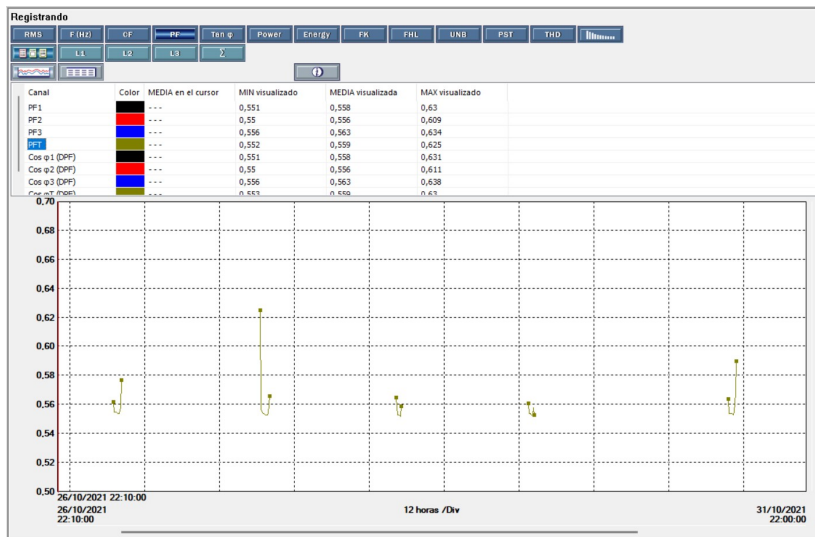


Figura 3.62 – Pantalla de monitoreo del factor de potencia del cargador rápido.

En la figura 3.63, se ilustra que casi todos los datos muestreados, tabulados en excel tienen una magnitud en promedio de 0.625.

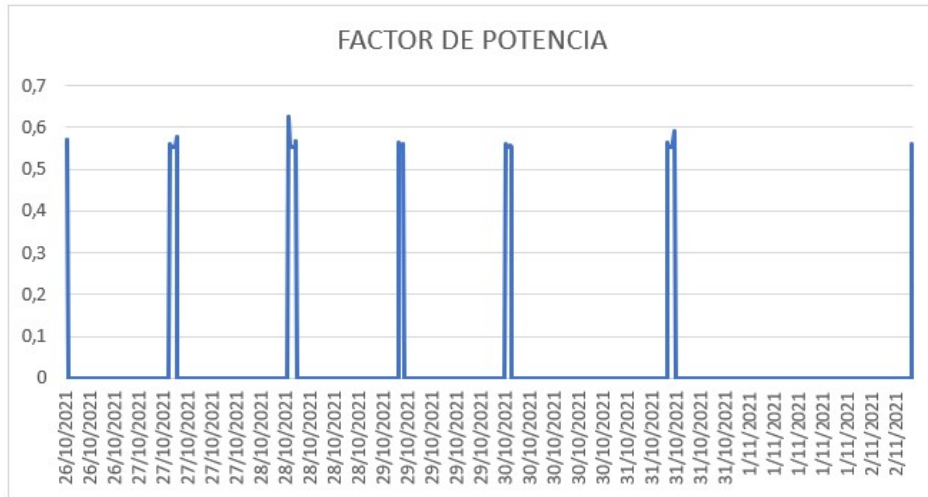


Figura 3.63 – Gráfico de variación de factor de potencia.

- **Factor de cresta línea-neutro (V1-N, V2-N y V3-N):** En la figura 3.64, se muestra la grafica del programa de análisis de calidad de energía Powerpad III, el comportamiento del factor de cresta, donde los niveles de variación se encuentran entre 1.41 y 1.43.

En la figura 3.65, se ilustra que los datos muestreados, tienen una magnitud en promedio de 1.43.

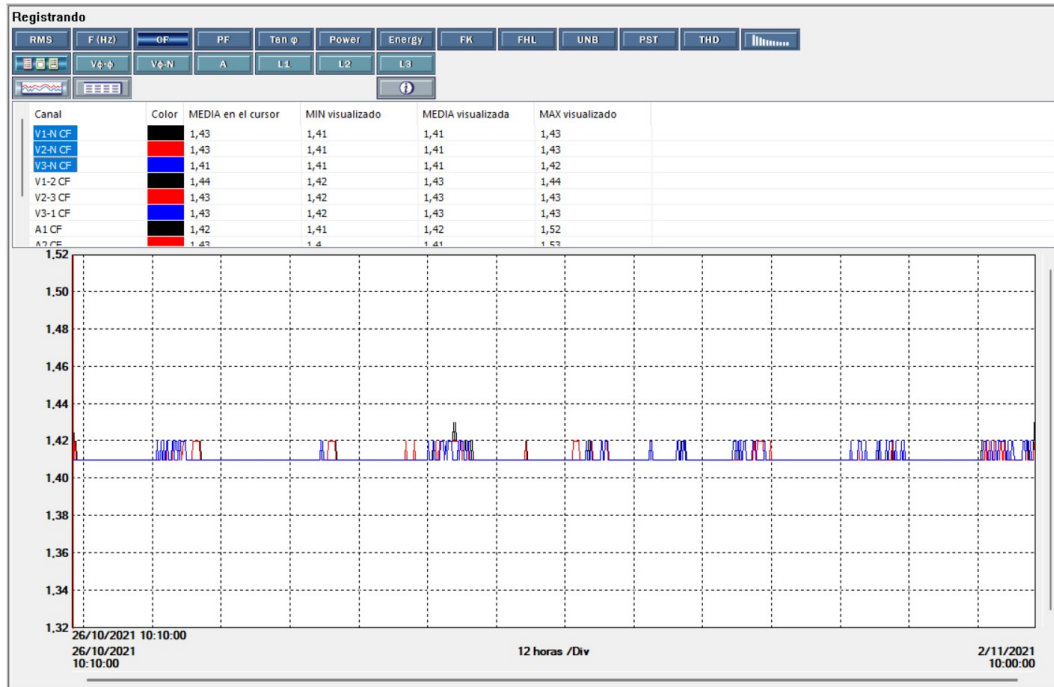


Figura 3.64 – Gráfico de FC V1-N, V2-N y V3-N.

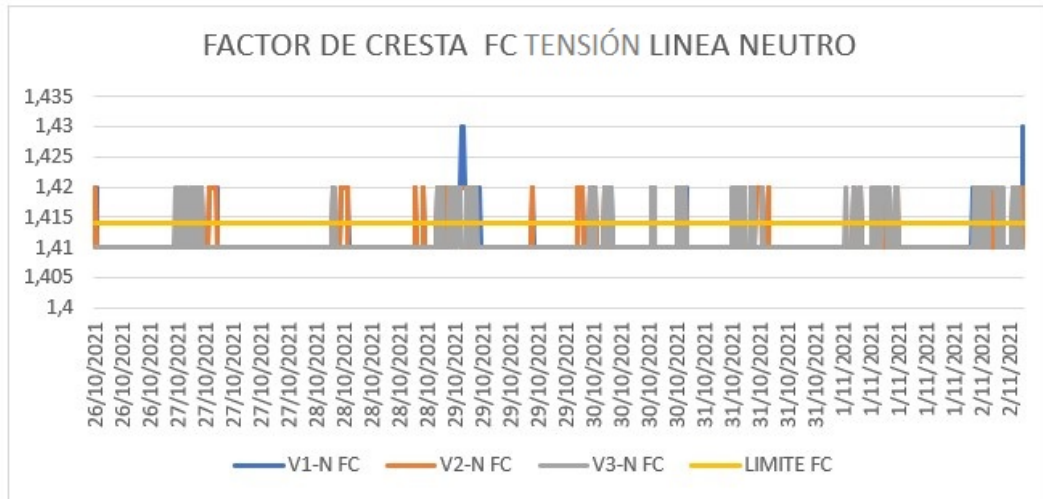


Figura 3.65 – Gráfico de variación de FC de V1-N, V2-N y V3-N.

- **Factor de cresta línea-línea V1-2, V2-3 y V3-1:** En la figura 3.66, se muestra los niveles de variación que se encuentran entre 1.41 y 1.44 según los datos obtenidos del analizador de energía.

En la figura 3.67, se ilustra que los datos muestreados tienen una magnitud en promedio de 1.44.

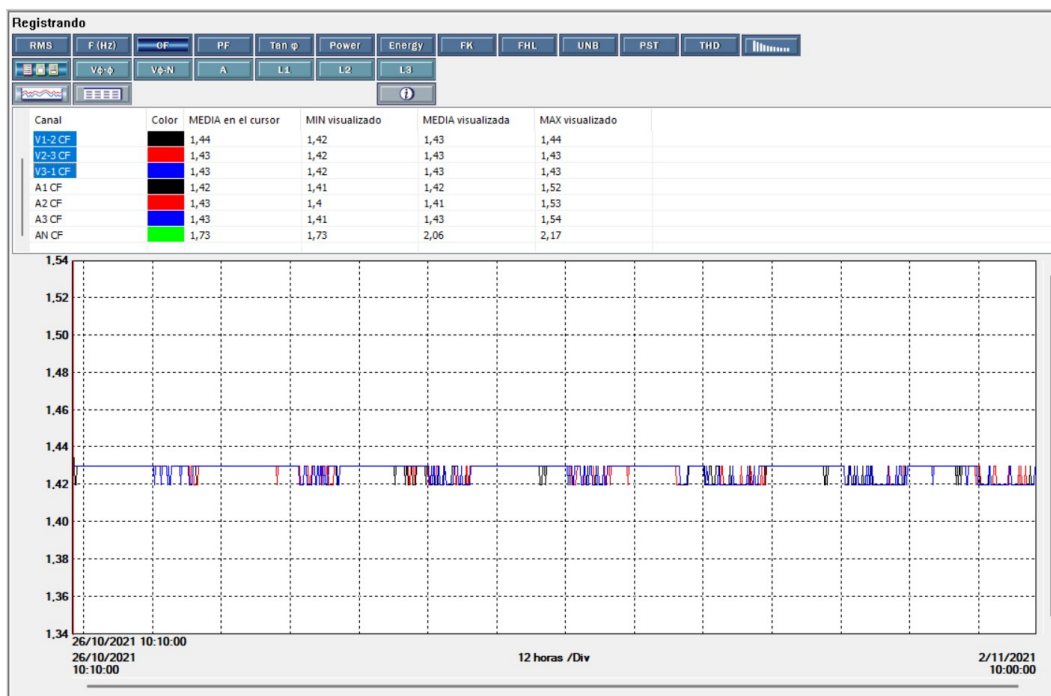


Figura 3.66 – Gráfico de FC de línea-línea V1-2, V2-3 y V3-1.

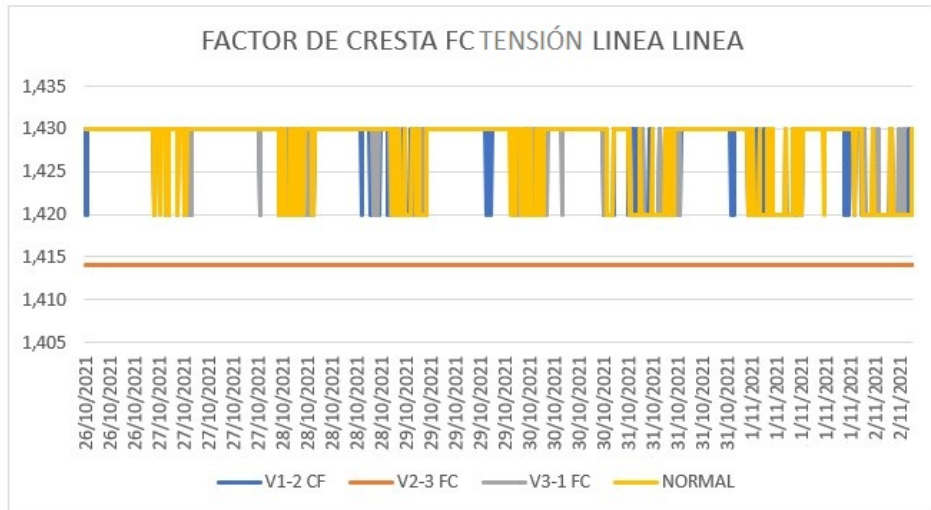


Figura 3.67 – Gráfico de variación línea-línea de FC V1-2, V2-3 y V3-1.

- **Factor de cresta A1, A2 y A3:** En la figura 3.68, se observa en la pantalla correspondiente al programa de análisis de calidad de energía Powerpad III, el comportamiento del factor de cresta de corriente, donde los niveles de variación se encuentran entre 1.41 y 1.55.

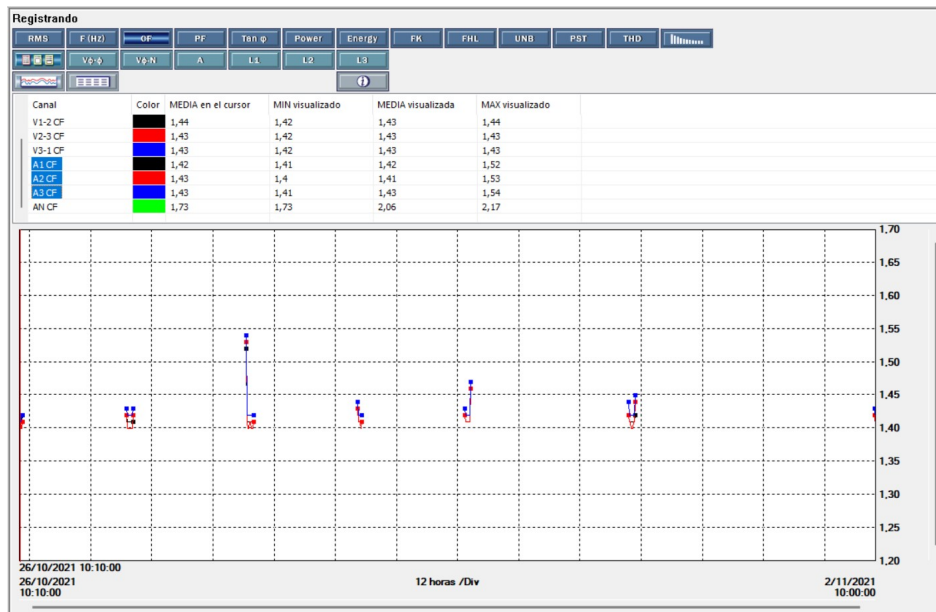


Figura 3.68 – Gráfico de FC de corriente A1, A2 y A3.

- **PST índice de severidad por flicker de corta duración:** En la figura 3.69, se muestra en los datos obtenidos el comportamiento del PST (índice de severidad de corta duración), donde los niveles de variación se encuentran de manera general por debajo de la unidad.

En la figura 3.70, se ilustra que más de 95% de los datos muestreados son válidos, y en el diagrama de bloque se aprecia que casi todos los datos tienen

una magnitud inferior a la unidad.

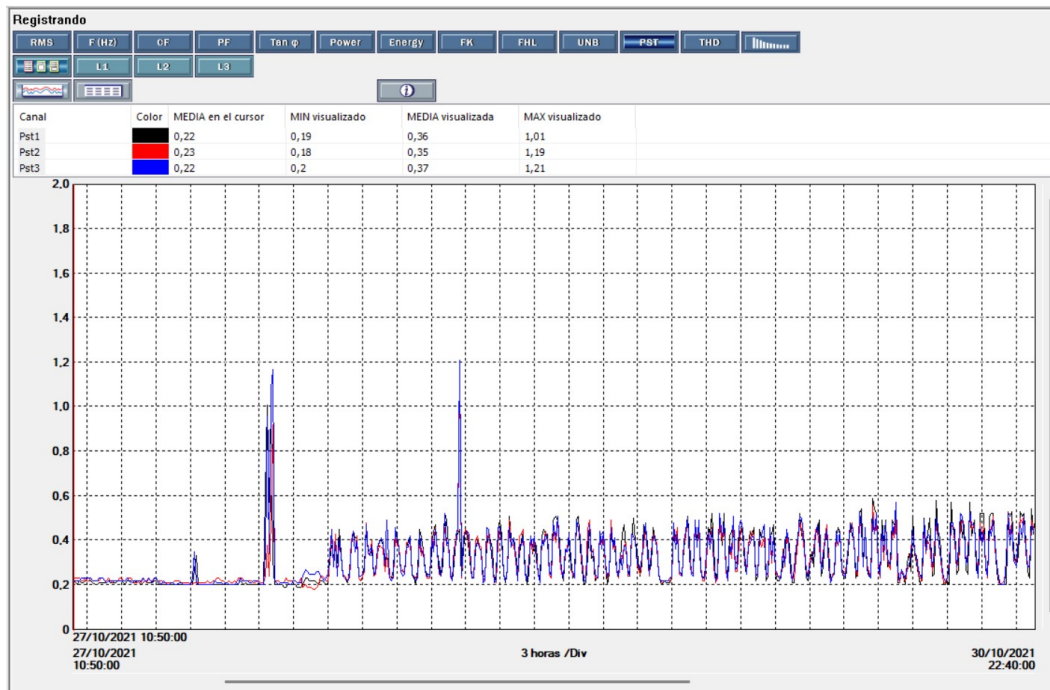


Figura 3.69 – Gráfico de PST1, PST2 y PST3.

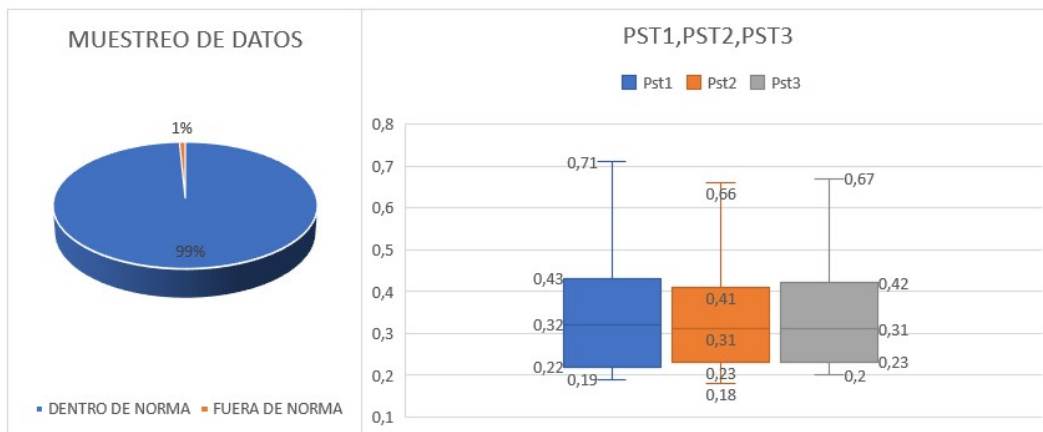


Figura 3.70 – Diagrama de bloque de PST1, PST2 y PST3.

- **Potencia activa, reactiva y aparente:** En la figura 3.71, se muestra la potencia activa con un máximo de 80.16 kW, reactiva de 120.6 kVAR y 144.8 kVA.

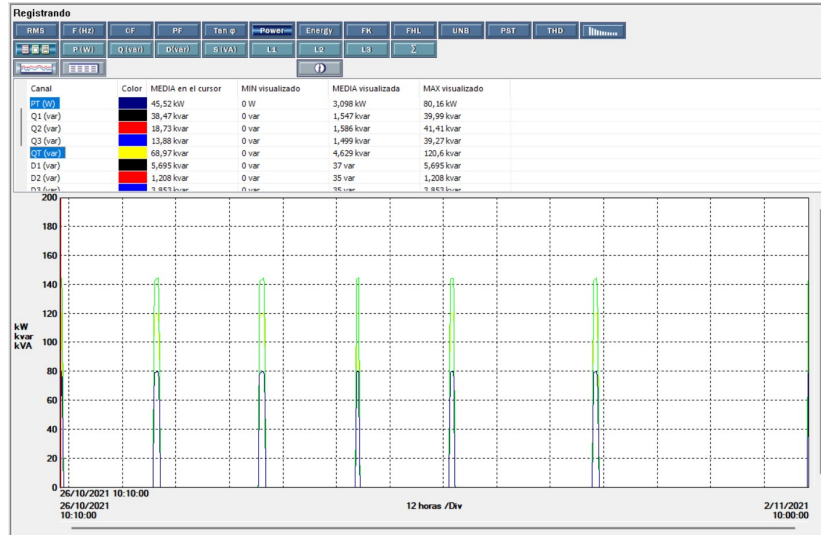


Figura 3.71 – Gráficos de potencia activa, reactiva y aparente.

- **THD armónicos totales de tensión línea-neutro V1-N, V2-N y V3-N:** En la figura 3.72, se grafican los registros de armónicos totales de tensión (THD), con niveles máximos de 0.7%, lo cual confirmaría el cumplimiento normativo, con límites del 8%.

En la figura 3.73, en el diagrama de bloque se ilustra que todos los datos muestreados tienen una magnitud inferior de 0.6%.

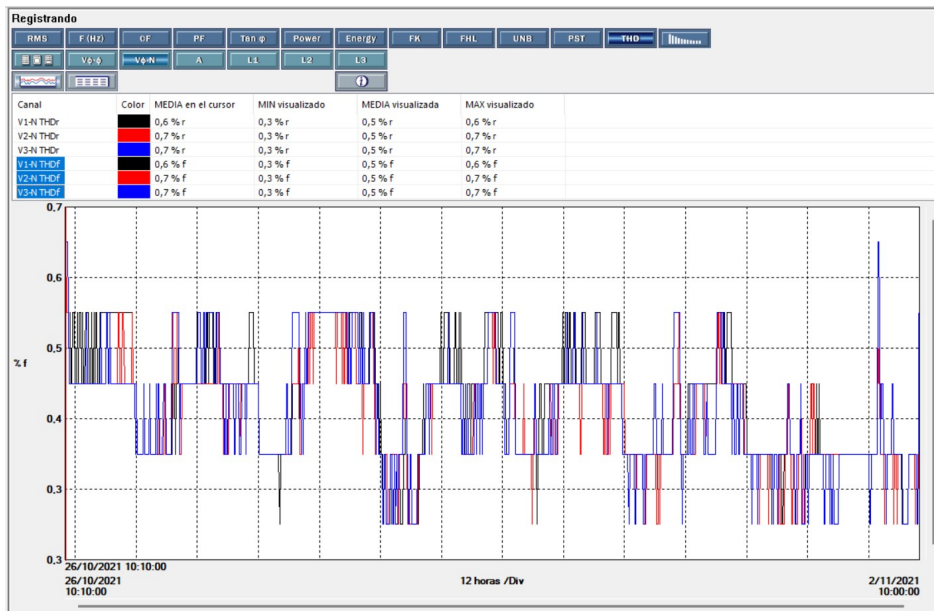


Figura 3.72 – Gráfico de armónicos totales de tensión V1-N, V2-N y V3-N.

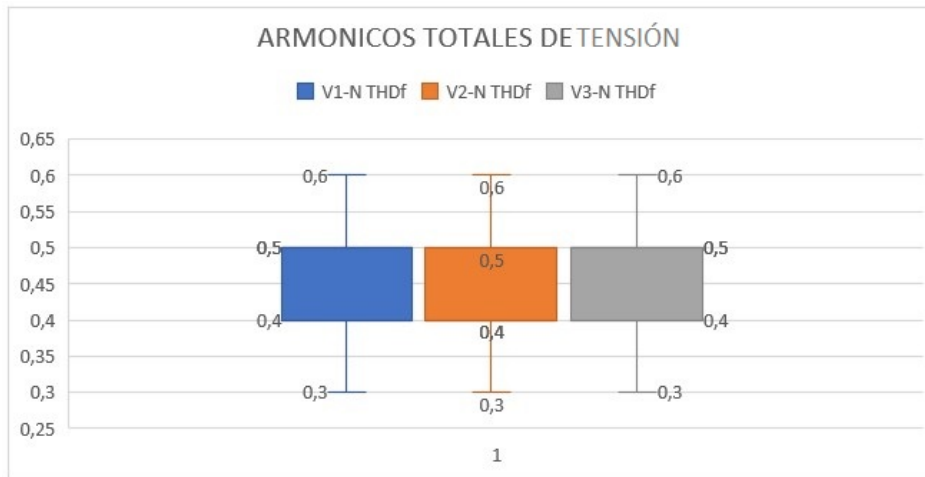


Figura 3.73 – Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión V1-N, V2-N y V3-N.

- **THD armónicos totales de tensión línea-línea V1-2, V2-3 y V3-1:**
En la figura 3.74, se observa el comportamiento del THD con un máximo de 0.7 %, lo cual confirmaría el cumplimiento normativo, con límites del 8 %.

En la figura 3.75, en el diagrama de bloque se ilustra, que todos los datos muestreados, tienen una magnitud inferior de 0.6 %.

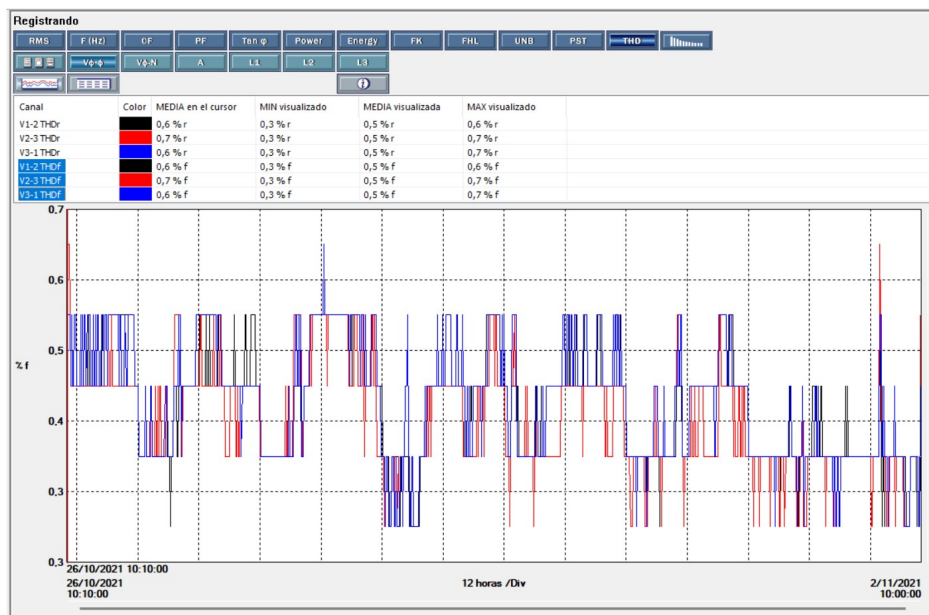


Figura 3.74 – Gráfico de armónicos totales de tensión V1-2, V2-3, V3-1.

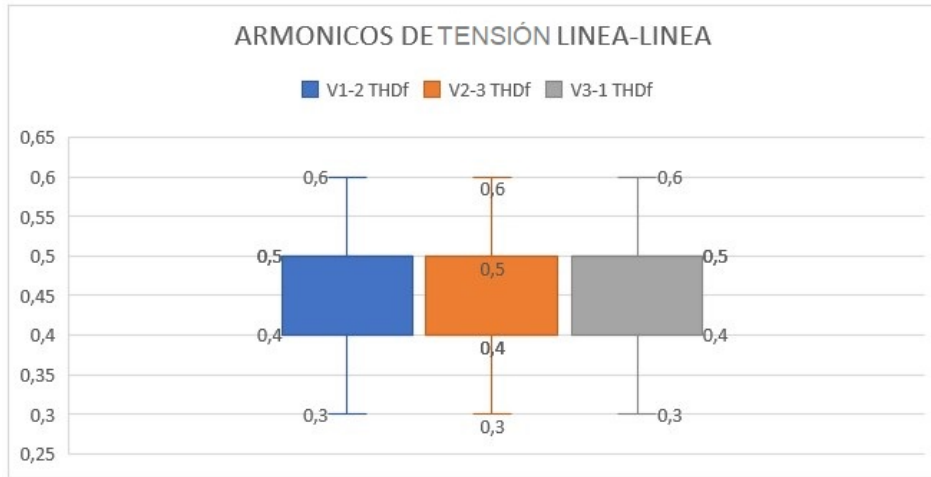


Figura 3.75 – Diagrama de bloque de armónicos totales de tensión V1-2, V2-3 y V3-1.

- **TDD distorsión de demanda total de corriente A1, A2 y A3:** En la figura 3.76, se muestra la gráfica de distorsión armónica de demanda total TDD, que de acuerdo a la tabla 2.2, está en un TDD menor o igual al 5.0 %. En la figura 3.77, se ilustran los niveles de TDD.

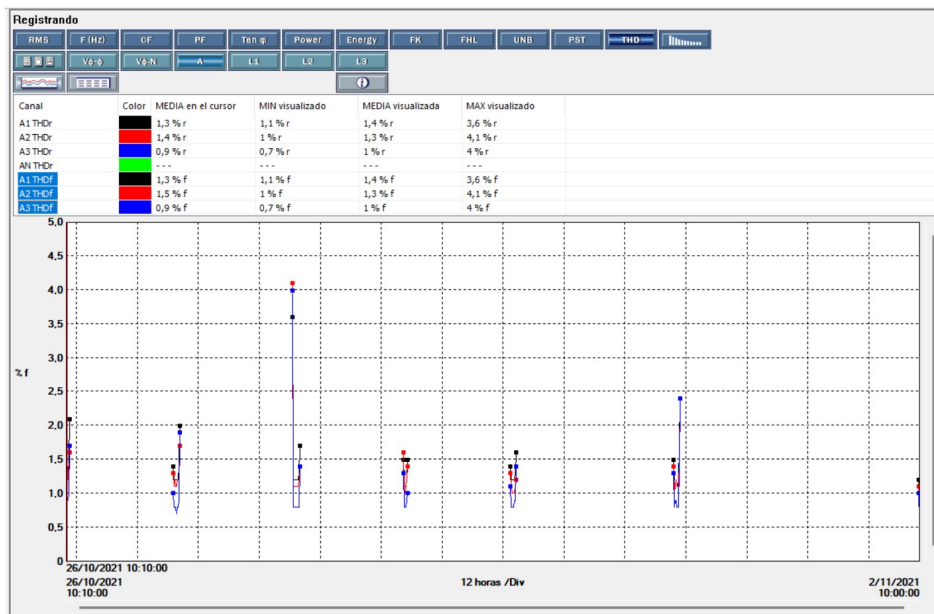


Figura 3.76 – Gráfico de monitoreo de armónicos totales de corriente.

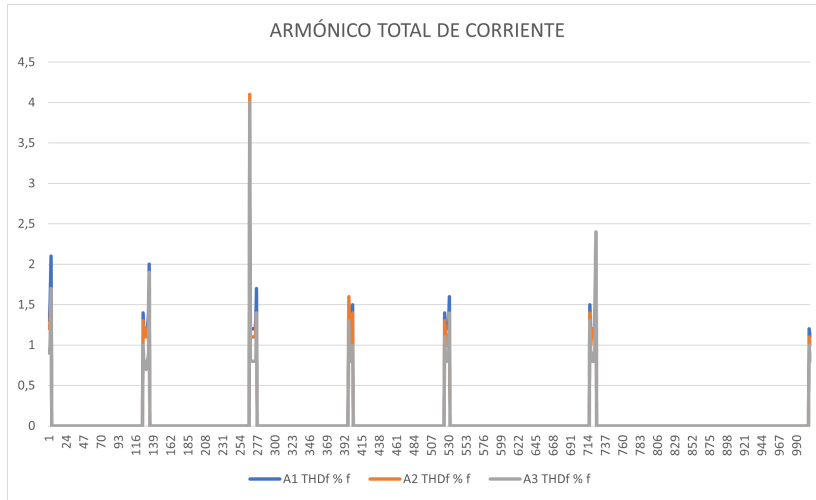


Figura 3.77 – Gráfico de tendencias de armónicos totales de corriente.

- **THD armónicos individuales de tensión línea-neutro V1-N, V2-N y V3-N:** En la figura 3.78, se muestra el comportamiento del THD individual del 0 al 50 armónico, en donde se evidencia que los niveles de variación tienen un máximo de 1.8 %.

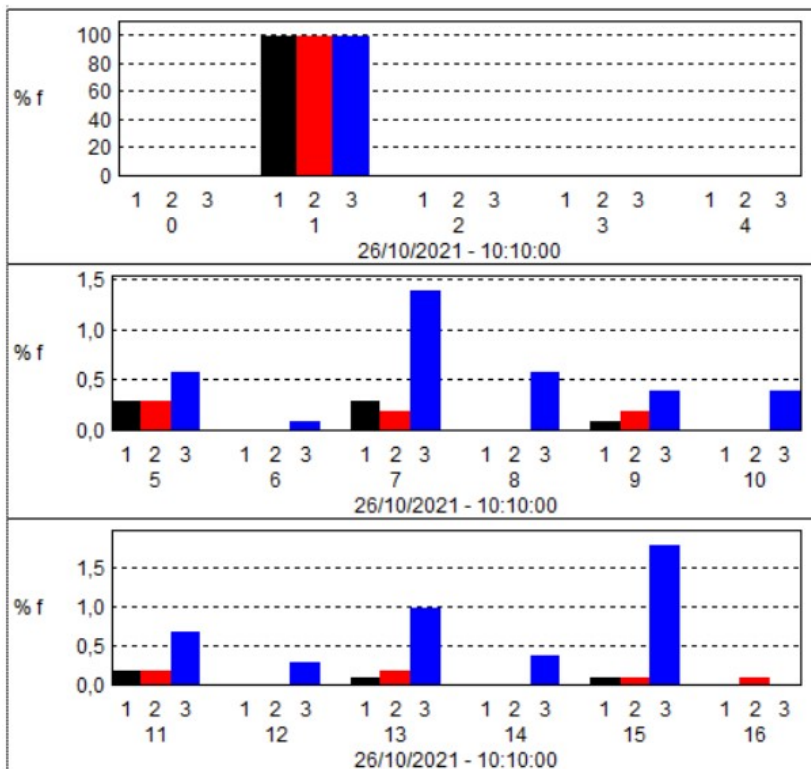


Figura 3.78 – Gráfico de porcentaje de armónicos individuales de V1-N, V2-N y V3-N.

- **THD armónicos individuales de tensión línea-línea V1-2, V2-3 y V3-1:** En la figura 3.79, se ilustra en la pantalla correspondiente al programa

de análisis de calidad de energía Powerpad III, los niveles de variación tienen un máximo de 0.6 %.

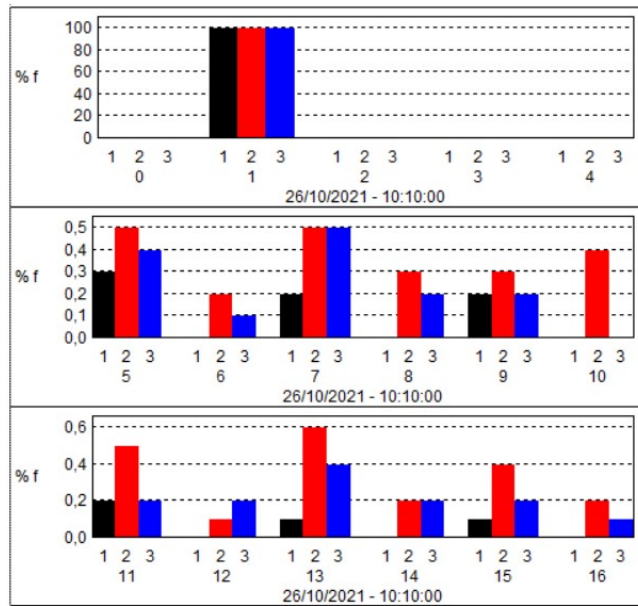


Figura 3.79 – Gráfico de tendencias de armónicos individuales de V1-2, V2-3 y V3-1.

- **TDD distorsión de demanda individuales de corriente A1, A2 y A3:** En la figura 3.80, se muestra el comportamiento de distorsión armónica de demanda individual TDD, que según la Tabla 2.2, está en un TDD menor o igual al 5 %.

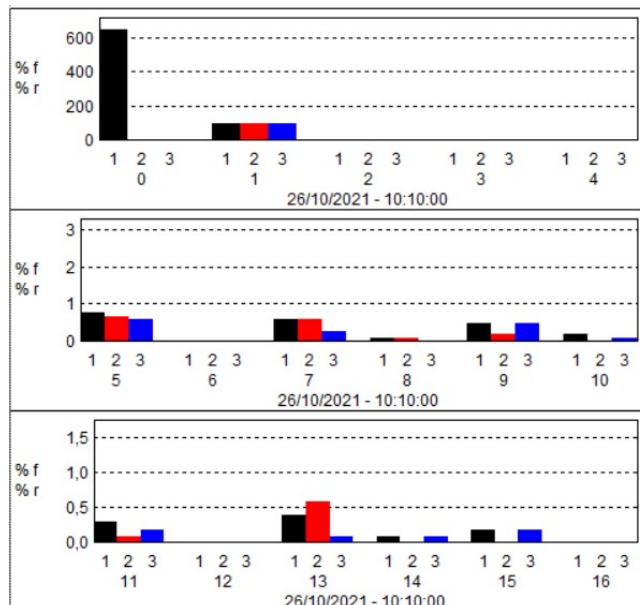


Figura 3.80 – Gráfico de tendencias de armónicos individuales de corriente A1, A2 y A3.

ANÁLISIS DE INVERSIÓN Y CONTAMINACIÓN AL MEDIO AMBIENTE

En este capítulo, se busca evaluar indicadores financieros asociados a la adquisición y operación de los vehículos eléctricos aplicables al servicio de transporte público en la ciudad de Guayaquil. Adicionalmente, estudiar la reducción del impacto ambiental de las propuestas de electromovilidad planteadas.

4.1. Análisis económico de un VE tipo auto

4.1.1. Costo de la unidad (CU)

Para el análisis se ha tomado como referencia los datos del auto eléctrico BYD E5 y de combustión Nissan Versa. Como se observa en la figura 4.1, se ha escogido estos modelos de autos ya que se consideran similares sus características técnicas y operativas.



Figura 4.1 – Imágenes del automóvil marca BYD E5 y Nissan Versa.
Fuente: <https://bydelectrico.com> y [https:// www.nissan.com.ec](https://www.nissan.com.ec).

Los costos de adquisición de las unidades generalmente se obtienen de las cotizaciones realizadas en los concesionarios, como se muestra en la tabla 4.1.

Costo del BYD E5 (VE)	Costo del Nissan Versa (VC)
\$ 32.000.00	\$ 23.990.00

Tabla 4.1 – Costo de las unidades (CU).

4.1.2. Costo de mantenimiento (CM)

Es el costo del plan de mantenimiento preventivo en cada una de las casas comerciales o concesionarias, tomando como base un recorrido de 100.000 km y un aproximado de \$ 0.01 y \$ 0.075 dolares por kilómetro recorrido de un VE y VC, respectivamente, se describe en la tabla 4.2.

Descripción	Costo 100.000 (km) USD	
	VE	VC
Mantenimiento	\$ 1.000.00	\$ 7.500.00

Tabla 4.2 – Costo del mantenimiento durante los 100.000 km.

4.1.3. Costo de operación y consumo energético (CO)

Es el costo del consumo energético considerando un recorrido de 100.000 km y un costo aproximado de energía de un VE de \$ 0.05 que por cada 1 kWh recorre 6.6 km y en el VC con un costo de gasolina ecopaís de \$ 2.55 recorriendo por cada galón 35 km, como se muestra en la tabla 4.3.

Descripción	Costo USD	
	VE	VC
Operación y consumo energético	\$ 5.558.00	\$ 12.086.00

Tabla 4.3 – Costo de operación y consumo energético de un VE y VC en 100.000 km.

4.1.4. Costo total (CT)

El costo total se determina sumando todos los rubros descritos anteriormente:

$$CT = CM + CO \tag{4.1}$$

4.1.5. Evaluación a corto, mediano y largo plazo

Al momento de plantear cualquier proyecto, más allá de las ventajas técnicas que ofrecen los VE, es imprescindible saber cuál es la sostenibilidad económica, para que sea atractivo para los inversionistas, motivo por el cual se realiza un análisis a corto, mediano y largo plazo para verificar si se lo puede utilizar como taxi en la ciudad de Guayaquil [Torres y Sarmiento, 2015].

- Análisis a corto plazo:** En la tabla 4.4, se muestra que el VE requiere una inversión inicial más costosa que el VC, sin embargo el costo de mantenimiento (CM) es aproximadamente 7 veces mayor en el VC. De igual manera, se observa que el costo de operativo (CO) es el doble en el VC. Considerando un taxi que recorre aproximadamente 100.000 km al año, se evidencia que al término del primer año el VE resulta más económico, con un ahorro estimado de \$ 43.576.00 - \$ 38.558.00 = \$ 5.018.00. Adicionalmente se ha evaluado el CO2 evitado que es de 21.84 toneladas CO2 al año por pasajero [Mejía, 2021], esto es, el equivalente al CO2 absorbido por 66.40 árboles maduros (mayores a 10 años) al año por pasajeros.

Vehículo	COSTOS A CORTO PLAZO (USD)					
	CU	CM	CO	CT	t CO2 pasajero/km)	No. árboles
Combustión (VC)	\$ 23.990.00	\$ 7.500.00	\$ 12.086.00	\$ 43.576.00	21.84	66.40
Eléctrico (VE)	\$ 32.000.00	\$ 1.000.00	\$ 5.558.00	\$ 38.558.00	0.00	0.00

Tabla 4.4 – Costo total a corto plazo.

En la figura 4.2, se ilustra el diagrama de barras, donde se observa una marcada diferencia entre los costo de mantenimiento (CM) y operativos (CO) en el primer año, entre el auto eléctrico (VE) y de combustión (VC).

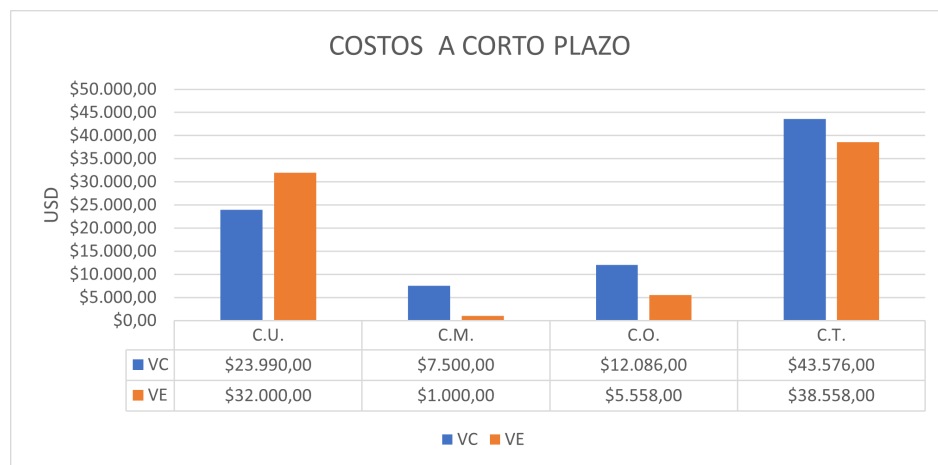


Figura 4.2 – Diagrama de barras del costo total a corto plazo de VE y VC.

En la figura 4.3, se observa la cantidad de toneladas de CO2 por pasajero al año que genera un VC y el número de árboles que son necesarios sembrar para capturar dicha cantidad de emisiones [Mejía, 2021].

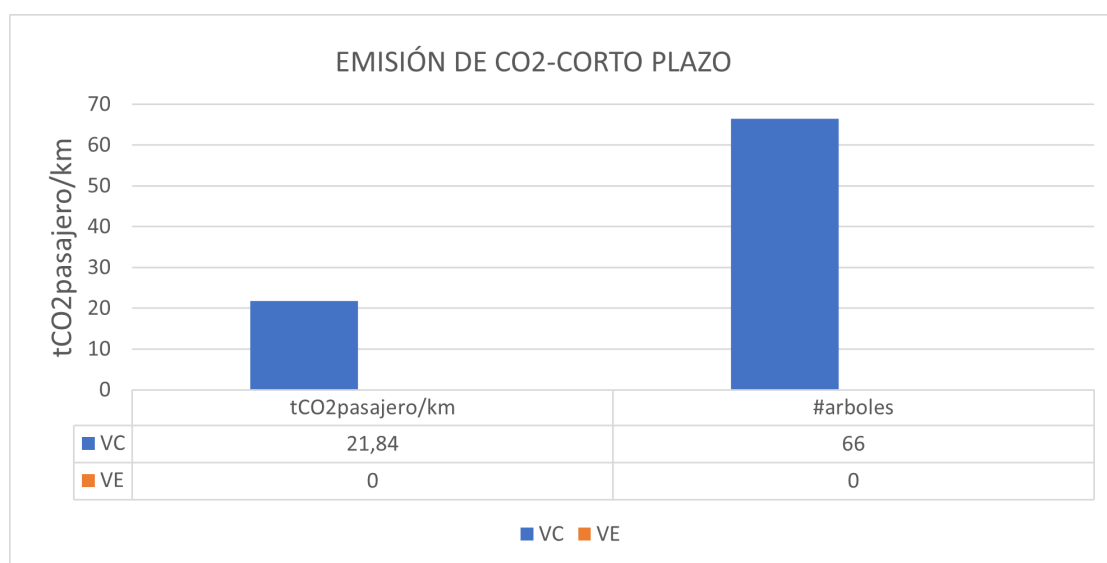


Figura 4.3 – Diagrama de barras de generación a corto plazo de CO2 de VC y VE.

- **Análisis a mediano plazo.** En la tabla 4.5, se ha considerado un periodo de 5 años como mediano plazo, en donde se observa la variación de los costos de mantenimiento (CM) y operativos (CO), evidenciando que al término del quinto año (500.000 km), el VE costaría aproximadamente la mitad del VC, además que se va a evitar 109,20 toneladas de CO2 por pasajero al año, equivalente al CO2 absorbido por 333 árboles maduros en 5 años.

Vehículo	COSTOS A MEDIANO PLAZO (USD)					
	CU	CM	CO	CT	t CO2 pasajero/km)	No. árboles
Combustión (VC)	\$ 23.990.00	\$ 37.500.00	\$ 60.430.00	\$ 121.920.00	109.20	333.00
Eléctrico (VE)	\$ 32.000.00	\$ 5.000.00	\$ 27.790.00	\$ 64.790.00	0.00	0.00

Tabla 4.5 – Costo total a mediano plazo (5 años o 500.000 km).

En la figura 4.4, se ilustra en el gráfico de barras una marcada diferencia entre los costo de mantenimiento (CM) y operativos (CO) durante 5 años (500.000 km) de funcionamiento del taxi eléctrico (VE) respecto al de combustión (VC).

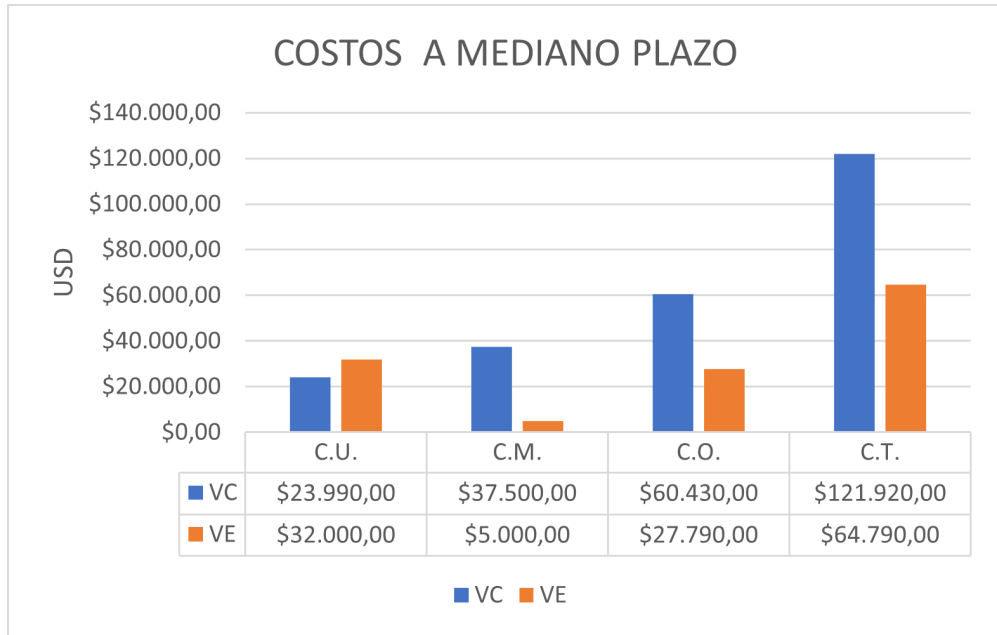


Figura 4.4 – Diagrama de barras de los costos a mediano plazo de VE y VC tipo auto.

En la figura 4.5, se observa la cantidad de CO2 que emite un VC, y la reparación ambiental necesaria para capturar dichos gases de efecto invernadero [Mejía, 2021].

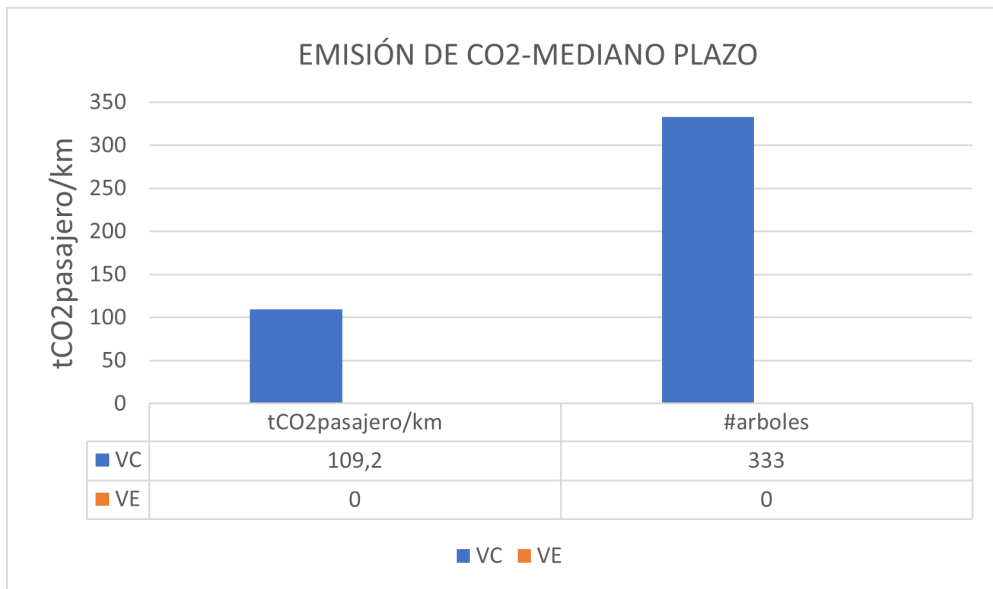


Figura 4.5 – Diagrama de barras de emisiones de CO2 a mediano plazo (5 años) de VC y VE.

- **Análisis a largo plazo.** En la tabla 4.6, se muestra que se ha considerado un

periodo de 10 años como largo plazo, donde se evidencia los costos de mantenimiento (CM) y operativos (CO) y los resultados al término de los 10 años.

Vehículo	COSTOS A LARGO PLAZO (USD)					
	CU	CM	CO	CT	t CO2 pasaje-ro/km)	No. árboles
Combustión (VC)	\$ 23.990.0	\$ 75.000.0	\$ 120.860.0	\$ 219.850.0	218,4	666
Eléctrico (VE)	\$ 32.000,0	\$ 10.000,0	\$ 55.580.0	\$ 97.580.0	0	0

Tabla 4.6 – Costo a largo plazo.

En la figura 4.6, se observa la diferencia entre los costo de mantenimiento (CM) y operatvos (CO) en el décimo año.

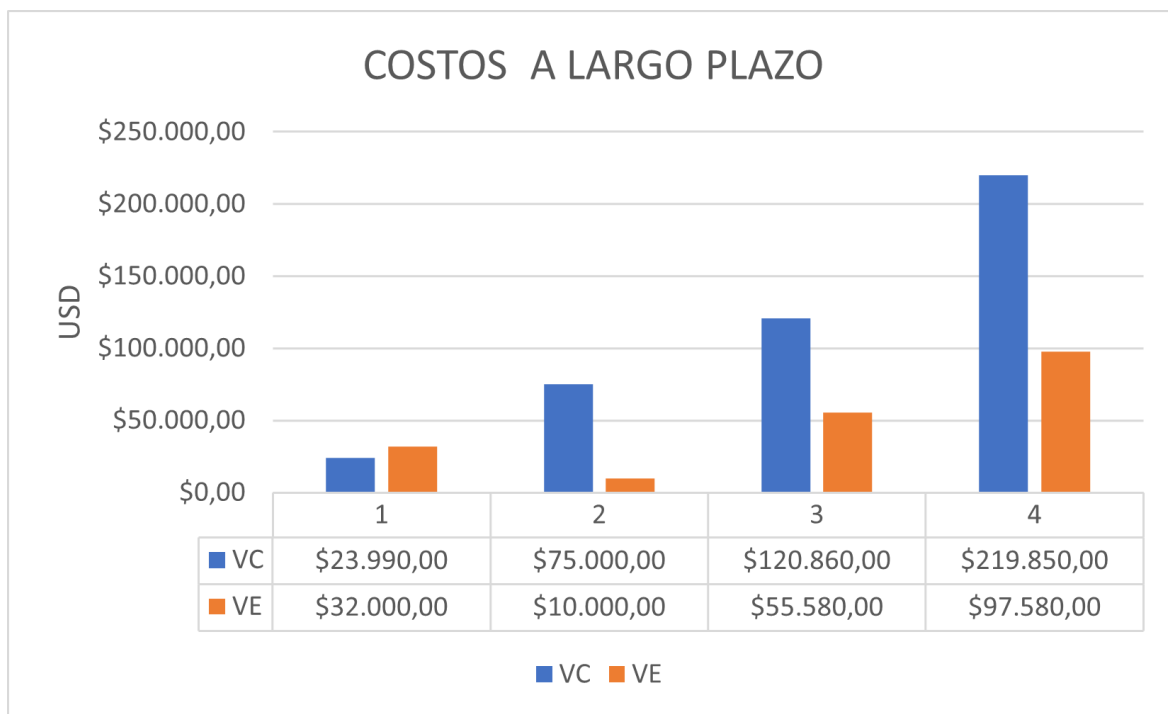


Figura 4.6 – Diagrama de barras de los costos a largo plazo de los VE y VC.

En la figura 4.7, se ilustra los árboles maduros necesarios que deben estar sembrados, para capturar la cantidad de CO2 generada por los vehículos de combustión (VC) [Mejía, 2021].

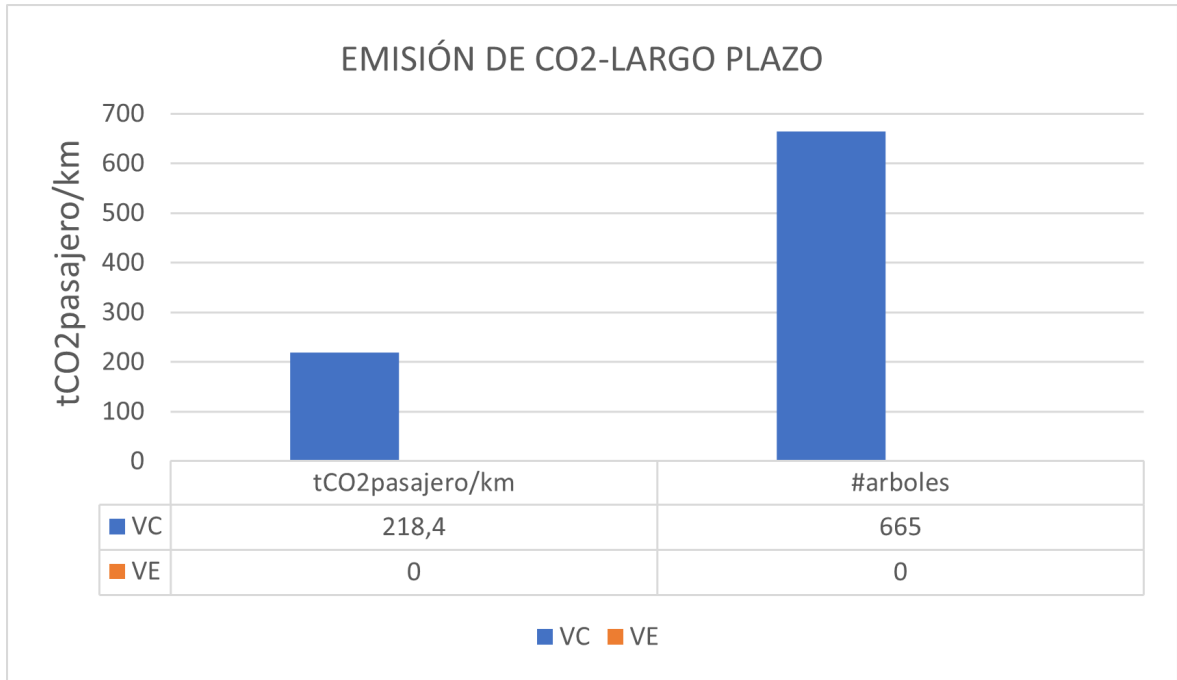


Figura 4.7 – Generación de CO₂ de VC y VE a largo plazo.

4.2. Flujo de caja esperado de un taxi 100 % eléctrico

El tipo de trabajo que realizará el VE será de taxi en la ciudad de Guayaquil, y el flujo de caja será en torno de los costos variables, fijos, ingresos y egresos, a fin de obtener los índices financieros más importantes (tasa interna de retorno TIR, valor actual neto VAN y payback PB).

4.2.1. Supuestos a considerar

A continuación, se describen los principales y más importantes parámetros a considerar al momento de tomar la decisión de invertir en un VE que trabaje como taxi, cuyos datos fueron compartidos por la compañía BYD Ecuador.

- Periodo de inversión: 10 años.
- Características de operación.
 - Valor total taxi eléctrico + cargador lento: \$ 32.000,00.
 - Kilometraje recorridos en la mañana (km): 110.
 - Kilometraje recorridos en la tarde (km): 110.
 - Kilometraje recorridos en la noche (km): 80.
 - Horas de trabajo en la mañana (h): 5.
 - Horas de trabajo en la tarde (h): 5.

- Horas de trabajo en la noche (h): 4.
- kilometraje muerto (%): 20.
- Días laborables (d): 350.
- kilometraje vehículo recorrido al día (km): 300.
- kilometraje recorrido al año (km): 105.000.
- Ingresos.
 - Tarifas de transporte:
 - Tarifa en el día (x km): \$ 1.56.
 - Tarifa en la noche (x km): \$ 1.68.
 - Incremento de la tarifa cada 3 años (%): 20.
 - Costos operacionales:
 - Matrícula: \$ 150.00.
 - Impuesto: \$ 40.00.
 - Revisión: \$ 26.97.
 - Seguro completo en función del costo del vehículo: 3 %.
 - Costo mensual cooperativa: \$ 20.00.
 - Costos de operación y mantenimiento:
 - Sueldo del conductor (costo por km): \$ 0.048.
 - Costos mano de obra + repuestos (costo por km): \$ 0.008.
 - Tasa de inflación anual (transporte) (%): 3.13.
 - Energía
 - Costo mensual de potencia (se cobra por cada kW instalado): \$1,40.
 - Demanda de potencia máxima: 8 kW.
 - Costo kWh (22:00 - 08:00): \$ 0.050.
 - Recorrido por recarga: 330 km.
 - Número de cargadores lentos: 1.
 - Valor de la comercialización de demanda: \$ 1.41.
 - Depreciación:
 - Depreciación anual: 10 años.
 - Depreciación anual del cargador: 10 años.
 - Supuesto de aporte de capital y financiamiento.
 - Inversión inicial de activos vehículos: \$ 32.000.00.
 - Financiamiento de bancos: \$ 32.000.00.
 - Gastos financieros
 - Tasa de interés: 15.00 %.

4.3. Flujo de caja esperado de un taxi 100 % eléctrico

ESTADO DE RESULTADO DE UN TAXI ELÉCTRICO										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS										
INGRESOS TOTALES	\$22.313.67	\$22.539.03	\$22.766.68	\$27.549.96	\$27.828.21	\$28.109.28	\$34.015.04	\$34.358.59	\$34.705.61	\$41.997.26
COSTOS VARIABLES (OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO)										
COSTOS TOTALES DE VENTAS	\$9.265.36	\$9.521.60	\$9.785.86	\$10.058.38	\$10.339.44	\$10.629.30	\$10.928.22	\$11.236.51	\$11.554.44	\$11.882.33
-Sueldo del conductor	\$6.237.30	\$6.432.53	\$6.633.87	\$6.841.51	\$7.055.65	\$7.276.49	\$7.504.24	\$7.739.13	\$7.981.36	\$8.231.18
-Repuestos y mano de obra	\$1.949.16	\$2.010.17	\$2.073.08	\$2.137.97	\$2.204.89	\$2.273.90	\$2.345.08	\$2.418.48	\$2.494.18	\$2.572.24
-Energía	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91	\$1.078.91
BENEFICIOS										
-Beneficio bruto	\$13.048.30	\$13.017.43	\$12.980.82	\$17.491.57	\$17.488.77	\$17.479.98	\$23.086.81	\$23.122.08	\$23.151.17	\$30.114.93
COSTOS FIJOS (ADMINISTRATIVOS Y VENTAS)										
Total gastos administrativos	\$1.320.97	\$1.234.57	\$1.156.81	\$1.086.83	\$1.023.84	\$967.15	\$916.14	\$870.22	\$870.22	\$870.22
-Gastos de legalización	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97	\$216.97
-Seguros	\$884.00	\$777.60	\$699.84	\$629.86	\$566.87	\$510.18	\$459.17	\$413.25	\$413.25	\$413.25
	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00	\$240.00
BENEFICIOS ANTES DE INTERÉS Y AMORTIZACIÓN										
EBITDA	\$11.727.33	\$11.782.86	\$11.824.01	\$16.404.75	\$16.464.93	\$16.512.83	\$22.170.68	\$22.251.86	\$22.280.95	\$29.244.72
GASTOS DE CAPITAL										
Total de gastos de capital	\$8.349.09	\$8.349.09	\$8.349.09	\$8.349.09	\$8.349.09	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
-Amortización	\$5.080.15	\$5.668.02	\$6.333.92	\$7.055.71	\$7.872.19	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
-Interés de préstamo	\$3.268.94	\$2.681.07	\$2.025.17	\$1.293.38	\$176.90	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
BENEFICIOS NETO										
EBIT	\$3.378.24	\$3.433.77	\$3.474.92	\$8.055.66	\$8.115.84	\$16.512.83	\$22.170.68	\$22.251.86	\$22.280.95	\$29.244.72

Tabla 4.7 – Tabla de resultado de un VE tipo taxi.

4.2.2. Estado de resultados

En la tabla 4.7, se ilustra los supuestos estimados de la frecuencia de trabajo de un VE tipo taxi, obteniendo los ingresos, costos variables, beneficio bruto, gastos fijos, beneficios antes de intereses y amortizaciones, gastos de capital y beneficio neto. Cabe recalcar que este tipo de inversiones se amortizan a 5 años, tiempo estimado prudencial para que los futuros inversionistas tengan la capacidad económica para completar las cuotas de la deuda del automotor. Aclarando que estos supuestos están tabulados de manera ideal, es decir que no se están tomando en consideración daños o desperfectos mecánicos que se susciten en el tiempo de trabajo de los mismos.

4.2.3. Flujo de caja

En la tabla 4.8, se muestra según el flujo de caja, que es la sistematización de la información sobre la inversión inicial durante la etapa de operación, los ingresos, egresos operacionales y de producción lo que va a determinar el beneficio de la adquisición de un VE. La información básica para construir el flujo de caja, proviene de los estudios de mercado, técnico, administrativo y financiero. Calculados a partir de los supuestos considerados en el trabajo diario de un taxi de tecnología eléctrica y que resulta de la suma del beneficio neto, amortización, interés del préstamo y del total de este resulta se le resta la variación del capital de trabajo [Velez y Pareja, 2009].

4.2.4. Índices de inversión

En la tabla 4.9, se observa los valores de los índices financieros, tasa interna de retorno (TIR), valor actual neto (VAN) y payback (PB, número de periodos que se tarda en recuperar el dinero desembolsado al comienzo de una inversión) [CañarReyes, 2017]. Para obtener los resultados de los indicadores antes mencionados, se debe tener calculado el flujo de caja libre, que corresponde al flujo de fondos operativos de una empresa, en otras palabras, es el sobrante que quedará en la empresa luego de haber cubierto las necesidades operativas de fondos, las inversiones o desinversiones [Jurado y Cedeño, 2016].

FLUJO DE CAJA DE UN TAXI ELÉCTRICO										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficios neto	\$3.378.24	\$3.433.77	\$3.474.92	\$8.055.66	\$8.115.84	\$16.512.83	\$22.170.68	\$22.251.86	\$22.280.95	\$29.244.72
Amortización	\$5.080.15	\$5.668.02	\$6.323.92	\$7.055.71	\$7.872.19	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Interés del préstamo	\$3.268.94	\$2.681.07	\$2.025.17	\$1.293.38	\$476.90	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00	\$0.00
Variación de capital de trabajo	-\$2.342.94	-\$23.66	-\$23.90	-\$502.24	-\$29.22	-\$29.51	-\$620.10	-\$36.07	-\$36.44	-\$765.62
Flujo de caja	\$9.384.40	\$11.759.20	\$11.800.11	\$15.902.50	\$16.435.71	\$16.483.32	\$21.550.57	\$22.215.79	\$22.244.51	\$28.479.09

Tabla 4.8 – Flujo de caja de un VE tipo taxi.

FLUJO DE CAJA LIBRE DE UN TAXI ELÉCTRICO										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FLUJO DE CAJA LIBRE	\$8.454.41	\$9.544.03	\$8.628.14	\$10.475.47	\$9.753.80	\$8.812.65	\$10.380.01	\$9.640.02	\$8.695.93	\$10.029.89
VAN	\$62.414.36									
TIR (%)	40.00									
PAYBACK (años)	3.00									

Tabla 4.9 – Flujo de caja libre del VE tipo taxi.

4.3. Análisis económico de un bus 100% eléctrico

4.3.1. Costo de la unidad (CU)

Para el análisis se ha tomado en consideración los datos del bus eléctrico BYD k9G y de combustión Mercedes Benz 1721. Como se ilustra en la figura 4.8, se han escogido estos modelos de buses porque sus características técnicas son semejantes.



Figura 4.8 – Imágenes de los buses marca BYD k9G y Mercedes Benz 1721.
Fuente: <https://bydelectrico.com> y <https://www.autoliderecuador.com.ec>.

Los costos de adquisición de las unidades se describen en la tabla 4.10, donde se observa que el costo del bus eléctrico (BE) es casi 3.3 veces más costoso que el bus de combustión (BC).

Costo del BYD k9G	Coste del Mercedes Benz 1721
\$ 395.000.00	\$ 120.000.00

Tabla 4.10 – Costos de las unidades (CU) de los buses.

4.3.2. Costo de mantenimiento (CM)

Es el costo del plan de mantenimiento preventivo en cada una de las casas comerciales o concesionarias, tomando como base un recorrido de 100.000 km al año y un costo aproximado en un bus eléctrico (BE) y combustión (BC) de \$ 0.10 y \$ 0.37 por kilómetro recorrido respectivamente, se detalla en la tabla 4.11.

Descripción	Costo USD	
	BE	BC
Mantenimiento	\$ 17.000.00	\$ 37.000.00

Tabla 4.11 – Costos del mantenimiento (CM) de un BE y BC tipo bus.

4.3.3. Costo de operación y consumo energético (CO)

Es el costo del consumo energético tomando como base un recorrido de 100.000 km y un costo aproximado de energía de un bus eléctrico (BE) de \$ 0.08 que, por cada 1.05 kWh recorre 1 km. En el bus de combustión (BC), con un costo de diesel de \$ 1.90, recorriendo por cada galón 6.5 km, como se muestra en la tabla 4.12.

Descripción	Costo USD	
	BE	BC
Operación y consumo energético	\$ 36.400.00	\$ 57.230.00

Tabla 4.12 – Costos de operación y consumo energético de un BE y BC.

4.3.4. Evaluación a corto, mediano y largo plazo

Se realizará un análisis técnico-económico a corto, mediano y largo plazo para verificar si el bus eléctrico es rentable para dar el servicio de transporte público en la ciudad de Guayaquil. Para este estudio, utilizaremos los costos anteriormente descritos de corto plazo en 1 año, a mediano plazo en 10 años y al largo plazo en 20 años [Torres y Sarmiento, 2015].

- **Análisis a corto plazo.** En la tabla 4.13, se ilustra que la adquisición de un bus eléctrico (BE), que es más costoso que el bus de combustión (BC), por otro lado, el costo de CM y CO es mas barato en el BE. Además que al término del primer año, resulta que el BE termina costando un poco más del doble con respecto al valor de BC.

BUS	COSTOS A CORTO PLAZO (USD)					
	CU	CM	CO	CT	t CO2 pasaje-ro/km)	No. árboles
Combustión (BC)	\$ 120.000.00	\$ 37.000.00	\$ 57.230.00	\$ 214.230.00	17.82	55.00
Eléctrico (BE)	\$ 395.000.00	\$ 17.000.00	\$ 36.400.00	\$ 448.400.00	0.00	0.00

Tabla 4.13 – Costo a corto plazo de los buses.

En la figura 4.9, se ilustra en el diagrama de barras que efectivamente los CM y CO son el doble en el primer año.

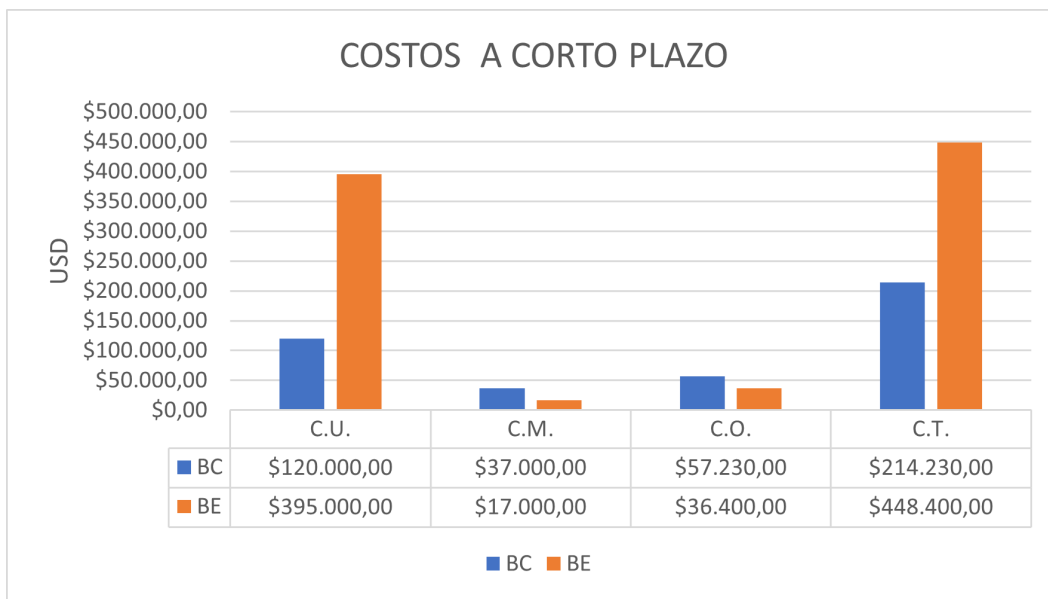


Figura 4.9 – Diagrama de barras del costo total a corto plazo de BE y BC.

En la figura 4.10, se ilustra la cantidad de CO2 que genera un BC y el número de árboles que son necesarios para capturar dicha cantidad [Mejía, 2021].

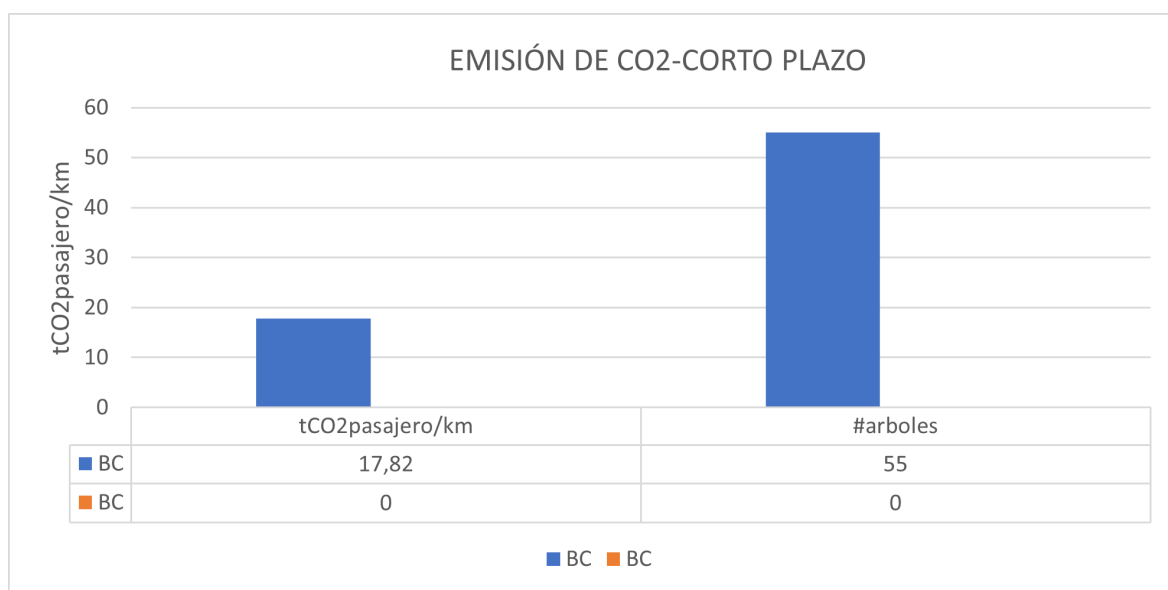


Figura 4.10 – Generación de CO2 de BC y BE a corto plazo.

■ **Análisis a mediano plazo.**

En la tabla 4.14, se ha considerado un tiempo estimado de 10 años como mediano plazo, donde la variación de los costos de CM y CO demuestran que el bus eléctrico (BE) llega a costar menos que el bus de combustión (BC) a mediano plazo.

BUS	COSTOS A MEDIANO PLAZO (USD)					
	CU	CM	CO	CT	t CO2 pasajero/km)	No. árboles
Combustión (BC)	\$ 120.000.00	\$ 370.000.00	\$ 572.300.00	\$ 1.062.300.00	178.5	543.00
Eléctrico (BE)	\$ 395.000.00	\$ 170.000.00	\$ 364.000.00	\$ 929.000.00	0.00	0.00

Tabla 4.14 – Costo total a mediano plazo de buses.

En la figura 4.11, se ilustra la diferencia entre los CM y CO en el décimo año.

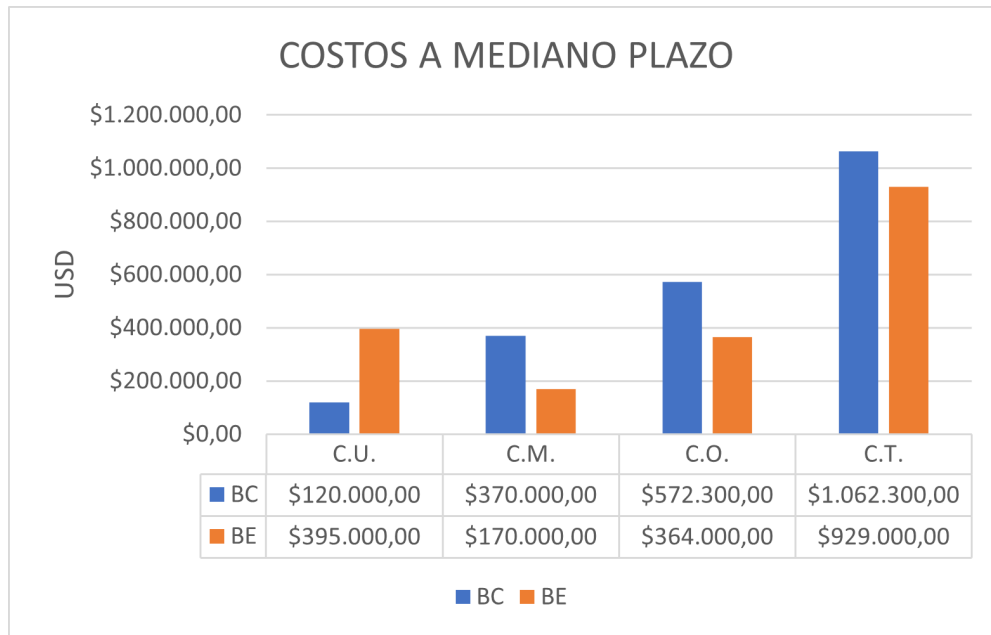


Figura 4.11 – Costo a mediano plazo de los buses.

En la figura 4.12, se observa la cantidad de CO2 que genera un BC y el número de árboles que son necesarios para capturar dicha cantidad [Mejía, 2021].

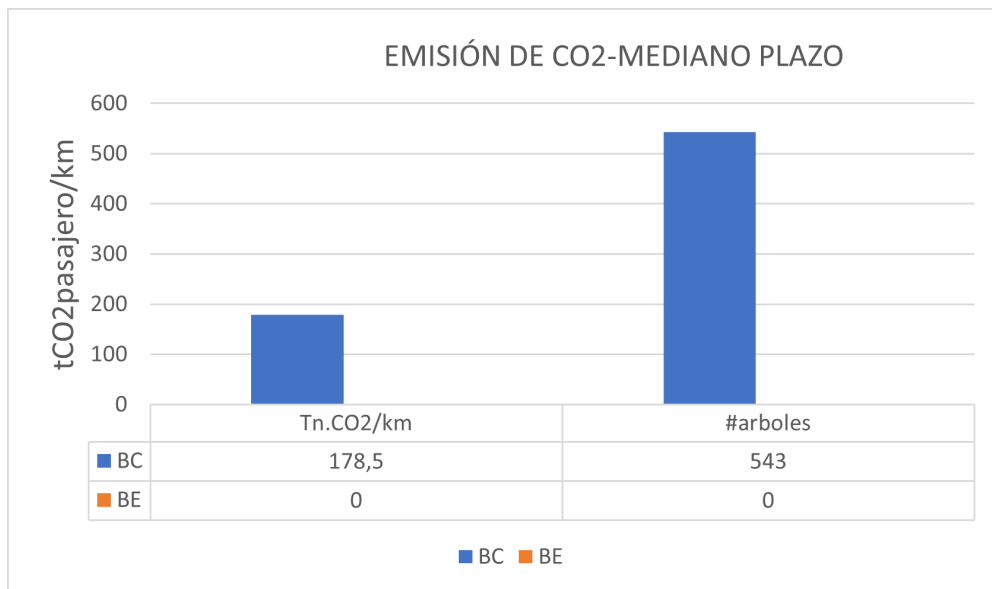


Figura 4.12 – Generación a mediano plazo de CO2 de los buses.

- **Análisis a largo plazo.** En la tabla 4.15, se ilustra un tiempo estimado de 20 años como largo plazo, donde se observa la diferencia económica de los costos de CM y CO, evidenciando el ahorro económico que se puede llegar a conseguir.

BUS	COSTOS A LARGO PLAZO (USD)					
	CU	CM	CO	CT	t CO2 pasajero/km)	No. árboles
Combustión (BC)	\$ 120.000,00	\$ 740.000,0	\$ 1.144.600,00	\$ 2.004.6000,00	356,40	1083,00
Eléctrico (BE)	\$ 395.000,00	\$ 340.000,00	\$ 728.000,00	\$ 1.463.000,00	0,00	0,00

Tabla 4.15 – Costo total a largo plazo de los buses.

En la figura 4.13, se ilustra la diferencia entre los CM y CO en el vigésimo año.

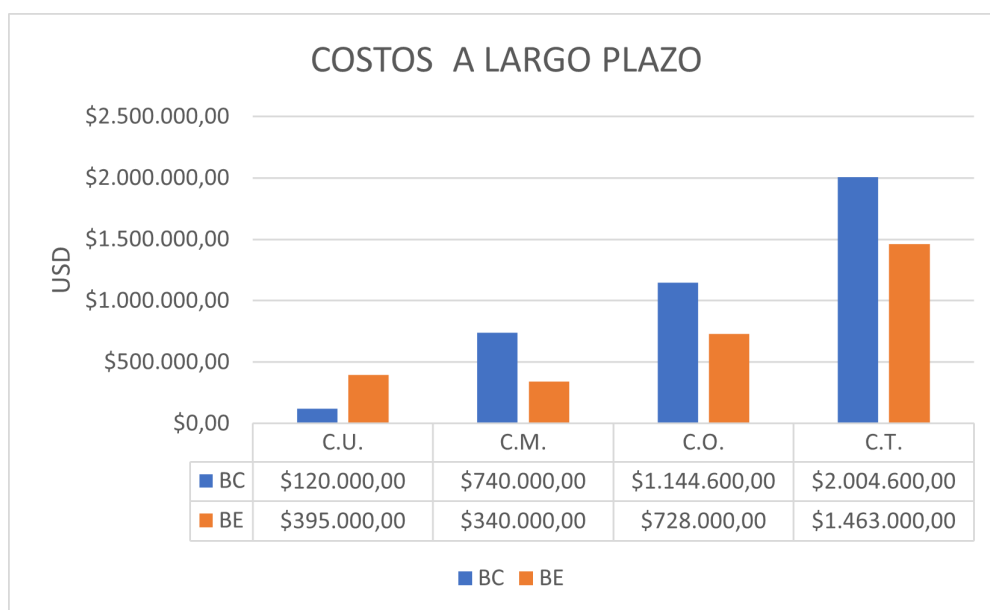


Figura 4.13 – Diagrama de barras del Costo total a largo plazo de BE y BC.

En la figura 4.14, se observa la cantidad de CO2 que genera un bus de combustión (BC) y el cantidad necesaria de árboles que deben ser sembrados como remediación al medio ambiente [Mejía, 2021].

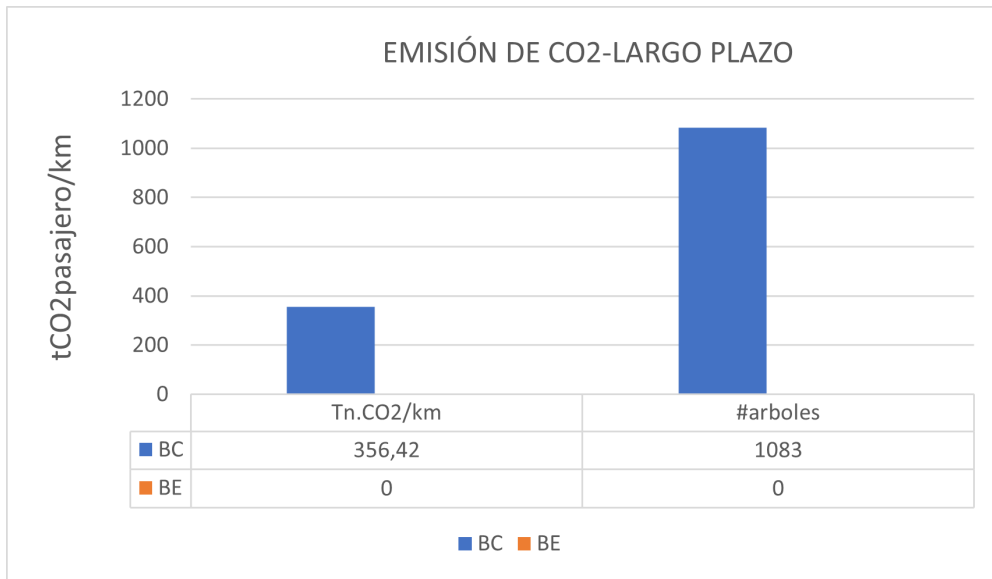


Figura 4.14 – Generación a largo plazo de CO2 de BC y BE.

4.4. Flujo de caja esperado de un bus 100 % eléctrico

El tipo de trabajo que realizará el bus eléctrico (BE) será de bus urbano de transporte público en la ciudad de Guayaquil, y el flujo de caja será en torno de los costos variables, fijos, ingresos y egresos, a fin de obtener los valores de los índices financieros.

4.4.1. Supuestos a considerar

A continuación, se describen los principales y más importantes parámetros a considerar al momento de tomar la decisión de invertir en un BE para que trabaje como bus urbano, cuyos datos fueron compartidos por la compañía de transporte Saucinc S.A.

- Periodo de inversión: 20 años.
- Características de operación.
 - Valor total bus eléctrico + cargador lento: \$ 395.000.00.
 - Kilometraje recorridos en la mañana (km): 90 .
 - Kilometraje recorridos en la tarde (km): 90.
 - Kilometraje recorridos en la noche (km): 80.
 - Horas de trabajo en la mañana (h): 7.
 - Horas de trabajo en la tarde (h): 7.
 - Horas de trabajo en la noche (h): 4.
 - kilometraje muerto (%): 1.
 - Días laborables (d): 364.

- kilometraje vehículo recorrido al día (km): 240.
- kilometraje recorrido al año (km): 87.360.
- Ingresos.
 - Tarifas de transporte:
 - Tarifa en el día (x vuelta): \$ 25.00.
 - Tarifa en la noche (x vuelta): \$ 30.00.
 - Número de vueltas: 8
 - Incremento de la tarifa cada 3 años (%): 20.
 - Costos operacionales:
 - Matrícula: \$ 300.00.
 - Impuesto: \$ 500.00.
 - Revisión: \$ 90.00.
 - Seguro completo en función del costo del vehículo: 3 %.
 - Costo mensual cooperativa: \$ 20.00.
 - Costos de operación y mantenimiento(x km):
 - Sueldo del conductor (costo x km): \$ 0.28.
 - Costos mano de obra + repuestos (costo x km): \$ 0.17.
 - Tasa de inflación anual de transporte(%): 3.13.
 - Energía
 - Costo mensual de potencia (x kW instalado): \$ 1.40.
 - Demanda de potencia máxima: 80 kW.
 - Costo kWh (22:00 - 08:00): \$ 0.08.
 - Recorrido por recarga: 330 km.
 - Número de cargadores lentos: 1.
 - Valor de la comercialización de EED: \$ 1.41.
 - Depreciación:
 - Depreciación anual del vehículo: 20 años.
 - Depreciación anual del cargador: 20 años.
 - Supuestos de aporte de capital y financiamiento.
 - Inversión inicial de activos vehículos: \$ 395.000,00.
 - Financiamiento de bancos: \$ 395.000,00.
 - Gastos financieros
 - Tasa de interés: 8.00 %.

4.4.2. Estado de resultados

En la tabla 4.16 y 4.17, se ilustran los supuestos estimados de la frecuencia de trabajo de un BE, obteniendo los ingresos, costos variables, beneficio bruto, gastos fijos, beneficios antes de intereses y amortizaciones, gastos de capital y beneficio neto. Cabe recalcar que este tipo de inversiones se amortizan a 20 años, según Presidente de la compañía Saucinc S.A., tiempo estimado prudencial para completar las cuotas de la deuda del automotor. Aclarando que estos supuestos están tabulados de manera ideal, es decir que no se están tomando en consideración daños o desperfectos mecánicos que se susciten en el tiempo de trabajo de los mismos.

4.4.3. Flujo de caja

En la tabla 4.18 y 4.19, se ilustra el flujo de caja por periodo de 10 años sobre la inversión inicial durante la etapa de operación, los ingresos, egresos operacionales y de producción, lo que va a determinar el beneficio de la adquisición de un BE. La información básica para construir el flujo de caja proviene de los estudios de mercado, técnico, administrativo y financiero. Calculados a partir de los supuestos considerados en el trabajo diario de un bus de tecnología eléctrica y que resulta de la suma del beneficio neto, amortización, interés del préstamo y del total de este resultado se le resta la variación del capital de trabajo [Velez y Pareja, 2009].

4.4.4. Índices de inversión

En la tabla 4.20, se ilustran los valores de los índices financieros TIR, VAN y PB [CañarReyes, 2017]. Para obtener los resultados de los indicadores antes mencionados, se debe tener calculado el flujo de caja libre corresponde al flujo de fondos operativos de una empresa, en otras palabras, es el saldo que quedará en la empresa luego de haber cubierto las necesidades operativas de fondos, las inversiones o desinversiones [Jurado y Cedeño, 2016].

4.5. Flujo de caja esperado de un bus 100 % eléctrico

ESTADO DE RESULTADOS DE UN BUS ELÉCTRICO										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS										
INGRESOS TOTALES	\$76.440.00	\$77.212.04	\$77.991.89	\$94.377.98	\$95.331.20	\$96.294.04	\$116.525.42	\$117.702.33	\$118.891.12	\$143.870.15
COSTO VARIABLES (OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO)										
COSTOS TOTALES DE VENTAS	\$46.908.46	\$48.190.13	\$49.511.91	\$50.875.07	\$52.280.89	\$53.730.72	\$55.225.93	\$56.767.93	\$58.358.20	\$59.998.25
-Sueldo del conductor	\$25.478.69	\$26.276.17	\$27.098.61	\$27.916.80	\$28.821.54	\$29.723.65	\$30.654.00	\$31.613.47	\$32.602.97	\$33.623.44
-Repuesto y mano de obra	\$15.469.20	\$15.953.39	\$16.452.73	\$16.967.70	\$17.498.79	\$18.046.50	\$18.611.36	\$19.193.89	\$19.791.66	\$20.414.23
-Energía	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57
BENEFICIOS										
-Beneficio bruto	\$29.531.54	\$29.021.92	\$28.479.97	\$43.502.91	\$43.050.31	\$42.563.32	\$61.299.50	\$60.934.40	\$60.532.92	\$83.871.90
COSTOS FIJOS (ADMINISTRATIVOS Y VENTAS)										
Total gastos administrativos	\$12.147.50	\$11.584.63	\$11.049.89	\$10.541.90	\$10.059.30	\$9.600.84	\$9.165.30	\$8.751.53	\$8.351.53	\$8.751.53
-Gastos de legalización	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00
-Seguros	\$11.257.50	\$10.694.63	\$10.159.89	\$9.651.90	\$9.169.30	\$8.710.84	\$8.275.30	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53
BENEFICIOS ANTES DE INTERÉS Y AMORTIZACIÓN										
EBITDA	\$17.384.04	\$17.437.29	\$17.430.08	\$32.961.01	\$32.991.00	\$32.962.49	\$52.134.20	\$52.182.87	\$51.781.39	\$75.120.37
GASTOS DE CAPITAL										
Total de gastos de capital	\$36.749.17	\$36.749.17	\$36.749.17	\$36.749.17	\$36.749.17	\$37.523.60	\$37.528.12	\$37.532.66	\$37.537.24	\$37.541.83
-Amortización	\$9.396.85	\$10.076.15	\$10.804.56	\$11.585.62	\$12.423.15	\$12.495.61	\$12.568.51	\$12.641.82	\$12.715.57	\$12.789.74
-Interés del préstamo	\$27.352.32	\$26.673.02	\$25.944.61	\$25.163.55	\$24.326.02	\$25.027.99	\$24.959.62	\$24.890.84	\$24.821.67	\$24.752.09
BENEFICIO NETO										
EBIT	-\$19.365.13	-\$19.311.88	-\$19.319.09	-\$3.788.16	-\$3.758.17	-\$4.561.12	\$14.606.08	\$14.650.20	\$14.244.15	\$37.578.54

Tabla 4.16 – Tabla de resultados de un BE del año 1 al 10.

ESTADO DE RESULTADO DE UN BUS ELÉCTRICO										
AÑO	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS										
INGRESOS TOTALES	\$145.323.24	\$175.855.65	\$177.631.79	\$214.952.23	\$217.123.25	\$262.740.84	\$265.394.52	\$321.153.91	\$324.397.57	\$392.553.49
COSTO VARIABLES (OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO)										
COSTO TOTAL DE VENTAS	\$61.689.63	\$63.433.95	\$65.232.86	\$67.088.09	\$69.001.38	\$70.974.55	\$73.009.49	\$75.108.12	\$77.272.44	\$79.504.50
-Sueldo del conductor	\$34.675.86	\$35.761.21	\$36.880.54	\$38.034.90	\$39.225.39	\$40.453.15	\$41.719.33	\$43.025.15	\$44.371.83	\$45.760.67
-Repuestos y mano de obra	\$21.053.20	\$21.712.17	\$22.391.76	\$23.092.62	\$23.815.42	\$24.560.84	\$25.329.59	\$26.122.41	\$26.940.04	\$27.783.26
-Energía	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57	\$5.960.57
BENEFICIOS										
-Beneficio bruto	\$83.633.61	\$112.421.70	\$112.398.93	\$147.864.14	\$148.121.87	\$191.766.29	\$192.385.03	\$246.045.79	\$247.125.12	\$313.048.99
COSTOS FIJOS (ADMINISTRATIVOS Y VENTAS)										
Total gastos administrativos	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53	\$8.751.53
-Gastos de legalización	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00	\$890.00
-Seguros	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53	\$7.861.53
BENEFICIOS ANTES DE INTERÉS Y AMORTIZACIÓN										
EBITDA	\$74.88.08	\$103.670.17	\$103.647.39	\$139.112.61	\$139.370.34	\$183.014.75	\$183.633.50	\$237.294.26	\$238.373.59	\$304.297.46
GASTOS DE CAPITAL										
Total de gastos de capital	\$37.551.11	\$37.555.79	\$37.560.49	\$37.565.22	\$37.569.98	\$37.574.77	\$37.579.59	\$37.584.43	\$37.589.30	\$37.541.83
-Amortización	\$12.939.39	\$13.014.87	\$13.090.79	\$13.167.15	\$13.243.96	\$13.321.22	\$13.398.92	\$13.477.08	\$13.555.70	\$12.789.74
-Interés de préstamo	\$24.611.72	\$24.540.92	\$24.469.70	\$24.398.07	\$24.326.02	\$24.253.56	\$24.180.66	\$24.107.35	\$24.033.60	\$24.752.09
BENEFICIO NETO										
EBIT	\$37.335.62	\$66.119.06	\$66.091.61	\$101.552.12	\$101.805.11	\$145.444.77	\$146.058.73	\$199.714.67	\$200.789.16	\$266.708.15

Tabla 4.17 – Tabla de resultados de un BE del año 11 al 20.

FLUJO DE CAJA DE UN BUS ELÉCTRICO										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Beneficio neto	-\$19.365.13	-\$19.311.88	-\$19.319.09	-\$3.788.16	-\$3.758.17	-\$4.561.12	\$14.606.08	\$14.650.20	\$14.244.15	\$37.578.54
Amortización	\$9.396.85	\$10.076.15	\$10.804.56	\$11.585.62	\$12.423.15	\$12.495.61	\$12.568.51	\$12.641.82	\$12.715.57	\$12.789.74
Interés de préstamo	\$27.352.32	\$26.673.02	\$25.944.61	\$25.163.55	\$24.326.02	\$25.027.99	\$24.959.62	\$24.890.84	\$24.821.67	\$24.752.09
Variaciones de capital de trabajo	-\$8.026.20	-\$81.06	-\$81.88	-\$1.720.54	-\$100.09	-\$101.10	-\$2.124.29	-\$123.58	-\$124.82	-\$2.622.80
Flujo de caja	\$9.357.84	\$17.356.23	\$17.348.20	\$31.240.47	\$32.890.91	\$32.861.39	\$50.009.91	\$52.059.29	\$51.656.57	\$72.497.57

Tabla 4.18 – Tabla del flujo de caja un BE del 1 al 10 año.

FLUJO DE CAJA DE UN BUS ELÉCTRICO										
AÑO	11	12	13	14	15	17	18	19	20	
Beneficio neto	\$37.335.62	\$66.119.06	\$66.091.61	\$101.552.12	\$101.805.11	\$145.444.77	\$146.058.73	\$199.714.67	\$200.789.16	\$266.708.15
Amortización	\$12.864.35	\$12.939.39	\$13.014.87	\$13.090.79	\$13.167.15	\$13.243.96	\$13.321.22	\$13.398.92	\$13.477.08	\$13.555.70
Interés de préstamo	\$24.682.11	\$24.611.72	\$24.540.92	\$24.469.70	\$24.398.07	\$24.326.02	\$24.253.56	\$24.180.66	\$24.107.35	\$24.033.60
Variaciones de capital de trabajo	-\$152.57	-\$3.205.90	-\$186.49	-\$3.918.65	-\$227.96	-\$1.789.85	-\$278.64	-\$5.854.74	-\$340.58	-\$7.156.37
Flujo de caja	\$74.729.50	\$100.464.27	\$103.460.90	\$135.193.96	\$139.142.38	\$178.224.91	\$183.354.86	\$231.439.52	\$238.033.01	\$297.141.09

Tabla 4.19 – Tabla del flujo de caja un BE del 11 al 20 año.

FLUJO DE CAJA DE UN BUS ELÉCTRICO										
AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
FLUJO DE CAJA LIBRE	\$8.746	\$15.160	\$14.161	\$23.833	\$23.451	\$21.897	\$31.144	\$30.299	\$28.098	\$36.854
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	\$35.503	\$44.607	\$42.933	\$52.431	\$50.432	\$60.371	\$58.045	\$68.475	\$65.818	\$76.787
VAN	\$394.043.00									
TIR (%)	13.11									
PAYBACK (años)	9.5									

Tabla 4.20 – Tabla del flujo de caja libre, VAN, TIR Y PB de un BE.

4.5. Propuesta de Implementación de la electrometrovía

Consiste en la instalación de la infraestructura de cargadores ultrarrápidos (pantógrafos) en las actuales instalaciones de las troncales de la metrovía de la ciudad de Guayaquil, los mismos que van a estar instalados en los andenes de las terminales, como se puede observar en la figura 4.15. La capacidad de cada terminal es de 6 andenes, así como también el cambio de los buses alimentadores y articulados por unidades con sistemas apropiados y capacitados para que puedan trabajar con este tipo de tecnología.

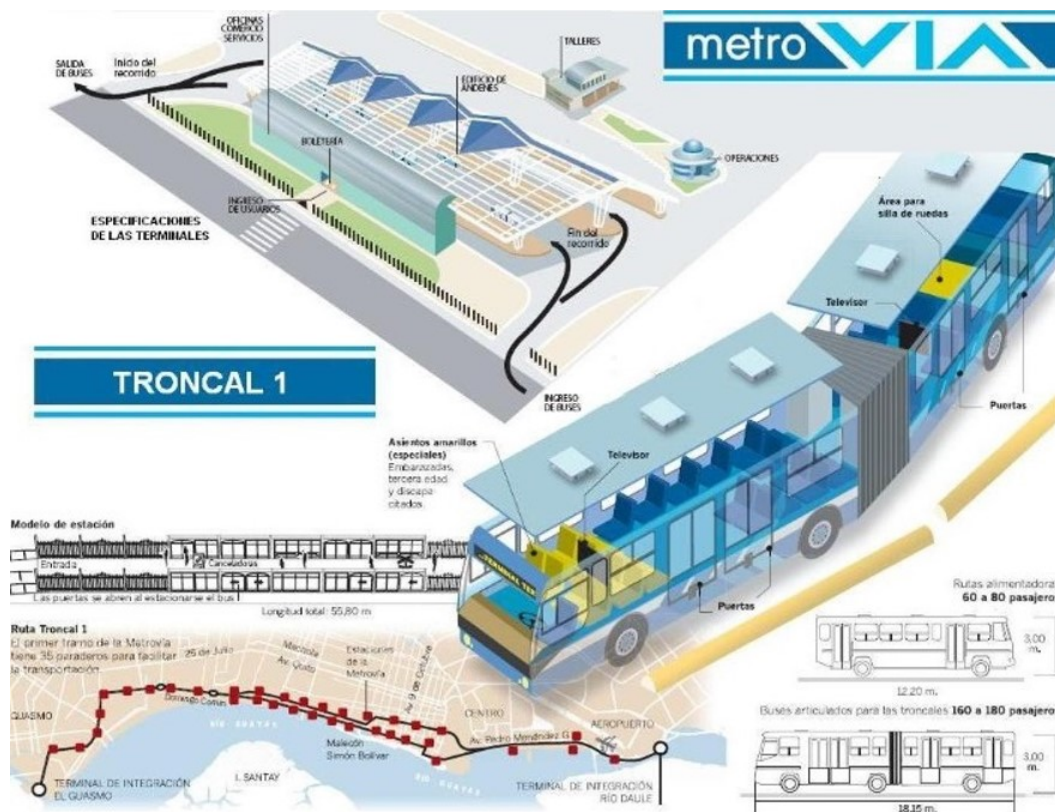


Figura 4.15 – Especificaciones troncal 1.
Fuente: [Burgos y Gavilánez, 2014].

4.5.1. Análisis económico de prefactibilidad

Esta sección consiste en obtener una visión preliminar del proyecto, obteniendo como resultado un análisis económico a partir de unos supuestos de energía total consumida por los alimentadores y articulados, a fin de tener como resultado un flujo de caja de capital, libre e índices financieros. Para el análisis se ha considerado los siguientes supuestos:

- **Para los articulados y alimentadores eléctricos**
 - Periodo de análisis: 10 años.
 - Número de unidades:
 - Alimentadores: 170.
 - Articulados: 170.
 - Valor del alimentador eléctrico: \$ 403.873.00.
 - Valor del articulado eléctrico: \$ 555.375.00.
 - Kilómetros recorridos (km): 240.
 - Días laborables (d): 364.
 - kilometraje recorrido al año (km): 87.360.
 - Número de andenes por troncales:
 - Troncal metroquil: 12 andenes.
 - Troncal metroexpress: 12 andenes.
 - Troncal metrobastión: 12 andenes.

- **Para la instalación de la infraestructura de los cargadores ultrarrápido (pantógrafos)**
 - Periodo de análisis: 10 años.
 - Número de unidades por troncal:
 - Troncal metroquil: 12.
 - Troncal metroexpress: 12.
 - Troncal metrobastión: 12.
 - Valor del pantógrafo y infraestructura necesaria: \$ 300.000.00.
 - Costo de energías:
 - Compra: \$ 0.08.
 - Venta: \$ 0.14.

4.5.2. Índices de inversión del proyecto total

En la tabla 4.21, se ilustra el flujo de caja e indicadores de la inversión de los buses eléctricos de los alimentadores y articulados, así como también la infraestructura eléctrica, mecánica y civil de la instalación y costos de los pantógrafos.

FLUJO DE CAJA DE UN BUS ALIMENTADOR ELÉCTRICO DE LA METROVIA												
ANO	INVERSION	INDICADORES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de caja capital	-834.000.000,00		\$2.923.132,05	\$4.404.351,11	\$4.402.275,84	\$6.966.984,31	\$7.266.242,10	\$7.253.198,92	\$10.414.002,19	\$10.783.883,51	\$10.728.017,46	\$14.600.165,66
Flujo de caja libre	-834.000.000,00		\$2.731.899,11	\$3.847.105,52	\$3.593.568,42	\$5.315.078,97	\$5.180.730,20	\$4.833.112,70	\$6.483.746,88	\$6.276.319,55	\$5.835.330,69	\$7.421.983,88
VAN	\$17.520.875,91											
TIR (%)		15										
PAYBACK (años)		6,71										
FLUJO DE CAJA DE UN BUS ARTICULADO ELÉCTRICO DE LA METROVIA												
Flujo de caja capital	-847.000.000,00		\$4.732.901,25	\$6.932.920,61	\$6.941.562,24	\$10.744.995,96	\$11.201.646,82	\$11.197.903,70	\$15.886.695,46	\$16.450.010,16	\$16.389.625,66	\$22.134.885,50
Flujo de caja libre	-847.000.000,00		\$4.423.272,20	\$6.055.481,36	\$5.666.382,52	\$8.197.305,97	\$7.986.610,37	\$7.461.636,05	\$9.893.435,50	\$9.574.055,68	\$8.914.870,43	\$11.252.253,37
VAN	\$31.825.312,45											
TIR (%)		17										
PAYBACK (años)		5,9										
FLUJO DE CAJA CARGADOR ULTRARRÁPIDO												
Flujo de caja capital	-810.800.000,00		\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$1.520.099,42	\$3.157.683,21	\$3.157.683,21
Flujo de caja libre	-810.800.000,00		\$1.447.713,73	\$1.378.774,98	\$1.313.119,03	\$1.250.389,55	\$1.191.037,67	\$1.134.321,50	\$1.080.306,28	\$1.028.863,12	\$2.035.470,75	\$1.938.543,57
VAN	\$2.998.740,27											
TIR (%)		10										
PAYBACK (años)		7,26										
FLUJO DE CAJA TOTAL DEL PROYECTO ELECTROMETROVIA												
Flujo de caja capital	-892.400.000,00		\$9.176.132,72	\$12.857.571,13	\$12.863.937,50	\$19.232.070,69	\$19.987.988,34	\$19.971.202,04	\$27.821.487,07	\$28.753.995,08	\$30.275.326,33	\$39.892.734,36
Flujo de caja libre	-892.400.000,00		\$8.602.885,04	\$11.281.361,86	\$10.573.069,97	\$14.762.974,50	\$14.358.387,23	\$13.429.070,34	\$17.450.488,65	\$16.879.238,35	\$16.785.671,86	\$20.612.780,82
VAN	\$52.344.928,62											
TIR (%)		15										
PAYBACK (años)		6,32										

Tabla 4.21 – Indices financieros del proyecto de prefactibilidad de la electrometrovia.

4.6. Análisis ambiental-CO2 evitado

La agencia europea de medio ambiente (AEMA), institución que elaboró la imagen que se ilustra en la figura 4.16, en el que se puede comprobar la huella de CO2 de cada medio de transporte, en concreto los gramos de CO2 que corresponden por pasajero y por kilómetro en cada uno de los medios de transporte principales y que son causantes de gases de efecto invernadero (GEI).



Figura 4.16 – Gramos de CO2 por pasajero/kilómetro.

Fuente: Huella de contaminación-agencia europea de medio ambiente (AEMA).

4.6.1. Medios necesarios para captura de CO2

Los árboles que están plantados en todo el territorio terrestre del planeta son idóneos para reducir o minimizar el impacto de CO2. En Ecuador, el ficus es una especie muy abundante, es por eso que se la ha escogido para el cálculo referencial de cuantos árboles

PARÁMETRO PROMEDIO DE ESPECIES DE ÁRBOLES												
NOMBRE COMÚN	DAP	ALTURA (h)	AB	BVA	BR	BT	BS	CAT	CR	CT	# ARBOLES	t (CO2)
FICUS	32.55	5.55	1493.29	301.04	60.21	361.25	144.50	72.25	17.34	89.59	135	44.34

Tabla 4.22 – Parámetros promedio de especies de árboles.

necesitamos para capturar la toneladas de CO₂. Las características de referencia del ficus se ilustra en la tabla 4.22.

Tomando como referencia la AEMA, donde indica que por cada 1.5 pasajero en un auto se produce 104 gCO₂/km, y estimando que en un auto de servicio público de taxi, transporta 3 personas, entonces se tiene como resultado 208 gCO₂/km. Así también, por cada 12.5 pasajeros en un bus de transporte público, se produce 68 gCO₂/km, y considerando que un bus transporta en promedio 45 pasajeros, entonces se tiene como resultado 204 gCO₂/kg, como se describe en la tabla 4.23.

Emisiones CO ₂ transporte público combustión	CANTIDADES-TOTAL ANUAL		
	g CO ₂ pasajero/km	Ton CO ₂ pasajeros/km	No.de árboles
Auto (3 pasajeros/300 km/350 días-año)	208	21.84	66
Bus (45 pasajeros/240 km/364 días-año)	204	17.82	55
Articulado (150 pasajeros/240 km/364 días-año)	803	70.16	213

Tabla 4.23 – Cantidad total de CO₂ producido anualmente por tipo de vehículo de combustión.

4.7. Financiamiento

Después del análisis económico desarrollado en la sección anterior, es importante conocer las principales fuentes de financiamiento que puedan hacer realidad un futuro proyecto de electromovilidad, dando a conocer las principales agencias a nivel local, regional e internacional.

4.7.1. Agencias financieras a nivel local

En Ecuador, las principales entidades financieras se muestran en la tabla 4.24.

Instituciones financieras en Ecuador	FINANCIAMIENTO		
	Interés anual (%)	Financiamiento (%)	Plazo (años)
Banco Pichincha	15	60	5
Banco Pacífico	15	64.5	5
BAN Ecuador el Banco del Pueblo	10.3	60	5
CFN Corporación Financiera Nacional	7.5	70 al 100	15

Tabla 4.24 – Principales instituciones financieras en Ecuador.

4.7.2. Agencias financieras a nivel regional e internacional

Los principales países que lideran a nivel regional el tema de la electromovilidad se describen a continuación:

Colombia: En la tabla 4.25, se detalla la tasa de interés usualmente empleado en Colombia. En este país, les interesa como políticas financieras que la demanda de vehículos eléctricos se intensifique. Además, el objetivo planteado, denominado crecimiento verde, tiene la meta que al 2030, más del 600.000 vehículos sean eléctricos [Nieto y Cortés, 2019].

Instituciones financieras en Colombia	FINANCIAMIENTO		
	Interés anual (%)	Financiamiento (%)	Plazo (años)
Banco BANcolombia	9	100	6
Banco Finandía	10.68	100	5
Banco de Occidente	10.32	100	7

Tabla 4.25 – Principales instituciones financieras en Colombia.

Chile: En la tabla 4.26, se muestra la tasa de interés del Banco Estado, que busca apoyar las políticas públicas e incentivar la reactivación económica sustentable del país, lanzando la campaña muévete sin dejar huella, para la compra de vehículos eléctricos.

Instituciones financieras en Chile	FINANCIAMIENTO		
	Interés anual (%)	Financiamiento (%)	Plazo (años)
Banco Banco Estado	6.72	100	6

Tabla 4.26 – Principal institución financiera en Chile.

Perú: En la tabla 4.27, se muestra la tasa de interés del Banco Interamericano de Desarrollo BID como un proyecto piloto desarrollado en Perú.

Instituciones financieras en Perú	FINANCIAMIENTO		
	Interés anual (%)	Financiamiento (%)	Plazo (años)
BID	7	90	6

Tabla 4.27 – Principal institución financiera en Perú.

España: En la figura 4.28, se observa la tasa de interés del BBVA, con un tasa de 3.97% anual, la misma que es más baja que las citadas en los países de Latinoamérica y el Caribe para la adquisición de vehículos eléctricos.

Instituciones financieras en España	FINANCIAMIENTO		
	Interés anual (%)	Financiamiento (%)	Plazo (años)
BBVA	3.97	100	10

Tabla 4.28 – Principal institución financiera en España.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

5.1. Conclusiones

- Del estudio realizado surge que los vehículos eléctricos son una alternativa muy atractiva, tanto por la suficiencia energética como por la disminución de las emisiones de CO₂, además de que son económicamente rentables.
- Se evidenció en el estudio de calidad de energía que los cargadores de los VE y BE no constituyen un riesgo para contaminar o perturbar la red pública de suministro de electricidad.
- En el análisis económico y contaminación al medio ambiente, los VE y BE son una solución definitiva al problema de los altos costos de combustible y reducción de las emisiones GEI en Ecuador.
- Con respecto a la rentabilidad de la recuperación de la inversión de un taxi eléctrico, se pudo constatar que en un periodo de amortización de 10 años, los índices financieros TIR (Tasa Interna de Retorno) y BP (PayBack) son de 40 % y 3 años, respectivamente, lo cual lo hace un negocio atractivo para los inversionistas.
- En el caso del bus eléctrico, debido a la fuerte inversión inicial, el periodo de amortización es de 20 años, dando como resultado el valor del TIR y BP de 13,11 % y 9,5 años respectivamente, cuyos resultados de indicadores financieros son favorables.
- En base al análisis económico de prefactibilidad de la propuesta de implementación de la electrometrovía en la ciudad de Guayaquil, la cual consiste en el sistema de carga ultrarrápida conocida como pantógrafo, alimentadores y articulados eléctricos en las troncales existentes de la metrovía, obteniendo un flujo de caja del proyecto con unos indicadores aproximados de TIR y PB de 15 % y 6,3 años respectivamente. Estos indicadores evidencian que los vehículos eléctricos, aplicados a la gran mayoría de las situaciones de trabajo son el futuro a muchos problemas actuales que vivimos en nuestro país.

5.2. Trabajos futuros

- En vista que la penetración masiva de los vehículos eléctricos en nuestro país es a largo plazo, y que en los actuales momentos no es posible efectuar el análisis de calidad aplicada a los cargadores lentos, rápidos y ultrárrapidos operando al mismo tiempo, y determinar las posibles afectaciones a la red de distribución eléctrica, se recomienda profundizar con los posible temas, a fin de evitar eventuales fallas en las redes de distribución débiles, que actualmente tenemos en nuestro país:
 - Evaluación estocástica de penetración de vehículo eléctrico en Guayaquil.
 - Estudio muestral de calidad de energía en zonas con alto y medio nivel de vehículos eléctricos en la ciudad de Guayaquil.
 - Análisis de factibilidad para la implementación de energía renovable fotovoltaicas en la ciudad de Guayaquil para garantizar la estabilidad de la red eléctrica por el incremento en el consumo de energía por los vehículos eléctricos.
 - Estudio de factibilidad de implementación de la electrometrovia en la ciudad de Guayaquil.

5.3. Cronograma de actividades

Mediante el siguiente diagrama de Gantt, la Figura 5.1, se presenta el desarrollo del presente proyecto, el cual tiene una duración aproximada de veintiocho semanas.

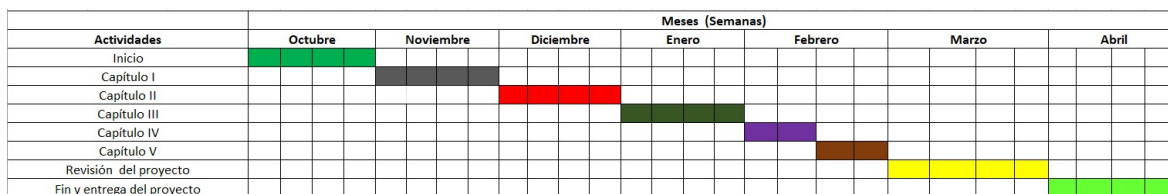


Figura 5.1 – Cronograma de actividades.

Bibliografía

- ARCERNNR (2020). «Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado».
- ARCONEL (2019). «Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución codificado».
- AVANCES, EN AMÉRICA LATINA Y EL (2013). «MOVILIDAD ELÉCTRICA».
- ÁVILA, FABIÁN y GONZÁLEZ, FABIÁN (2009). «Conexión de vehículos a la red eléctrica (V2G)». *Pontificia Universidad Católica de Chile: Región Metropolitana, Chile*.
- BARRA y GONZÁLEZ, JORGE (2020). *Estrategia Nacional de Electromovilidad en el sector transporte de Chile*. Tesis doctoral, Universidad del Desarrollo. Facultad de Gobierno.
- BEDOYA (2016). «Estimación de las emisiones de CO2 desde la perspectiva de la demanda de transporte en Medellín». *Transporte y Territorio*, (15), pp. 302–322.
- BROSHI, AMIR (2007). «Monitoring power quality beyond EN 50160 and IEC 61000-4-30». En: *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation*, pp. 1–6. IEEE.
- BURGOS y GAVILÁNEZ, ALLISON (2014). *Efecto socio-económico del sistema BRT (Bus De Tránsito Rápido) en Guayaquil en el período 2008-2013*. Tesis doctoral, Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Económicas.
- CABEZAS (2018). «Introducción a la metodología de la investigación científica». *ED Cabezas, D. Andrade Naranjo, & J. Torres SantaMaría, Introducción a la metodología de la INVESTIGACIÓN científica*.
- CAMPOVERDE y PÉREZ (2013). *Creación y aplicación de un modelo de evaluación de la calidad del servicio de distribución y venta de combustibles en tres gasolineras de la Parroquia Tarqui, según corresponda a la actividad económica venta al por menor de combustibles para automotores en la ciudad de Guayaquil*. B.S. thesis.
- CAÑARREYES, MARIA DEL CISNE (2017). «Proyecto de inversión en base a la aplicación de Payback y Van.».

- CHESTA, GONZALO MUÑOZ (2013). «CHILE A LAS PUERTAS DE LA ELECTROMOVILIDAD: LA TRANSICIÓN HACIA UN TRANSPORTE SOSTENIBLE». *CHILE AL 2030: 14 MIRADAS PARA EL DESARROLLO*, p. 321.
- CUBIDES, LUIS CARLOS (2018). «Operación integrada del sistema de distribución de energía eléctrica y el ruteo de vehículos eléctricos considerando entrega y recogida de mercancía».
- DAEN, ST (2011). «Tipos de investigación científica». *Revista de Actualización Clínica Investiga Boliviana*.
- DÍAZ-VÁZQUEZ, M ROSARIO y CANCELO, M TERESA (2010). «Análisis de los factores determinantes de la evolución de las emisiones de CO₂ y de azufre en países OCDE mediante una descomposición econométrica». *rEviSta dE Economía mundial*, (26), pp. 85–106.
- ECUADOR, ASAMBLEA CONSTITUYENTE (2008a). «Constitución de la República del Ecuador». *Quito: Tribunal Constitucional del Ecuador. Registro oficial Nro*, 449, pp. 79–93.
- (2008b). «Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial, Última modificación: 21 de agosto de 2018».
- ENRÍQUEZ, DIEGO (2017). «Capítulo 6 La racionalidad climática de los gobiernos locales: los compromisos de las ciudades en la primera Contribución Determinada a Nivel Nacional de Ecuador». *Investigación aplicada sobre cambio climático: aportes para ciudades de América Latina*, p. 111.
- EZCURRA, MARTA VILLAR (2015). «PROPUESTA DE ACTUACIONES PARA IMPULSAR LA MOVILIDAD ELÉCTRICA EN ESPAÑA».
- GONZÁLEZ, LAURA BELÉN GAUNA (2017). «Cooperación Internacional para el cambio climático. Estudio de casos: América Latina y la Unión Europea.» *M+ A: Revista Electrónica de Medioambiente*, 18(1), p. 27.
- JORDAN, LÉON y ALEJANDRO, ARIEL (2020). «Estudio de factibilidad técnica para la implementación del transporte eléctrico en el Ecuador como aporte a las energías renovables y eficiencia energética.».
- JURADO, EDUARDO y CEDEÑO, ALBERTO RIGAIL (2016). «El flujo de caja libre, operativo y del accionista, los elementos creadores de valor. Los value drivers o inductores de valor corporativos». *INNOVA Research Journal*, 1(3), pp. 21–75.
- LÓPEZ y BASANTA, NAYRA, CLARA-LLONCH MOLINA (2015). «El automóvil como objeto de museo y su valor para el conocimiento de la Historia. Primeros pasos hacia una aproximación didáctica del automóvil». *Clío*, 2015, num. 41, p. 1-11.
- MARCHÁN, ESTEFANÍA y VISCIDI, LISA (2015). «TRANSPORTE VERDE».
- MEJÍA, ANDRÉS STEVEN (2021). *Estimación del potencial de captura de carbono en la ciudadela universitaria Universidad de Guayaquil, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador*. B.S. thesis.

- MIRANDA, ANDREA CRISTINA PAZMIÑO (2020). «Análisis del Plan Nacional de Eficiencia Energética en el Ecuador». *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT ISSN: 2588-0721*, **5(1)**, pp. 28–34.
- MOGROVEJO, ANDRÉS FERNANDO y MONTERO, FREDDY PAUL (2019). *Análisis de la calidad de la energía eléctrica en las redes de bajo voltaje de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca por la cargabilidad de vehículos eléctricos*. B.S. thesis.
- MOSCOSO, ANDRÉS MARTÍNEZ (2019). «El nuevo marco jurídico en materia ambiental en Ecuador. Estudio sobre el Código Orgánico del Ambiente». *Actualidad Jurídica Ambiental*, **89**, pp. 3–32.
- MUEVECELA, W (2018). «Diseño del Sistema Eléctrico en Baja Tensión para Estaciones de Carga en Autobuses Eléctricos». *Universidad de Cuenca*.
- NIETO y CORTÉS, LAURA ALEXANDRA (2019). *Diseño de un modelo de negocio para la sostenibilidad de la comercialización de vehículos eléctricos e híbridos en Colombia*. B.S. thesis, Fundación Universidad de América.
- ORBEA, RICARDO PAÚL (2022). «Análisis de la normativa NTE INEN 034: 2016 para la homologación de vehículos eléctricos en el Ecuador».
- OSSES, M (2013). «Buses eléctricos e híbridos: riesgos tecnológicos y requerimientos de capacitación». *Taller: Buses cero y bajas emisiones para el SIPT de Bogotá*, pp. 5–25.
- PALACIOS y BRITO, CHRISTIAN JAVIER (2018). *Estimación del consumo energético específico de la movilidad en transporte público y privado, de centros de educación superior en el cantón Cuenca*. B.S. thesis, Universidad del Azuay.
- PAREDES, LA (2019). «Electromovilidad y Eficiencia Energética en el Transporte Público de Pasajeros del Ecuador Continental». *Revista Técnica.energía*, **16(1)**, pp. 97–105.
- PRESS, EUROPA (2015). «Grupo Antolin acuerda la compra de la división de Interiores de Magna».
- RUZ, ANA POZO y PIÑEIRO, EVA MOLERO (2013). *El vehículo eléctrico y su infraestructura de carga*. Marcombo.
- SÁNCHEZ, CECILL VIVIANA (2019). *El transporte terrestre y la importancia del subsidio a los combustibles en Ecuador, período 2013-2017*. B.S. thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas.
- SEBASTIÁN, MIGUEL (2019). «La electrificación del transporte». *Presupuesto y Gasto Público*, **97**, pp. 59–77.
- SILVA, CAMILA PADOVAN DA (2020). «Avaliação do impacto da propulsão elétrica e do sistema BRT no consumo energético e emissão de CO2 no transporte público no Distrito Federal».
- SILVEIRA, MÁRCIO ROGÉRIO y COCCO, RODRIGO GIRALDI (2013). «Transporte público, mobilidade e planejamento urbano: contradições essenciais». *Estudos avançados*, **27**, pp. 41–53.

- TOALA, ROXANA STEFANIA (2021). *El Crecimiento Económico de Guayaquil y su degradación ambiental, un enfoque desde la Curva Medioambiental de Kuznets, periodo 2010-2020*. B.S. thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Económicas.
- TORRES y SARMIENTO, JUAN DAVID (2015). *Estudio de viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca*. B.S. thesis.
- VALENCIA, MARCELA GONZÁLEZ y GRISALES, LUZ ADRIANA TREJOS (2017). «Conceptos técnicos para comprender los Sistemas de Gestión de Baterías BMS». *Vía innova*, (4), pp. 37–46.
- VASCONCELOS, KELLYANNA DA SILVA (2020). *VALORAÇÃO ECONÔMICA DOS BENEFÍCIOS DA INTRODUÇÃO DE ÔNIBUS ELÉTRICOS NO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO*. Tesis doctoral, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- VELEZ y PAREJA, IGNACIO (2009). «Why We Subtract the Change in Working Capital When Defining Free Cash Flows? A Pedagogical Note (in Spanish)». *A Pedagogical Note (in Spanish)*(April 30, 2008). *Interfase*, **3(5)**, pp. 75–78.
- VENTURA, MARÍA JOSÉ (2019). «Buenas prácticas ambientales y su potencial de réplica en Costa Rica».

Apéndice A

APÉNDICE DE LAS ENTREVISTAS REALIZADAS

A.1. Entrevista con representante de BYD Ecuador

Con el fin de complementar los datos técnicos investigados y en conjunto con la experiencia de un propietario de un taxi eléctrico, que presta sus servicios en la ciudad de Guayaquil, el mismo que en una entrevista virtual previa improvisada se conversó por alrededor de 2 horas, sobre la experiencia que ha tenido hasta el momento en la operación y mantenimiento del VE. De aquella conversación se obtuvieron un banco de preguntas básicas. Además teniendo la oportunidad de tener información de primera mano, y gracias a la gestión del Dr. Renán Zambrano, que gentilmente me recomendó con el Gerente General de BYD Ecuador, M.Sc. Jorge Burbano, para coordinar una ronda de entrevistas con el representante técnico y financiero.

Por parte de la compañía BYD Ecuador, se delegó como representante técnico al Ingeniero Ángel Coyago y el modelo del VE base a detallar es el E5-400, quien amablemente colaboró respondiendo a las siguientes preguntas:

1. ¿ Qué tiempo de autonomía tiene el taxi eléctrico en kilómetros ?

Existe dos tipos de autonomía:

1.- NEDC: es la que el vehículo desarrolla con el mínimo peso (conductor) y es de 400km en promedio, es la misma en la costa y sierra, ya que en la costa se utiliza mucho el aire acondicionado y en la sierra elevaciones de terreno.

2.- Operativa o real: se considera el peso de 3 personas como pasajeros, adicional al conductor, consumo de aire acondicionado y 15 Kg en el maletero, la autonomía es de 330 a 350 km.

2. ¿ Qué tiempo es necesario para que el banco baterías estén al 100 % de su carga ?

Existen dos tipos de carga, que determinan el tiempo necesario para que el banco de baterías llegue al 100 %, partiendo que la potencia del banco es de 60 kW.

1.- Cargador de 7 kW: este cargador se considera un cargador de carga lenta y el

tiempo hasta alcanzar el 100 % resulta de dividir la potencia del banco de baterías para la potencial del cargador y eso da como resultado 8,5 horas.

2.- Cargador de 40 kW: este cargador se considera un cargador de carga rápida o se conoce como carga de oportunidad y el tiempo hasta alcanzar el 100 % resulta de dividir la potencia del banco de baterías para la potencial del cargador y eso da como resultado 1,5 horas.

3. ¿ La autonomía del VE no baja con los años ?, ¿ se mantiene ?

La garantía de la batería es de 8 años o 500.000 km (lo que ocurra primero), la vida útil de la batería es de 15 años, al término de este periodo de tiempo la capacidad de almacenamiento es del 50 a 60 %, lo que aumentaría de acuerdo a los ciclos de carga ya sea lenta o rápida, en resumen en el primer o segundo año de funcionamiento tiene una degradación del 1 al 2 %, manteniéndose en línea recta o no teniendo ningún tipo de cambio hasta el años 13 en donde cae nuevamente entre 1 y 2 %.

4. ¿ El frenado regenerativo desde qué porcentaje de consumo de la batería comienza a funcionar ?

Desde el 99 %.

5. ¿ De qué material esta fabricado el banco de baterías ?

NCM que significa níquel, cobalto y manganeso.

6. ¿Cuál es la potencia y garantía del motor ?

8 años o 500.000 km (lo que ocurra primero).

7. ¿ Debo hacer el mantenimiento en BYD para mantener la garantía ?

Como toda marca, se recomienda que los mantenimientos sean realizado en taller de Byd.

8. ¿ Qué tipo de conector tiene el auto y si está o no estandarizado u homologado en Ecuador ?

Tipo 2 o europeo, y no está homologado, este conector lo tienen todos los autos y buses de marca BYD, recomienda que más haya de homologar un conector sería de homologar a las estaciones de recargas que cuenten con la mayor diversificación de conectores.

9. ¿ BYD va a instalar una red de cargadores en varios sectores dentro y fuera de la Ciudad ?

Como BYD no estamos interesados en un plan de instalación de una red de electro-líneas, más bien tienen la puerta abierta para las alianzas con otras empresas para hacer algún tipo de consorcio y poder asesorar en todos los recursos necesarios para la correcta instalación de todos los equipos.

10. ¿ Qué pasa si el recorrido habitual tiene pendientes pronunciadas ?

Como en los automotores a combustión necesitan mayor combustible, es lo mismo en los autos eléctricos consumen mayor energía, pero con la ventaja que así como suben pendientes, a la bajada recuperan carga en la batería en la regeneración, aclarando que la recuperación no es al 100 %; sin embargo, todo depende del manejo eficiente del profesional del volante.

11. ¿ Qué experiencia tiene la marca BYD en taxis ?

Fue la primera marca que implemento la electromovilidad en el Ecuador, con los taxis en la ciudad de Loja, en marzo de 2017, comentó la experiencia en Colombia, que existe autos eléctricos trabajando como taxis ya más de 10 años y el apoyo de los municipio que instalaron centros de carga por toda la ciudades, lo cual motivo a los transportistas a la adquisición de los VE.

12. ¿Cuál es el respaldo técnico, repuestos, mano de obra ?

BYD Ecuador, es el representante de fabrica directo, tienen técnicos chinos en el país, para cubrir cualquier novedad operativa con los vehículos, debido a la flota actual que existe entre autos tipo taxi de 35 unidades en Loja, 2 miniban en Cuenca, 20 buses en Guayaquil, 5 taxis en Guayaquil, digamos que alrededor de 100 unidades en todo el país, no existe aun la necesidad de tener talleres propios, más bien tienen una red de talleres aliados que nos ayudan en el mantenimiento garantizado de los autos y buses BYD. Con respecto a los repuestos de alta rotación, si están disponible de manera inmediata, en el caso de tener un caso especial de algún dispositivo que tuvo un defecto, se envía a ver desde fábrica vía dhl, el mismo que estará en bodega en 15 días.

13. ¿Cuál es el costo del mantenimiento, cada cuánto hay que hacerse ?

Es de 100 dolares, cada 20.000 km.

14. ¿ Desde qué porcentaje de carga se debería comenzar a cargar la batería ?

Entre el 15 y 20 % , se debe comenzar a cargar el banco de baterías, el mismo que tiene un indicador en el tablero.

15. ¿ Es necesario cambiar el banco completo o por el sector afectado ?

Aun no se ha tenido esa experiencia o la necesidad de algún problema en el banco de baterías, mas bien la política de BYD nos exige que si dentro del periodo de garantía, que es de 8 años, se debe cambiar todo el banco.

16. ¿ Es posible hacer el mantenimiento mecánico de la suspensión, frenos etc, en un taller externo ?

En componentes de desgaste como cambio de llantas, frenos, rotación de llantas, amortiguadores, etc, no se pierde la garantía del equipamiento electrónico.

17. ¿ Que tipo de refrigeración tiene el motor eléctrico ?

Tiene un sistema de refrigeración por aceite, por considerarse mas eficiente.

18. ¿ Qué eficiencia tiene el motor eléctrico ?

Tiene una eficiencia del 95 %.

Continuando con la entrevista a la compañía de BYD, líder en electromovilidad en nuestro país y a nivel mundial, se delego como representante financiero al ingeniero Miguel Saens de Viteri, quien amablemente colaboró respondiendo a las siguientes preguntas:

1. ¿ BYD tiene algún tipo de incentivo económico o descuento para la adquisición de autos o buses eléctricos ?

El valor de la unidad E5-400, comprado para que trabaje como taxi en la ciudad de Guayaquil, tiene un valor de \$ 36.000,00, menos un incentivo o subsidio por parte del muy ilustre municipio de Guayaquil (MIMG), de \$ 4.000,00, y menos \$ 2.000,00, como incentivo por parte de la compañía BYD, lo que resulta que el VE cuesta \$ 30.000,00, para un socio de una cooperativa o compañía de taxis.

Por otro lado el costo de un bus eléctrico es de \$ 410.000,00 , y menos \$ 15.000,00, de la misma forma el MIMG lo otorga para todos los buses que prestan su servicio en la ciudad de Guayaquil, lo que resulta como precio final de \$ 395.000,00, para un socio de una cooperativa o compañía de buses.

2. ¿ Cree usted que se pueden aplicar sistema de carga rápida o ultrarrápida, o lo que se conoce como pantógrafo en la Metrovía de la ciudad de Guayaquil ?

A mi criterio no, debido al elevado costo actual del pantógrafo que bordea los \$ 130.000,00 a \$ 150.000,00 sin la infraestructura de alimentación eléctrica. Adicional el costo de la energía en horario de 08:00 a 22:00 es de \$ 0.12 el kWh, una energía costosa ya que se desaprovecha la tarifa de \$ 0.05 el kWh pasada las las 22:00 hasta las 08:00.

3. ¿ BYD Ecuador ha elaborado un estudio referencial de cuanto se ahorra un propietario de un taxi eléctrico con respecto a uno de combustión ?

Sí, tenemos desarrollado un análisis económico operativo y de mantenimiento, en combustible se ahorra entre el 600 a 700 %, digamos 7 a 1, en los taxis eléctricos y en los buses es 5 a 1.

4. ¿Cuál es el periodo de retorno de inversión de los sistemas de vehículo eléctrico en el trabajo de un taxi y bus eléctrico ?

El periodo de retorno de un taxi que trabaje como taxi en la ciudad de Guayaquil, bajo el supuesto que recorrerá 300 km diarios y 350 días al año, es aproximadamente de 3 años, con una amortización a 5 años. En el bus, al considerarse una inversión mucho mayor, así como el taxi partiendo del supuesto que trabajará 240 km diarios y 355 días al año, es aproximadamente 10 años, con un periodo de amortización de 10 años.

5. ¿ Cuales son los incentivos actuales por la adquisición de un auto o bus eléctrico ?

Las leyes actuales en Ecuador han permitido establecer 8 incentivos esenciales impulsando la electromovilidad:

- Aranceles: 0
- ICE: 0
- IVA: 0
- ISD (Impuesto a la salida de Divisas): 0
- Tarifa eléctrica preferencial
- Doble escudo fiscal
- Crédito preferencial
- Bono local
- Preferencial locales.

A.2. Entrevista con representante de la compañía de transporte Saucinc S.A.

Finalizando con las entrevistas se tuvo la oportunidad gracias a la gestión y recomendación del ingeniero Miguel Saenz de Viteri, que tuvo la gentileza de ayudarme coordinando una reunión con el presidente de la compañía de transporte Saucinc S.A., propietaria de una flota de buses eléctricos marca BYD modelo K9G , economista José Silva, quien amablemente accedió a la entrevista en las oficinas de la Compañía ubicada al norte de la ciudad de Guayaquil, ciudadela Sauces 4, Manzana 377 villa 7 calle principal Enrique Gil Gilbert.

1. ¿ Cuál fue la autonomía inicial que el fabricante les garantizó en kilómetros ?

300 km.

2. ¿ En el tiempo de uso de los buses eléctricos, cuál fue la autonomía real en kilómetros ?

240 km.

3. ¿ Qué tiempo es necesario para que el banco de batería estén al 100 % de su carga ?

Los buses son cargados en la electrolinera ubicada en el parque Samanes, tiene un tiempo de carga de entre 4 a 5 horas, con un cargador de una potencia de 40 kW.

4. ¿ La autonomía del bus eléctrico no baja con los años, se mantiene ?

Con respecto a esta pregunta, el tiempo de experiencia que se tiene es aproximadamente de 3 años, tiempo en el que no se ha visto ninguna novedad en el estado de salud de las baterías.

5. Comente Ud, ¿Cuál es la experiencia con los buses BYD ?

Por el momento la experiencia en la administración de los buses eléctricos ha sido satisfactoria, no han reportado ninguna falla en el tiempo de operación, se ha cumplido con los periodos de mantenimiento según las indicaciones de los fabricantes y continuamente se está capacitando a los señores conductores en el manejo ecoeficiente.

6. ¿ Desde la adquisición de los buses en el caso que hayan tenido algún tipo de desperfecto ha existido 100 % de disponibilidad de repuestos ?

Por el momento, no hemos tenido ningún daño considerable, en donde existió la necesidad de solicitar a fabrica dichos repuestos.

7. ¿Cuál es el costo del mantenimiento , cada que tiempo debe hacerse ?

El costo de mantenimiento es de \$ 0.27, cada km.

8. ¿Cuál es el costo de la energía ?

El costo de energía es de \$ 0.08 por km, en horario nocturno de 22:00 a 6:00.

9. ¿Cuál es el potencia del cargador ?

80 kW.

10. ¿ Saucinc como pionero en la electromovilidad ha tenido acercamiento con el municipios y ministerios, para saber si en un corto plazo se incrementarán las estaciones de carga de buses eléctricos en otras partes de la ciudad ?

Sí, hemos tenido muchas reuniones y también he asistido a foros de electromovilidad

pero aun no hay una manifestación clara de invertir en más estaciones de recarga en la ciudad de Guayaquil y a nivel Nacional.

10. ¿Cuál fue el plan de financiamiento y a qué tiempo está amortizado el proyecto ?

Es un financiamiento de la CFN corporación financiera nacional, por el 100 % del costo de la flota de buses eléctricos, a una tasa de interés del 7.0 % y un plazo de 20 años. El tiempo de amortización es a 20 años.

A.3. Reunión de trabajo con representante de Heliox Energy.

En vista que es necesario terminar el capítulo de los cargadores y está faltando los ultrarrápidos, en este caso fue necesario contactar con la compañía internacional líder en soluciones de carga de VE, la misma que fue atendida por el Ing. David Álvarez, country manager latam, quien me ayudó con una cotización referencial de los alimentadores (buses de 12 metros), articulados (buses de 18 metros) y cargadores incluido el pantógrafo, la misma que se puede observar en la figura adjunta, con la finalidad de elaborar una análisis de prefactibilidad para el cambio de la flota de buses de la metróvía de la ciudad de Guayaquil.

DC David Álvarez Carvajal <david.alvarez@heliox-energy.com>
Jue 03/02/2022 18:00
Para: Luis Moreno
CC: Xavier Zambrano <xavier.zambrano@celec.gob.ec>
Estimado Luis, como has estado.

De antemano disculpas por la demora, pero tal como acordamos, te dejo la información que pude obtener:

Buses Eléctricos: Proveedores A, B y C son chinos, el proveedor D es europeo. Hay que considerar que los precios son 2021, por lo cual te sugeriría usar una indexación de al menos 10-15%, teniendo en cuenta la subida de precios que está teniendo el mercado.

- Bus 9 metros: Precio A (214.300 USD + TAX) / Precio B (240.000 USD + TAX) / Precio C (214.686 USD + TAX)
- Bus 12 metros: Precio A (296.300 USD + TAX) / Precio B (323.098 USD + TAX) / Precio C (292.842 USD + TAX)
- Bus 18 metros: Precio A (444.300 USD + TAX) / Precio D (550.000 USD + TAX)

Sistemas de Carga: El precio incluye: cargador, pantógrafo, estructura para instalación del pantógrafo, cableado, servicio de instalación, pruebas de interoperabilidad y comisionamiento. No incluye obra eléctrica asociada. (Ver Imagen)

- 180kW + Pantógrafo: (85.000 USD + TAX)
- 360kW + pantógrafo: (135.000 USD + TAX)
- 450kW + pantógrafo: (152.000 USD + TAX)

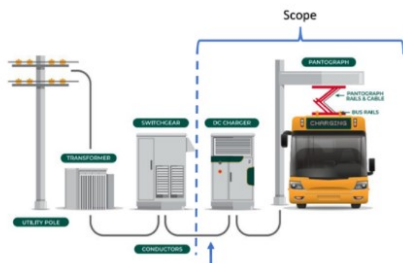


Figura A.1 – Cotización heliox energy.
Fuente: Heliox energy.