

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA AUTOMOTRIZ

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero
Mecánico Automotriz

PROYECTO TÉCNICO:

**ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE
UN VEHÍCULO ELÉCTRICO QUE PRESTE EL SERVICIO DE
TAXI EN LA CIUDAD DE CUENCA**

AUTORES:

Chuquiguanga Tenesaca William Santiago

Jiménez Tamayo Brian Rafael

TUTOR:

Ing. Paul Wilfrido Méndez Torres MSc.

Cuenca, Enero de 2018



CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Brian Rafael Jiménez Tamayo con C.I. 110422701-0 y William Santiago Chuquiguanga Tenesaca con C.I. 010575600-1, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO QUE PRESTE EL SERVICIO DE TAXI EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Mecánico Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual y en nuestra condición de autores, nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

William Santiago Chuquiguanga Tenesaca
C.I. 010575600-1

Brian Rafael Jiménez Tamayo
C.I. 110422701-0



CERTIFICACIÓN

Yo declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación: **“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO QUE PRESTE EL SERVICIO DE TAXI EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, realizado por los autores, Brian Rafael Jiménez Tamayo y William Santiago Chuquiguanga Tenesaca, obteniendo el Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Ing. Paul Wilfrido Méndez Torres MSc.

TUTOR



DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Brian Rafael Jiménez Tamayo con C.I. 110422701-0 y William Santiago Chuquiguanga Tenesaca con C.I. 010575600-1, autores del Trabajo de Titulación: **“ANÁLISIS DE VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO QUE PRESTE EL SERVICIO DE TAXI EN LA CIUDAD DE CUENCA”**, certificamos que el total contenido del Proyecto Técnico, son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

William Santiago Chuquiguanga Tenesaca
C.I. 010575600-1

Brian Rafael Jiménez Tamayo
C.I. 110422701-0



DEDICATORIA

A Hilda y Enrique, quienes más que buenos padres, son dos seres humanos extraordinarios que lo dan siempre todo sin pedir nada a cambio, por su apoyo, su amor incondicional, por ser mi motivación más grande para retomar los estudios y por seguir creyendo en mí cuando ni yo lo hacía.

Brian Rafael



DEDICATORIA

A Dios por haberme brindado salud y fortaleza para lograr cumplir este objetivo.

A mis padres Maria Tenesaca y Pablo Chuquiguanga, que son el mejor ejemplo de superación y los que me han apoyado en todo momento, con sus consejos, sus valores y sobre todo con la confianza depositada en mí, que han sido el pilar fundamental en el cumplimiento de cada una de mis metas, por su esfuerzo y ayuda incondicional que sin ellos no habría alcanzado este objetivo.

A mis hermanos Byron y Eithan por tolerarme, estar conmigo y apoyarme siempre en los buenos y malos momentos.

William Santiago



AGRADECIMIENTO

A la vida que me ha dado tanto.

A ti Enrique, por el tiempo que has estado fuera sacrificando tu propia salud y bienestar para que yo pueda alcanzar esta meta.

A ti Hilda, por perdonarlo todo y quedarte a mi lado estos últimos años de mi vida universitaria.

A ti Jhuliana, por tu lealtad de hermana y saber cómo sacarme una sonrisa siempre.

A mi familia y amigos, quienes me han alentado y brindado su respaldo en todo momento.

A los ingenieros Paul Wilfrido, Adrián Xavier y Juan Paul, quienes con su ayuda y conocimientos contribuyeron para la realización de este proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana, por inculcar en mí este sentido de pertenencia a tan noble institución.

Y a ti Kike, por todas esas horas que permaneces solo, mirando esa puerta esperando que yo la abra.

Brian Rafael



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirme con salud y por permitirme tener y disfrutar a mi familia.

A mis padres y hermanos por creer en mí y brindarme su apoyo incondicional durante este largo trayecto.

A nuestro director de tesis, Ing. Paul Méndez por brindar su confianza, dedicación y apoyo para la culminación exitosa de este proyecto.

A los ingenieros Danilo Dávalos, Daniel Cordero y Adrián Sigüenza por su ayuda desinteresada en el desarrollo de este proyecto.

William Santiago



RESUMEN

Los propietarios de taxis convencionales de la ciudad de Cuenca que deben renovar sus unidades, según la AFUT -Asociación Frente Unido de Taxistas-, son escépticos sobre la renovación con unidades eléctricas que proponen las autoridades locales, debido principalmente a la incertidumbre sobre la fiabilidad y rentabilidad que ofrece este tipo de vehículo, las cuales deben ser por lo menos igual a las de un vehículo con motor de combustión interna.

En este proyecto se optó por las metodologías de investigación documental y observación científica para recopilar información relevante acerca de la situación actual en el sector de taxis de Cuenca, en conjunto, se aplicó una metodología de investigación experimental mediante el uso de un software de computadora EMOLAB V2.0.1 y el vehículo eléctrico Kia Soul EV para obtener una base de datos con información que describe el comportamiento del vehículo eléctrico. Aplicando diseño de experimentos factorial (DOE) se utilizó las variables que tienen más influencia sobre la autonomía y el consumo energético del vehículo eléctrico para su evaluación energética, seguidamente se hizo uso de la metodología de herramientas financieras como VAN -Valor Actual Neto- y TIR -Tasa Interna de Retorno- para evaluar la viabilidad económica de su implementación.

Los resultados obtenidos del análisis indican que el vehículo eléctrico Kia Soul EV cuenta con una autonomía inferior a la indicada por el fabricante y que bajo las condiciones de conducción de los taxis de Cuenca, en promedio es de 124.863 km con un consumo de 0.216 kWh/km, lo que no es suficiente para cubrir la media de kilómetros recorridos al día, haciéndolo un vehículo con riesgo de inversión alta para la prestación del servicio de taxi, esto a pesar de que los costos de mantenimiento preventivo por cada 100000 km son más bajos, 1092.56 USD contra los 2851 USD para el Hyundai Accent y los 3169.07 USD del Chevrolet Aveo Emotion, que son los vehículos más usados como taxi en la ciudad y de similares características que el Kia Soul EV.



ABSTRACT

Conventional taxi's owners in Cuenca city, that will have to renew their units, according to AFUT -Asociación Frente Unido de Taxistas-, are skeptical about the renovation with EV -Electric Vehicles- proposed by local authorities, because the are uncertainty about reliability and profitability offered by this type of vehicle, which must be at least equal to those of a vehicle with internal combustion engine.

In this project was chosen documentary research and scientific observation methodologies to get information about the current situation of taxis in Cuenca city, also was used an experimental research methodology through the use of EMOLAB V2.0.1 computer software and Kia Soul EV electric vehicle to get data base with information about behavior of electric vehicle. Employing factorial DOE -Design Of Experiments- was used the variables that to affect the autonomy and consumption energy of electric vehicle for energy evaluation, after was used financial tools how NPV -Net Present Value- and IRR -Internal Rate of Return- to evaluate its economic implementation.

Result of analysis show that the autonomy of Kia Soul EV is less than autonomy indicate for the builder and in Cuenca city's conduction conditions it is 124.8663 km in rate with a consumption energy of 0.216 kWh/km, this values aren't enough how for supply demand daily of kilometers, so it is a high risk investment for this electric taxi despite that preventive maintenance costs per kilometer (1092.56 USD) are cheaper than cost of Hyundai Accent and Chevrolet Aveo Emotion, 2851 USD and 3169.07 USD, respectively. This ICEV -Internal Combustion Engine Vehicle- are the most used how taxi in Cuenca city and has similar characters than Kia Soul EV.



CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
ÍNDICE DE TABLAS	XVI
INTRODUCCIÓN	XVIII
OBJETIVOS	XIX
Objetivo general	XIX
Objetivos específicos.....	XIX
CAPÍTULO I.....	1
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO.....	1
1.1 Definición.....	1
1.2 Clasificación de los vehículos eléctricos y configuración del tren de fuerza motriz.....	1
1.2.1 Vehículo eléctrico de baterías (BEV)	1
1.3 Componentes del vehículo eléctrico de baterías (BEV).....	2
1.3.1 Motor eléctrico.....	2
1.3.1.1 Motor de corriente continua (DC)	4
1.3.1.2 Motor de corriente alterna (AC)	5
1.3.2 Fuente de energía	6
1.3.2.1 Tipos de baterías: ventajas y desventajas	8
1.3.2.2 Baterías Li-ion usadas por Tesla	10
1.3.2.3 Ultra-capacitores	13
1.3.3 Convertidor electrónico de potencia	13
1.3.4 Unidad de control electrónico.....	15
1.3.5 Sistema de freno regenerativo	16
1.4 Recarga del vehículo eléctrico.....	17
1.4.1 Infraestructura y tecnología de recarga.....	17
1.4.2 Métodos o tipos de recarga	18
1.4.3 Modos de carga y tipos de conectores	19
1.5 Ejemplos internacionales de implementación del taxi eléctrico.....	23
1.5.1 Barcelona (España)	23
1.5.2 Bogotá (Colombia)	23
1.5.3 Ámsterdam (Países Bajos)	23
1.6 El vehículo eléctrico en Ecuador	24
1.6.1 El taxi eléctrico	26
CAPÍTULO II	28
2. VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN Y ELÉCTRICO EN EL SECTOR DE TAXIS DE CUENCA	28
2.1 Ubicación.....	28



2.2 Características del sector de taxis.....	29
2.2.1 Parque automotor.....	30
2.2.1.1 Vehículos más usados en el sector de taxis de Cuenca	31
2.2.2 Tarifas	32
2.3 Adquisición de datos	32
2.3.1 Descripción del protocolo de muestreo	33
2.3.1.1 Vehículo eléctrico de pruebas Kia Soul EV	33
2.3.1.2 Equipos para la medición de los parámetros de funcionamiento del vehículo	34
2.3.2 Ciclos de conducción representativos de los taxis en Cuenca.....	36
2.3.2.1 Ciclo de conducción para carreras cortas	36
2.3.2.2 Ciclo de conducción para carreras medias	37
2.3.2.3 Ciclo de conducción para carreras largas	38
2.3.2.4 Cálculo de la fuerza resistente total.....	39
2.3.3 Pruebas y recolección de datos	42
2.3.3.1 Consumo energético obtenido en el ciclo de conducción corto	42
2.3.3.2 Consumo energético obtenido en el ciclo de conducción medio.....	46
2.3.3.3 Consumo energético obtenido en el ciclo de conducción largo	50
CAPÍTULO III.....	56
3. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO O DE COMBUSTIÓN.....	56
3.1 Estudio económico	56
3.1.1 Operaciones de mantenimiento y precios para el vehículo Kia Soul EV ..	56
3.1.2 Operaciones de mantenimiento y precios para los vehículos Hyundai Accent Estándar y Chevrolet Aveo Emotion GLS	59
3.1.3 Costos operacionales	64
3.1.3.1 Costo de capital	64
3.1.3.2 Costos fijos.....	65
3.1.3.3 Costos variables	66
3.2 Evaluación económica.....	69
3.2.1. Kia Soul EV	72
3.2.2 Hyundai Accent	74
3.2.3 Chevrolet Aveo Emotion	77
CAPÍTULO IV.....	80
4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	80
4.1 Consumo energético y autonomía real del vehículo eléctrico.....	80
4.2 Capacidad energética requerida para la batería del vehículo eléctrico.....	83
4.3 Viabilidad económica del vehículo eléctrico	85
CONCLUSIONES	90
RECOMENDACIONES	92



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
LISTA DE ABREVIATURAS	98
ANEXOS	99
Anexo A	99



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Esquema básico de la fuente de energía y del tren motriz de un BEV.....	2
Fig. 2. Curvas características de torque y potencia de un motor eléctrico de tracción usado en un BEV.....	3
Fig. 3. Esquema de funcionamiento de motor de DC.....	4
Fig. 4. Bandas de glicol para la refrigeración de la batería de 90 kWh de Tesla.....	12
Fig. 5. Nueva configuración del sistema de refrigeración de la batería de 100 kWh de Tesla.....	12
Fig. 6. Diagrama de la distribución de las celdas en un pack de baterías del Model 3.....	12
Fig. 7. Familia de ultra-capacitores Maxwell para variadas aplicaciones como los vehículos eléctricos.....	13
Fig. 8. Arquitectura de los sistemas de control de un vehículo eléctrico.....	14
Fig. 9. Unidad de control del tren de fuerza para un vehículo eléctrico.....	15
Fig. 10. Interfaz de hardware típica de una ECU en un vehículo eléctrico con dos CAN buses, con varias entradas analógicas y digitales y varias salidas digitales.	16
Fig. 11. Freno regenerativo, el motor eléctrico invierte el sentido de giro con lo cual funciona como generador.....	17
Fig. 12. Modos de carga entre la red eléctrica y el EV según estándar internacional IEC 61851-1.....	20
Fig. 13. Conector Schuko CEE 7/4.....	20
Fig. 14. Conector SAE J1772.....	21
Fig. 15. Conector Mennekes.....	21
Fig. 16. Conector SCAME.....	22
Fig. 17. Conector CHAdeMO.....	22
Fig. 18. Conector combinado CCS.....	22
Fig. 19. Ceremonia pública de presentación de los 30 vehículos BYD e5 en Loja (2017).....	26
Fig. 20. Patricio Padilla (izquierda), presidente de AFUT, con directivos de Kia en la entrega del vehículo para pruebas (2017).....	27
Fig. 21. Ubicación de la ciudad.....	28
Fig. 22. Vista panorámica de Cuenca.....	28
Fig. 23. Distribución horaria de los viajes en taxi.....	30
Fig. 24. Duración del viaje en taxi.....	30
Fig. 25. Kia Soul EV del Proyecto “Movilidad Verde UPS” en el laboratorio de movilidad eléctrica de la Universidad (2017).....	33
Fig. 26. Componentes principales del Kia Soul EV.....	34
Fig. 27. Pantalla principal del Software EMOLAB V2.0.1.....	35
Fig. 28. Banco de potencia MAHA LPS 3000 de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.....	36
Fig. 29. Curva velocidad-tiempo para el ciclo de conducción de carreas cortas.....	37
Fig. 30. Perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreas cortas.....	37
Fig. 31. Curva velocidad-tiempo para el ciclo de conducción de carreas medias. ...	38



Fig. 32. Perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreas medias.....	38
Fig. 33. Curva velocidad-tiempo para el ciclo de conducción de carreas largas.	39
Fig. 34. Perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreas largas.....	39
Fig. 35. Diagrama de Pareto para el consumo energético durante ciclo de conducción de carreas cortas.	44
Fig. 36. Consumo energético en función del peso y la pendiente durante ciclo de conducción de carreas cortas.....	44
Fig. 37. Interacción del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas cortas.	45
Fig. 38. Variación del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas cortas.	45
Fig. 39. Zona óptima para consumo energético.	46
Fig. 40. Diagrama de Pareto para el consumo energético durante ciclo de conducción de carreas medias.	48
Fig. 41. Consumo energético en función del peso y la pendiente durante ciclo de conducción de carreas medias.....	48
Fig. 42. Interacción del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas medias.	49
Fig. 43. Variación del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas medias.	49
Fig. 44. Zona óptima para consumo energético.	50
Fig. 45. Diagrama de Pareto para el consumo energético durante ciclo de conducción de carreas largas.	52
Fig. 46. Consumo energético en función del peso y la pendiente durante ciclo de conducción de carreas largas.....	52
Fig. 47. Interacción del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas largas.	53
Fig. 48. Variación del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas largas.	53
Fig. 49. Zona óptima para consumo energético.	54
Fig. 50. Comparación entre costos de mantenimiento preventivo realizados en talleres independientes y oficiales.....	64
Fig. 51. Relación que existe entre el VAN y TIR.	71
Fig. 52. Efectos principales para el consumo energético del vehículo eléctrico.....	80
Fig. 53. Interacción de las variables independientes para el consumo energético del vehículo eléctrico.	81
Fig. 54. Efectos principales de las variables independientes sobre el consumo energético del vehículo eléctrico.....	81
Fig. 55. Interacción distancia-pendiente sobre consumo energético del vehículo eléctrico.....	82
Fig. 56. Variación del consumo energético a diferentes distancias de recorrido y pendientes a superar.	82
Fig. 57. Zona óptima para consumo energético.	83
Fig. 58. Distancia de recorrido en función del consumo de energía promedio.....	83



Fig. 59. Capacidad energética requerida por la batería del vehículo eléctrico.	85
Fig. 60. Relación costo-beneficio de los proyectos de inversión más rentables.	87
Fig. 61. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=5 para la inversión Kia Soul EV-caso 3.	87
Fig. 62. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=8 para la inversión Hyundai Accent-caso 2.	88
Fig. 63. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=3 para la inversión Hyundai Accent-caso 3.	88
Fig. 64. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=3 para la inversión Chevrolet Aveo Emotion-caso 3.	89
Fig. 65. Datos de matriculación del vehículo eléctrico Kia Soul EV.	99
Fig. 66. Avalúo Kia Soul EV por parte del SRI -Servicio de Rentas Internas-.	100
Fig. 67. Rubros o impuestos a pagar en la matrícula del vehículo Kia Soul EV.	100
Fig. 68. Datos de matriculación del vehículo Hyundai Accent 1.6 Estándar.	101
Fig. 69. Avalúo por parte del SRI -Servicio de Rentas Internas- del vehículo Hyundai Accent 1.6 Estándar.	101
Fig. 70. Rubros o impuestos a pagar en la matrícula del vehículo Hyundai Accent 1.6 Estándar.	102



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de vehículos eléctricos y sus abreviaturas	1
Tabla 2. Características de los motores AC para los BEVs	5
Tabla 3. Características de las baterías para vehículos eléctricos	9
Tabla 4. Características de las baterías de iones de Litio equipadas en BEV vendidos en Estados Unidos en 2016; C es grafito, NCA es $LiNi_{0,8}Co_{0,8}Al_{0,05}$; NMC es $LiNi_{1-x-y}MnxCoy$; LMO es $LiMn_2O_4$; LTO es $Li_4Ti_5O_{12}$ y LFP es $LiFePO_4$	10
Tabla 5. Venta de vehículos eléctricos en principales provincias del año 2016	24
Tabla 6. Venta de vehículos eléctricos por marca y modelos del año 2016	25
Tabla 7. Número de pasajeros por carrera y unidad que generalmente ocupan una unidad	30
Tabla 8. Taxis que circulan en Cuenca y su distribución, año 2015	31
Tabla 9. Datos técnicos Hyundai Accent Estándar 2017	31
Tabla 10. Datos técnicos Chevrolet Aveo Emotion GLS 2017	32
Tabla 11. Tarifas definitivas aprobadas por el Consejo Cantonal de Cuenca	32
Tabla 12. Datos técnicos del vehículo Kia Soul EV 2017	34
Tabla 13. Parámetros característicos del vehículo Kia Soul EV que influyen durante las pruebas de conducción	41
Tabla 14. Fuerzas tractoras aplicadas durante el ciclo de conducción de carreras cortas	42
Tabla 15. Consumo energético y descarga de la batería durante el ciclo de conducción de carreras cortas	43
Tabla 16. Consumo energético y autonomía del vehículo eléctrico durante el ciclo de conducción de carreras cortas	46
Tabla 17. Fuerzas tractoras aplicadas durante el ciclo de conducción de carreras medias	46
Tabla 18. Consumo energético y descarga de la batería durante el ciclo de conducción de carreras medias	47
Tabla 19. Consumo energético y autonomía del vehículo eléctrico durante el ciclo de conducción de carreras medias	50
Tabla 20. Fuerzas tractoras aplicadas durante el ciclo de conducción de carreras largas	50
Tabla 21. Consumo energético y descarga de la batería durante el ciclo de conducción de carreras largas	51
Tabla 22. Consumo energético y autonomía del vehículo eléctrico durante el ciclo de conducción de carreras largas	54
Tabla 23. Plan de mantenimiento preventivo Kia Soul EV	56
Tabla 24. Precio de insumos para mantenimiento preventivo Kia Soul EV	57
Tabla 25. Precio de mantenimiento preventivo Kia Soul EV en taller oficial	57
Tabla 26. Precio de mantenimiento correctivo Kia Soul EV en taller oficial	58
Tabla 27. Mantenimiento preventivo y su precio para vehículos con MCIA en un taller independiente	59



Tabla 28. Mantenimientos correctivos en vehículos con MCIA en taller independiente	60
Tabla 29. Precio de la operación de mecanizado en reparación de MCIA de 1500 a 2400 cc	61
Tabla 30. Precio de refacciones automotrices para reparación de MCIA.....	62
Tabla 31. Precio de mantenimiento preventivo Hyundai Accent 2017 en taller oficial	62
Tabla 32. Precio de mantenimiento preventivo Hyundai Accent 2017 en taller independiente	63
Tabla 33. Precio de mantenimiento preventivo Chevrolet Aveo Emotion 2017 en taller oficial	63
Tabla 34. Precio de mantenimiento preventivo Chevrolet Aveo Emotion 2017 en taller independiente	63
Tabla 35. Comparación de precios entre mantenimientos preventivos realizados en talleres oficiales de cada marca.....	64
Tabla 36. Inversión inicial o costo del capital por unidad de taxi.....	65
Tabla 37. Costos fijos por unidad para el servicio de transporte comercial de taxi...	65
Tabla 38. Tarifas de energía eléctrica de la Agencia de Control y Regulación de Electricidad	68
Tabla 39. Costos variables por unidad de taxi	69
Tabla 40. Promedio de carreras e ingresos obtenidos por los taxis que operan en la ciudad de Cuenca	72
Tabla 41. Distancias anuales recorridas por un taxi eléctrico y un taxi con motor de combustión	72
Tabla 42. Resultados de evaluación económica Kia Soul EV	74
Tabla 43. Resultados de segunda evaluación económica Kia Soul EV	74
Tabla 44. Resultados de evaluación económica Hyundai Accent.....	75
Tabla 45. Resultados de segunda evaluación económica Hyundai Accent	76
Tabla 46. Resultados de tercera evaluación económica Hyundai Accent.....	76
Tabla 47. Resultados de evaluación económica Chevrolet Aveo Emotion	78
Tabla 48. Resultados de segunda evaluación económica Chevrolet Aveo Emotion .	78
Tabla 49. Resultados de tercera evaluación económica Chevrolet Aveo Emotion....	79
Tabla 50. Consumo energético y autonomía promedio del vehículo eléctrico determinado mediante ciclos de conducción representativos de los taxis de Cuenca	83
Tabla 51. Capacidad energética requerida en función de la distancia recorrida por los taxis en la ciudad de Cuenca	84
Tabla 52. Resumen de la evaluación económica considerando los tres casos	86



INTRODUCCIÓN

Cuando se escucha acerca del vehículo eléctrico la sociedad en general tiende a pensar que se trata de un invento tecnológico reciente, no obstante, su investigación y desarrollo, aunque lento, datan de hace más de un siglo; de hecho, este se desarrolló más pronto que el automóvil de combustión interna que predomina actualmente. Y aunque fue por un corto periodo de tiempo, a inicios del XX, el vehículo eléctrico circulaba por los caminos de algunas ciudades junto a otros vehículos de tracción animal, de vapor y combustión, llegando incluso a competir contra este último por la supremacía en la propulsión de automóviles, hasta que se impuso el vehículo con motor de combustión interna.

Sin embargo, no se puede desconocer los problemas medioambientales que atraviesa el planeta, mismos que se deben principalmente a la acumulación en el aire de varios productos tóxicos que dañan la salud de humanos, animales, plantas y alteran los ecosistemas de forma negativa. Entre los diversos agentes que contribuyen a la contaminación atmosférica se tiene el motor de combustión de un automóvil, que desprende a la atmósfera productos nocivos como: óxidos nitrosos (NO_x), monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos no quemados (HC) y partículas sólidas además de otros residuos en menor medida. Para reducir la contaminación atmosférica, aprovechar las ventajas que supone la transformación de la matriz energética que está viviendo el país y reducir la dependencia de fuentes de energía contaminantes como el petróleo, es necesario hacer uso de medios de transporte como el vehículo eléctrico.

Por los motivos antes expuestos, este proyecto técnico pretende determinar la viabilidad de un vehículo eléctrico operando como taxi en la ciudad de Cuenca y se enfoca desde una perspectiva que toma en cuenta la eficiencia energética y el costo económico que conlleva para el propietario la adquisición, mantenimiento y funcionamiento de un vehículo que preste el servicio de taxi.



OBJETIVOS

Objetivo general

- Determinar la viabilidad de un vehículo eléctrico mediante pruebas de circulación y en condiciones de conducción de la ciudad de Cuenca para la prestación de servicio de taxi.

Objetivos específicos

- Estudiar el estado del arte del BEV -Vehículo Eléctrico de Baterías- por medio de revisión bibliográfica para la realización de este proyecto.
- Adquirir una base de datos del Kia Soul EV mediante pruebas de circulación con el software EMOlab para la evaluación de su eficiencia.
- Realizar un análisis costo-beneficio mediante estimación de costos operativos del ICEV -Vehículo con Motor de Combustión Interna- y el BEV para la obtención de su rentabilidad.
- Analizar los resultados obtenidos a través de método científico para la valoración de su viabilidad.



CAPÍTULO I

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA ACERCA DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO

1.1 Definición

Un vehículo eléctrico es aquel que usa energía almacenada en forma química en una o varias baterías que alimentan un motor, el cual transforma la energía eléctrica en mecánica, para dar tracción a las ruedas del vehículo y este se pueda desplazar. La energía cinética de las ruedas en movimiento también puede ser usada, a través de un sistema regenerativo, para cargar la batería. De otra forma y siempre que la infraestructura eléctrica lo permita, se puede conectar el vehículo a la red eléctrica para recargar en forma total la batería [1] [2] [3].

1.2 Clasificación de los vehículos eléctricos y configuración del tren de fuerza motriz

La clasificación está realizada en base a la fuente de energía y a la disposición en el vehículo del tren motriz usado para su desplazamiento y de acuerdo con [4] se tiene:

Tabla 1. Tipos de vehículos eléctricos y sus abreviaturas

Denominación	Significado	Fuente de energía
EVs (Electric Vehicles)	Vehículos eléctricos	Electricidad o electricidad y gasolina/gasóleo
BEVs (Battery Electric Vehicles)	Vehículos eléctricos de baterías	Ciento por ciento electricidad
HEVs (Hybrid Electric Vehicles)	Vehículos híbridos	Electricidad y gasolina/gasóleo
PHEVs (Plug-in Hybrid Electric Vehicles)	Vehículos híbridos enchufables	Electricidad y gasolina/gasóleo

1.2.1 Vehículo eléctrico de baterías (BEV)

El BEV es un vehículo puramente eléctrico que básicamente hace uso de motores eléctricos, baterías recargables y un sistema de transmisión. Tanto el número de motores como el de baterías depende del diseño de los BEVs, en la figura 1 se muestra una configuración básica de este tipo de vehículos. La energía para las

baterías se obtiene por medio de la red eléctrica conectando el vehículo a la misma a través de diferentes tomas de corriente adecuadas para la recarga [4].

El esquema de la figura 1 se asemeja más al diseño tradicional de un vehículo de combustión interna, porque esta configuración consta de motor eléctrico, embrague, caja de cambios y diferencial, también permite adaptar un motor mucho más potente que otros diseños, pero las pérdidas por fricción son mayores; existen otros diseños de BEV con un motor que tiene potencia constante para un diferente rango de velocidades, por lo que en este caso, con un engranaje fijo o epicicloidal se puede reemplazar la caja de cambios y reducir la necesidad de embrague; hay otros diseños con motor para cada rueda, lo que permite minimizar las pérdidas por fricción, reducir aún más el número de componentes de la transmisión y optimizar mejor el espacio, con la desventaja de la falta de potencia si se quiere colocar en vehículos grandes [1] [5] [4].

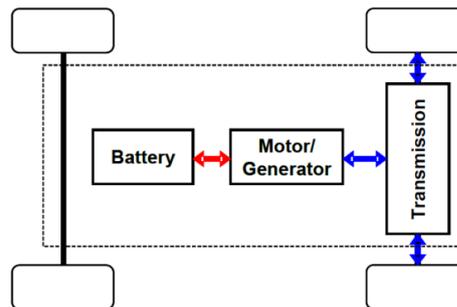


Fig. 1. Esquema básico de la fuente de energía y del tren motriz de un BEV.

1.3 Componentes del vehículo eléctrico de baterías (BEV)

1.3.1 Motor eléctrico

El motor eléctrico convierte la energía eléctrica proveniente de distintas fuentes en energía mecánica para entregar la fuerza de tracción necesaria para el movimiento del vehículo. Los motores eléctricos para los BEVs deben satisfacer un amplio rango de condiciones de conducción del vehículo, como son: frecuentes arranques y paradas, aceleraciones y desaceleraciones bruscas, situaciones donde se requiere par bajo y velocidad alta y situaciones donde se requiere par elevado y velocidad baja. El tipo, tamaño, peso y rendimiento del motor eléctrico depende de todo el conjunto de especificaciones del tren motriz. Sin embargo, los principales requerimientos y

especificaciones asociados con la selección de un motor eléctrico para la propulsión de un vehículo son las siguientes [6]:

- Proporcionar un par máximo suficiente, generalmente cuatro a cinco veces el par nominal para aceleración temporal y subir una pendiente
- Entregar una elevada eficiencia en un amplio rango de velocidad y torque, para reducir el peso final del vehículo y la extensión de su autonomía
- Proveer alta controlabilidad y precisión en estado estacionario del sistema de control y buen rendimiento dinámico
- Proporcionar suficiente resistencia contra la temperatura, el mal clima y la vibración constante
- Proporcionar alta eficiencia para el sistema de frenos regenerativo

Normalmente los motores eléctricos tienen las características de torque y potencia que se muestran en la figura 2, donde hay dos intervalos de velocidad llamados velocidad base y velocidad máxima, respectivamente. En el primer intervalo se tiene torque constante para un diferente rango de velocidades, mientras que al pasar al intervalo de velocidad máxima se puede observar como el torque va disminuyendo con la velocidad y la potencia alcanza un máximo y se mantiene constante. Este intervalo de velocidad máxima o región de potencia constante representa la eficacia del motor eléctrico y entre más grande sea mayor será el torque máximo que entregue ese motor, sin embargo, cada tipo de motor eléctrico tiene su límite de velocidad máxima [6].

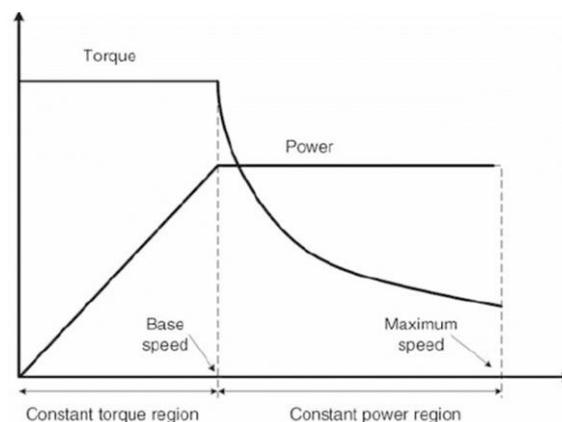


Fig. 2. Curvas características de torque y potencia de un motor eléctrico de tracción usado en un BEV.

Los motores eléctricos son ideales para la tracción de vehículos ya que al tener potencia constante en todo el intervalo de velocidades proporciona un par elevado a baja velocidad y un par reducido a elevada velocidad. Así mismo, el motor eléctrico

tiene mayor rendimiento que el motor de combustión interna alternativo, según [7], entre 60-85% y de 30-45%, respectivamente.

1.3.1.1 Motor de corriente continua (DC)

El motor DC -Direct Current- (corriente directa) es una máquina eléctrica que produce movimiento en su eje de rotación mediante el consumo de energía eléctrica.

Al conectar los bornes del motor eléctrico a una fuente de alimentación, la corriente, representada por la letra I en la figura 3, empieza a circular por los devanados del inductor (estator) haciendo que este se comporte como un electroimán y se genere un campo magnético el cual se representa por las líneas de fuerza horizontales y que van en sentido de polo norte a polo sur. La corriente eléctrica continúa circulando por las escobillas y el colector del motor hacia los devanados del inducido, debido a esto y gracias a principios fundamentales de electromagnetismo se crea una fuerza que hace girar la bobina inducida y por lo tanto a todo el conjunto rotor que se encuentra apoyado sobre cojinetes [8].

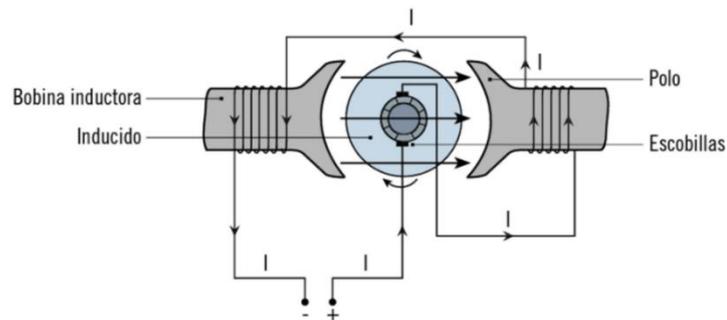


Fig. 3. Esquema de funcionamiento de motor de DC.

Los motores DC son ideales durante períodos cortos de aceleración, sin embargo, tienen la desventaja de ser pesados, son de eficiencia y confiabilidad bajas y elevado mantenimiento. Como consecuencia de ello las escobillas sufren desgaste elevado y requieren ser cambiadas periódicamente. El conjunto motor DC/sistema controlador es todavía popular porque bajan los costos en algunos vehículos eléctricos. Los motores DC más usados para BEVs son [6]:

- **Motor en serie:** los devanados del inductor y del inducido se encuentran en serie
- **Motor en derivación o motor shunt:** los devanados inductor e inducido en paralelo



- **Motor de excitación independiente:** el inductor y el inducido se alimentan de dos fuentes de energía independientes

1.3.1.2 Motor de corriente alterna (AC)

Los motores AC -Alternating Current- (corriente alterna) son similares a los DC, constan de bobinas inductoras (estator) y un inducido (rotor). En estos motores no se requiere de un colector y escobillas debido a la naturaleza periódica de la corriente alterna. Comparados con los motores DC, los motores AC tienen mayor eficiencia y densidad de potencia, costos de operación bajos, peso más ligero y no tienen necesidades de mantenimiento. El mayor inconveniente que tiene son los costos de sus componentes electrónicos ya que se requiere convertir la corriente continua de la batería en corriente AC. Los motores AC con mayor potencial para los BEVs son [6]:

- **Motor asíncrono o de inducción (IM):** es aquel donde la velocidad de sincronismo es levemente superior a la velocidad del rotor, por lo que se genera una tensión inducida en el devanado rotor.
- **Motor síncrono (PM brushless motor):** en este tipo de motor la velocidad de sincronismo es igual a la velocidad del rotor.
- **Motor de reluctancia conmutado (SRM):** está constituido por un rotor ranurado, dichas ranuras conllevan una variación de la reluctancia en función de su posición angular.

En la siguiente tabla se muestra las ventajas y desventajas de los motores AC:

Tabla 2. Características de los motores AC para los BEVs

Tipo	Ventajas	Desventajas
Motor asíncrono o de inducción	-Confiables	-Pérdidas elevadas
	-Bajo mantenimiento	-Baja eficiencia
	-Bajo costo	-Baja relación de velocidad
	-Resistente a condiciones de operación severas	-Control complejo
	-Tamaño pequeño	-Baja relación de velocidad
Motor síncrono	-Alta densidad de potencia	-Baja potencia de salida
	-Bajo costo	



	-Alta eficiencia	-Control complejo
		-Ruidoso
	-Construcción simple	-Control complejo
Motor de reluctancia conmutado	-Excelentes características de torque y velocidad	-Ondulaciones en el torque
	-Control simple	-Topología especial del convertidor

De entre todos los motores AC, los motores asíncronos son usados en vehículos grandes como SUVs -Sport Utility Vehicles- (vehículo utilitario deportivo) y autobuses, por el contrario, los motores síncronos se utilizan en vehículos medianos y pequeños como los automóviles, se usan también para aplicaciones de vehículos con motor eléctrico en la rueda o cerca de esta. Se puede citar como ejemplos los híbridos Honda Insight y Toyota Prius que usan motores síncronos de 10 kW y 50 kW, respectivamente. Como ejemplo de vehículos con motor asíncrono se tiene el Chevrolet Silverado, Chrysler Durango o el BMW X5. Los motores de reluctancia conmutado tienen características excepcionales de torque y velocidad, lo que resulta ideal para aplicaciones de BEVs, sin embargo, las desventajas pesan más, haciéndolos inviables para BEVs actuales [6].

1.3.2 Fuente de energía

Cualquier tipo de vehículo necesita una fuente que provea la energía necesaria para producir el desplazamiento del mismo. En el caso de un BEV, la energía para el movimiento proviene de acumuladores o baterías eléctricas recargables.

La batería o acumulador es un dispositivo que tiene la capacidad de almacenar energía eléctrica en forma química y transformarla nuevamente en energía eléctrica cuando sea necesario. Esto es posible gracias a reacciones electroquímicas de oxidación-reducción y dicho proceso está directamente asociado con una transferencia de electrones entre los reactivos. La unidad básica de la batería es la celda, misma que está formada por dos electrodos metálicos separados por un electrolito que en la mayoría de baterías es un líquido de alta conductividad iónica.



Para aumentar la capacidad y/o voltaje de una batería, estas celdas se conectan en serie, paralelo o una combinación de ambas conexiones [2] [7].

Las formas de cargar la batería de un BEV son: por medio del sistema regenerativo mientras el vehículo está en movimiento o por medio de la red eléctrica [7], ambas formas de recarga se verán más adelante.

Actualmente las baterías de los BEVs siguen siendo el principal limitante para su construcción en masa ya que su rendimiento está directamente relacionado con el rendimiento, durabilidad y costo de las baterías. Existen diferentes parámetros para cuantificar la eficiencia de la batería de los vehículos eléctricos y de acuerdo con [2] [6] y [7] los más importantes son:

Capacidad de energía y capacidad coulométrica: La capacidad teórica de energía de una batería se refiere a la cantidad total de energía que puede ser almacenada en el dispositivo y se mide en vatios-hora (Wh). Otra medida de la capacidad de energía es la capacidad coulométrica que se expresa en amperios-hora (Ah) y representa el número total de amperios-hora disponibles cuando la batería se descarga en un tiempo estándar y voltaje determinado, ejemplo, una fuente de $100Ah$ puede proporcionar una corriente de $10A$ en $10h$ o $1A$ en $100h$.

Estado de carga: Se expresa en porcentaje y denota la cantidad de energía remanente en la batería con respecto a la capacidad total que es del 100% cuando la batería está totalmente cargada. Es una medida análoga a la cantidad de combustible en el tanque de un vehículo con motor de combustión.

Energía específica: Se tiene dos medidas, la energía específica volumétrica también llamada densidad de energía y la energía específica másica o densidad específica. La densidad de energía se expresa en Wh/L , por otro lado, la densidad específica se mide en Wh/kg . La última medida es más importante que la primera porque es una forma de dimensionar la batería de un vehículo eléctrico ya que la autonomía deseada y el rendimiento depende de su peso máximo.

Potencia específica: Es la cantidad de energía disponible por unidad de masa o por unidad de volumen. Se tiene la potencia específica másica o simplemente potencia específica y la potencia volumétrica específica o densidad de potencia, expresadas en W/kg la potencia específica y en W/L la densidad de potencia. La primera medida



es más importante que la última en cuanto a evaluación de una batería para vehículos eléctricos ya que permite expresar la cantidad de energía necesaria para acelerar y subir pendientes.

Ciclo de vida: Es el número de ciclos carga-descarga de una batería que ocurren hasta que la batería deja de cumplir los criterios específicos de rendimiento. En otras palabras, el ciclo de vida representa la vida útil de la fuente de energía.

Costo: El costo económico de la fuente de energía en los vehículos eléctricos son un factor predominante a la hora de competir contra el costo de un vehículo con motor de combustión interna ya que el costo de manufactura de las baterías sigue siendo elevado.

1.3.2.1 Tipos de baterías: ventajas y desventajas

Baterías de plomo ácido: También se las conoce como baterías VRLA -Valve Regulated Lead Acid battery-, su invención fue hace más de dos siglos lo que hace que sea la tecnología con más desarrollo, actualmente se producen en masa haciendo que su costo sea bajo y su disponibilidad sea alta, otras ventajas son su rápida capacidad de recarga, alta potencia específica, alta resistencia a cambios bruscos de temperatura y disponibilidad en varios tamaños y formas. Como desventajas se tiene su baja densidad específica debido sobre todo al peso de sus electrodos de plomo, baja densidad de energía, limitado ciclo de vida, elevado voltaje de descarga (voltaje al cual la batería se considera totalmente descargada) y falta de capacidad de almacenamiento a largo plazo.

Baterías de Níquel-Metal Hidruro (Ni-MH): Estas baterías que siguen en desarrollo están disponibles en el mercado desde 1992 y se han ganado un lugar como el mejor tipo de batería para aplicaciones en vehículos eléctricos a corto plazo. Las principales ventajas de las baterías Ni-MH son sus altas densidades de energía (específica y másica), las cuales son el doble de las baterías de plomo ácido, rápida capacidad de recarga, alto ciclo de vida, operación en un amplio rango de temperatura y son amigables con el medio ambiente ya que son reciclables. Entre sus desventajas se tiene su alto costo inicial y su ciclo de vida es sensible a descargas frecuentes. Se consigue el mejor rendimiento de una batería Ni-MH cuando esta se descarga 20% hasta 50 % de su capacidad nominal.



Baterías de Níquel-Zinc (Ni-Zn): Las baterías de Ni-Zn son adecuadas para los BEVs debido a su elevada energía y potencia específica, bajo costo de materiales, buena profundidad de descarga, operación en un rango de temperatura relativamente grande (-10°C , 50°C). Su mayor desventaja y que limita su aplicación en BEVs es su corto ciclo de vida.

Baterías de Níquel-Cadmio (Ni-Cd): Este tipo de batería tiene como ventaja su largo ciclo de vida, capacidad de recarga rápida, su operación en rango de temperatura (-40°C , 50°C), tasa de auto descarga baja, excelente capacidad de almacenamiento a largo plazo y una amplia variedad de tamaños y formas. Como desventajas se puede mencionar su elevado costo, su baja densidad de energía y que a pesar de ser reciclables el cadmio de la batería puede contaminar el medio ambiente si no es debidamente tratado.

Baterías de Litio-Ion (Li-Ion): Este tipo de batería se introdujo en 1991 y aunque todavía se encuentran en etapa de desarrollo ya se consideran como la mejor opción entre las baterías a largo plazo debido a su versatilidad en aplicaciones para BEVs. Las baterías de iones de litio ofrecen una muy alta densidad de energía, elevada densidad específica, buen rendimiento a elevadas temperaturas, elevada potencia específica, largo ciclo de vida y es una tecnología amigable con el medio ambiente ya que son reciclables. Sus principales desventajas son su elevado costo y su elevada tasa de auto descarga.

Las tablas con propiedades de cada tipo de batería mostradas a continuación, fueron elaboradas con información obtenida de [6] [9] y [10].

Tabla 3. Características de las baterías para vehículos eléctricos

	Densidad específica (Wh/kg)	Densidad de energía (Wh/l)	Potencia específica (W/kg)	Ciclo de vida (ciclos)	Costo (USD/kWh)
VRLA	30-45	60-90	200-300	400-600	150
Ni-MH	60-70	130-170	150-300	600-1200	200-350
Li-ion	90-130	140-200	250-450	800-1200	600-1000
Ni-Zn	60-65	120-130	150-300	300	90-200
Ni-Cd	40-60	80-110	150-300	600-1200	300



Tabla 4. Características de las baterías de iones de Litio equipadas en BEV vendidos en Estados Unidos en 2016; C es grafito, NCA es $LiNi_{0,8}Co_{0,8}Al_{0,05}$; NMC es $LiNi_{1-x-y}Mn_xCo_y$; LMO es $LiMn_2O_4$; LTO es $Li_4Ti_5O_{12}$ y LFP es $LiFePO_4$

Marca	Modelo	Capacidad (kWh)	Material del cátodo	Proveedor de la batería	Autonomía (Km)
Tesla	S	60-100	C/NCA	Panasonic/Tesla	334-508
Tesla	X	60-100	C/NCA	Panasonic/Tesla	334-508
BMW	i3	22.30	C/NMC	Samsung/Bosch	129.183
Nissan	Leaf	24.30	C/LMO, C/NMC	AESC y LG Chem	135.172
Volkswagen	e-Golf	24.358	C/NMC	Panasonic (Sanyo)	135,200
Chevrolet	Spark	19	C/LFP	A123	132
Fiat	500e	24	C/NMC	Samsung/Bosch	140
Kia	Soul EV	27	C/NMC	SK Innovation	145
Smart	Fortwo EV	17.6	C/NMC	LG Chem	109
Ford	Focus EV	35.5	C/NMC	LG Chem	160
Mercedes	B-Class Electric	28	C/NCA, C/NMC	Panasonic/Tesla y SK Innovation	137
Mitsubishi	I	16	LTO/LMO	Toshiba	100
Honda	Fit EV	20	LTO/LMO	Toshiba	132
Toyota	RAV EV	41.8	C/NCA	Panasonic/Tesla	182

1.3.2.2 Baterías Li-ion usadas por Tesla

Tesla es un fabricante de vehículos eléctricos que se encuentra a la vanguardia en el desarrollo tecnológico de las baterías de Li-ion para BEV, esto le ha permitido construir vehículos con una autonomía de hasta 565 Km. Actualmente comercializa tres modelos: Model S, Model X, Model 3.

La clave para la extendida autonomía se encuentra en la lenta degradación de las baterías de Tesla comparada con las de otros vehículos eléctricos y se explica por su sistema de control y monitoreo llamado sistema BMS -Battery Management System-



que incluye una refrigeración líquida uniforme para todo el paquete de baterías. Otros vehículos eléctricos solo cuentan con refrigeración por aire que en temperaturas extremas disminuye el rendimiento de las baterías notablemente y afecta severamente a su vida útil.

Model S y Model X usan baterías cuya arquitectura consta de celdas conocidas como “18650” (18 mm de diámetro y 65 mm de largo) mientras que las baterías del Model 3 tiene celdas más grandes llamadas “2170” (21 mm de diámetro y 70 mm de largo). Las celdas “2170” son una arquitectura completamente nueva y fueron diseñadas conjuntamente por Tesla y Panasonic; la producción de estas empezó en diciembre del 2016 y el Model 3 empezó a comercializarse en Estados Unidos desde julio de este año.

[11] [12] [13] [14]

Celdas 18650: El año pasado Tesla sacó un nuevo pack de baterías de 100 kWh para el Model S y el Model X con las celdas “18650”. En esta actualización Tesla modificó el sistema de refrigeración de la nueva batería para obtener mayor número de celdas en el mismo espacio y con aumento de la capacidad del 11%, las nuevas baterías constan de 16 módulos con 516 celdas cada uno, teniendo un total de 8256 celdas.

La configuración de 90 kWh utilizaba diminutas tuberías llenas de glicol (figura 4), un fluido utilizado en anticongelantes, líquidos para frenos y más productos, para controlar el calor de las células de la batería de forma individual. En las baterías de 100 kWh (figura 5) se ha reemplazado por aletas de aluminio más delgadas que las tuberías de glicol situadas entre las celdas que conducen el calor y lo transfieren a un circuito de refrigeración.

Celdas 2170: Tesla construye una batería estándar de 50kWh para el Model 3 que consta de 2976 celdas en total y repartidas en bloques de 31 celdas, a su vez los bloques se reparten en 4 módulos separados, como se puede observar en la figura 6 (2 módulos de 23 bloques y 2 módulos de 25 bloques).

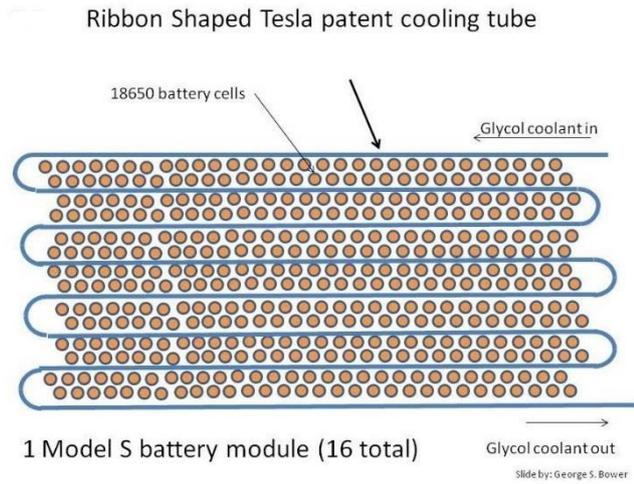


Fig. 4. Bandas de glicol para la refrigeración de la batería de 90 kWh de Tesla.

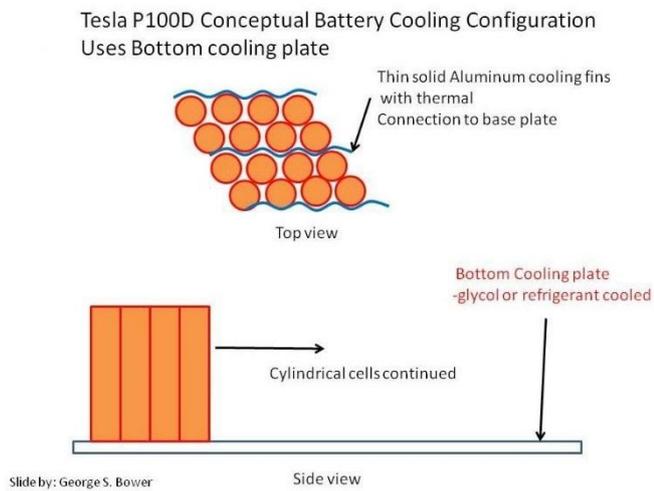


Fig. 5. Nueva configuración del sistema de refrigeración de la batería de 100 kWh de Tesla.

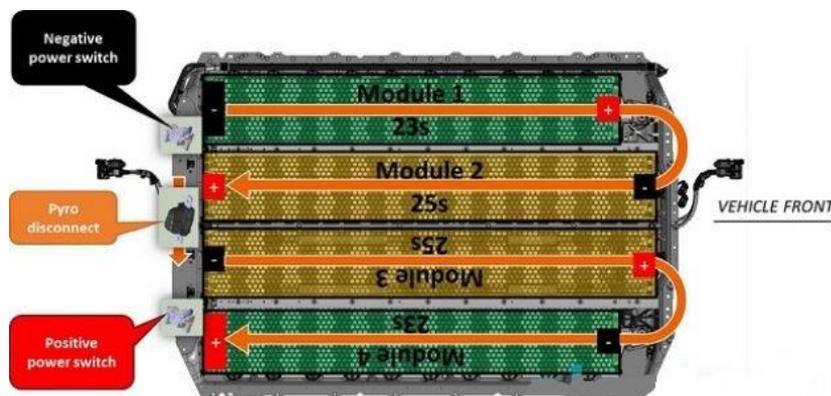


Fig. 6. Diagrama de la distribución de las celdas en un pack de baterías del Model 3.

[13] [14]

1.3.2.3 Ultra-capacitores

Un ultra-capacitor o súper-condensador que se muestra en la figura 7, es un dispositivo de almacenamiento de energía de elevada densidad de potencia específica y su función es suplir la alta demanda de energía en cortos periodos de tiempo requerida por el tren de fuerza motriz del vehículo eléctrico. Por ejemplo, durante la aceleración o la subida de una pendiente. También son muy útiles para recuperar la energía del sistema de freno regenerativo (frenado) y liberarla rápidamente durante la aceleración ya que la batería no es capaz de hacerlo con la misma rapidez y eficiencia. El uso de ultra-capacitores permite extender la vida útil de la batería, reducir su tamaño y aumentar la energía disponible en los picos de demanda. Cabe destacar que los ultra-capacitores usados en los BEVs son capaces de soportar un elevado rango de temperatura y su vida útil es igual a la del vehículo. En definitiva, el uso combinado de baterías y ultra-capacitores mejora enormemente la eficiencia de los vehículos eléctricos, sin embargo, esta combinación requiere de electrónica de potencia adicional incrementando el coste del vehículo [15] [7] [16].



Fig. 7. Familia de ultra-capacitores Maxwell para variadas aplicaciones como los vehículos eléctricos.

1.3.3 Convertidor electrónico de potencia

Con la finalidad de que todos los circuitos eléctricos consuman la mínima energía posible en los BEVs, se tiene que los diferentes componentes o cargas eléctricas están configurados para trabajar a diferentes niveles de voltaje, tales como 24, 48 y 120 V. Por otro lado, con el desarrollo de motores eléctricos más avanzados (como los motores AC) puede que se requiera de forma simultánea de los dos tipos de corriente (AC y DC) y las baterías principales ofrecen solo corriente DC. Para resolver los problemas antes descritos y así alimentar todos los sistemas del vehículo, los BEVs usan unos dispositivos que se sitúan entre la batería y el motor eléctrico llamados convertidores (figura 8).

Un convertidor es aquel capaz de alterar las características de la corriente eléctrica como frecuencia, amplitud y voltaje para transformarla a una forma de señal eléctrica que sea apta a cada función o componente y en los vehículos eléctricos se requiere los siguientes tipos de conversiones:

Conversión de DC a AC: Los convertidores que realizan esta función son llamados inversores, en el vehículo eléctrico se usan para transformar la corriente continua de la batería a corriente alterna para alimentar el motor AC que propulsa el vehículo.

Conversión de AC a DC: Los convertidores que realizan esta función son llamados rectificadores, en el vehículo eléctrico se usan para transformar la corriente alterna del generador en corriente continua para cargar la batería o para transformar la corriente alterna en corriente continua durante la frenada regenerativa y cargar la batería recuperado parte de la energía.

Conversión de DC a DC: Este tipo de convertidores son llamados choppers o recortadores y son capaces de transformar una tensión de corriente continua a otra corriente continua de mayor o menor amplitud, en el vehículo eléctrico son usados para cargar la batería auxiliar de 12 V, alimentar las diferentes cargas eléctricas de los circuitos o regular la velocidad del motor CD que propulsa el vehículo.

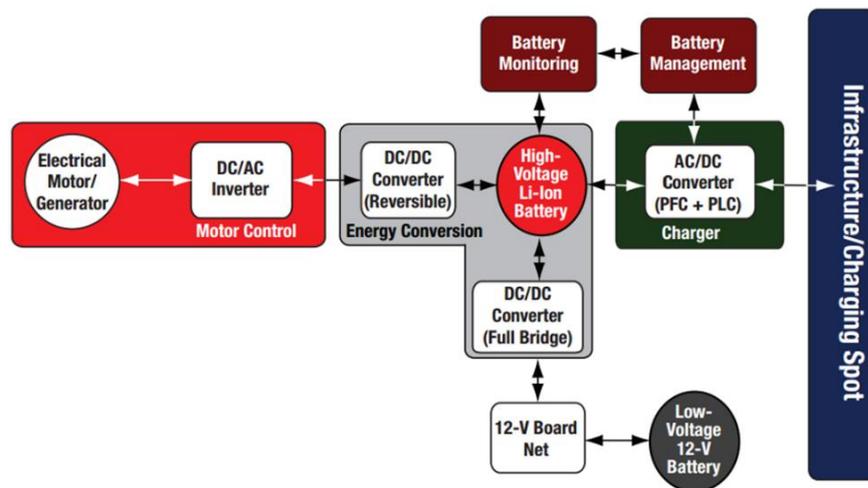


Fig. 8. Arquitectura de los sistemas de control de un vehículo eléctrico.

Como se observa en la figura anterior, se tienen conexiones intermedias entre el motor AC y la batería Li-Ion. Se observan dos convertidores DC-DC, uno de ellos tiene como función transformar el alto voltaje de la batería (generalmente en el rango de los 400 V) a 12 V y así alimentar los sistemas a bordo que funcionan con esta magnitud y que también pueden ser alimentados por la batería auxiliar la cual a su

vez puede ser recargada gracias a este convertidor, el otro tiene como función llevar el voltaje de la batería a una magnitud que permita al módulo el control del motor eléctrico. Otro convertidor DC-AC se encuentra en el módulo controlador del motor y recibe la energía del último convertidor y la transforma en corriente alterna para controlar el motor AC, de igual forma este convertidor se usa para convertir la corriente alterna del sistema regenerativo en corriente continua y recargar la batería. Por otro lado, se tiene un convertidor AC-DC integrado al módulo de carga de la batería, la función de este es transformar la corriente alterna consumida de la red o infraestructura eléctrica en corriente continua para cargar las baterías Li-Ion.

[5] [17] [6] [7] [18]

1.3.4 Unidad de control electrónico

Al igual que en los vehículos con motor de combustión interna, los BEVs también cuentan con varias unidades de control electrónico o ECU -Electronic Control Unit- (figura 9) cuya función es procesar la información que reciben de los diferentes sensores del vehículo para emitir una señal de salida a los actuadores y controlar apropiadamente el funcionamiento del vehículo (figura 10).



Fig. 9. Unidad de control del tren de fuerza para un vehículo eléctrico.

De acuerdo con [19] la unidad de control de un EV tiene como función más importante el cálculo del torque que debe ser aplicado por el motor eléctrico para lo cual depende de la posición del pedal del acelerador, la velocidad actual y otras condiciones de la conducción. Cuando se requiere aceleración el torque es positivo y si el torque es negativo significa que se requiere regeneración o recuperación de energía por medio de algún sistema regenerativo. Otras de las funciones más importantes de la ECU son:

- Gestión de la carga de la batería
- Control del flujo de energía
- Cálculo de la autonomía del vehículo
- Control de la velocidad cruceo
- Gestión de la HMI -Human Machine Interface- (interfaz humano-máquina) incluidos mensajes y luces indicadoras en el tablero
- Control del servofreno, del freno hidráulico y el freno regenerativo
- Gestión de los sistemas de refrigeración
- Control de la calefacción y el aire acondicionado

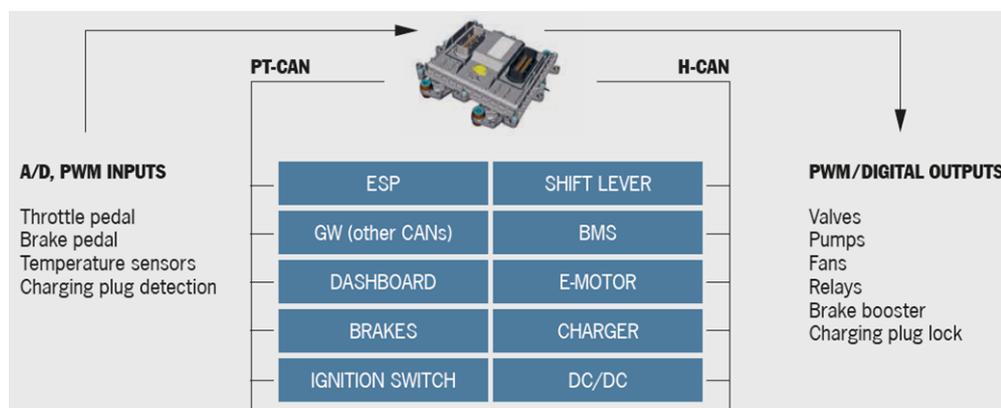


Fig. 10. Interfaz de hardware típica de una ECU en un vehículo eléctrico con dos CAN buses, con varias entradas analógicas y digitales y varias salidas digitales.

Una de las unidades más importantes en un EV es el BMS -Battery Management System- (sistema de control o monitoreo de las baterías), gestiona la carga y temperatura de las baterías.

1.3.5 Sistema de freno regenerativo

El sistema de freno regenerativo es aquel que se encarga de recuperar parte de la energía del frenado la cual se perdería en forma de calor como ocurre en los vehículos con motor de combustión interna convencionales. Este sistema que se observa en a figura 11, transforma la energía cinética del vehículo en energía eléctrica y actúa cuando el conductor del vehículo quita el pie del acelerador o cuando pisa el pedal del freno, estas acciones hacen que se envíe una señal a la unidad de control que le indica hacer funcionar el motor eléctrico en modo generador, dicha energía puede ser almacenada en ultra-capacitores o baterías para su posterior reutilización, incrementando la eficiencia y la autonomía del BEV [6] [20].

Como ya se vio en la sección 1.3.1 que habla sobre el motor eléctrico, el campo magnético que se genera en el estator hace girar el rotor que proporciona el torque necesario para mover las ruedas. En las condiciones antes mencionadas (desaceleración y frenado), ocurre lo contrario, el controlador electrónico deja de enviar electricidad al estator haciendo desaparecer el campo magnético que hacía girar el rotor y solo envía electricidad al rotor el cual genera un campo magnético que provoca un torque contrario que ahora frena el vehículo; el campo magnético y la energía cinética del movimiento inducen una corriente eléctrica alterna en las bobinas del estator la cual se transforma en corriente continua mediante un rectificador para ser almacenada [20].

El torque generado por el sistema regenerativo no es suficiente como para detener el vehículo completamente ya que entre menor sea su velocidad, menor será la efectividad de este sistema. Por este motivo es que se combina con un sistema de frenos por fricción. Así, cuando el sistema regenerativo genera un torque de frenado máximo, el sistema de frenos convencional provee torque de frenado adicional para desacelerar el vehículo tanto como sea necesario [6].

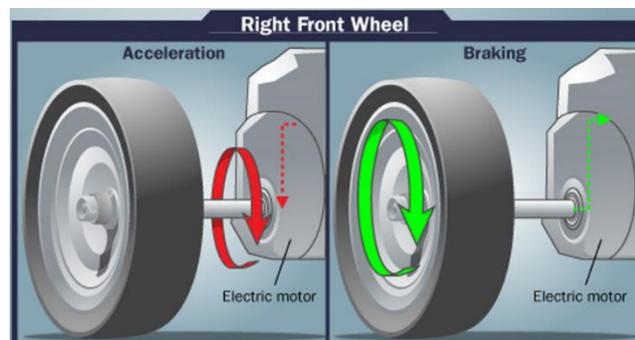


Fig. 11. Freno regenerativo, el motor eléctrico invierte el sentido de giro con lo cual funciona como generador.

1.4 Recarga del vehículo eléctrico

1.4.1 Infraestructura y tecnología de recarga

La infraestructura de recarga es uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta para la inserción de BEV en cualquier lugar del mundo ya que es un conjunto de instalaciones necesarias que permiten acceder a la red eléctrica para obtener la energía que alimenta su motor eléctrico. Esta infraestructura se encuentra en pleno auge, sobre todo en los países más desarrollados y el reto actual es que esta sea accesible, cómoda y segura para los propietarios de vehículos eléctricos. La



ubicación geográfica de esa infraestructura se conoce como punto de recarga, el cual es un lugar donde los EV puedan abastecer de energía las baterías y dependiendo de las características del punto de recarga como ubicación y accesibilidad se tienen:

- Vías públicas
- Parqueaderos
- Residencias individuales o colectivas
- Electrolineras

En otras palabras, la instalación de la infraestructura de recarga puede ser instalada en cualquiera de los puntos mencionados anteriormente y el tipo de instalación puede variar en función a la potencia que suministra la red eléctrica en ese determinado lugar lo que a su vez depende de la franja horaria de la recarga, las características, los usuarios que acceden a ese punto de recarga etc... [2] [7].

En sus trabajos [21] y [7] mencionan principalmente dos tecnologías de recarga para los vehículos eléctricos:

Recarga conductiva: Es la más común y consiste en conectar el vehículo eléctrico de forma directa a una toma de corriente por medio de un cable conductor.

Recarga inductiva: Conocida como recarga inalámbrica por inducción magnética o por microondas, es una prometedora tecnología aún en desarrollo que permitirá la carga de forma inalámbrica, con lo cual se podría cargar el vehículo en un semáforo o al circular por una vía mediante sistemas embebidos en el asfalto.

1.4.2 Métodos o tipos de recarga

Los métodos o tipos de recarga están directamente relacionados con la potencia y el tiempo que dura el proceso de carga del EV, generalmente se clasifican en tres métodos [7] [22] [23]:

Recarga lenta: Este tipo de recarga dura hasta 8 horas con una potencia de 3,6 kW. Suele utilizar corriente alterna monofásica de 230 V a 16 A.

Recarga semi-rápida: Tarda entre 1 y 4 horas con una potencia de hasta 22 kW. Hace uso de corriente alterna trifásica de 400 V y hasta 68 A.

Recarga rápida: El tiempo de recarga es de 15 a 30 minutos con una potencia de hasta 80 kW. La energía suministrada puede ser corriente continua o corriente alterna



trifásica haciendo uso de 400 V y hasta 200 A. Mediante este método generalmente no se obtiene una carga del 100% sino del 80% o 90%.

Según [23] actualmente se trabaja en un tipo de recarga aún más rápido y que requiere mayor potencia. Aunque todavía es algo experimental se espera que con este método se pueda recargar las baterías de un EV en menos de 10 minutos para lo que se requiere el desarrollo de baterías que soporten elevada temperatura sin degradar su vida útil.

1.4.3 Modos de carga y tipos de conectores

Debido a que existen diversos modelos de EV se vuelve necesario definir el modo de carga del que dispone un vehículo en particular ya que no todos los fabricantes usan el mismo conector para obtener la energía de la red eléctrica.

El modo de carga hace referencia al nivel de comunicación entre la infraestructura de recarga y el vehículo eléctrico y el control del proceso de carga para ver su estado, programarla, detenerla, reanudarla e incluso devolver la energía a la red eléctrica en caso de una emergencia energética [23].

De acuerdo con la información revisada de [23], uno de los más importantes estándares internacionales es la norma IEC-61851-1 emitido por la IEC - International Electrotechnical Commission- (Comisión Electrotécnica Internacional) y en ella se define los modos de carga para vehículos eléctricos (figura 12) mediante la tecnología de recarga conductiva:

Modo 1: No tiene comunicación con la red eléctrica y se aplica a una toma de corriente convencional o doméstica con un conector shuko. El tipo de recarga es lenta en AC.

Modo 2: Bajo nivel de comunicación con la red. El cable está unido con un dispositivo intermedio de control piloto y protección mediante el cual se verifica la correcta conexión del vehículo a la red eléctrica. Y el conector puede seguir siendo shuko. El tipo de recarga es lenta en AC.

Modo 3: Alto nivel de comunicación con la red eléctrica. La protección y los dispositivos de control se encuentran integrados a la propia infraestructura de recarga

y el cable tiene integrado hilo piloto de comunicación. Requiere de conector específico para EV. El tipo de recarga puede ser lenta o semi-rápida.

Modo 4: Alto nivel de comunicación con la red eléctrica. Cuenta con un convertor a DC y solo se usa para el tipo de recarga rápida. Requiere de conector específico para EV.

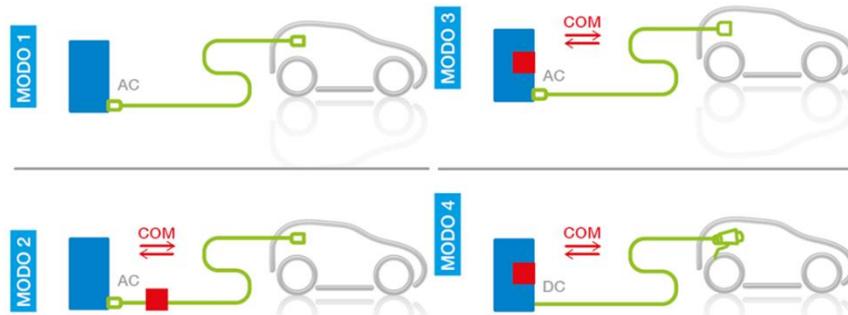


Fig. 12. Modos de carga entre la red eléctrica y el EV según estándar internacional IEC 61851-1.

En cuanto al conector que une el EV a la red eléctrica, se tiene varios diseños de enchufes con tamaños y características diferentes. Hubo un acercamiento por unificar los conectores en un sistema combinado entre los fabricantes alemanes, norteamericanos, franceses y japoneses, pero no llegaron a ningún acuerdo [23]. Los conectores más utilizados se indican a continuación con sus correspondientes figuras:

Conector Shunko: Es el conector convencional domiciliario que usan los aparatos eléctricos en Europa y se encuentra estandarizado por la norma CEE 7/4. Es un conector de carga lenta que consta de dos bornes y toma de tierra con valores máximos de corriente y tensión de 16 A y 230 V, respectivamente.



Fig. 13. Conector Schuko CEE 7/4.

Conector SAE J1772: Fue desarrollado por la Sociedad de Ingenieros Automotrices, llamado también conector Yazaki o conector Tipo 1 por la norma IEC 62196-2. Consta de cinco bornes: fase, neutro, tierra y dos bornes adicionales para comunicación con el vehículo. Se usa para corriente monofásica y permite tensiones



máximas de 250 V, corrientes hasta de 16 A para carga lenta y 80 A para carga rápida. Es el estándar en el mercado norteamericano.



Fig. 14. Conector SAE J1772.

Conector VDE-AR-E 2623-2-2: Comúnmente llamado con el nombre de la empresa alemana que lo construyó, Mennekes, o también conector Tipo 2 por la norma IEC 62196-2. Consta de siete bornes: tres fases, neutro, toma a tierra y dos bornes para comunicaciones. Se usa para corrientes monofásicas de hasta 16 A, corrientes trifásicas de hasta 63 A y voltajes de 100 a 500 V. Es usado por casi todos los fabricantes alemanes y considerado el estándar europeo por la ACEA -European Automobile Manufacturers' Association- (Asociación Europea de Constructores Automotrices).



Fig. 15. Conector Mennekes.

Conector SCAME: En la norma IEC 62196-2 se denomina conector Tipo 3 y fue desarrollado a partir de la alianza “EV Plug Alliance” formada por el fabricante italiano Scame, el alemán Schneider Electric y el francés Legrand. Cuenta con siete bornes: tres fases, neutro, toma a tierra y dos bornes para comunicaciones. Soporta cargas monofásicas o trifásicas de hasta 32 A y tensiones inferiores a 500 V.



Fig. 16. Conector SCAME.

Conector CHAdeMO: En la norma IEC 62196-1 se le conoce como conector Tipo 4, desarrollado por los fabricantes japoneses (Mitsubishi, Nissan, Toyota y Fuji, de quien depende Subaru). Consta de diez bornes: siete bornes de señal, dos para comunicaciones y un borne sin asignación. Es usado para recarga rápida mediante corriente continua con magnitudes de hasta 200 A y 500 V.



Fig. 17. Conector CHAdeMO.

Conector CCS: -Combined Charging System- (sistema combinado de carga) es un modelo desarrollado por norteamericanos y alemanes, como su nombre lo indica es un sistema combinado para recarga en corriente alterna o continua. Consta de cinco bornes: dos de potencia, toma tierra y dos para comunicación con el vehículo. Soporta magnitudes de 850 V de tensión y 200 A de corriente. Han sido siete los fabricantes que acordaron usarlo: Audi, BMW, Daimler, Ford, General Motors, Porsche y Volkswagen.



Fig. 18. Conector combinado CCS.

[3] [17] [23] [24]



1.5 Ejemplos internacionales de implementación del taxi eléctrico

1.5.1 Barcelona (España)

La ciudad de Barcelona es una de las pioneras en España en cuanto a movilidad sostenible e inició estrategias para impulsar vehículos eléctricos desde el año 2009 con lo cual se consiguió implementar los primeros taxis eléctricos en 2014 y hasta 2015 se construyeron un total de 336 puntos de recarga entre todos los promotores [25] y cabe destacar que 27 son puntos de recarga rápida de acceso público, de estos, 17 se encuentran en la ciudad y 10 en los municipios metropolitanos [26]. Actualmente en Barcelona circulan aproximadamente 10500 taxis, de ellos solo 20 son eléctricos, entre los que se tiene: trece BYD e6, un Nissan LEAF y seis Nissan e-NV200 [27]; dichos modelos no han sido tan exitosos a pesar de las ayudas estatales y de la Generalitat de Catalunya que han recibido los propietarios según [25].

1.5.2 Bogotá (Colombia)

En Bogotá la iniciativa de implementar taxis eléctricos empezó mediante el Decreto 677 del año 2011 en el que la Administración Distrital expresaba la necesidad de elaborar una política de movilidad eléctrica que sea eficiente y que no contamine Bogotá, donde circulan más de 50000 taxis. En un principio se esperaba que el “plan piloto de movilidad eléctrica en el transporte público”, apoyado a demás por otras entidades y empresas privadas, arranque con 50 taxis eléctricos [28]. Los primeros empezaron a circular desde el año 2013, el vehículo elegido fue el BYD e6 y lo cierto es que a julio del 2017 se encuentran circulando 40 unidades con alta probabilidad de que el proyecto finalmente fracase debido a la falta de respaldo de la administración actual y de las empresas privadas que se están desvinculando de la iniciativa, la falta de puntos de recarga, los cuales solo se han implementado 5 en toda la ciudad y ninguno es de recarga rápida a más de un deficiente servicio posventa de la marca BYD, la cual está representada en Colombia por la empresa automotriz Praco Didacol [29] [30].

1.5.3 Ámsterdam (Países Bajos)

Es quizás el ejemplo más representativo en cuanto a movilidad eléctrica de todo el mundo ya que en esta ciudad se puede encontrar un punto de recarga para vehículos



eléctricos cada 200 metros y para 2015 ya contaba con 1250 puntos de recarga públicos y el objetivo es alcanzar los 4000 puntos de recarga para 2018. La implementación de taxis eléctricos empezó en el 2011 y para abril del 2015 en Ámsterdam circulaban 170 taxis eléctricos de la marca Nissan, modelos LEAF y e-NV200, operados por tres compañías: Taxi Electric, Connexion y TCA. Por otro lado, en 2014 se implementaron cerca de 200 taxis eléctricos Tesla Model S para el aeropuerto de Schiphol. El apoyo que reciben los propietarios por parte del estado es importante en cuanto a financiamiento y subvenciones, así mismo se han desarrollado lo que se conoce como paradas verdes, donde los taxis eléctricos tienen prioridad cuando hay colas por carreras [31] [32] [33].

1.6 El vehículo eléctrico en Ecuador

En referencia a lo indicado por [34], entre los objetivos estratégicos planteados por el Gobierno se encuentra producir en Ecuador vehículos eléctricos y sus baterías, esto con la finalidad de aprovechar el cambio de la matriz energética que está viviendo el país y reducir la dependencia del petróleo. Es así que el MCPEC -Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad- firmó un convenio en marzo de 2015 con Nissan, Renault, Kia y BYD denominado “Convenio Marco para la Promoción, Comercialización, y Perspectivas de Fabricación de Baterías y Vehículos Eléctricos en la República del Ecuador”.

El BEV no ha tenido una participación significativa en el mercado nacional y las siguientes tablas elaboradas con datos obtenidos de [35] así lo reflejan.

Tabla 5. Venta de vehículos eléctricos en principales provincias del año 2016

Provincia	Unidades	Participación (%)
Pichincha	62	56.88
Guayas	20	18.35
Galápagos	9	8.26
Loja	9	8.26
Tungurahua	4	3.67
Otras	5	4.59
Total:	109	100



Tabla 6. Venta de vehículos eléctricos por marca y modelos del año 2016

Marca	Modelo	Unidades
Kia	SOUL AC 5P 4X2 TA EV	53
Renault	TWIZY URB X09 MOKA AC 2P 4X2 TA EV	23
Dayang	DY-GD04A AC 2P 4X2 TA EV	15
Dayang	DY-GD02B AC CS 4X2 TA EV	7
Renault	TWIZY TEC X09TEC80 2P 4X2 TA EV	6
Volkswagen	E-GOLF BE11B1 AC 5P 4X2 TA EV	1
Dayang	DY-GD04A AC 4P 4X2 TA EV	2
Renault	TWIZY CARGO X09CAR80 2P 4X2 TA EV	1
Renault	TWIZY URB X09 MOKA 2P 4X2 TA	1

El Kia Soul EV es el vehículo eléctrico más vendido del Ecuador debido a su precio, más accesible con respecto a otros EVs, se lo puede adquirir desde 30990 USD y tiene una autonomía según la marca de 200 km aproximadamente; el Renault Twizy el segundo más vendido desde 14990 USD en la versión pasajero y 15990 USD en la versión carga, es más económico que el Soul EV sin embargo a diferencia de este que es un monovolumen, el Twizy es un biplaza y cuenta con 100 km de autonomía según Renault. Por su parte el Volkswagen e-GOLF todavía no ha sido comercializado por la marca en Ecuador y el precio en Alemania del modelo 2017 es de aproximadamente 42661 USD. Por otro lado, Dayang, fabricante de motocicletas todavía no es una marca conocida en el mercado nacional.

A pesar de que Nissan fue parte del convenio para la promoción de vehículos eléctricos en Ecuador y que el Nissan Leaf es el vehículo eléctrico más vendido del mundo, en Ecuador tampoco se ha comercializado, seguramente debido a su precio que en Europa está entre 34998-37611 USD. Por su parte BYD ha ingresado al mercado nacional este año 2017 con el BYD e5 cuyo precio es de 34500 USD aproximadamente y autonomía de 350 km según la marca. El BYD e5 ha ingresado con 30 vehículos para completar la primera flota del país integrada únicamente por taxis eléctricos en Loja.

1.6.1 El taxi eléctrico

El 11 de abril del año 2016 se expidió en la ciudad de Loja, por parte del Municipio, la “Ordenanza que crea y regula el servicio de taxi ecológico-eléctrico en el cantón Loja”. La ordenanza indica la asignación de 50 cupos para el servicio de taxi eléctrico previo al estudio de factibilidad [36]. Las unidades debían operar hasta el 31 de diciembre del año 2016, sin embargo, debido a la falta de financiamiento y a la incertidumbre en la viabilidad del proyecto, recién el 24 de abril del 2017 entran en circulación los 50 vehículos eléctricos en la ciudad en dos modelos: Kia Soul EV y BYD e5 (figura 19) [37] [38]. Los propietarios de los vehículos eléctricos cuentan con una instalación para la recarga en sus casas con el conector SAE J1772 para carga lenta a 220 V y en la ciudad solo existe un punto de recarga semi-rápida implementada por BYD en la que se carga las baterías en 60 minutos [39].



Fig. 19. Ceremonia pública de presentación de los 30 vehículos BYD e5 en Loja (2017).

En marco del convenio citado al principio de esta sección y en coordinación con el GAD -Gobierno Autónomo Descentralizado-, el 7 de junio del presente año se dictó en Cuenca un taller de socialización para la inserción de vehículos eléctricos dirigido a los miembros de las cooperativas de taxis de la ciudad donde se mostraron las bondades del EV [40]. Como se observa en la figura 20, el 15 de junio el presidente de la AFUT -Asociación del Frente Unido de Taxistas- recibió de KIA un vehículo eléctrico (Soul EV) para pruebas mismo que pasaría días después a manos de la Unión de Cooperativas de Transporte y Taxis del Azuay [41].



Fig. 20. Patricio Padilla (izquierda), presidente de AFUT, con directivos de Kia en la entrega del vehículo para pruebas (2017).



CAPÍTULO II

2. VEHÍCULO DE COMBUSTIÓN Y ELÉCTRICO EN EL SECTOR DE TAXIS DE CUENCA

2.1 Ubicación

Cuenca es una ciudad ubicada en la parte centro sur de la región interandina o Sierra de la República del Ecuador como se indica en la figura 21, su altitud es de 2550 msnm y la temperatura promedio es 17°C. Según datos oficiales del INEC -Instituto Nacional de Estadística y Censos- la superficie total del cantón Cuenca es de 3190.54 km^2 y cuenta con una población de 505585 habitantes, mientras que la ciudad formada por las parroquias urbanas (figura 22) tiene una superficie de 70.59 km^2 y una población de 331888 habitantes.



Fig. 21. Ubicación de la ciudad.



Fig. 22. Vista panorámica de Cuenca.



2.2 Características del sector de taxis

La CNTTTSV -Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial- define el servicio de transporte comercial de pasajeros en taxi como [42]: “...*el que se presta a terceras personas a cambio de una contraprestación económica, siempre que no sea servicio de transporte masivo o colectivo, en vehículos de color amarillo denominados TAXI, organizados en operadoras legalmente constituidas...*”.

En lo referente a la modalidad o clase de servicio, la CNTTTSV dice que se prestará como convencional y ejecutivo.

El servicio convencional consiste en [42]:

“...el traslado de personas desde un lugar a otro dentro del área urbana autorizada para su operación, en vehículos automotores de color amarillo, equipados para el transporte de personas, con capacidad de hasta cinco pasajeros incluido el conductor... Los vehículos que prestan este servicio podrán operar como ambulantes, a pedido expreso de los pasajeros en las calles.”

El servicio ejecutivo consiste en [42] :

“...el traslado exclusivo de personas en forma segura dentro de su ámbito de operación, siempre que no sea servicio de transporte masivo o colectivo, en vehículos de color amarillo, y que se lo contratará única y exclusivamente a través de los medios de telecomunicación establecidos y autorizados por cada uno de ellos.”

Así mismo, [42] y su reforma [43], mencionan que el tiempo de vida útil de las unidades es de 15 años en el servicio convencional y 10 años en el servicio ejecutivo y que en ambas modalidades el cobro está controlado por taxímetro; por otro lado, para el análisis de viabilidad se considerará que el Kia Soul EV opera como taxi convencional debido a que este servicio tiene más demanda que el ejecutivo.

En cuanto a las características del sector de taxis en Cuenca, es importante destacar algunos datos estadísticos representados por medio de la siguiente tabla y figuras [44] y en donde aprecia que los viajes en taxi ocurren entre las 9 y las 11 de la mañana y que la mayoría de viajes dura de 15 a 30 minutos:



Tabla 7. Número de pasajeros por carrera y unidad que generalmente ocupan una unidad

No. Pasajeros	%
2	51
4	37
Más de 4	12

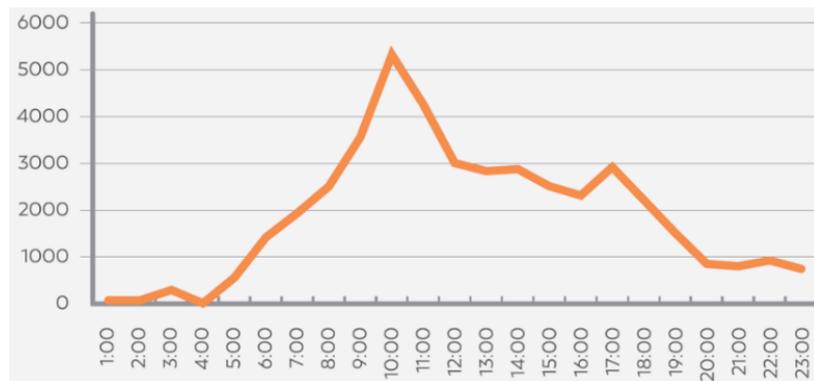


Fig. 23. Distribución horaria de los viajes en taxi.

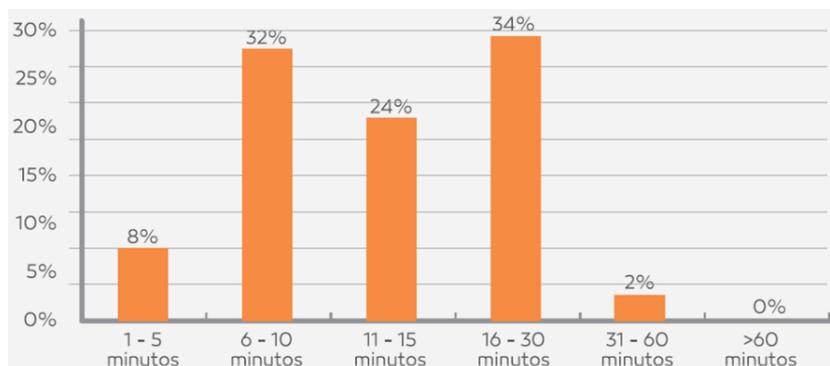


Fig. 24. Duración del viaje en taxi.

De acuerdo con [45], en su estudio estadístico se determinó que la mayoría de taxis en Cuenca recorre entre 134.58 y 272.08 kilómetros diarios, aunque en promedio la distancia recorrida diariamente es de 200.29 kilómetros, este valor representa el indicador KVR -Kilómetros Vehículo Recorrido-.

2.2.1 Parque automotor

El parque automotor nacional es de 2267344 vehículos, de los cuales 161164 pertenecen a la provincia del Azuay [46] y 111000 unidades se estima corresponden



a Cuenca [47]. A su vez, 3495 es la cifra de taxis repartidos entre las 109 operadoras que hay en la ciudad hasta el año 2015 según [48].

De todas las marcas y modelos de taxi que circulan en Cuenca, los vehículos más utilizados se resumen en la tabla 8 que conforme a [48], contiene datos de un registro de la EMOV-Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca-.

Tabla 8. Taxis que circulan en Cuenca y su distribución, año 2015

Marca y modelo	Unidades	Porcentaje
Hyundai Accent	1239	35
Chevrolet Aveo	612	18
Nissan Sentra	408	12
Hyundai Matrix	362	10
Otros	874	25
Total:	3495	100

2.2.1.1 Vehículos más usados en el sector de taxis de Cuenca

Los vehículos más usados como taxi son el Hyundai Accent y Chevrolet Aveo, así que la comparación para el análisis económico del capítulo III se realizará con respecto a estos vehículos en sus modelos más nuevos, sus características se muestran en las siguientes tablas.

Tabla 9. Datos técnicos Hyundai Accent Estándar 2017

	Tipo	4 cilindros en línea 16 válvulas DOHC
Motor	Cilindraje (cc)	1600
	Potencia (hp / rpm)	122 / 6000
	Torque (Nm / rpm)	155.9 / 4000
	Aceleración	10.2 s (0 a 100 km/h)
Desempeño	Velocidad máx.	190 km/h
	Inclinación máx.	30% aproximadamente
Neumático		175/70 R 14



Tabla 10. Datos técnicos Chevrolet Aveo Emotion GLS 2017

	Tipo	4 cilindros en línea 16 válvulas DOHC
Motor	Cilindraje (cc)	1600
	Potencia (hp / rpm)	103 / 6000
	Torque (Nm / rpm)	144 / 3600
	Aceleración	-
Desempeño	Velocidad máx.	177 km/h
	Inclinación máx.	30% aproximadamente
Neumático		185 / 55 R 15

2.2.2 Tarifas

Las tarifas del taxi convencional de la tabla 11 se determinaron mediante un estudio técnico realizado por la Universidad de Cuenca en el año 2014.

Tabla 11. Tarifas definitivas aprobadas por el Consejo Cantonal de Cuenca

	Tarifa Diurna (USD)	Tarifa Nocturna (USD)
Carrera mínima	1.39	1.67
Tarifa de arranque	0.55	0.55
Kilómetro recorrido en el día	0.29	0.39
Tiempo de espera	0.06	0.06

La tarifa diurna se comprende entre las 06:00 y 21:00 horas, la tarifa nocturna entre las 21:01 y 5:59 horas. Las carreras que superan la distancia de 7 kilómetros tienen un costo adicional de 0.07 USD por kilómetro recorrido a partir de esa distancia [44].

2.3 Adquisición de datos

La presente sección trata sobre la obtención de datos que describen el comportamiento del vehículo de pruebas a partir de los ciclos típicos de conducción para los vehículos de la Unión de Taxistas del Azuay [49], con las diferentes fuerzas y resistencias que se oponen al movimiento del vehículo, una vez definidos los parámetros se procederá a la realización de pruebas experimentales para determinar

el consumo y la autonomía real del vehículo eléctrico operando bajo la modalidad taxi convencional en la ciudad de Cuenca.

2.3.1 Descripción del protocolo de muestreo

El proceso de adquisición de datos se realizó bajo diferentes condiciones de muestreo, como el peso y la pendiente, variables que afectan directamente al consumo energético del vehículo y por lo tanto en la autonomía del mismo.

A continuación, se describen cada uno de los materiales, métodos y equipos para la aplicación del presente protocolo de muestreo.

2.3.1.1 Vehículo eléctrico de pruebas Kia Soul EV

Este proyecto de análisis de viabilidad para la implementación del taxi eléctrico se desarrollará, con el Kia Soul EV, que de acuerdo con la sección 1.6 del capítulo I, es el vehículo eléctrico de mayor demanda en el mercado nacional por su precio más asequible y además se dispone de una unidad (figura 25) en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.



Fig. 25. Kia Soul EV del Proyecto “Movilidad Verde UPS” en el laboratorio de movilidad eléctrica de la Universidad (2017).

El Kia Soul EV es un vehículo eléctrico de baterías (BEV) y tanto los componentes como su disposición se aprecian en la figura 26. Kia nombra con las siglas LDC al convertidor de potencia del tipo DC-DC de bajo voltaje.

La tabla 12 sobre especificaciones del Soul EV se hizo con información obtenida de Kia [50] [51].

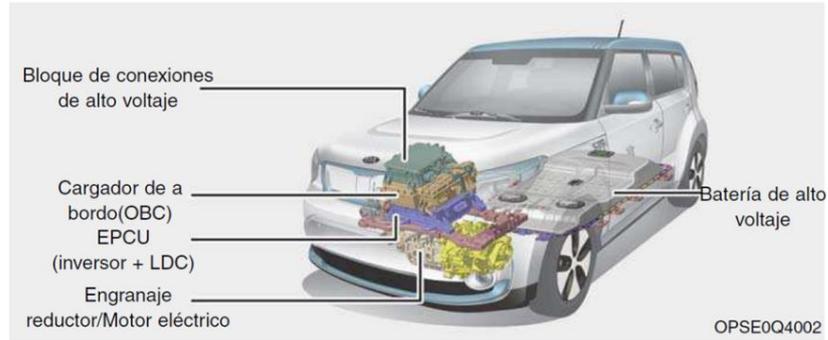


Fig. 26. Componentes principales del Kia Soul EV.

Tabla 12. Datos técnicos del vehículo Kia Soul EV 2017

	Tipo	Eléctrico (imanes permanentes síncrono AC)	
Motor eléctrico	Par máximo	285 Nm	
	Potencia máxima	81,4 kW	
	Tipo	Polímero de iones de litio	
Batería	Potencia	90 kW	
	Capacidad	27 kWh - 75 Ah	
	Voltaje	360 V	
	Tiempo de carga		Carga lenta: 5 horas
			Carga rápida: 33 minutos
		Carga de mantenimiento: 14 a 18 horas	
	Aceleración	11.2 s (0 a 100 km/h)	
Desempeño	Velocidad máx.	145 km/h	
	Inclinación máx.	33%	
	Autonomía	200 km	
Neumático		205/60 R 16	

2.3.1.2 Equipos para la medición de los parámetros de funcionamiento del vehículo

Para la medición del consumo energético y la autonomía del vehículo eléctrico, se utilizan los siguientes equipos:

- Software EMOLAB V2.0.1
- Banco de potencia MAHA LPS 3000

Mediante metodología de pruebas experimentales se realiza un proceso de adquisición de datos por medio de un programa de ordenador software llamado EMOLAB V2.0.1 [52], con un ciclo típico de conducción para los taxis de la ciudad de Cuenca, en el cual interviene variables que afectan en la autonomía del vehículo eléctrico (pendiente, velocidad mínima, velocidad máxima, distancia de recorrido, aceleraciones, desaceleraciones y modo de conducción).

El programa EMOLAB V2.0.1, cuya interfaz se ve en la figura 27, fue desarrollado en LabVIEW y es un software de ingeniería que sirve como traductor de la información emitida por el escáner automotriz OBD II conectado al vehículo eléctrico y enlazado al software mediante bluetooth. Este software proporciona 72 variables de estudio tales como la temperatura, voltaje y corriente de: la batería, las celdas que la conforman, los módulos y el motor eléctrico; además de otras como el estado de carga, velocidad y aceleración del vehículo.

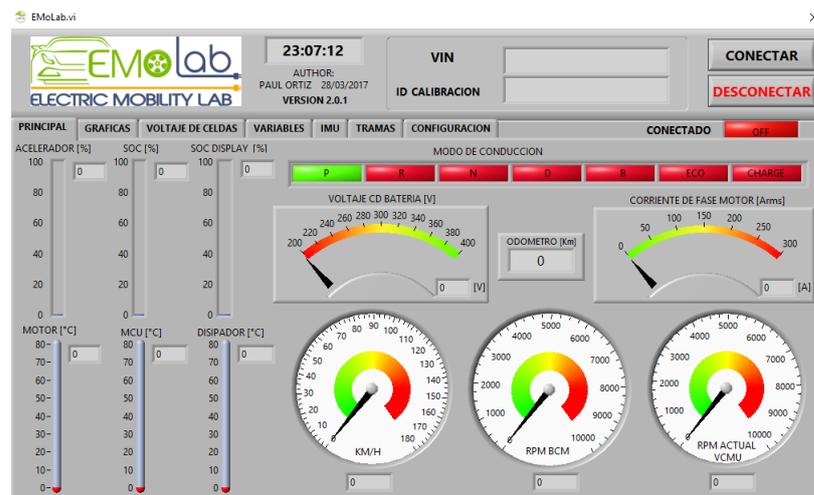


Fig. 27. Pantalla principal del Software EMOLAB V2.0.1.

La medición de los parámetros de funcionamiento del vehículo eléctrico en cada uno de los ciclos típicos de conducción y con las respectivas cargas, se realizaron en el banco dinamométrico de chasis, en la figura 28 se observa los componentes del banco de potencia.



Fig. 28. Banco de potencia MAHA LPS 3000 de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

2.3.2 Ciclos de conducción representativos de los taxis en Cuenca

Los ciclos de conducción son una secuencia de datos de velocidad y tiempo que representa patrones de manejo de la actividad de los vehículos de la Unión de Taxistas del Azuay y fueron obtenidos por [49] durante 30 días de pruebas.

El proceso para obtener el ciclo de conducción fue el siguiente: inicialmente se realizó una selección del método de toma de datos, en este caso se utilizó el método directo que consta de la selección del vehículo, la instrumentación con los equipos de medición, después el estudio continuó con la medición de viajes con pasajeros (carreras) y la posterior recolección de datos de velocidad, tiempo y altitud.

Existen tres ciclos de conducción que representan la conducción de los vehículos de la Unión de Taxistas del Azuay diferenciados por carreras (cortas, medias y largas), los mismos que fueron clasificados tomando en cuenta las distancias de las carreras recorridas, a continuación, se describen cada uno de ellos; la base de datos de los ciclos fue facilitada por [49] y se encuentra en las referencias digitales de este documento (anexo digital A).

2.3.2.1 Ciclo de conducción para carreras cortas

Este ciclo de conducción tiene una duración de 326 segundos, una distancia de 1.78 Km, velocidad promedio de 19.7 Km/h y una velocidad máxima de 53 Km/h, como se observa en la figura 29.

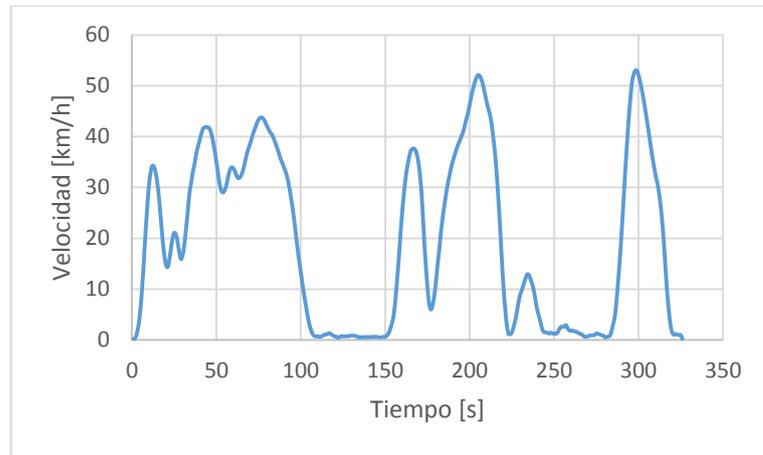


Fig. 29. Curva velocidad-tiempo para el ciclo de conducción de carreras cortas.

En la figura 30 se detalla el perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreras cortas.

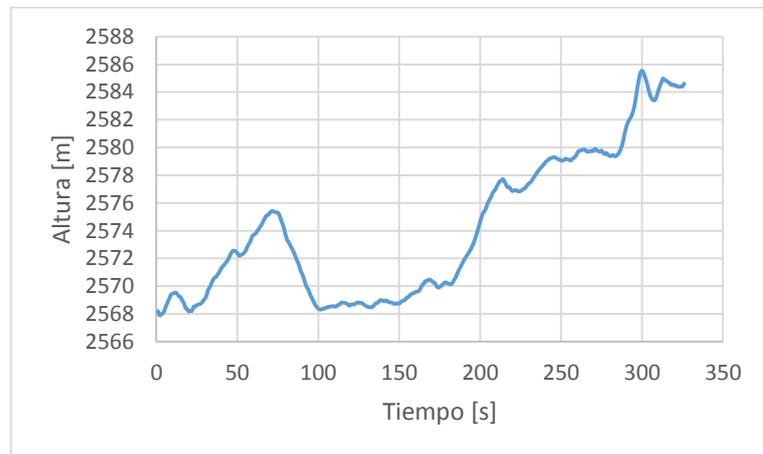


Fig. 30. Perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreras cortas.

2.3.2.2 Ciclo de conducción para carreras medias

Este ciclo de conducción tiene una duración de 489 segundos, una distancia de 3.53 Km, velocidad promedio de 26.1 Km/h y una velocidad máxima de 76.14 Km/h, como se observa en la figura 31.

En la figura 32 muestra el perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreras medias.

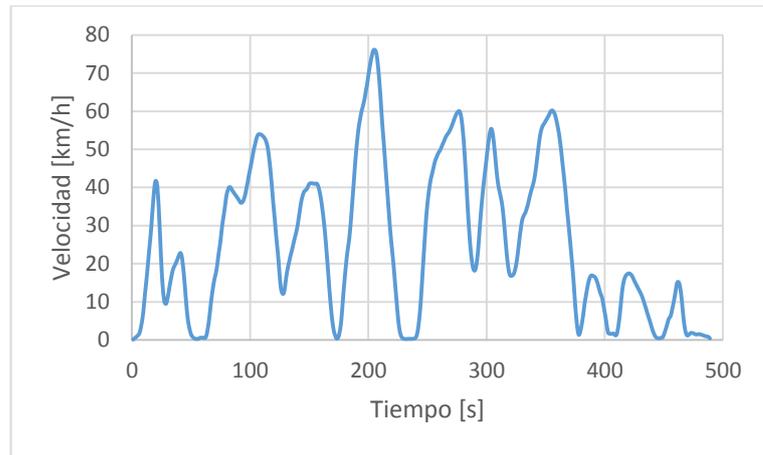


Fig. 31. Curva velocidad-tiempo para el ciclo de conducción de carreas medias.

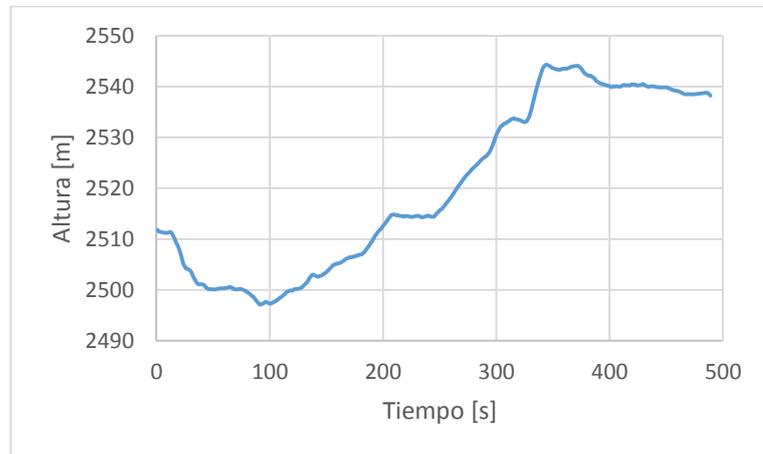


Fig. 32. Perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreas medias.

2.3.2.3 Ciclo de conducción para carreras largas

Este ciclo de conducción tiene una duración de 967 segundos, una distancia de 6.59 Km, velocidad promedio de 24.55 Km/h y una velocidad máxima de 70.16 Km/h, como se observa en la figura 33.

En la figura 34 se observa el perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreras largas.

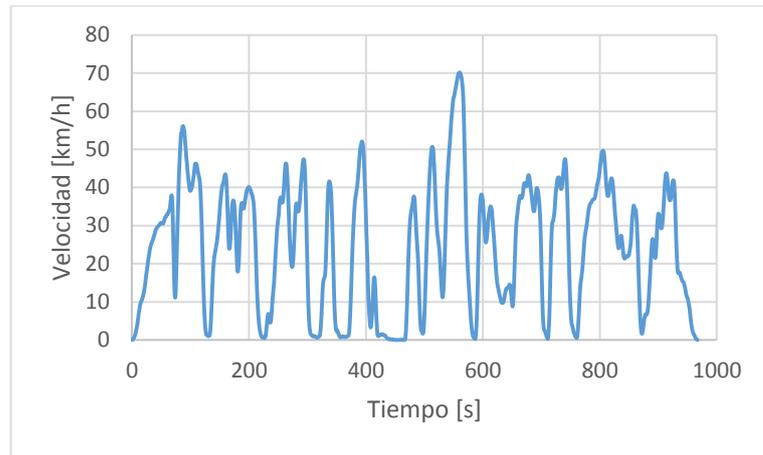


Fig. 33. Curva velocidad-tiempo para el ciclo de conducción de carreas largas.

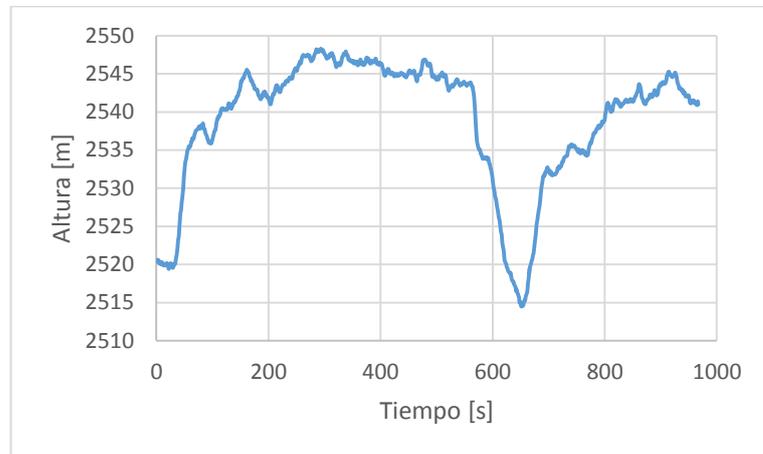


Fig. 34. Perfil topográfico para el ciclo de conducción de carreas largas.

2.3.2.4 Cálculo de la fuerza resistente total

Uno de los requisitos necesarios para seguir dichos ciclos de conducción es definir la fuerza total (resistencia aerodinámica, resistencia a la rodadura y resistencia a la pendiente) que actúa sobre el vehículo para calcular la carga a generar en los rodillos del banco dinamométrico y simular las diferentes condiciones del terreno donde se levantó la información para los ciclos de conducción.

Se sabe que un vehículo que circula a velocidad constante sobre una superficie no horizontal, está sometido a los siguientes esfuerzos resistentes que se oponen al movimiento [49] [53] [54]:

- Resistencia aerodinámica al avance
- Resistencia a la rodadura



- Resistencia gravitatoria
- Resistencia a la inercia

La resistencia total al movimiento queda definida en la ecuación (1) y se expresa en Newton.

$$R_T = F_{xa} + R_r + R_g + R_i \text{ [N]} \quad (1)$$

La resistencia aerodinámica al avance en función de la velocidad se obtiene a través de la ecuación que se muestra a continuación.

$$F_{xa} = \frac{1}{2} \rho C_x A_f V^2 \quad (2)$$

Donde:

$$\rho = \text{densidad del aire en } kg/m^3$$

$$C_x = \text{coeficiente de arrastre del vehículo}$$

$$A_f = \text{área frontal del vehículo en } m^2$$

$$V = \text{velocidad del vehículo en } m/s$$

La resistencia a la rodadura se expresa en la siguiente ecuación y se puede desarrollar para expresarla en función de un coeficiente que varía con la velocidad del vehículo.

$$R_r = f_r m g \cos \Theta \quad (3)$$

Donde:

$$f_r = \text{coeficiente de resistencia a la rodadura}$$

$$m = \text{masa del vehículo en } kg$$

$$g = \text{gravedad en } m/s^2$$

$$\Theta = \text{pendiente en } rad$$

La resistencia gravitatoria es la componente del peso en dirección paralela a la superficie de rodadura y, por tanto, se tiene la ecuación (4).

$$R_g = m g \sin \Theta \quad (4)$$

Donde:

$$m = \text{masa del vehículo en } kg$$



$$g = \text{gravedad en } m/s^2$$

$$\Theta = \text{pendiente en } rad$$

La resistencia a la inercia representa la oposición que presenta un cuerpo a cambiar el estado en el que se encuentra, reposo o movimiento.

$$R_i = ma \quad (5)$$

Donde:

$$m = \text{masa del vehículo en } kg$$

$$a = \text{aceleración del vehículo en } m/s^2$$

Mediante los parámetros que se muestran en la tabla 13 se calcula las fuerzas de las ecuaciones (2), (3), (4) y (5) para cada instante de tiempo, velocidad y altura del ciclo de conducción, con lo cual se obtiene la resistencia total al movimiento mediante la ecuación (1), dicha fuerza es aplicada por el banco dinamométrico MAHA para simular el comportamiento del vehículo en la calle. Los datos de fuerza son calculados mediante una hoja de Excel (Anexo digital A).

Tabla 13. Parámetros característicos del vehículo Kia Soul EV que influyen durante las pruebas de conducción

Parámetro	Magnitud
Coeficiente aerodinámico	0.34
Gravedad	9.81 m/s ²
Masa	1500 kg
Área frontal	2.48 m ²
Densidad del aire	0.9 kg/m ³
Resistencia a la rodadura	0.01101

Existen otros tres parámetros que influyen en el vehículo durante las pruebas y que están implícitos en cada uno de los ciclos de conducción:

- velocidad
- pendiente
- aceleración



2.3.3 Pruebas y recolección de datos

La recolección de datos consiste en realizar cuatro pruebas por cada combinación de parámetros (peso y pendiente) en cada uno de los tres ciclos de conducción, dando como resultado la realización de 108 pruebas en total. La utilización del banco dinamométrico y el software EMOLAB V2.0.1 servirá para obtener los datos de consumo energético, simulando los diferentes ciclos de conducción ya mencionados anteriormente, además el banco de rodillos proporciona la función de simular la fuerza tractora a la que está sometido el vehículo en circulación, la cual es calculada con las ecuaciones y parámetros detallados en la sección 2.3.2.4.

Para la simulación de la fuerza tractora del vehículo en el banco de rodillos, se considera los parámetros (peso y pendiente) que afectan al consumo energético y la autonomía del mismo. Por lo tanto, para el desarrollo de las pruebas conociendo el peso del vehículo en vacío (1500 kg), se estimó un peso por cada ocupante alrededor de los 70 a 75 kg; adicionalmente se calculó la pendiente mínima, promedio y máxima de cada instante de tiempo que esta de manera implícita en cada uno de los ciclos de conducción.

Para el desarrollo de las pruebas se realiza un diseño experimental factorial (DOE) de dos niveles para determinar la influencia del peso y la pendiente como variables de entrada sobre el consumo energético y la autonomía del vehículo eléctrico como variables de salida y finalmente los datos obtenidos se analizan en el software Minitab.

2.3.3.1 Consumo energético obtenido en el ciclo de conducción corto

En la tabla 14 se detalla cada una de las fuerzas tractoras con los diferentes parámetros (peso y pendiente) que se aplica durante el ciclo de conducción de carreras cortas.

Los resultados del consumo energético y el porcentaje de descarga de la batería obtenida durante este ciclo de conducción se presentan en la tabla 15.

Tabla 14. Fuerzas tractoras aplicadas durante el ciclo de conducción de carreras cortas

Ciclo	Peso [kg]	θ [rad]	F_{xa} [N]	R_r [N]	R_g [N]	R_T [N]
Corto	3 personas	0.000	19.97	169.92	0.00	189.89



(1715 kg)	0.013	19.97	169.91	218.71	408.59
	0.025	19.97	169.87	420.56	610.40
5 personas (1865 kg)	0.000	19.97	184.79	0.00	204.76
	0.013	19.97	184.77	237.84	442.58
	0.025	19.97	184.73	457.34	662.04
máximo (1960 kg)	0.000	19.97	194.20	0.00	214.17
	0.013	19.97	194.18	240.34	454.49
	0.025	19.97	194.14	480.64	694.75

Tabla 15. Consumo energético y descarga de la batería durante el ciclo de conducción de carreras cortas

		Número de prueba				Promedio	Desviación
R_T [N]	Parámetro	1	2	3	4		
189.89	Descarga [%]	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.00
	Consumo [kWh]	0.3	0.3	0.3	0.3	0.30	0.00
408.59	Descarga [%]	1	1	1.5	1.5	1.2	0.29
	Consumo [kWh]	0.3	0.3	0.4	0.4	0.35	0.06
610.40	Descarga [%]	2	2.5	2	2	2.0	0.00
	Consumo [kWh]	0.4	0.5	0.4	0.4	0.43	0.05
204.76	Descarga [%]	0.5	0.5	1	0.5	0.6	0.25
	Consumo [kWh]	0.3	0.3	0.4	0.3	0.33	0.05
442.58	Descarga [%]	1	1.5	1.5	1.5	1.4	0.25
	Consumo [kWh]	0.3	0.4	0.4	0.4	0.38	0.05
662.04	Descarga [%]	1.5	2	1.5	2	1.8	0.29
	Consumo [kWh]	0.4	0.5	0.4	0.5	0.45	0.06
214.17	Descarga [%]	0.5	0.5	0.5	1	0.6	0.25
	Consumo [kWh]	0.3	0.3	0.4	0.4	0.35	0.06
454.49	Descarga [%]	1	1	1	1.5	1.1	0.25
	Consumo [kWh]	0.4	0.4	0.4	0.5	0.43	0.05
694.75	Descarga [%]	2	2.5	2.5	2.5	2.4	0.25
	Consumo [kWh]	0.4	0.5	0.5	0.5	0.48	0.05



Según el diagrama de Pareto mostrado en la figura 35, existe dos efectos significativos, de los cuales se puede observar que el parámetro más significativo es la pendiente por superar (B), con el cual se aumenta el consumo energético y por consiguiente la reducción de la autonomía del vehículo eléctrico. El efecto de interacción entre los dos parámetros (AB) es insignificante y no influye en la variación del consumo energético.

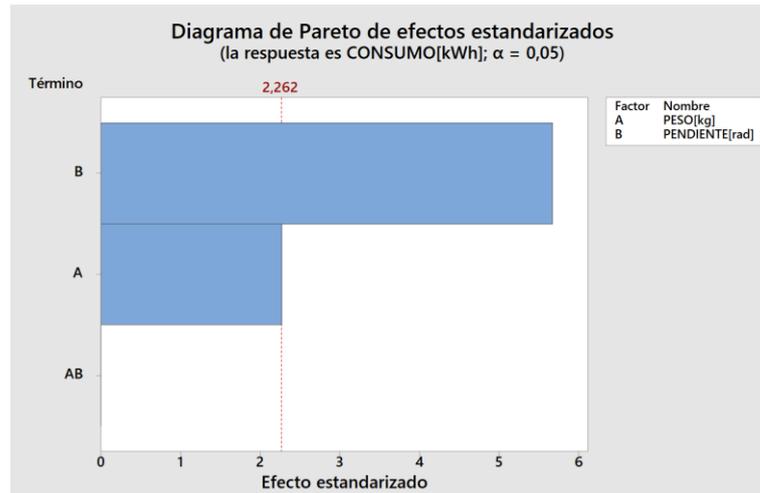


Fig. 35. Diagrama de Pareto para el consumo energético durante ciclo de conducción de carreas cortas.

El peso considerado con los diversos ocupantes influye en los valores de consumo, así como también lo hace la pendiente a superar, tal como se observa en la figura 36, por lo que se puede decir que el consumo energético tiene cierta dependencia del peso y la pendiente a superar.

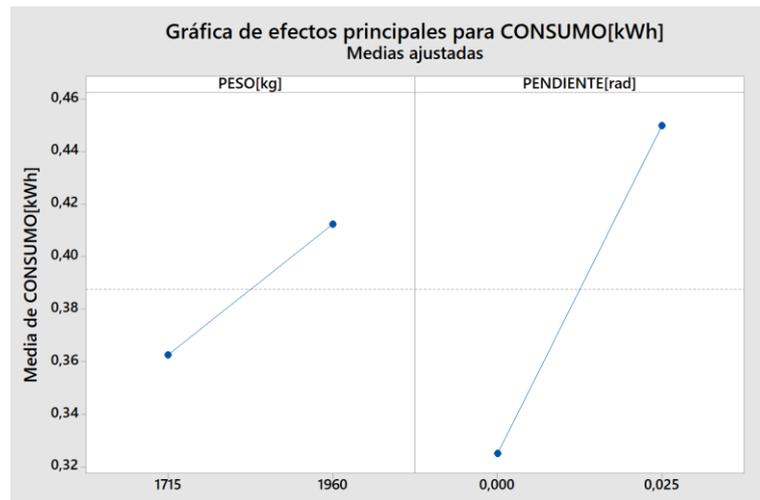


Fig. 36. Consumo energético en función del peso y la pendiente durante ciclo de conducción de carreas cortas.

El consumo energético aumenta su valor conforme el peso y la pendiente a superar aumenten, como se observa en la figura 37.

De acuerdo con la figura 38, cuanto mayor sea la pendiente por superar, el consumo energético va a tener un mayor valor; adicionalmente, se observa que el peso influye en menor medida sobre el consumo energético.

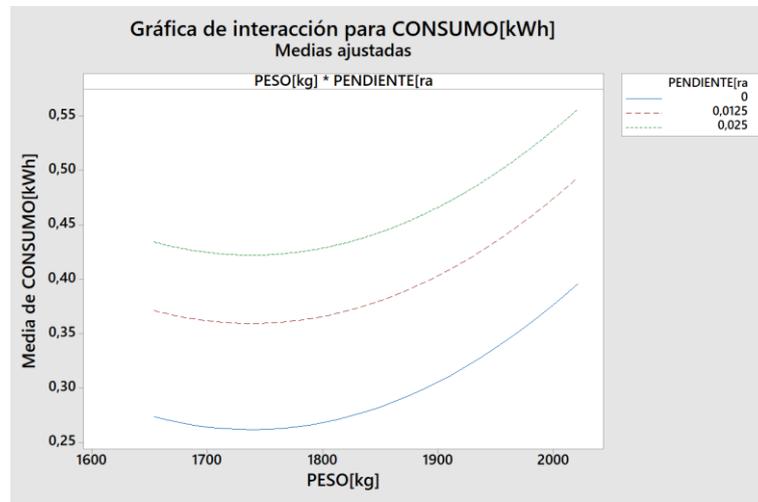


Fig. 37. Interacción del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas cortas.

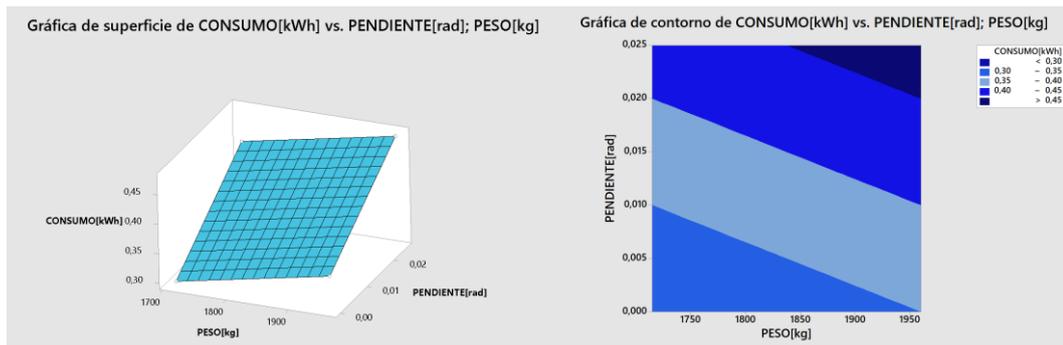


Fig. 38. Variación del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas cortas.

En la figura 39 se observa que el consumo energético óptimo durante el ciclo de conducción de carreas cortas, el cual ocurre en las condiciones que muestra la franja blanca, obteniendo así un consumo mínimo de 0.376 kWh y un máximo de 0.396 kWh.

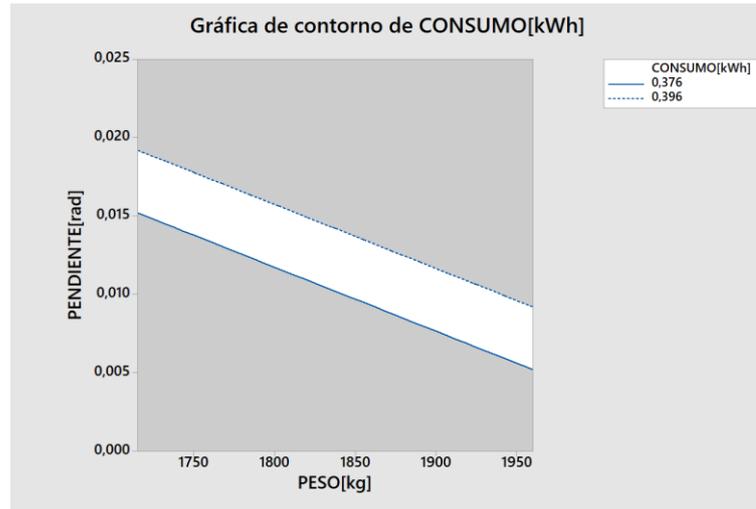


Fig. 39. Zona óptima para consumo energético.

En la Tabla 16 se muestra el consumo energético promedio durante el ciclo de conducción de carreas cortas y a su vez la autonomía que proporciona el vehículo eléctrico; dicha autonomía se calcula en función del consumo o rendimiento (kWh/km) y la capacidad de la batería (27kWh).

Tabla 16. Consumo energético y autonomía del vehículo eléctrico durante el ciclo de conducción de carreras cortas

Ciclo Corto	
Parámetro	Magnitud
Distancia [km]	1.78
Consumo [kWh]	0.389
Consumo [kWh/km]	0.218
Autonomía [km]	123.547

2.3.3.2 Consumo energético obtenido en el ciclo de conducción medio

En la tabla 17 se muestra cada fuerza tractora con los diferentes parámetros (peso y pendiente) aplicados durante la simulación del ciclo de conducción de carreas medias.

Tabla 17. Fuerzas tractoras aplicadas durante el ciclo de conducción de carreras medias

Ciclo	Peso [kg]	θ [rad]	F_{xa} [N]	R_r [N]	R_g [N]	R_T [N]
Medio	3 personas (1715 kg)	0.00	31.79	171.61	0.00	203.40
		0.014	31.79	171.59	235.53	438.91
		0.028	31.79	171.54	471.01	674.34



5 personas (1865 kg)	0.00	31.79	186.62	0.00	218.41
	0.014	31.79	186.60	256.13	474.52
	0.028	31.79	186.54	512.21	730.54
máximo (1960 kg)	0.00	31.79	196.12	0.00	227.91
	0.014	31.79	196.10	269.18	497.07
	0.028	31.79	196.04	538.30	766.14

Así mismo, el consumo energético y el porcentaje de descarga de la batería para el ciclo de conducción de carreras medias se presentan en la tabla 18.

Tabla 18. Consumo energético y descarga de la batería durante el ciclo de conducción de carreras medias

R_T [N]	Parámetro	Número de prueba				Promedio	Desviación
		1	2	3	4		
203.40	Descarga [%]	1.5	1.5	2	1.5	1.6	0.25
	Consumo [kWh]	0.6	0.6	0.7	0.6	0.63	0.05
438.91	Descarga [%]	3	2.5	3	3	2.9	0.25
	Consumo [kWh]	0.8	0.7	0.8	0.9	0.80	0.08
674.34	Descarga [%]	4	4	4	4.5	4.1	0.25
	Consumo [kWh]	0.9	0.9	0.9	1.0	0.93	0.05
218.41	Descarga [%]	1.5	2	1.5	2	1.8	0.29
	Consumo [kWh]	0.6	0.7	0.6	0.7	0.65	0.06
474.52	Descarga [%]	3	3	3.5	3.5	3.3	0.29
	Consumo [kWh]	0.8	0.9	0.9	0.9	0.88	0.05
730.54	Descarga [%]	4.5	4.5	5	5	4.8	0.29
	Consumo [kWh]	0.9	1.0	1.0	1.0	0.98	0.05
227.91	Descarga [%]	3	2.5	3	3	2.9	0.25
	Consumo [kWh]	0.7	0.6	0.7	0.7	0.68	0.05
497.07	Descarga [%]	3.5	3.5	3.5	4	3.6	0.25
	Consumo [kWh]	0.9	0.9	0.9	1.0	0.93	0.05
766.14	Descarga [%]	5	5.5	5.5	5	5.3	0.29
	Consumo [kWh]	1.0	1.1	1.1	1.0	1.05	0.06



El diagrama de Pareto de la figura 40 para este ciclo, muestra que existen dos parámetros significativos, similar al ciclo de carreras cortas, el parámetro más grande es la pendiente por superar (B) y en menor medida el peso (A), aumentando el consumo energético y por consiguiente la reducción de la autonomía del vehículo eléctrico. El efecto de interacción entre los dos parámetros (AB) es relativamente pequeño como para influir de forma significativa en la variación del consumo energético.

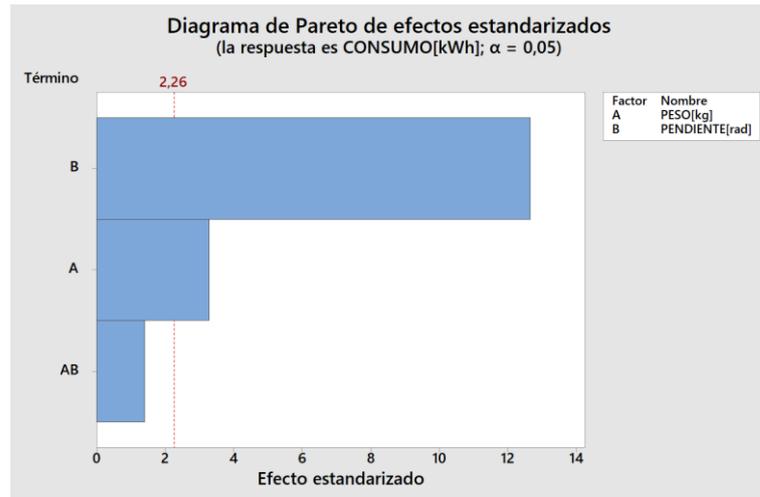


Fig. 40. Diagrama de Pareto para el consumo energético durante ciclo de conducción de carreas medias.

El peso debido a los diversos ocupantes influye en el consumo energético y la pendiente a superar en mayor medida, lo cual se observa en la figura 41, lo que permite inferir que el consumo energético tiene cierta dependencia del peso y la pendiente a superar.

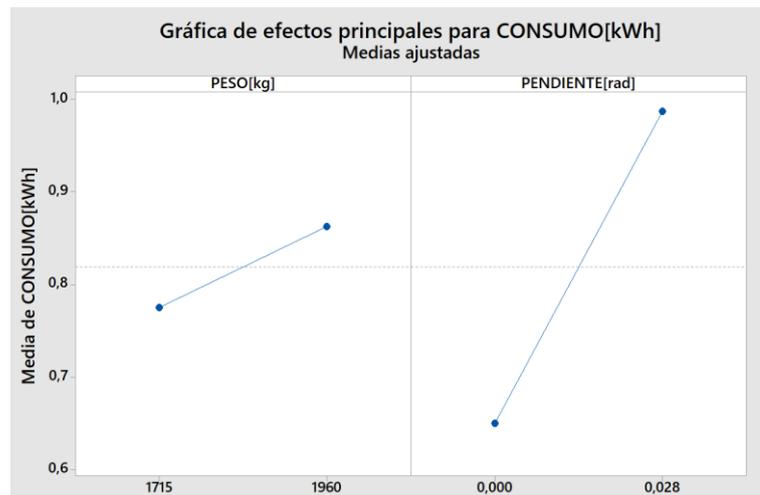


Fig. 41. Consumo energético en función del peso y la pendiente durante ciclo de conducción de carreas medias

La media de consumo es creciente de acuerdo con la figura 42 de interacción peso-pendiente y donde el eje vertical muestra que el consumo se incrementa considerablemente respecto al gráfico de interacción de carreras cortas.

La figura 43 indica que cuanto mayor sea la pendiente por superar, el consumo energético será más grande y la variable peso influye de forma menos significativa que la pendiente sobre el consumo energético del vehículo eléctrico.

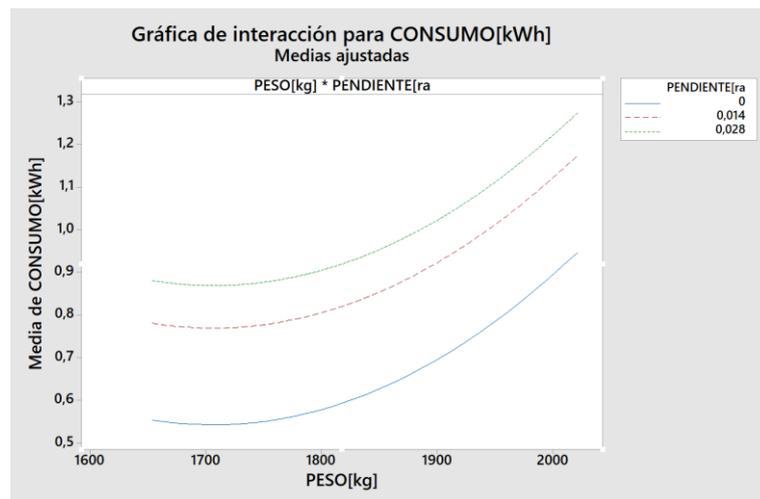


Fig. 42. Interacción del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas medias.

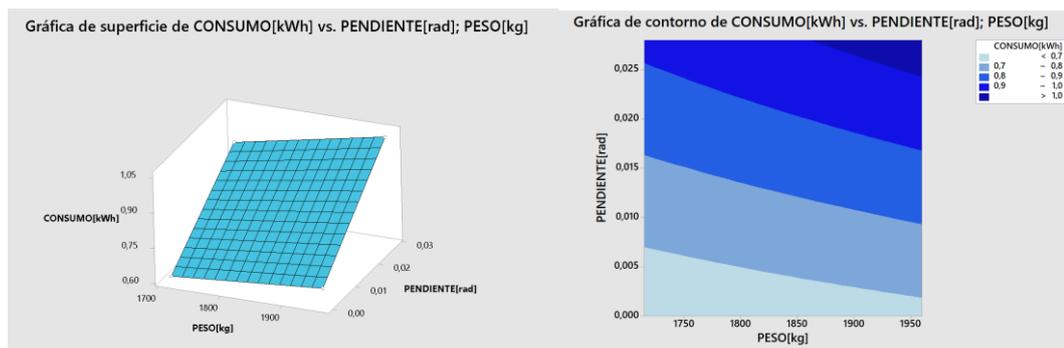


Fig. 43. Variación del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas medias.

La figura 44 indica el consumo energético óptimo para este ciclo de conducción, que se da en las condiciones que muestra la franja blanca, con un consumo mínimo de 0.823 kWh y un máximo de 0.843 kWh.

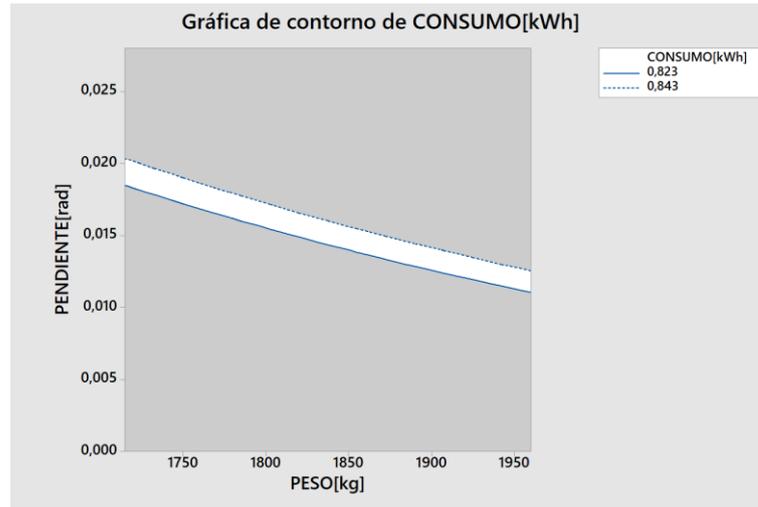


Fig. 44. Zona óptima para consumo energético.

En la tabla 19 se representa el consumo energético promedio durante el ciclo de conducción de carreas medias con la correspondiente autonomía obtenida para este ciclo y misma que se calcula en función del consumo (kWh/km) y la capacidad de la batería (27kWh).

Tabla 19. Consumo energético y autonomía del vehículo eléctrico durante el ciclo de conducción de carreras medias

Ciclo medio	
Parámetro	Magnitud
Distancia [km]	3.53
Consumo [kWh]	0.833
Consumo [kWh/km]	0.236
Autonomía [km]	114.427

2.3.3.3 Consumo energético obtenido en el ciclo de conducción largo

Similar a los dos ciclos de conducción anteriores, la tabla 20 detalla cada una de las fuerzas tractoras con los correspondientes parámetros (peso y pendiente) aplicados en la simulación del ciclo de conducción de carreas largas.

Tabla 20. Fuerzas tractoras aplicadas durante el ciclo de conducción de carreras largas

Ciclo	Peso [kg]	θ [rad]	F_{xa} [N]	R_r [N]	R_g [N]	R_T [N]
Largo	3 personas (1715 kg)	0.00	25.87	171.27	0.00	197.14
		0.011	25.87	171.26	185.06	382.19
		0.021	25.87	171.23	353.28	550.38



5 personas (1865 kg)	0.00	25.87	186.25	0.00	212.12
	0.011	25.87	186.24	201.25	413.36
	0.021	25.87	186.21	384.18	596.26
máximo (1960 kg)	0.00	25.87	195.74	0.00	221.61
	0.011	25.87	195.73	211.50	433.09
	0.021	25.87	195.69	403.75	625.31

Los resultados del consumo energético y el porcentaje de descarga de la batería para el ciclo de conducción de carreras largas se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. Consumo energético y descarga de la batería durante el ciclo de conducción de carreras largas

R_T [N]	Parámetro	Número de prueba				Promedio	Desviación
		1	2	3	4		
197.14	Descarga [%]	2.5	2.5	3	2.5	2.6	0.25
	Consumo [kWh]	1.1	1.1	1.2	1.1	1.13	0.05
382.19	Descarga [%]	3.5	3	3.5	3.5	3.4	0.25
	Consumo [kWh]	1.3	1.2	1.3	1.3	1.28	0.05
550.38	Descarga [%]	4	4	4.5	4	4.1	0.25
	Consumo [kWh]	1.5	1.5	1.6	1.5	1.53	0.05
212.12	Descarga [%]	2.5	3	3	3	2.9	0.25
	Consumo [kWh]	1.1	1.2	1.2	1.2	1.18	0.05
413.36	Descarga [%]	3.5	4	3.5	4	3.8	0.29
	Consumo [kWh]	1.3	1.4	1.3	1.4	1.35	0.06
596.26	Descarga [%]	4.5	4	4.5	4.5	4.4	0.25
	Consumo [kWh]	1.6	1.5	1.6	1.6	1.58	0.05
221.61	Descarga [%]	2.5	3	3	3.5	3.0	0.41
	Consumo [kWh]	1.1	1.2	1.2	1.3	1.20	0.08
433.09	Descarga [%]	3.5	4	4	4	3.9	0.25
	Consumo [kWh]	1.3	1.4	1.4	1.4	1.38	0.05
625.31	Descarga [%]	4.5	4.5	4.5	5	4.6	0.25
	Consumo [kWh]	1.6	1.6	1.6	1.7	1.63	0.05

El diagrama de Pareto de la figura 45 indica el efecto estandarizado y similar a los casos anteriores, indica que el parámetro más significativo es la pendiente a superar (B), seguido por el peso (A) y el efecto de interacción entre los dos parámetros (AB), mismo que tiene una influencia relativamente pequeña en la variación del consumo energético.

Consecuente con las gráficas de efectos, la figura 46 muestra que el peso debido a los diversos ocupantes influye en los valores de consumo, también la pendiente a superar y el consumo energético tiene menos dependencia del peso del vehículo que de la pendiente a superar.

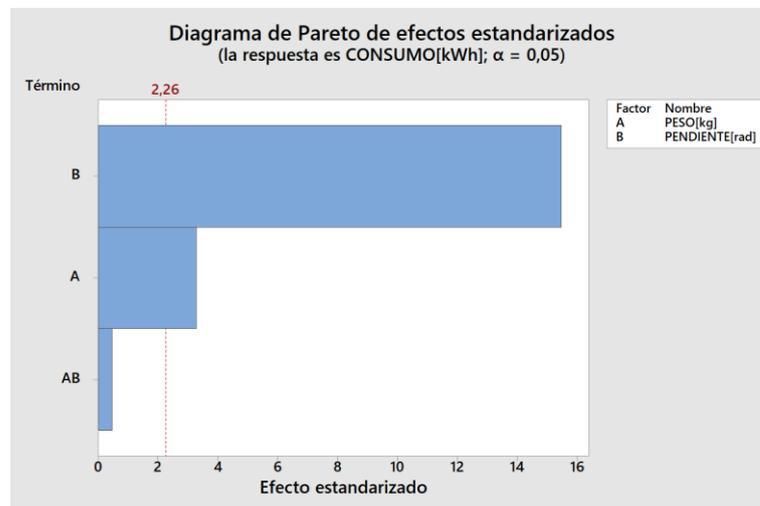


Fig. 45. Diagrama de Pareto para el consumo energético durante ciclo de conducción de carreas largas.

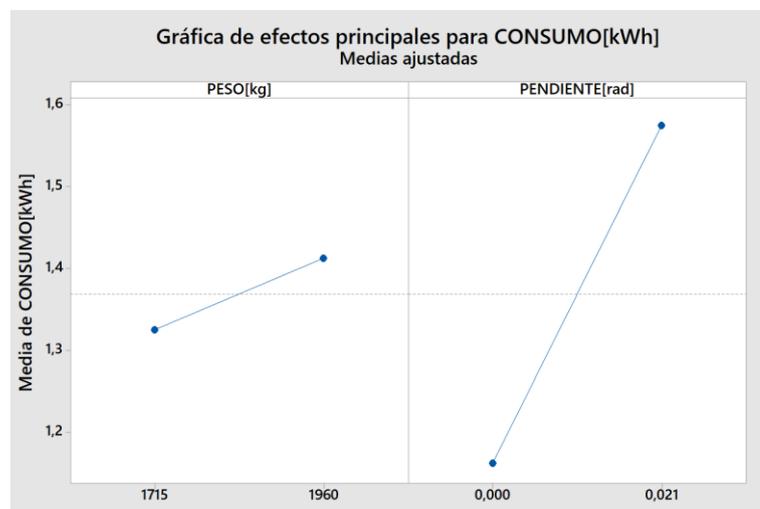


Fig. 46. Consumo energético en función del peso y la pendiente durante ciclo de conducción de carreas largas.

La interacción peso pendiente para el ciclo de conducción de carreras largas se muestra en la figura 47 para la media de consumo y se observa que el comportamiento es similar a los casos anteriores con una forma de curva polinómica y con un incremento en el consumo respecto a los anteriores ciclos, lo cual se debe a la mayor distancia recorrido de este ciclo.

Se corrobora con la figura 48, el comportamiento obtenido en los anteriores ciclos, es decir, a mayor pendiente y peso a superar, el consumo energético también será mayor y que la pendiente a superar influye más en el consumo que el peso que transporte el vehículo.

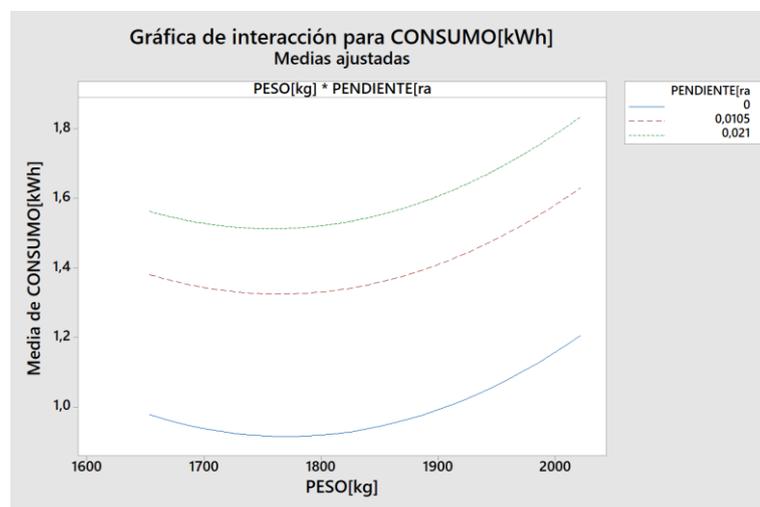


Fig. 47. Interacción del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas largas.

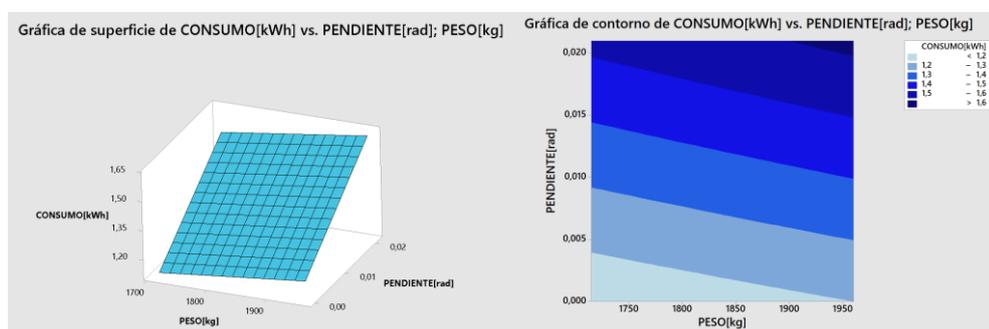


Fig. 48. Variación del consumo energético a diferentes pesos y pendientes durante ciclo de conducción de carreas largas.

La siguiente figura indica que el consumo energético óptimo durante el ciclo de conducción de carreas largas, así en las condiciones que muestra la franja blanca, se tiene un consumo mínimo de 1.348 kWh y un máximo de 1.368 kWh.

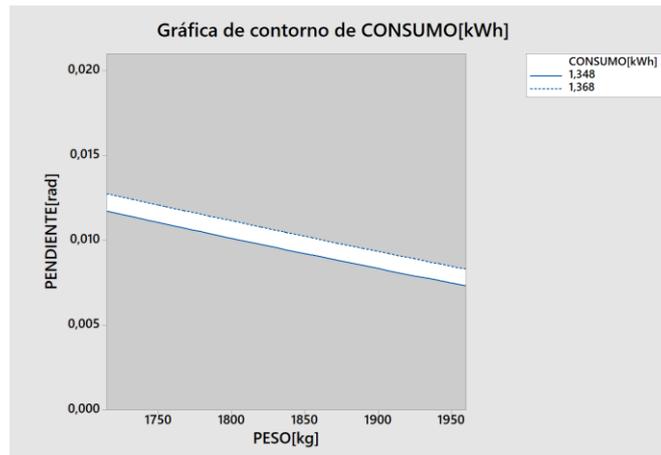


Fig. 49. Zona óptima para consumo energético.

La tabla 22 indica que el consumo energético promedio durante este ciclo es mayor a los otros, sin embargo, como se indica en la tabla, la autonomía es mayor debido a que el consumo por kilómetro o rendimiento es menor que los otros ciclos, lo cual se debe a la menor variación de pendiente en el perfil topográfico de este ciclo (figura 34) y porque en las carreras largas, generalmente, la velocidad es más constante con menos frenadas y aceleraciones.

Tabla 22. Consumo energético y autonomía del vehículo eléctrico durante el ciclo de conducción de carreras largas

Ciclo largo	
Parámetro	Magnitud
Distancia [km]	6.59
Consumo [kWh]	1.358
Consumo [kWh/km]	0.206
Autonomía [km]	131.023





CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN VEHÍCULO ELÉCTRICO O DE COMBUSTIÓN

Aunque cada proyecto de inversión es diferente a los demás, la metodología que se aplique debe tener la particularidad de adaptarse a cualquier proyecto según [55], quién además indica que dentro del proceso de preparación y evaluación de proyectos, entre otros aspectos, se debe hacer un estudio y evaluación económica del mismo.

En el presente capítulo se pretende hacer el estudio y evaluación económica con la finalidad de analizar la viabilidad como taxi de cada tipo de vehículo desde la perspectiva económica.

3.1 Estudio económico

En esta etapa concierne la determinación de la inversión inicial y los costos totales por operación y mantenimiento del vehículo. Las tablas que se muestran a continuación describen las operaciones de mantenimiento, insumos y precios de cada vehículo, información necesaria para estimar los costos totales.

3.1.1 Operaciones de mantenimiento y precios para el vehículo Kia Soul EV

La información mostrada desde la tabla 23 a la 26, es información proporcionada por el taller autorizado Motricentro Kia de Cuenca.

Tabla 23. Plan de mantenimiento preventivo Kia Soul EV

Descripción de operaciones	15-30-45-75-	60	120
	90-105		
Inspección visual de sistemas y mecanismos	o	o	o
Revisión y regulación de luces	o	o	o
Revisión de niveles	o	o	o
Diagnóstico de baterías 12 voltios	o	o	o
Revisión de presión de aire de neumáticos	o	o	o
Limpieza interior y exterior del vehículo	o	o	o



Cambio de filtro de aire acondicionado	0	0	0
Revisión sistema aire acondicionado	0	0	0
Diagnóstico computarizado	0	0	0
Limpieza y/o cambio de frenos delanteros y posteriores	0	0	0
Lubricación de cerraduras y bisagras de puertas	0	0	0
Reajuste de suspensión	0	0	0
Regulación freno de estacionamiento	0	0	0
Rotación de neumáticos	0	0	0
Cambio líquido de freno		0	0
Cambio refrigerante			0
Cambio aceite caja de reducción			0
Total de operaciones:	14	15	17

Tabla 24. Precio de insumos para mantenimiento preventivo Kia Soul EV

Descripción	Precio (USD)	Cantidad	Total (USD)
Aceite 75W85 GL4 LITRO (S-OIL)	16.11	2	32.22
Filtro de aire a/c	36.15	1	36.15
Limpiador piezas de freno	4.32	1	4.32
Líquido de frenos DOT 4 500ML (S)	5.57	2	11.14
Refrigerante 4L (S-OIL)	14.19	1	14.19

Tabla 25. Precio de mantenimiento preventivo Kia Soul EV en taller oficial

(km X 1000)	10	15	30
Precio (USD)	0	144.12	144.12
(km X 1000)	45	60	75
Precio (USD)	144.12	196.72	144.12
(km X 1000)	90	105	120
Precio (USD)	144.12	144.12	249.63

Precios incluyen mano de obra.



Tabla 26. Precio de mantenimiento correctivo Kia Soul EV en taller oficial

Descripción (reemplazo)	Precio		Mano de obra (USD)	Total (USD)
	Unitario (USD)	Cantidad		
Bomba de agua	783.47	1	52.5	835.97
Mangueta	224.06	2	52.5	500.62
Rodamiento-punta eje delantero	75.10	2	70	220.2
Manzana-eje posterior	305.10	2	35	645.2
Amortiguador delantero	112.76	2	56	281.52
Buje barra estabilizadora	10.39	2	17.5	38.28
Bieleta	50.42	2	24.5	125.34
Amortiguador posterior	91.95	2	56	239.9
Articulación de la dirección	49.73	2	24.5	123.96
Terminal de la dirección	140.9	2	17.5	158.4
Pastillas de freno - eje delantero	146.68	1	13.12	159.8
Pastillas de freno – eje posterior	92.79	1	13.12	105.91
Brazo de suspensión inferior	188.36	2	35	411.72
Neumáticos	121.99	4	26.24	514.2
Batería de alta tensión	n/a	1	n/a	n/a

n/a significa no hay información.

En cuanto a mantenimiento correctivo, el reemplazo de la batería de alta tensión es uno de los parámetros de mayor importancia a tener en cuenta en el estudio económico, sin embargo, en Motricentro Kia de Cuenca manifestaron que la información con respecto a este componente no está disponible, de todas formas, el jefe de taller estimó un precio de aproximadamente de 5000 USD. La cual es una cifra cercana a la dada en el artículo [10], que indica un precio actual para las baterías de iones de litio de 190 USD por kWh, haciendo que el costo de las baterías (de 27 kWh) para un Kia Soul EV sea de 5130 USD. En lo referente a la garantía en Ecuador, Kia da 10 años o 160000 km para las baterías de los vehículos eléctricos e híbridos [56].



3.1.2 Operaciones de mantenimiento y precios para los vehículos Hyundai Accent Estándar y Chevrolet Aveo Emotion GLS

Las tablas de la presente sección fueron elaboradas mediante información recopilada en Cuenca de: talleres automotrices, concesionarios de cada marca y almacenes de repuestos automotrices. Las operaciones de mantenimiento programado específicas de cada fabricante se encuentran en el manual del propietario de cada vehículo con MICA -Motor de Combustión Interna Alternativo- [57] [58].

Tabla 27. Mantenimiento preventivo y su precio para vehículos con MICA en un taller independiente

Descripción	Precio (USD)			
	Hyundai Accent		Chevrolet Aveo Emotion	
	MO / I	Total	MO / I	Total
Alinear ruedas	15	15	15	15
Balancear y rotar ruedas	10	10	10	10
Cambiar aceite y filtro de motor	2 / 20	22	2 / 20	22
Cambiar filtro de aire	5 / 10	15	5 / 6	11
Cambiar filtro de aire acondicionado	-	-	10 / 12	22
Cambiar filtro de combustible	10 / 5	15	10 / 5	15
Cambiar aceite caja	20 / 18	38	30 / 20	50
Cambiar aceite dirección hidráulica	20 / 15.28	35.28	20 / 15.28	35.28
Cambiar líquido de embrague	20	20	20	20
Cambiar líquido de freno	25	25	25	25
Cambiar refrigerante de motor	25	25	25	25
Cambiar termostato	15 / 10	25	15 / 15	30
Cambiar bujías	10 / 8	42	10 / 8	42
Cambiar bomba de combustible	40 / 40	80	40 / 40	80
Cambiar banda de distribución y templador	40 / 68	108	40 / 70	110
Cambiar banda de accesorios	15 / 15	30	15 / 15	30
Diagnostico computarizado	25	25	25	25
Limpiar revisar y regular frenos	20	20	20	20



Limpiar cuerpo de aceleración	30	30	30	30
Limpiar inyectores	35	35	35	35
Limpiar exterior e interior del vehículo	10	10	10	10
Lubricar cerraduras y bisagras	10	10	10	10
Reajustar suspensión	20	20	20	20
Regular freno de estacionamiento	20	20	20	20
Revisar y regular luces	10	10	10	10
Revisar presión de aire en neumáticos	5	5	5	5

MO significa mano de obra, I significa insumos.

El precio engloba todo el conjunto o juego de elementos según corresponda el caso.

Tabla 28. Mantenimientos correctivos en vehículos con MCIA en taller independiente

Descripción	Precio (USD)			
	Hyundai Accent		Chevrolet Aveo Emotion	
	MO / I	Total	MO / I	Total
Cambiar neumáticos	25 / 259.79	284.79	25 / 335.95	360.95
Cambiar pastillas-eje delantero	10 / 19.5	29.5	10 / 19.5	29.5
Cambiar pastillas-eje posterior	10 / 13	23	-	-
Cambiar zapatas-eje posterior	-	-	12 / 24.8	36.8
Cambiar rodamientos puntas de eje delanteras	50 / 90	140	50 / 120	170
Cambiar articulaciones axiales de la dirección	30 / 47.58	77.58	30 / 40	70
Cambiar terminales de la dirección	30 / 89.88	119.88	30 / 88	118
Cambiar bujes barra estabilizadora	20 / 6	26	20 / 6	26
Cambiar platos de suspensión	60 / 60	120	60 / 66	126



Cambiar bieletas de suspensión	20 / 20	40	20 / 16	36
Cambiar amortiguadores delanteros	60 / 110	170	60 / 78	138
Cambiar amortiguadores posteriores	50 / 110	160	50 / 68	118
Cambiar batería de 12 voltios	5 / 105	110	5 / 105	110
Reparar motor	620 / 819.43	1439.43	620 / 721.43	1341.43
Reemplazar kit de embrague	70 / 70	140	70 / 85	155
Reemplazar inyectores	20 / 180	200	20 / 316	336
Reemplazar propulsores	80 / 135	215	80 / 100	180
Rectificar discos de freno	30	30	30	30
Rectificar tambores de freno	30	30	30	30

MO significa mano de obra, I significa insumos.

El precio engloba el repuesto de ambos lados (izquierdo y derecho) o el juego completo, según corresponda el caso.

Tabla 29. Precio de la operación de mecanizado en reparación de MCIA de 1500 a 2400 cc

Descripción	Precio (USD)
Cambio de fundas	140
Rectificación de cabezote	40
Rectificación cigüeñal	40
Cepillado cabezote	40
Construcción de guías	40
Cambio de pistones	20
Armado, montaje y puesta a punto	300
Total:	620



Tabla 30. Precio de refacciones automotrices para reparación de MCI A

Descripción	Precio (USD)	
	Hyundai Accent	Chevrolet Aveo Emotion
Pistones standard	115	50
Juego de rines	45	24
Chapas de biela	15	12
Chapas de bancada	20	22
Sellos de válvulas	24	20
Juego de válvulas	115	80
Juego de empaques	100	135
Bomba de agua	19	25
Bomba de aceite	140	140
Bomba de combustible	40	40
Kit banda de distribución	68	70
Banda de accesorios	15	15
Juego de bujías	32	32
Juego de cable de bujías	35	24
Filtro de aire	10	6
Filtro de gasolina	5	5
Filtro de aceite	5	5
1 galón de aceite 20W 50 Kendall	16.43	16.43
Total:	819.43	721.43

Tabla 31. Precio de mantenimiento preventivo Hyundai Accent 2017 en taller oficial

(km X 1000)	1.5	5	10	15	20	25	30
Precio (USD)	0	64.62	127.04	64.62	220.26	64.62	234.90
(km X 1000)	35	40	45	50	55	60	65
Precio (USD)	64.62	220.26	64.62	131.03	97.68	376.10	64.62
(km X 1000)	70	75	80	85	90	95	100
Precio (USD)	127.04	64.62	220.26	64.62	234.90	64.62	279.95

Precios incluyen mano de obra.



Las tablas 32 y 34 fueron elaboradas mediante los planes de mantenimiento de cada fabricante y los valores monetarios de la tabla 27.

Tabla 32. Precio de mantenimiento preventivo Hyundai Accent 2017 en taller independiente

(km X 1000)	1.5	5	10	15	20	25	30
Precio (USD)	0	27	82	42	192	27	139
(km X 1000)	35	40	45	50	55	60	65
Precio (USD)	27	192	42	132	135	249	27
(km X 1000)	70	75	80	85	90	95	100
Precio (USD)	82	42	222	27	139	27	255

Precios incluyen mano de obra.

Tabla 33. Precio de mantenimiento preventivo Chevrolet Aveo Emotion 2017 en taller oficial

(km X 1000)	1	5	10	15	20	25	30
Precio (USD)	0	44.44	91.93	130.38	133.95	106.89	133.36
(km X 1000)	35	40	45	50	55	60	65
Precio (USD)	143.99	149.61	157.88	416.59	88.95	175.38	146.56
(km X 1000)	70	75	80	85	90	95	100
Precio (USD)	146.97	155.21	149.61	82.06	167.75	88.95	458.61

Precios incluyen mano de obra.

Tabla 34. Precio de mantenimiento preventivo Chevrolet Aveo Emotion 2017 en taller independiente

(km X 1000)	1	5	10	15	20	25	30
Precio (USD)	0	22	53	104	105	72	90
(km X 1000)	35	40	45	50	55	60	65
Precio (USD)	102.28	135	134	213	65	142	77
(km X 1000)	70	75	80	85	90	95	100
Precio (USD)	88.28	129	135	47	140	67	265

Precios incluyen mano de obra.

La siguiente tabla y figura fueron obtenidas a partir de las tablas de mantenimiento anteriores y son una comparación en cuanto a costos entre el vehículo eléctrico y los vehículos con motor de combustión.



Tabla 35. Comparación de precios entre mantenimientos preventivos realizados en talleres oficiales de cada marca

Costo total mantenimiento preventivo (USD/km X 1000)		
Kia Soul EV	Hyundai Accent 2017	Chevrolet Aveo Emotion 2017
1092.56/100	2851/100	3169.07/100

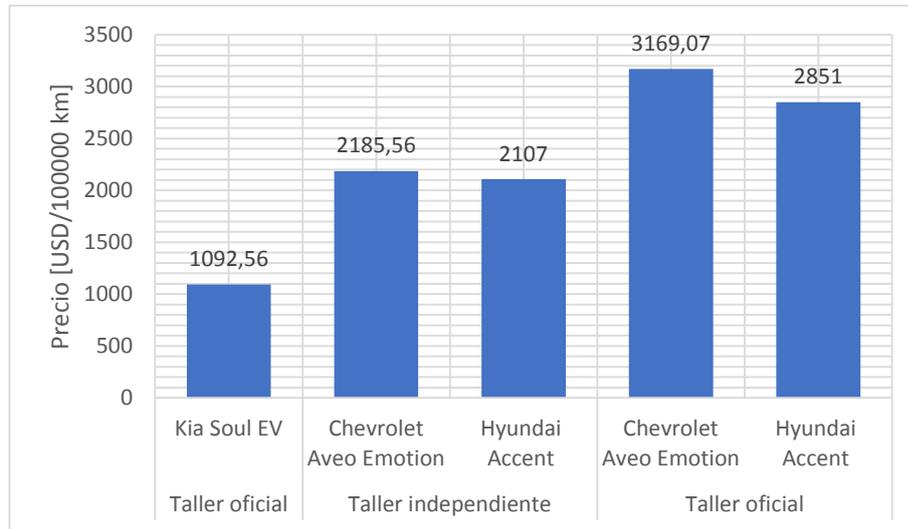


Fig. 50. Comparación entre costos de mantenimiento preventivo realizados en talleres independientes y oficiales

3.1.3 Costos operacionales

La ANT, en su metodología para la fijación de tarifas del taxi convencional [59] clasifica y define los costos operacionales de una unidad de taxi en costos de capital, costos fijos y costos variables.

3.1.3.1 Costo de capital

En la metodología se define costo de capital como los valores monetarios cubiertos por el propietario que son generados por las obligaciones financieras desde la adquisición de la unidad [59]. Los costos de capital para el análisis se muestran en la tabla 36 donde el costo del cupo en la empresa es un rubro únicamente informativo, porque el propietario que renueva la unidad ya cuenta con el cupo en la empresa y en todo caso si se tratase de una persona que ingresa por primera vez, siempre y cuando lo haga con un vehículo eléctrico, no tendría que pagar por el cupo ya que según [60] existe acercamiento entre el gremio y el Municipio de Cuenca para que se incremente



un cupo por cada empresa de taxis que opera en la ciudad en caso de implementarse los taxis eléctricos.

Tabla 36. Inversión inicial o costo del capital por unidad de taxi

#	Rubro	Vehículo		
		Soul EV	Accent	Aveo Emotion
1	Precio del vehículo (USD)	30990	19990	20690
2	Precio del cupo en la empresa (USD)	45000	45000	45000

El precio corresponde a un vehículo nuevo del año adquirido en la casa comercial o concesionario correspondiente de cada marca.

El precio del cupo es aproximado ya que es variable en función de la ubicación geográfica de la parada de taxi que tenga cada empresa.

3.1.3.2 Costos fijos

Son valores monetarios cubiertos por el propietario de la unidad de manera obligatoria independientemente del tiempo de operación del vehículo durante la prestación del servicio [59]. Se puede clasificar los costos fijos en los rubros que se muestran en la tabla 37 con su valor monetario correspondiente.

Tabla 37. Costos fijos por unidad para el servicio de transporte comercial de taxi

#	Rubro	Vehículo		
		Soul EV	Accent	Aveo Emotion
3	Sueldo del conductor (USD/mes)*	556.89	556.89	556.89
4	Impuesto Fiscal (USD/año)*	0	0	0
5	Tasa Matriculación Vehicular (USD/año)*	36	36	36
6	Impuesto Ambiental (USD/año)*	0	0	0
7	Impuesto al Rodaje (USD/año)*	30	25	30
8	Tasa SPPAT (USD/año)*	41.13	41.13	41.13
9	Revisión Vehicular (USD/año)*	9.9	9.9	9.9
10	Gastos administrativos (USD/año)	360	360	360
11	Kit de seguridad de la ANT (USD/año)*	40	40	40
12	Costo taxímetro e instalación (USD)	220	220	220



13	Garaje (USD/año)	300	300	300
----	------------------	-----	-----	-----

Los rubros correspondientes al Kia Soul EV se hacen con respecto al avalúo dado al vehículo por parte del SRI -Servicio de Rentas Internas- que es de 27992 USD, este valor y otros rubros se pueden comprobar en el sitio web del reporte de pagos de matriculación vehicular (ver anexo A).

Los valores monetarios* fueron calculados o consultados en concordancia a las entidades u organismos oficiales de control como: Ministerio del Trabajo, SRI, ANT y EMOV EP.

Los valores de la tabla anterior son generales, algunos de ellos, como el impuesto al rodaje o la revisión vehicular varían de acuerdo con el municipio del cantón de matriculación correspondiente.

3.1.3.3 Costos variables

Son rubros que deben ser cubiertos y cambian en función del tiempo y cantidad de kilómetros recorridos por la unidad [59]. Quedan expresados en la tabla 39 con su respectivo valor monetario.

En las tablas 26 y 28 del presente capítulo se planteó las operaciones de mantenimiento correctivo más comunes a realizar. La no ejecución de esas operaciones depende más del oportuno mantenimiento preventivo que del kilometraje que recorra el taxi, idealmente los mantenimientos de dichas tablas no deberían ejecutarse (a excepción del cambio de neumáticos, cambio del kit de embrague y de los elementos de frenado), por tal motivo, en costos variables y en el peor de los casos, se considerará que el mantenimiento correctivo de esas tablas se tendría que realizar máximo una vez cada operación durante los años de vida útil del taxi.

La duración de los neumáticos para los taxis de Cuenca es de aproximadamente 40000 km, para las pastillas, zapatas y embrague de 30000 km, 850000 km y 115000, respectivamente, esto según un estudio sobre la vida útil de los taxis en Cuenca [61]. Para el vehículo eléctrico se considera que las pastillas se cambiarán a los 85000 km ya que en este tipo de vehículos sufren menos desgaste gracias al sistema de freno regenerativo.

Por otro lado, para el cálculo del costo de la energía consumida (USD/kWh) del Kia Soul EV se considera el cuadro tarifario (tabla 38), la capacidad de la batería (27 kWh) y el tiempo de carga que es 5 horas mediante conector Yazaki en carga lenta; con lo cual se tiene que la batería carga 5.4 kW en 1 hora y partiendo de las siguientes premisas:



- El vehículo eléctrico consumirá prácticamente la totalidad de energía almacenada en la batería durante una jornada de trabajo
- El vehículo eléctrico será recargado en las siguientes franjas horarias: 4 horas en la franja de 18h00 hasta 22h00 y una 1 hora en la franja de 22h00 hasta 08h00

Se tiene la ecuación (6):

$$CE = 5.4 \text{ kW} \cdot 4 \text{ h} \cdot 0.1 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} + 5.4 \text{ kW} \cdot 1 \text{ h} \cdot 0.05 \frac{\text{USD}}{\text{kWh}} + 0.047 \text{ USD} \quad (6)$$
$$CE_{\text{diario}} = 2.48 \text{ USD}$$

CE representa el consumo energético diario del vehículo. Si ahora se hace un cálculo anual considerando que el año tiene 313 días laborables, se tiene:

$$CE_{\text{anual}} = 2.48 \text{ USD} \cdot 313$$

$$CE_{\text{anual}} = 776.24 \text{ USD}$$

Dividiendo CE para 12 meses, se tiene que, aproximadamente, el propietario debería pagar planillas de luz mensuales de:

$$CE_{\text{mensual}} = \frac{776.24 \text{ USD}}{12}$$

$$CE_{\text{mensual}} = 64.69 \text{ USD}$$

De las tablas 16, 19 y 22 se obtiene 123 km de autonomía como media, que sería el kilometraje máximo diario que puede recorrer en Cuenca un taxi Kia Soul EV con una sola carga. Esta magnitud permite calcular el costo de energía por kilómetro:

$$CE_{\text{kilómetro}} = \frac{2.48 \text{ USD}}{123 \text{ km}}$$

$$CE_{\text{kilómetro}} = 0.02 \frac{\text{USD}}{\text{km}}$$



Tabla 38. Tarifas de energía eléctrica de la Agencia de Control y Regulación de Electricidad

Periodo (2017):		enero-diciembre	
Empresas eléctricas:		Ambato-Azogues-CNEL Bolívar-CENTROSUR-Cotopaxi-Norte-Riobamba-Sur	
Cargos tarifarios únicos			
Rango de consumo	Demanda (USD/kW)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/consumidor)
Vehículos eléctricos			
L-V: 08h00 hasta 18h00		0.08	
L-D: 18h00 hasta 22h00		0.1	
L-D: 22h00 hasta 08h00	4.050		1.414
SyD: 08h00 hasta 18h00		0.05	

El consumo energético de los vehículos con MCIA son de 27 mpg [62] y 24.75 mpg [63], para el Accent y el Aveo Emotion, respectivamente, para modelos del 2017.

$$CE_{kilómetro-Accent} = \frac{1 \text{ gal}}{27 \text{ mi}} \cdot \frac{1 \text{ mi}}{1.609 \text{ km}} \cdot \frac{1.48 \text{ USD}}{1 \text{ gal}}$$

$$CE_{kilómetro-Accent} = 0.034 \frac{\text{USD}}{\text{km}}$$

$$CE_{kilómetro-Aveo} = \frac{1 \text{ gal}}{24.75 \text{ mi}} \cdot \frac{1 \text{ mi}}{1.609 \text{ km}} \cdot \frac{1.48 \text{ USD}}{1 \text{ gal}}$$

$$CE_{kilómetro-Aveo} = 0.037 \frac{\text{USD}}{\text{km}}$$

Las anteriores mediciones son muy próximas a la realidad del sector, lo cual se demuestra si se divide el promedio de costo de combustible de los taxis de Cuenca [61] para el KVR [45]:

$$CE_{media-taxis} = \frac{7.945 \text{ USD}}{200.29 \text{ km}}$$

$$CE_{media-taxis} = 0.04 \frac{\text{USD}}{\text{km}}$$

En la tabla 39 no se considera el mantenimiento correctivo en el taller oficial para los vehículos de MCIA porque la realidad socioeconómica del Ecuador indica que pocos



propietarios de vehículos realizan ese tipo de mantenimiento en esos talleres ya que el costo es más elevado y sobre todo la reparación de motor, por su parte, para el vehículo eléctrico tanto el mantenimiento preventivo como el correctivo se realizaría en un concesionario oficial porque se supondrá que fuera de este no se cuenta con técnicos ni talleres especializados por tratarse de una tecnología nueva en el país, además de que en principio ningún propietario se animaría a llevar el vehículo a un taller independiente o particular no perteneciente a la marca.

Tabla 39. Costos variables por unidad de taxi

#	Rubro	Costo (USD)		
		Soul EV	Accent	Aveo Emotion
14	Consumo de combustible/energía eléctrica (USD/km)	0.02	0.034	0.037
15	Batería de alta tensión (USD/160000 km)	5130	-	-
16	Cambio de pastillas (USD/85000 km)	265.71	-	-
17	Cambio de pastillas (USD/30000 km)	-	52.5	29.5
18	Cambio de zapatas (USD/85000 km)	-	-	36.8
19	Cambio de neumáticos (USD/40000 km)	514.2	284.79	360.95
20	Cambio kit de embrague (USD/115000 km)	-	140	155
21	Mantenimiento preventivo en taller oficial (USD/100000 km)	1092.56	2851	3169.07
22	Mantenimiento preventivo en taller independiente (USD/100000 km)	-	2107	2185.56
23	Mantenimiento correctivo en taller oficial (USD/15 años)	1599.32	-	-
24	Mantenimiento correctivo en taller independiente (USD/15 años)	-	3017.89	2984.43

En el mantenimiento correctivo del Kia Soul EV no se considera el reemplazo del cubo de rueda o manzana, mangueta y bomba de agua (al igual que en el mantenimiento correctivo de los vehículos con MCIA).

3.2 Evaluación económica

Esta sección describe y aplica la metodología que se usa en la evaluación económica del proyecto y así decidir con respecto a la implementación del vehículo eléctrico como taxi en la ciudad de Cuenca.



El dinero deprecia su valor real con el paso del tiempo aproximadamente a una tasa igual al nivel de inflación vigente, es por tal motivo que toma importancia en la evaluación de proyectos métodos como el TIR -Tasa Interna de Retorno- y el VAN -Valor Actual Neto- [55].

VAN se define como valor monetario resultante de la diferencia entre la inversión inicial y los flujos netos de efectivo o flujos netos de caja. La ecuación para calcular el valor actual neto es:

$$VAN = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FNE_n}{(1+i)^n} \quad (7)$$

Donde:

I_0 = inversión inicial

FNE = enésimo flujo neto efectivo

n = enésimo periodo capitalización

i = tasa de descuento o costo de capital

En el análisis del VAN resultan los siguientes casos:

$VAN \geq 0 \rightarrow$ se acepta la inversión

$VAN < 0 \rightarrow$ se rechaza la inversión

Un valor positivo del VAN indica que se obtienen ganancias iguales a lo largo de los n periodos por una cantidad igual a la tasa de descuento aplicada i mas el valor del VAN y en el caso de que VAN sea 0 solo se ganará la tasa de descuento [55].

TIR es la tasa de descuento para la que el VAN es igual a 0 y se calcula mediante la ecuación (8):

$$0 = -I_0 + \sum_{n=1}^N \frac{FNE_n}{(1+TIR)^n} \quad (8)$$

En el análisis del TIR resultan los siguientes casos:

$TIR \geq i \rightarrow$ se acepta la inversión

$TIR < i \rightarrow$ se rechaza la inversión

TIR representa el rendimiento real de la inversión o la tasa máxima de rentabilidad que soporta esa inversión, lo cual se puede evidenciar en la figura 51, donde se observa un VAN positivo para la tasa r_1 y un VAN negativo para la tasa r_2 y TIR como el punto de equilibrio.

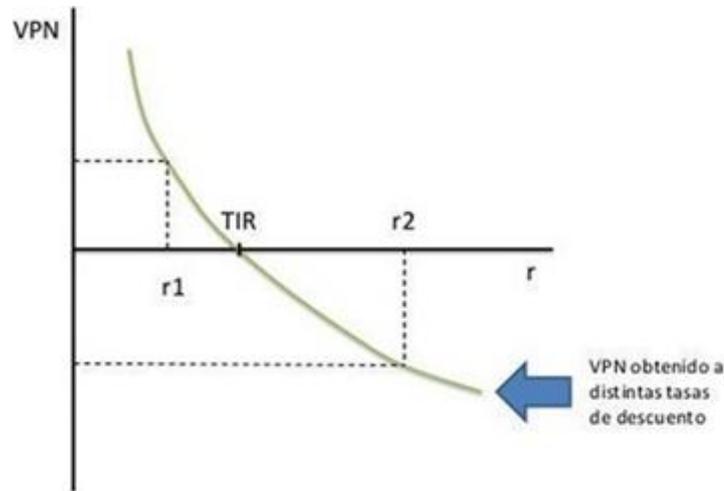


Fig. 51. Relación que existe entre el VAN y TIR.

La evaluación económica puede incluir un análisis de costo-beneficio y es una relación que se obtiene al dividir el valor actual de los ingresos totales netos entre el valor actual de los costos de inversión o costos totales y se expresa por medio de la siguiente ecuación:

$$R_{b/c} = \frac{VAN_{\text{ingresos totales}}}{VAN_{\text{egresos totales}}} \quad (9)$$

El criterio en la toma de decisión sobre la inversión es:

$$R_{b/c} > 1 \rightarrow \text{se acepta la inversión}$$

$$R_{b/c} \leq 1 \rightarrow \text{se rechaza la inversión}$$

El FNE -Flujo Neto Efectivo- se estima a partir de los ingresos por las carreras realizadas (flujo positivo) y los gastos (flujos negativos) por la prestación del servicio; la información de flujo positivo se obtuvo mediante el trabajo de maestría [64] cuya base de datos que entre otros, muestra el número de carreras diarias y la distancia, parámetros importantes ya que mediante el uso de las tarifas de taxi en Cuenca (tabla 11 del presente documento) y una hoja de Excel (ver anexo digital B) fue posible estimar una media de ingresos de un taxi, tabla 40.



De acuerdo con [65], un taxi que trabaja hasta 11 horas diarias en promedio puede realizar 17.11 carreras, mientras que uno que trabaja hasta 24 horas puede llegar a 29.44 carreras, valor próximo a la media obtenida mediante la base de datos de [64] que resulta ser de 29.41 carreras diarias (anexo digital B) para el taxi de pruebas que trabajó aproximadamente las 24 horas.

Tabla 40. Promedio de carreras e ingresos obtenidos por los taxis que operan en la ciudad de Cuenca

Horas de trabajo aproximadas	Carrera/día	Ingresos (USD/día)	Ingresos (I) (USD/año)
11	17.11	33.19	10388.47
24	29.41	60.41	18908.33
Media:		46.8	14648.4

Con 313 días laborables al año y el KVR de un taxi en Cuenca, se puede estimar los kilómetros recorridos al año por un vehículo (tabla 41), por su parte, el vehículo eléctrico en el mejor de los casos podrá recorrer hasta 123 km diarios, de acuerdo a la media calculada de las pruebas experimentales en el capítulo II.

Tabla 41. Distancias anuales recorridas por un taxi eléctrico y un taxi con motor de combustión

Tipo de taxi	Distancia anual recorrida [km]
Vehículo eléctrico	38499
Vehículo con motor de combustión	62690.77

Los flujos negativos se calculan mediante las tablas 36, 37, 39 y 41 como se muestra en las siguientes sesiones.

3.2.1. Kia Soul EV

La inversión inicial queda definida mediante la siguiente ecuación:

$$I_o = R_1 + R_{12} \quad [\text{USD}] \quad (10)$$

$$I_o = (30990 + 220)\text{USD} = 31210 \text{ USD}$$

Donde:



R_n = enésimo rubro descrito en las tablas de costo

Los gastos anuales de operación y mantenimiento se definen mediante la ecuación (11):

$$G_a = R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{13} + R_{14} + R_{15} + R_{16} + R_{19} + R_{21} + R_{23} \quad [\text{USD/año}] \quad (11)$$

$$G_a = \left(6682.68 + 36 + 30 + 41.13 + 9.9 + 360 + 40 + 300 + \left(\left(0.02 + \frac{5130}{160000} + \frac{265.71}{85000} + \frac{514.2}{40000} + \frac{1092.56}{100000} \right) \cdot \frac{38499 \text{ km}}{\text{km}} \right) + \frac{1599.32}{15} \right) \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$G_a = 10646.56 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

El flujo neto efectivo queda definido por la ecuación (12) y es equivalente para todos los periodos capitalizables del proyecto, excepto para el primer y último periodo. La ANT en su resolución [59] determina que el rubro por el Kit de seguridad deberá ser pagado a partir del segundo año de operación de la unidad y para $N = 15$ se considera un valor de salvamento mínimo de 5000 USD:

$$FNE_n = I - G_a \quad [\text{USD}] \quad (12)$$

$$FNE_n = (10388.47 - 10646.56) \frac{\text{USD}}{\text{año}} = -258.09 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

De la tabla 40 se elige $I = 10388.47 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$ para el Kia Soul EV, porque su autonomía no alcanza el KVR de los taxis en Cuenca, por tanto, en el mejor de los casos podría realizar 17 carreras al día aproximadamente. El resultado de la ecuación (12) indica que el flujo de egresos es mayor al flujo de ingresos, en la tabla 42 se muestran resultados con una tasa de interés del 10.21% fijada por el Banco Central del Ecuador para el sector productivo empresarial.



Tabla 42. Resultados de evaluación económica Kia Soul EV

<i>i</i>(%)	10.21	<i>VAN</i> (USD)	-31950.27	<i>TIR</i> (%)	-0.14	<i>R_{b/c}</i>	0.70
Periodo	0		1		2		3
FNE (USD)	-31210		-218,09		-258,09		-258,09
Periodo	4		5		6		7
FNE (USD)	-258,09		-258,09		-258,09		-258,09
Periodo	8		9		10		11
FNE (USD)	-258,09		-258,09		-258,09		-258,09
Periodo	12		13		14		15
FNE (USD)	-258,09		-258,09		-258,09		4741.91

Se hace una segunda evaluación económica sin considerar el sueldo del conductor, lo cual es discutible ya que sea una persona contratada o sea el propietario de la unidad quien conduce el taxi, debe tener una retribución salarial por su trabajo.

Tabla 43. Resultados de segunda evaluación económica Kia Soul EV

<i>i</i>(%)	10.21	<i>VAN</i> (USD)	18275.19	<i>TIR</i> (%)	19	<i>R_{b/c}</i>	1.30
Periodo	0		1		2		3
FNE (USD)	-31210		6464.59		6424.59		6424.59
Periodo	4		5		6		7
FNE (USD)	6424.59		6424.59		6424.59		6424.59
Periodo	8		9		10		11
FNE (USD)	6424.59		6424.59		6424.59		6424.59
Periodo	12		13		14		15
FNE (USD)	6424.59		6424.59		6424.59		11424.59

Caso donde no representa un gasto el sueldo del conductor

3.2.2 Hyundai Accent

La inversión inicial es:

$$I_o = R_1 + R_{12}$$

$$I_o = (19990 + 220)USD = 20210 USD$$



Para este vehículo, la ecuación (11) de los gastos anuales de operación y mantenimiento quedan definidos de la siguiente forma:

$$G_a = R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{13} + R_{14} + R_{17} + R_{19} + R_{20} + R_{21} + R_{24}$$

$$G_a = \left(6682.68 + 36 + 25 + 41.13 + 9.9 + 360 + 40 + 300 + \left((0.034 + \frac{52.5}{30000} + \frac{284.79}{40000} + \frac{140}{115000} + \frac{2851}{100000}) \cdot \frac{62690.77 \text{ km}}{\text{km}} \right) + \frac{3017.89}{15} \right) \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

$$G_a = 12247.07 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

De la tabla 40 se elige $I = 14648.4 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$ para el Hyundai Accent, así como para el Chevrolet Aveo Emotion ya que es la media de ingresos para los taxis por la prestación del servicio. El flujo neto efectivo queda establecido como:

$$FNE_n = I - G_a$$

$$FNE_n = (14648.4 - 12247.07) \frac{\text{USD}}{\text{año}} = 2401.33 \frac{\text{USD}}{\text{año}}$$

De igual forma se debe tener en cuenta que el Kit de seguridad no se paga el primer año y en el último año se considera el mismo valor de salvamento.

Tabla 44. Resultados de evaluación económica Hyundai Accent

$i(\%)$	10.21	VAN (USD)	-962.7	TIR (%)	9	$R_{b/c}$	0.99
Periodo	0		1		2		3
FNE (USD)	-20210		2441,33		2401,33		2401,33
Periodo	4		5		6		7
FNE (USD)	2401,33		2401,33		2401,33		2401,33
Periodo	8		9		10		11
FNE (USD)	2401,33		2401,33		2401,33		2401,33
Periodo	12		13		14		15
FNE (USD)	2401,33		2401,33		2401,33		7401,33

Caso de mantenimiento preventivo en taller oficial



Según los resultados de VAN y TIR de la tabla 44, se debe rechazar la inversión en un vehículo Hyundai Accent, cabe destacar que en este caso se consideró como egresos el sueldo del conductor y los egresos por dar mantenimiento preventivo al vehículo en un taller oficial. A continuación, se analiza el caso con la variante de mantenimiento preventivo en un taller independiente (menor egreso).

Tabla 45. Resultados de segunda evaluación económica Hyundai Accent

$i(\%)$	10.21	VAN (USD)	2542.8	TIR (%)	12	$R_{b/c}$	1.02
Periodo	0		1	2	3		
FNE (USD)	-20210		2907.75	2867.95	2867.95		
Periodo	4		5	6	7		
FNE (USD)	2867.95		2867.95	2867.95	2867.95		
Periodo	8		9	10	11		
FNE (USD)	2867.95		2867.95	2867.95	2867.95		
Periodo	12		13	14	15		
FNE (USD)	2867.95		2867.95	2867.95	7867.95		

Caso de mantenimiento preventivo en taller independiente

Como muestran la tabla 45, este caso ya produce rentabilidad, por último, se plantea el caso que no se considera el egreso por sueldo del conductor, es decir, el propietario conduce el taxi y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 46. Resultados de tercera evaluación económica Hyundai Accent

$i(\%)$	10.21	VAN (USD)	52768.26	TIR (%)	47	$R_{b/c}$	1.90
Periodo	0		1	2	3		
FNE (USD)	-20210		9590.43	9550.43	9550.43		
Periodo	4		5	6	7		
FNE (USD)	9550.43		9550.43	9550.43	9550.43		
Periodo	8		9	10	11		
FNE (USD)	9550.43		9550.43	9550.43	9550.43		
Periodo	12		13	14	15		
FNE (USD)	9550.43		9550.43	9550.43	14550.43		

Caso de mantenimiento preventivo en taller independiente y sin gasto por sueldo del conductor



3.2.3 Chevrolet Aveo Emotion

La inversión inicial es:

$$I_o = R_1 + R_{12}$$

$$I_o = (20690 + 220)USD = 20910 USD$$

De igual forma, la ecuación (11) define los gastos anuales de operación y mantenimiento y para este caso queda:

$$G_a = R_3 + R_5 + R_7 + R_8 + R_9 + R_{10} + R_{11} + R_{13} + R_{14} + R_{17} + R_{18} + R_{19} + R_{20} \\ + R_{21} + R_{24}$$

$$G_a = \left(6682.68 + 36 + 30 + 41.13 + 9.9 + 360 + 40 + 300 + \left((0.037 + \frac{29.5}{30000} \right. \right. \\ \left. \left. + \frac{36.8}{85000} + \frac{360.95}{40000} + \frac{155}{115000} + \frac{3169.07}{100000} \right) \cdot \frac{62690.77 km}{km} \right) \\ \left. + \frac{2984.43}{15} \right) \frac{USD}{año}$$

$$G_a = 12743.93 \frac{USD}{año}$$

El flujo neto efectivo o flujo de caja es:

$$FNE_n = I - G_a$$

$$FNE_n = (14648.4 - 12743.93) \frac{USD}{año} = 1904.47 \frac{USD}{año}$$

Determinados los flujos de caja, se hace la evaluación económica de inversión para un vehículo Chevrolet Aveo Emotion y los resultados se muestra en las siguientes tablas para los tres casos. Si se compara, los resultados de las tablas 47, 48 y 49 tienen comportamiento similar a los resultados del vehículo Hyundai Accent con la diferencia que para invertir en un vehículo Chverolet Aveo Emotion solo el tercer caso (tabla 49) genera una rentabilidad.



Tabla 47. Resultados de evaluación económica Chevrolet Aveo Emotion

<i>i</i>(%)	10.21	<i>VAN</i> (USD)	-5396.99	<i>TIR</i> (%)	6	<i>R_{b/c}</i>	0.95
Periodo	0		1		2		3
FNE (USD)	-20910		1944.47		1904.47		1904.47
Periodo	4		5		6		7
FNE (USD)	1904.47		1904.47		1904.47		1904.47
Periodo	8		9		10		11
FNE (USD)	1904.47		1904.47		1904.47		1904.47
Periodo	12		13		14		15
FNE (USD)	1904.47		1904.47		1904.47		6904.47

Caso de mantenimiento preventivo en taller oficial

Tabla 48. Resultados de segunda evaluación económica Chevrolet Aveo Emotion

<i>i</i>(%)	10.21	<i>VAN</i> (USD)	-762.99	<i>TIR</i> (%)	10	<i>R_{b/c}</i>	0.99
Periodo	0		1		2		3
FNE (USD)	-20910		2561.04		2521.04		2521.04
Periodo	4		5		6		7
FNE (USD)	2521.04		2521.04		2521.04		2521.04
Periodo	8		9		10		11
FNE (USD)	2521.04		2521.04		2521.04		2521.04
Periodo	12		13		14		15
FNE (USD)	2521.04		2521.04		2521.04		7521.04

Caso de mantenimiento preventivo en taller independiente



Tabla 49. Resultados de tercera evaluación económica Chevrolet Aveo Emotion

<i>i</i>(%)	10.21	<i>VAN</i> (USD)	49462.47	<i>TIR</i> (%)	44	<i>R_{b/c}</i>	1.8
Periodo	0		1		2		3
FNE (USD)	-20910		9243.72		9203.72		9203.72
Periodo	4		5		6		7
FNE (USD)	9203.72		9203.72		9203.72		9203.72
Periodo	8		9		10		11
FNE (USD)	9203.72		9203.72		9203.72		9203.72
Periodo	12		13		14		15
FNE (USD)	9203.72		9203.72		9203.72		14203.72

Caso de mantenimiento preventivo en taller independiente y sin gasto por sueldo del conductor.

El siguiente capítulo analiza los resultados obtenidos de las tablas de evaluación económica aquí desarrolladas, al igual que los resultados del capítulo II.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Consumo energético y autonomía real del vehículo eléctrico

Para la determinación del consumo energético, se tomaron todas las muestras de forma aleatoria de cada uno de los tres ciclos de conducción y aplicando el diseño de experimentos factorial (DOE) se obtiene los efectos principales que se muestran en la figura 52, donde se observa que el parámetro que mayor consumo energético genera es el tipo de ciclo de conducción, seguido por la pendiente a superar y en menor medida el peso de los ocupantes en el vehículo, en otras palabras, variables como el estilo de conducción, tráfico vehicular, estado de las vías, distancia y tiempo de recorrido (implícitos en el ciclo de conducción) tienen mayor influencia sobre el consumo energético que la pendiente a superar y el peso del vehículo.

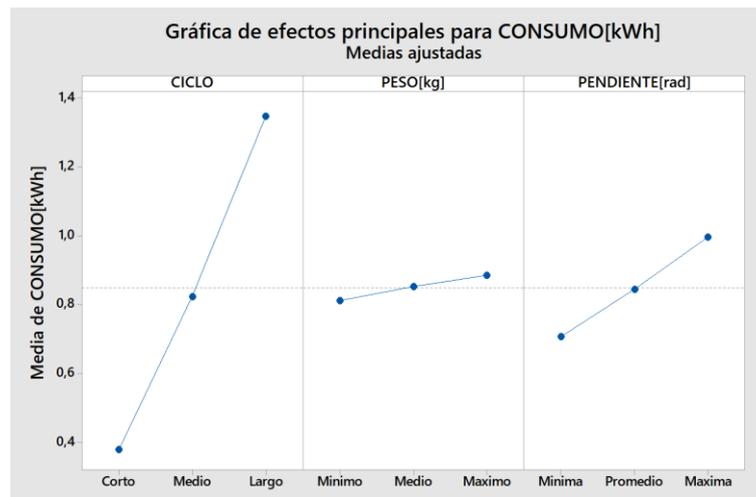


Fig. 52. Efectos principales para el consumo energético del vehículo eléctrico.

En la figura 53 se observa la interacción sobre la variable respuesta (consumo energético) en función del nivel de cada uno de los factores a considerar; tales como, el tipo de ciclo de conducción, peso y pendiente a superar. Las líneas paralelas indican que no hay interacción entre las variables, observando un mayor grado de interacción entre las variables: ciclo de conducción y la pendiente a superar; y en menor medida entre las variables: ciclo de conducción y peso.

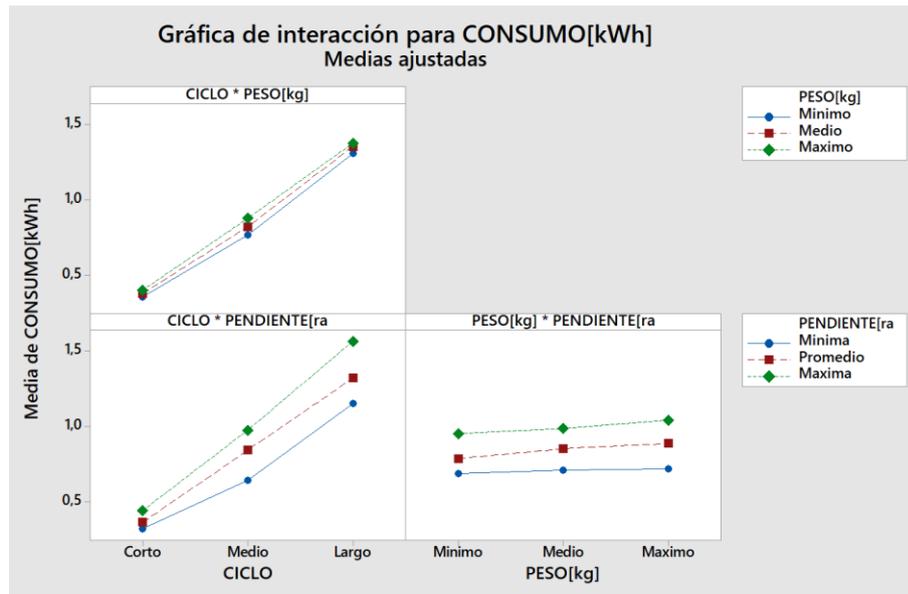


Fig. 53. Interacción de las variables independientes para el consumo energético del vehículo eléctrico.

Como se observó anteriormente la variable dependiente del análisis es el consumo energético y las variables independientes son: el tipo de ciclo de conducción el cual está caracterizado por la distancia de recorrido (km) y la velocidad promedio (km/h), adicionalmente el peso (kg) y la pendiente a superar (rad) que son las variables de entrada. En la figura 54 se observa el efecto de la variación de cada uno de estos factores sobre la variable respuesta, teniendo así que a mayor distancia de recorrido y pendiente a superar el consumo de energía aumenta considerablemente, mientras que la velocidad promedio y el peso no inciden de manera significativa sobre el consumo energético.

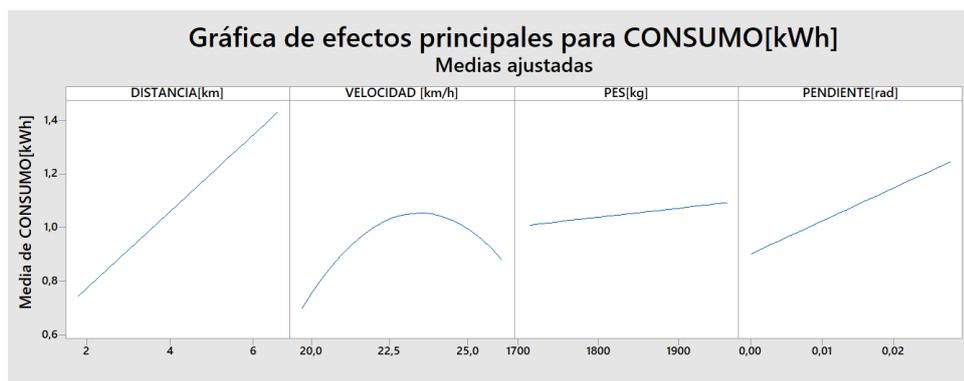


Fig. 54. Efectos principales de las variables independientes sobre el consumo energético del vehículo eléctrico.

La interacción entre la pendiente y la distancia de recorrido poseen una mayor significancia sobre el consumo de energía, como se observa en la siguiente figura.

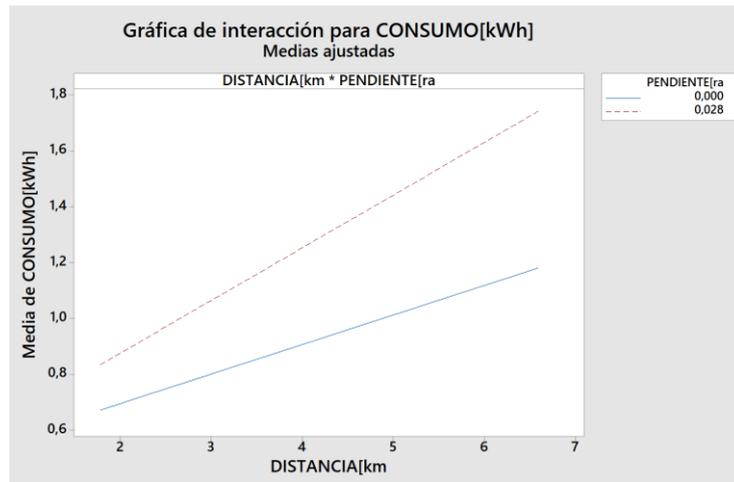


Fig. 55. Interacción distancia-pendiente sobre consumo energético del vehículo eléctrico.

A mayor distancia de recorrido y pendiente a superar, el consumo energético incrementa también en magnitud de la forma que se observa en la figura 56.

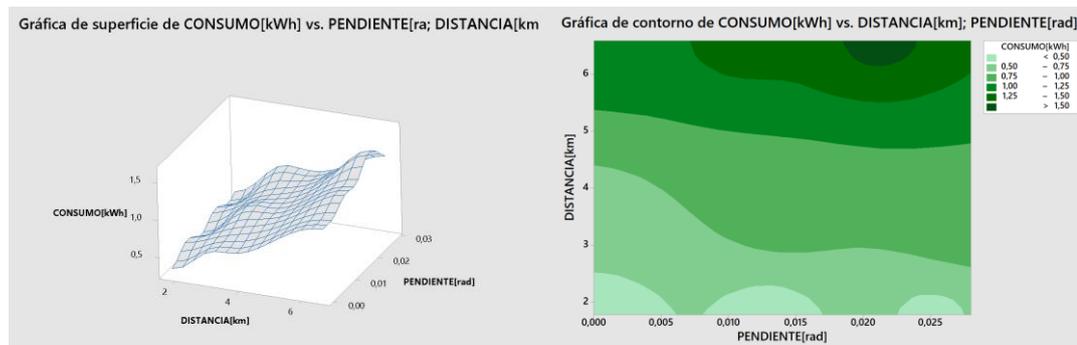


Fig. 56. Variación del consumo energético a diferentes distancias de recorrido y pendientes a superar.

En la figura 57 se observa que el consumo energético óptimo ocurre en las condiciones que muestra la franja blanca, con una velocidad promedio de 23.47 km/h y un peso aproximado de 1846.67 kg (5 ocupantes), obteniendo así un consumo mínimo de 0.849 kWh y un máximo de 0.869 kWh.

En la figura 58 se muestra una distancia de recorrido igual a 3.9631 km que se obtiene en función del consumo de energía promedio (0.8590 kWh), parámetros mediante los cuales se determina la autonomía del vehículo eléctrico (tabla 50).

En la tabla 50 se muestra el consumo energético promedio y a su vez la autonomía que proporciona el vehículo eléctrico; dicha autonomía es calculada en función del consumo (kWh/km) y la capacidad de la batería (27kWh).

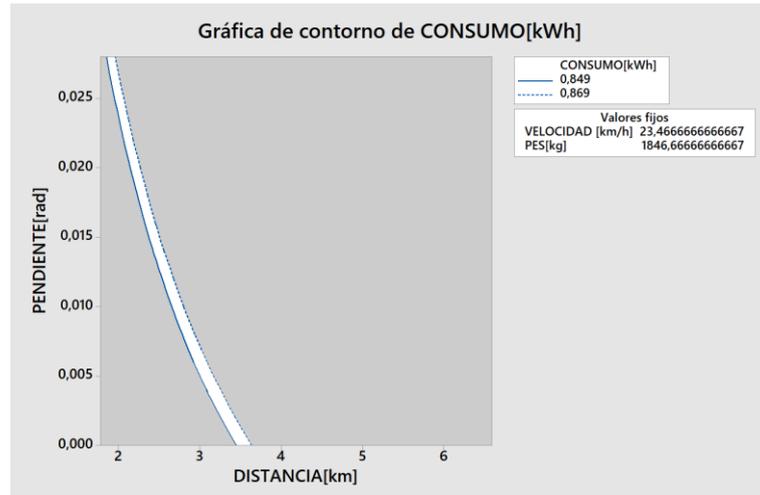


Fig. 57. Zona óptima para consumo energético.

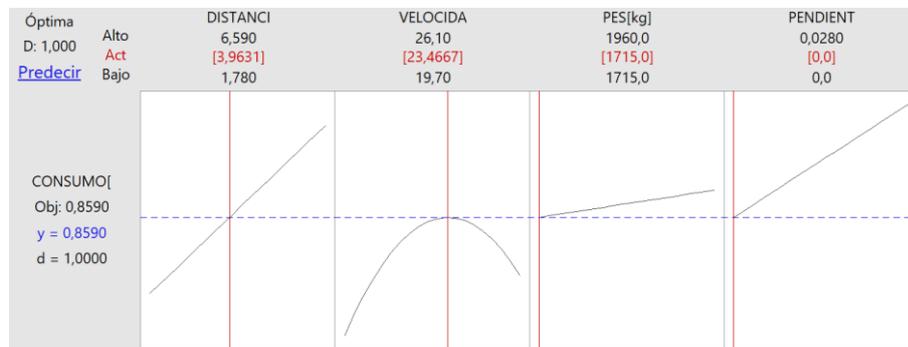


Fig. 58. Distancia de recorrido en función del consumo de energía promedio.

Tabla 50. Consumo energético y autonomía promedio del vehículo eléctrico determinado mediante ciclos de conducción representativos de los taxis de Cuenca

Consumo [kWh]	0.859
Rendimiento [kWh/km]	0.216
Autonomía [km]	124.863

4.2 Capacidad energética requerida para la batería del vehículo eléctrico

La capacidad real de la batería se obtiene en función del consumo y el recorrido diario del vehículo, mediante la ecuación.

$$Capacidad(kWh) = Consumo \left(\frac{kWh}{km} \right) \cdot Distancia \text{ de recorrido (km)} \quad (13)$$



Para calcular el valor de la capacidad de batería se considera los tres posibles casos de distancia de recorrido diarios vistos en el capítulo II que realizan las unidades de taxis, los mismos que se describen a continuación:

Caso 1. Distancia de recorrido diario mínimo igual a 134.58 Km

Caso 2. Distancia de recorrido diario promedio igual a 200.29 Km

Caso 3. Distancia de recorrido diario máximo igual a 272.08 Km

Tabla 51. Capacidad energética requerida en función de la distancia recorrida por los taxis en la ciudad de Cuenca

Ciclo	Distancia de Recorrido (km)	Capacidad de la batería (kWh)
Corto (0.218 kWh/km)	134.58	29,34
	200.29	43,66
	272.08	59,31
Medio (0.236 kWh/km)	134.58	31,76
	200.29	47,27
	272.08	64,21
Largo (0.206 kWh/km)	134.58	27,72
	200.29	41,26
	272.08	56,05
Promedio (0.216 kWh/km)	134.58	29,07
	200.29	43,26
	272.08	58,77

En la figura 59 se observa que la batería de 27 kWh con la que está equipado el vehículo eléctrico actualmente, permite una autonomía con una distancia de recorrido menor a los 135 km, mientras tanto que para satisfacer una distancia de recorrido diario promedio de 200 km, el vehículo debería poseer una batería con una capacidad mayor o igual a los 43 kWh.

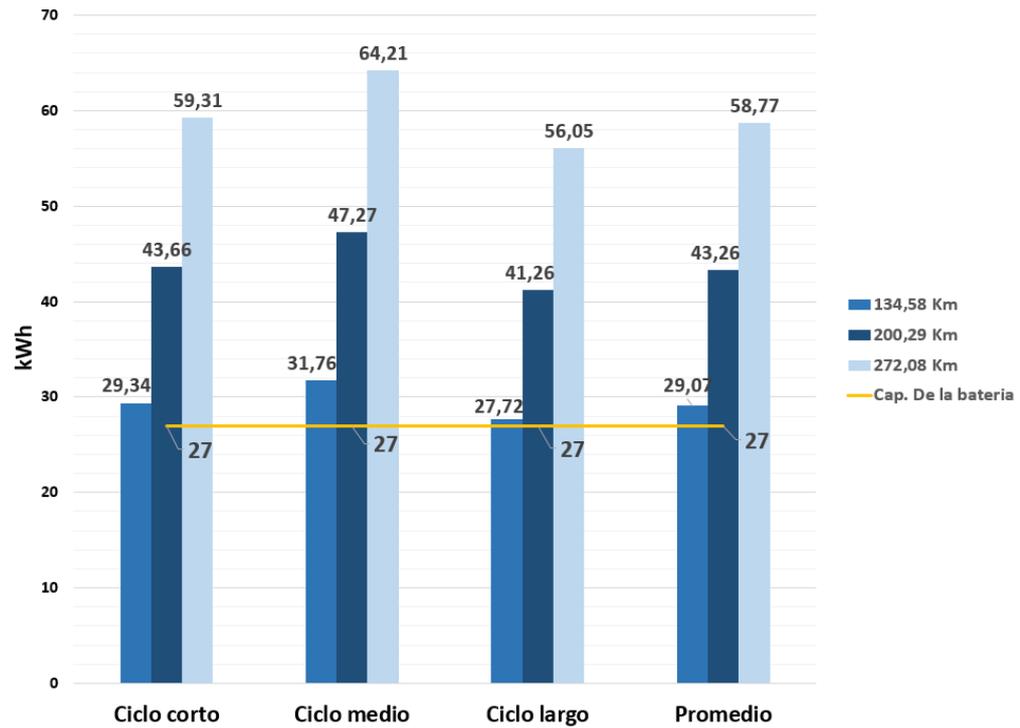


Fig. 59. Capacidad energética requerida por la batería del vehículo eléctrico.

Por otro lado, si se toma en cuenta que algunos taxis llegan a recorrer más de 300 km durante una jornada laborable según [45], ni la capacidad energética más alta observada en la figura 59 (64.21 kWh) sería suficiente para cubrir esa demanda de kilómetros.

4.3 Viabilidad económica del vehículo eléctrico

Como se ha visto en el capítulo III, se consideraron diferentes circunstancias o casos en la evaluación económica, los resultados obtenidos se resumen en la tabla 52 y los casos son:

- Caso 1. Mantenimiento preventivo en taller oficial
- Caso 2. Mantenimiento preventivo en taller independiente
- Caso 3. Mantenimiento preventivo en taller independiente y sin gasto por sueldo del conductor



Tabla 52. Resumen de la evaluación económica considerando los tres casos

Vehículo		<i>VAN</i> (USD)	<i>TIR</i> (%)	<i>i</i>(%)	<i>R_{b/c}</i>	Viabilidad
Soul EV	Caso 1	-31950.27	-0.14	10.21	0.71	No
	Caso 3	18275.19	19	10.21	1.3	Si
	Caso 1	-962.7	9	10.21	0.99	No
Accent	Caso 2	2542.80	12	10.21	1.02	Si
	Caso 3	52768.26	47	10.21	1.9	Si
	Caso 1	-5396.99	6	10.21	0.95	No
Aveo	Caso 2	-762.99	10	10.21	0.99	No
Emotion	Caso 3	49462.47	44	10.21	1.8	Si

Caso 3 para el Kia Soul EV considera mantenimiento en un taller oficial y sin gasto por sueldo del conductor.

Los cálculos de VAN, TIR y relación costo-beneficio se hicieron directamente en una hoja de Excel con fórmulas de ese programa (ver anexo digital C).

Los resultados de la tabla 52 muestran que la inversión en un vehículo eléctrico es viable económicamente para el caso 3 ya que $VAN > 0$, $TIR > i$ y $R_{b/c} > 1$, siempre y cuando la autonomía (125 km) sea suficiente para cubrir el cupo de carreras mínimo (17 carreras, ver tabla 40) que permita obtener los ingresos para generar la rentabilidad que se observa en la tabla; lo cual no necesariamente es así, en otras palabras, la incertidumbre de si la autonomía alcanzará para cubrir ese cupo de carreras hace que el proyecto de inversión para el vehículo eléctrico (caso 3) sea de alto riesgo y como hay proyectos de inversión (vehículos Accent y Aveo) mucho más rentables y con riesgo relativamente más bajo, hacen que invertir en un Kia Soul EV para taxi sea descartable.

Para los tres vehículos analizados, la tabla 52 muestra que solo el caso 3 genera rentabilidad relativamente alta, lo cual significa que no resulta beneficioso invertir en un taxi si se va a contratar un conductor, al menos de forma permanente, excepto por el caso 2 para el Hyundai Accent, el cual sin embargo genera baja rentabilidad.

En la figura 60 se observa las inversiones más rentables que son los vehículos con motor de combustión Hyundai Accent y Chevrolet Aveo Emotion, por encima del vehículo eléctrico Kia Soul EV; este último tiene un riesgo de inversión muy alto debido a su baja autonomía que no cubre el recorrido promedio o KVR (200.29 km) de los taxis en Cuenca.

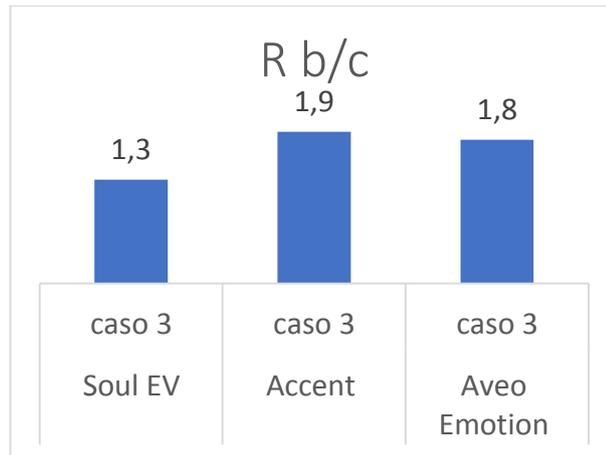


Fig. 60. Relación costo-beneficio de los proyectos de inversión más rentables.

Como interpretación de la relación costo-beneficio de la figura anterior, para el caso de rentabilidad más alto (Hyundai Accent), se tiene: de la inversión realizada, se recupera el capital de inversión y por cada 1 USD invertido se obtiene 0.9 USD de rentabilidad.

De la figura 61 a la 64 se muestra el periodo en el cual se recupera la inversión inicial y las ganancias promedio esperadas para los cuatro proyectos de inversión que son viables (tabla 52).

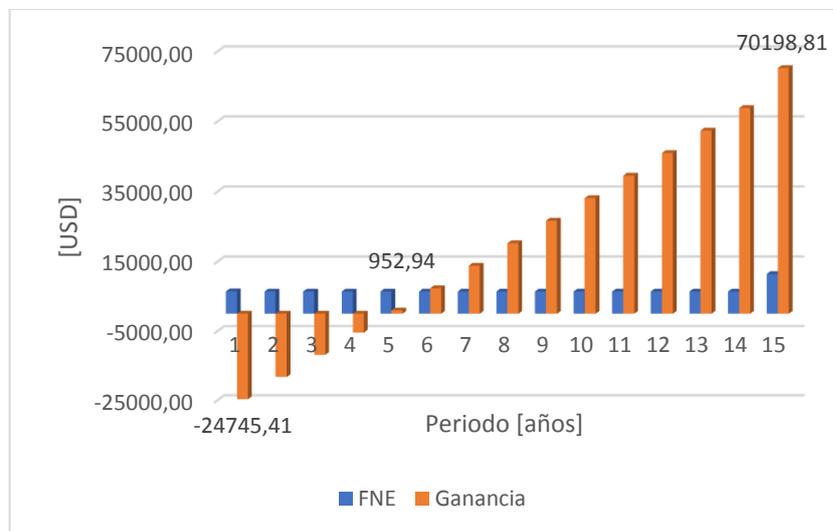


Fig. 61. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=5 para la inversión Kia Soul EV-caso 3.

Comparando las figuras 62 y 63, el rubro o gasto 3 (sueldo del conductor) de la tabla 37 es altamente sensible ya que afecta en el análisis de tal forma que para el caso 2 la recuperación del capital se da recién en el periodo 8, mientras que para el caso 3 la recuperación del capital se da al tercer año. No es de extrañar si se recuerda que el



caso 2 considera la contratación de un conductor estable durante los 313 días laborables estimados del año.

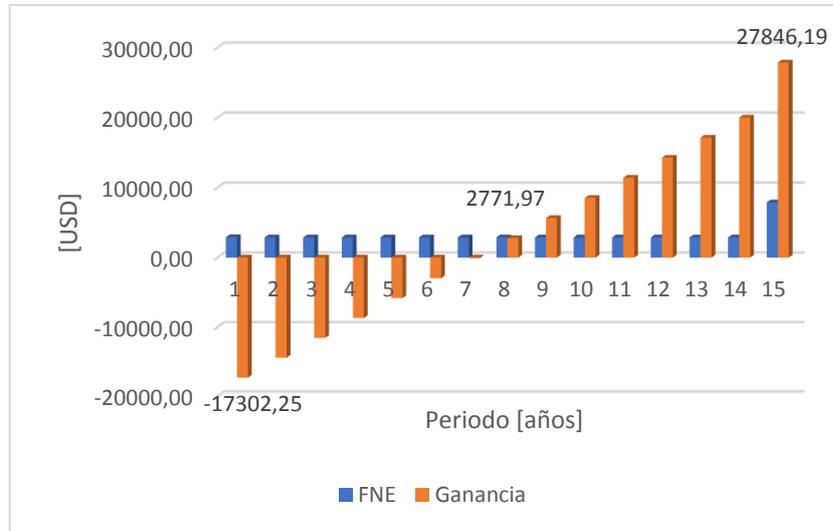


Fig. 62. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=8 para la inversión Hyundai Accent-caso 2.

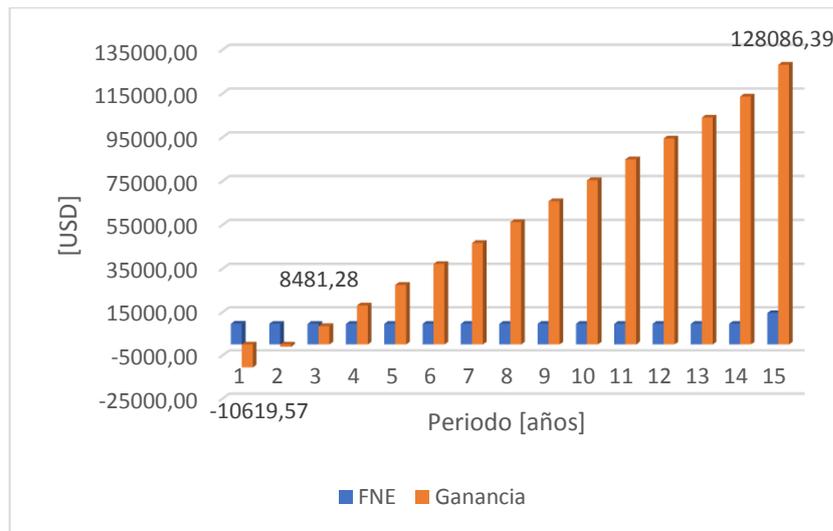


Fig. 63. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=3 para la inversión Hyundai Accent-caso 3.

El caso 3 para el vehículo Chevrolet Aveo, figura 64, muestra una tendencia similar al caso del Hyundai Accent de inversión baja, recuperación del capital temprana y rentabilidad alta, mientras que el caso 2 para el Aveo no es viable, esto se debe a que sus costos operacionales es el más alto de los tres vehículos. Por otro lado, el caso 1 no resulta viable para ningún vehículo debido al incremento de costos operacionales (sueldo del conductor y mantenimiento preventivo en concesionario).

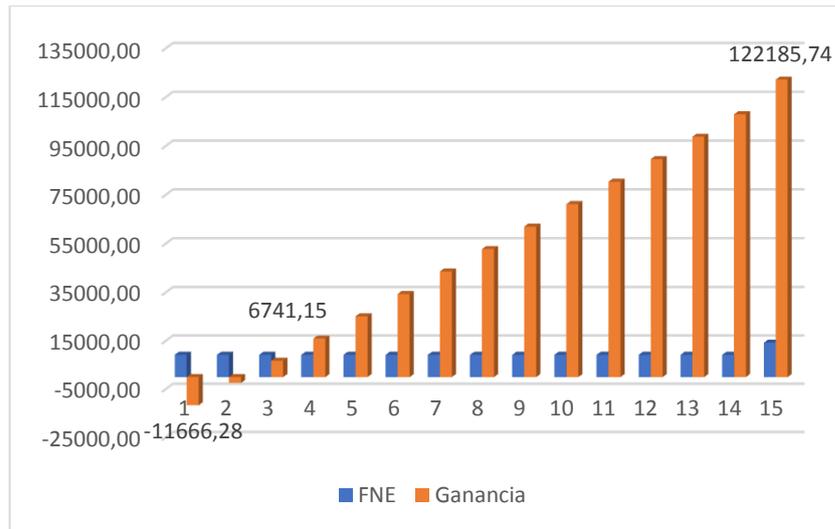


Fig. 64. Ganancias estimadas y recuperación de la inversión en n=3 para la inversión Chevrolet Aveo Emotion-caso 3.

Por tanto, el proyecto de inversión acertado es el vehículo Hyundai Accent-caso 3 (figura 63), ya que produce la mayor rentabilidad y menor riesgo de inversión, por el contrario, acorde con la figura 62, el proyecto de inversión que genera menor rentabilidad es nuevamente el vehículo Hyundai Accent-caso 2.

A pesar de los elevados costos en el vehículo eléctrico (inversión inicial y costo de la batería de alto voltaje), de la figura 60 y la figura 61 se puede inferir que el mayor problema para su implementación más que lo económico, pasa por el tema de la autonomía (125 km), ya que en dichas figuras se observa que se genera rentabilidad y recuperación de la inversión de forma relativamente rápida.



CONCLUSIONES

Los consumos obtenidos con las pruebas realizadas en el banco dinamométrico mediante los diferentes ciclos de conducción, son valores aproximados, ya que en el banco dinamométrico no se puede emular de forma exacta los comportamientos de manejo que se da en la ciudad, donde la circulación se ve afectada por frenadas y aceleraciones bruscas producidas por las acciones de los demás conductores o por el estilo de conducción del conductor del vehículo en cuestión.

Los valores de la autonomía y capacidad de la batería fueron obtenidos a raíz de los datos adquiridos mediante las pruebas realizadas con el software de ingeniería EMOLAB V2.0.1 en el banco dinamométrico de chasis con los diferentes ciclos típicos de conducción representativos de los taxis de Cuenca, lo cual demuestra una autonomía y capacidad de la batería inferior a las indicadas por el fabricante del vehículo.

Los resultados muestran una autonomía real para el vehículo eléctrico de 124.86 Km, con un consumo de energía promedio de 0.216 kWh/km, equipado con una batería de 27 kWh, magnitudes que se contrarrestan con la necesidad de los taxis de Cuenca para satisfacer una distancia de recorrido diario promedio (KVR) igual a 200.29 km, para lo cual el vehículo debería poseer una batería con una capacidad energética mayor o igual a los 43 kWh.

De acuerdo con los cálculos realizados se ha llegado a determinar los inconvenientes que presenta el vehículo eléctrico en cuanto a la batería de alta tensión, misma que no tiene la capacidad para almacenar la energía necesaria para el recorrido promedio, por lo que para cumplir con este recorrido necesariamente se tendría que hacer una recarga intermedia que perjudica la jornada laboral de los taxistas si el tipo de recarga no es rápido.

Aunque el vehículo eléctrico en la actualidad cuenta con grandes ventajas sobre los vehículos con motor de combustión, como bajo costo por mantenimiento preventivo y costo de energía más barato, el desarrollo de este proyecto muestra que sigue teniendo las mismas desventajas [66] que ya tenía en el siglo XX, las cuales de momento no han sido superadas y son: elevado costo de producción y sobre todo baja autonomía.



Para solventar el problema de la autonomía sin incrementar la capacidad de la batería, se podría instalar masivos puntos de recarga rápida, siempre y cuando la degradación o reducción de la vida útil de las baterías no sea significativa por este tipo de recarga; sin embargo, de darse estas condiciones, la dificultad aquí sería: quien debe asumir este gasto de implementación de los puntos de recarga, siendo más un problema socio-económico que técnico.

El propietario de taxi que vaya a renovar su unidad, debería invertir en un vehículo con motor de combustión, porque en las condiciones actuales la inversión en un vehículo eléctrico es de alto riesgo y cuenta con una limitada autonomía que no cumple con los requerimientos del sector, por lo tanto, no es recomendable un vehículo eléctrico tipo taxi en la modalidad convencional para Cuenca porque su viabilidad queda condicionada al requerimiento de cumplir con un mínimo de 17 carreras diarias con 125 km de autonomía.



RECOMENDACIONES

Para un próximo análisis o estudio sobre taxis eléctricos en Cuenca es necesario analizar los costos y la capacidad energética de la batería de otros vehículos eléctricos, como la marca BYD que empezó a comercializar en el país con su modelo e5 y hacer una comparación con los resultados obtenidos del Kia Soul EV.

Es importante cuantificar la degradación de la batería por el número de ciclos de carga; y se lo debería hacer a distintos niveles de corriente y voltaje, esto permitirá estimar el tiempo de vida útil para diferentes tipos de recarga de las baterías.

Se sugiere el análisis de viabilidad de taxi eléctrico en ciudades de la Región Costa del Ecuador como Guayaquil, que es una ciudad que se encuentra ubicada al nivel del mar y que por su perfil topográfico los resultados de autonomía seguramente serán más cercanos al valor dado por el fabricante.

Se debería idear e implementar un proyecto de vehículo eléctrico tipo taxi en la modalidad ejecutivo, ya que este sistema es mucho más eficiente que la modalidad convencional debido a que el porcentaje de kilómetros recorridos con el vehículo vacío se reduce considerablemente y el tiempo que el vehículo estuviese detenido esperando por carreras podría utilizarse para la recarga.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] R. G. Déniz, R. J. del Río, G. P. Izquierdo y S. S. García, *Estudio para la implantación del Vehículo Eléctrico en Canarias*, Las Palmas de G.C.: Instituto Tecnológico de Canarias, 2013.
- [2] J. L. D. Fernández, *Análisis de la viabilidad del vehículo eléctrico en una empresa de reparto de comida a domicilio*, Barcelona: Universitat de Barcelona; Universitat Politècnica de Catalunya, 2013.
- [3] J. D. T. Sarmiento, *Estudio de Viabilidad en la implementación de vehículos eléctricos en la ciudad de Cuenca*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [4] M. E. V. Team, *Electric Powertrains*, Massachusetts Institute of Technology, 2008.
- [5] D. I. G. Casaravilla, *Hacia un transporte automotor racional y eficiente: Autos Híbridos y Eléctricos*, Montevideo: Universidad de la República; Agencia Nacional de Investigación e Innovación , 2012.
- [6] A. K. S. F. y A. G. , *Electric and Hybrid Vehicles*, Chichester: WILEY, 2014.
- [7] F. D. C. Guerrero, *Análisis técnico-económico para la inserción de vehículos eléctricos en el sistema eléctrico ecuatoriano*, Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, 2014.
- [8] J. G. Pérez, *UF0897: Montaje y mantenimiento de máquinas eléctricas rotativas*, Málaga: ic editorial, 2012.
- [9] K. Chau, «Energy Source Technology,» de *ELECTRIC VEHICLE MACHINES AND DRIVES*, Singapore, WILEY, 2015, p. 9.
- [10] G. E. Blomgren, *The Development and Future of Lithium Ion Batteries*, Ohio 44074: Journal of The Electrochemical Society, 2016.
- [11] T. T. Team, «TESLA,» Tesla, 04 01 2017. [En línea]. Available: https://www.tesla.com/en_EU/blog/battery-cell-production-begins-gigafactory. [Último acceso: 30 08 2017].
- [12] «TESLA,» Tesla, 2017. [En línea]. Available: https://www.tesla.com/en_EU/modelx. [Último acceso: 30 08 2017].
- [13] «movilidadelectrica.com,» movilidadelectrica.com, 31 08 2016. [En línea]. Available: <http://movilidadelectrica.com/secreto-la-bateria-tesla/>. [Último acceso: 30 08 2017].



- [14] F. Lambert, «electrek,» Electrek, 24 08 2017. [En línea]. Available: <https://electrek.co/2017/08/24/tesla-model-3-exclusive-battery-pack-architecture/>. [Último acceso: 30 08 2017].
- [15] N. G. Martín, *Impacto de la incorporación del vehículo eléctrico en la integración de energías renovables en el sistema eléctrico*, Madrid: UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR, 2010.
- [16] J. A. M. Gutiérrez, *VEHÍCULO ELÉCTRICO: ANALISIS Y PROSPECTIVA DE FACTORES TECNOLÓGICOS Y ECONÓMICOS*, Valladolid: Universidad de Valladolid: Escuela de Ingenierías Industriales , 2013.
- [17] A. G. C. España, *Factibilidad para la integración de vehículos eléctricos al sistema de distribución eléctrico*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, 2015.
- [18] J. F. Mora, «CONVERTIDORES ELECTRÓNICOS DE POTENCIA,» de *Máquinas eléctricas*, Madrid, McGraw-Hill, 2008, pp. 617-618.
- [19] D. O. S. D. M. R. y D. J. R. , *Intelligently Controlled Evolution of a powertrain manager for electric and hybrid-electric vehicles*, Porsche Engineering MAGAZINE, 2015.
- [20] M. Alguacil, «Corriente eléctrica,» Renault, 27 09 2016. [En línea]. Available: <http://corrienteelectronica.renault.es/asi-funciona-freno-capaz-generar-energia/>. [Último acceso: 30 08 2017].
- [21] Consejería de Economía y Hacienda, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas , *Guía del Vehículo eléctrico II*, Madrid: Gráficas Arias Montano, S.A., 2015.
- [22] «CAHORS,» 2012. [En línea]. Available: http://www.cahors.es/pdf/CAHORS_ESTACIONES%20CARGA%20VEHICULOS%20ELECTRICOS%201012.pdf. [Último acceso: 31 08 2017].
- [23] «FAEN. Fundación Asturiana de la Energía,» [En línea]. Available: http://www.faen.es/batterie/Recarga_vehiculo_electrico.pdf. [Último acceso: 31 08 2017].
- [24] «Electromovilidad,» Electromovilidad, [En línea]. Available: <http://electromovilidad.net/conectores-para-la-recarga-del-vehiculo-electrico/>. [Último acceso: 31 08 2017].
- [25] E. O. González, *Viabilitat de la implementació d'una xarxa de taxis elèctrics a Barcelona*, Barcelona: Escola de Camins UPC BARCELONATECH, 2015.
- [26] «AMB Àrea Metropolitana de Barcelona,» Àrea Metropolitana de Barcelona, [En línea]. Available: <http://taxi.amb.cat/s/es/imet/taxi-sostenible/punts-de-recarrega-d-energia-alternativa.html>. [Último acceso: 01 09 2017].



- [27] «AEDIVE,» ASOCIACIÓN EMPRESARIAL PARA EL DESARROLLO E IMPULSO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO, [En línea]. Available: <http://aedive.es/taxis-electricos/>. [Último acceso: 01 09 2017].
- [28] «Secretaría Distrital de Ambiente,» Alcaldía Mayor de Bogotá , [En línea]. Available: <http://ambientebogota.gov.co/web/taxis-electricos-en-bogota/que-son-los-taxis-electricos>. [Último acceso: 01 09 2017].
- [29] J. Cárdenas, «EL ESPECTADOR,» COMUNICAN S.A., 02 03 2017. [En línea]. Available: <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/taxis-electricos-se-quedan-sin-energia-y-sin-respaldo-articulo-682709>. [Último acceso: 01 09 2017].
- [30] COMUNICADOS.CO, «COMUNICADOS/CO,» COMUNICADOS.CO, 11 07 2017. [En línea]. Available: <https://comunicados.co/2017/07/taxis-electricos-podrian-tener-una-segunda-oportunidad-de-rodar-en-bogota/>. [Último acceso: 01 09 2017].
- [31] «movilidadeléctrica.com,» movilidadelectrica.com, 30 11 2015. [En línea]. Available: <http://movilidadelectrica.com/amsterdam-ciudad-sostenible/>. [Último acceso: 03 09 2017].
- [32] «movilidadeléctrica.com,» movilidadelectrica.com, 20 04 2015. [En línea]. Available: <http://movilidadelectrica.com/taxi-amsterdam/>. [Último acceso: 03 09 2017].
- [33] L. v. Mourik, «FuturENERGY,» 12 2015. [En línea]. Available: http://www.futureenergyweb.es/pdf/articulos/2015-12/FuturEnergy-Dic15_71-75.pdf. [Último acceso: 03 09 2017].
- [34] MCPEC, «Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad,» Gobierno Nacional de la República del Ecuador, 12 02 2015. [En línea]. Available: <http://www.produccion.gob.ec/vehiculos-electricos-una-realidad-en-ecuador/>. [Último acceso: 03 09 2017].
- [35] AEADE, *Anuario 2016*, Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2016.
- [36] E. C. MUNICIPAL, *ORDENANZA QUE CREA Y REGULA EL SERVICIO DE TAXI*, Loja, Loja: Municipio de Loja, 2016.
- [37] L. Castillo, «EL COMERCIO,» Grupo EL COMERCIO, 14 01 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/taxiselectricos-circulan-loja-transporte.html>. [Último acceso: 04 09 2017].
- [38] Crónica, «crónica las noticias al día,» 24 04 2017. [En línea]. Available: <https://www.cronica.com.ec/informacion-2/cantones/item/18824-30-nuevos-taxis-electricos-entran-a-servicio>. [Último acceso: 04 09 2017].
- [39] Crónica, «crónica las noticias al día,» 26 08 2017. [En línea]. Available: <https://www.cronica.com.ec/informacion-2/ciudad/item/20239-electrolinera-en-prueba-para-cargar-a-los-taxis-electricos>. [Último acceso: 04 09 2017].



- [40] rpublicas, «CUENCA ALCALDÍA,» GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN CUENCA, 08 06 2017. [En línea]. Available: <http://www.cuenca.gob.ec/?q=content/miembros-de-las-cooperativas-de-taxis-reciben-taller-de-autos-el%C3%A9ctricos>. [Último acceso: 04 09 2017].
- [41] CSM, «EL MERCURIO,» Diario El Mercurio , 15 06 2017. [En línea]. Available: <http://www.elmercurio.com.ec/617681-desde-hoy-circulara-primer-taxi-electrico/>. [Último acceso: 04 09 2017].
- [42] *Resolución No. 006-B-DIR-2009-CNTTTSV*, Quito: Agencia Nacional de Tránsito, 2009.
- [43] *Resolución No. 053-DIR-2015-ANT*, Quito: Agencia Nacional de Tránsito, 2015.
- [44] *Plan de movilidad y espacios públicos*, Cuenca: GAD Municipal del cantón Cuenca, 2015-2025.
- [45] D. S. Moncayo y P. M. Ordoñez , *Determinación del indicador kilómetros-vehículo recorrido (KVR) para la ciudad de Cuenca*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [46] AEADE, *SECTOR AUTOMOTOR EN CIFRAS*, Quito: Asociación de Empresas Automotrices del Ecuador, 2017.
- [47] CSM, «EL MERCURIO,» Diario El Mercurio, 30 12 2016. [En línea]. Available: <http://www.elmercurio.com.ec/579496-en-2016-se-matricularon-menos-vehiculos/>. [Último acceso: 04 09 2017].
- [48] A. C. Maldonado, *Análisis de las condiciones de operación de los taxis de la ciudad de Cuenca para la implementación del sistema Start-Stop*, Cuenca: Universidad del Azuay, 2017.
- [49] D. S. Dávalos Figueroa, *Obtención de un ciclo típico de conducción para los vehículos de la Unión de Taxistas del Azuay*, Cuenca: Universidad del Azuay, 2017.
- [50] KIA, *Manual de usuario KIA SOUL EV*, Kia Motors Corp, 2014.
- [51] «KIA,» KIA MOTORS CORP, [En línea]. Available: <http://www.kia.com/ec/showroom/soul-ev/specification.html>. [Último acceso: 04 09 2017].
- [52] J. P. O. Gonzalez, «EMOLAB (Programa de ordenador software)». Ecuador Patente CUE-003106, 2017.
- [53] Aparicio Izquierdo, Vera Alvarez y Díaz Lopez, *Teoría de los vehículos automóviles*, Madrid, 1995.
- [54] S. C. Vélez Loaiza y A. V. Vera Vanegas, *Obtención de los parámetros necesarios para el cálculo de la fuerza en rueda de vehículos eléctricos*,



- Cuenca: Universidad del Azuay, 2016.
- [55] G. Baca Urbina, *Evaluación de Proyectos*, México, D.F.: McGraw-Hill, 2006.
- [56] «KIA,» KIA MOTORS CORP. , [En línea]. Available: <http://www.kia.com/ec/service/warranty.html>. [Último acceso: 16 11 2017].
- [57] *Manual del Propietario ACCENT*, HYUNDAI , 2017.
- [58] *Manual del Propietario AVEO*, CHEVROLET, 2017.
- [59] *Resolución No. 073-DIR-2014-ANT*, Quito: Agencia Nacional de Tránsito, 2014.
- [60] L. Castillo, «EL COMERCIO,» Grupo EL COMERCIO, 17 06 2017. [En línea]. Available: <http://www.elcomercio.com/actualidad/cuenca-factibilidad-adquirir-taxis-electricos.html>. [Último acceso: 16 11 2017].
- [61] V. G. Espinoza Sibri, E. P. Ortega Lema y M. V. Sancho Carchipulla, *Estudio de la vida útil de los vehículos desde la perspectiva de la gestión de mantenimiento del transporte público modalidad taxis de la ciudad de Cuenca.*, Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2012.
- [62] *Fuel Economy Guide*, U.S. Department of Energy EPA, 2017.
- [63] «FUELLY,» 2017 FUELLY, LLC, [En línea]. Available: <http://www.fuelly.com/car/chevrolet/aveo/2017>. [Último acceso: 16 11 2017].
- [64] I. J. Zhunio Morocho, *Metodología para la obtención de los indicadores que describen la operación de taxis en la ciudad de Cuenca*, Cuenca: Universidad del Azuay, 2017.
- [65] J. C. Aguirre Maxi, *Diseño de un modelo de Costos alternativo para la determinación de la tarifa de taxi modalidad convencional en la ciudad de Cuenca para el año 2014*, Cuenca: Universidad del Azuay, 2015.
- [66] M. Guarnieri, *Looking Back to Electric Cars*, Padova: IEEE Xplore Digital Library, 2012.



LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Alternating Current
ACEA	European Automobile Manufacturers' Association
AFUT	Asociación Frente Unido de Taxistas
ANT	Agencia Nacional de Tránsito
BEV	Battery Electric Vehicle
BMS	Battery Management System
CAN	Controller Area Network
CCS	Combined Charging System
CNNTTTSV	Comisión Nacional de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial
DC	Direct Current
DOE	Design Of Experiments
ECU	Electronic Control Unit
EMOV EP	Empresa Pública Municipal de Movilidad, Tránsito y Transporte de Cuenca
EV	Electric Vehicle
FNE	Flujo Neto Efectivo
GAD	Gobierno Autónomo Descentralizado
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HMI	Human Machine Interface
ICEV	Internal Combustion Engine Vehicle
IEC	International Electrotechnical Commission
IECEE	International Commission on the Rules for the Approval of Electrical Equipment
IM	Induction Motor
INEC	Instituto Nacional de Estadística y Censos
KVR	Kilómetros Vehículo Recorrido
MCIA	Motor de Combustión Interna Alternativo
MCPEC	Ministerio Coordinador de Producción, Empleo y Competitividad
OBD	On Board Diagnostics
PHEV	Plug-in Hybrid Electric Vehicle
PM brushless motor	Permanent Magnet brushless motor
SAE	Society Automotive Engineers
SRI	Servicio de Rentas Internas
SRM	Switched Reluctance Motor
SUV	Sport Utility Vehicle

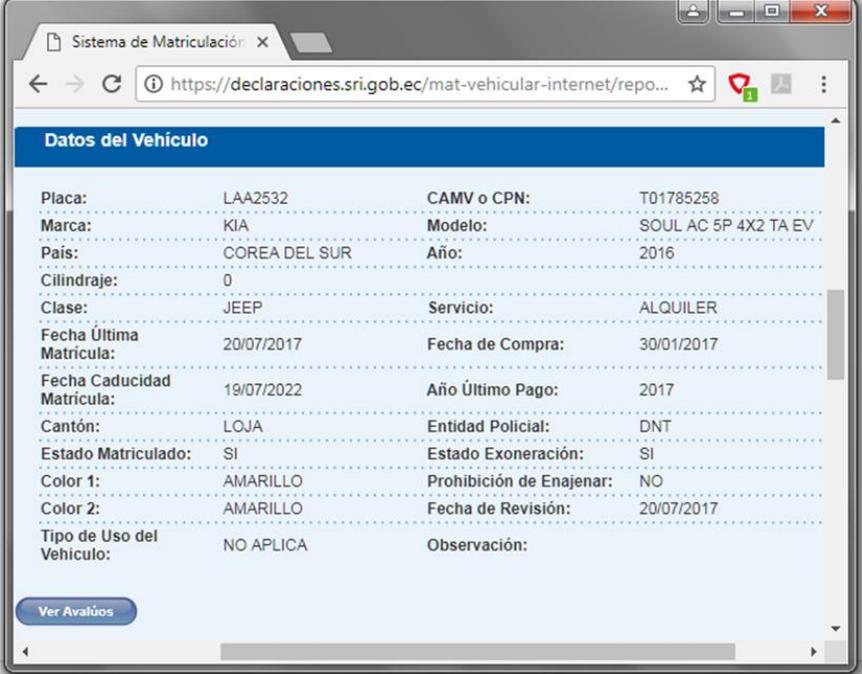


TIR	Tasa Interna de Retorno
VAN	Valor Actual Neto
VRLA	Valve Regulated Lead Acid battery

ANEXOS

Anexo A

Las tres figuras siguientes muestran información de pagos por matriculación vehicular de un taxi eléctrico Kia Soul EV 2016 registrado en Loja.



Datos del Vehículo			
Placa:	LAA2532	CAMV o CPN:	T01785258
Marca:	KIA	Modelo:	SOUL AC 5P 4X2 TA EV
País:	COREA DEL SUR	Año:	2016
Cilindraje:	0		
Clase:	JEEP	Servicio:	ALQUILER
Fecha Última Matricula:	20/07/2017	Fecha de Compra:	30/01/2017
Fecha Caducidad Matricula:	19/07/2022	Año Último Pago:	2017
Cantón:	LOJA	Entidad Policial:	DNT
Estado Matriculado:	SI	Estado Exoneración:	SI
Color 1:	AMARILLO	Prohibición de Enajenar:	NO
Color 2:	AMARILLO	Fecha de Revisión:	20/07/2017
Tipo de Uso del Vehículo:	NO APLICA	Observación:	

Ver Avalúos

Fig. 65. Datos de matriculación del vehículo eléctrico Kia Soul EV.

Sistema de Matriculación Vehicular - Google Chrome
Es seguro | <https://declaraciones.sri.gob.ec/mat-vehicular-internet/avaluos/buscarAvaluos...>

Avalúos de la SubCategoría: 156664

Marca: KIA Modelo: SOUL AC 5P 4X2 TA EV
País: COREA DEL SUR Año: 2016

Período	Avalúo	Impuesto
2017	27,992.00	859.52
2016	35,000.00	1,280.00
2015	35,000.00	1,280.00

Exportar a : Excel

Salinas N17-203 y Santiago, Edif. Alhambra | 1 700 SRI SRI (774 774) | Política de Privacidad | Copyright © 2010 SRI

Fig. 66. Avalúo Kia Soul EV por parte del SRI -Servicio de Rentas Internas-.

Sistema de Matriculación Vehicular - Google Chrome
Es seguro | <https://declaraciones.sri.gob.ec/mat-vehicular-internet/reportes/general/reporteDetallePagosInternet.jspa>

Placa, Camv o Cpn Actual: LAA2532 Tipo Deuda: PAGO DEL VALOR DE LA MATRÍCULA
Placa, Camv o Cpn de Pago: T01785258 Comprobante: 6.0607201713308314E17
IFI: BANCO DE GUAYAQUIL S.A. Agencia:
Fecha de Pago: 06/07/2017

Pagos Realizados

Rubro	Componente	Año	Valor
IMPUESTO A LA PROPIEDAD	Exoneración por Chofer Profesional	2017	-859.52
IMPUESTO A LA PROPIEDAD	Impuesto	2017	859.52
IMPUESTO AMBIENTAL	Impuesto	2017	0.00
IMPUESTO RODAJE	Impuesto	2017	30.00
TASA SPPAT	Recargo	2017	22.17
TASA SPPAT	Tasa	2017	19.43
TASAS ANT	Tasa	2017	36.00
TOTAL:			107.60

Exportar a : Excel

Salinas N17-203 y Santiago, Edif. Alhambra | 1 700 SRI SRI (774 774) | Política de Privacidad | Copyright © 2010 SRI

Fig. 67. Rubros o impuestos a pagar en la matrícula del vehículo Kia Soul EV.

Desde la figura 68 a la 70, muestran información de pagos por matriculación vehicular de un taxi Hyundai Accent 1.6 Estándar 2017 registrado en Cuenca y comparando con los pagos efectuados por el vehículo eléctrico, no existe incentivo estatal o gubernamental en la reducción de impuestos por adquirir un vehículo eléctrico.



Sistema de Matriculación

https://declaraciones.sri.gob.ec/mat-vehicular-internet/report...

Datos del Vehículo

Placa:	AAA3424	CAMV o CPN:	T02071064
Marca:	HYUNDAI	Modelo:	ACCENT 1.6 4P 4X2 TM
País:	COREA DEL SUR	Año:	2017
Cilindraje:	1600		
Clase:	AUTOMOVIL	Servicio:	ALQUILER
Fecha Última Matriculación:	11/03/2017	Fecha de Compra:	31/01/2017
Fecha Caducidad Matriculación:	10/03/2022	Año Último Pago:	2017
Cantón:	CUENCA	Entidad Policial:	DNT
Estado Matriculado:	SI	Estado Exoneración:	SI
Color 1:	AMARILLO	Prohibición de Enajenar:	NO
Color 2:	AMARILLO	Fecha de Revisión:	11/03/2017
Tipo de Uso del Vehículo:	NO APLICA	Observación:	

Ver Avalúos

Fig. 68. Datos de matriculación del vehículo Hyundai Accent 1.6 Estándar.

Sistema de Matriculación Vehicular - Google Chrome

Es seguro | https://declaraciones.sri.gob.ec/mat-vehicular-internet/avaluos/buscarAvaluosInte

Avalúos de la SubCategoría: 161594

Marca:	HYUNDAI	Modelo:	ACCENT 1.6 4P 4X2 TM
País:	COREA DEL SUR	Año:	2017

Período	Avalúo	Impuesto
2017	19,990.00	419.60
2016	19,990.00	419.60

Exportar a : Excel

Salinas N17-203 y Santiago, Edif. Alhambra | 1 700 SRI SRI (774 774) | Política de Privacidad | Copyright © 2010 SRI

Fig. 69. Avalúo por parte del SRI -Servicio de Rentas Internas- del vehículo Hyundai Accent 1.6 Estándar.



Sistema de Matriculación Vehicular - Google Chrome

Es seguro | <https://declaraciones.sri.gob.ec/mat-vehicular-internet/reportes/general/reporteDetallePagosInternet.jspa>

Placa, Camv o Cpn Actual: AAA3424 Tipo Deuda: PAGO DEL VALOR DE LA MATRÍCULA
Placa, Camv o Cpn de Pago: T02071064 Comprobante: 6.150803201711763E19
IFI: COOPERATIVA DE AHORRO Y CREDITO JARDIN AZUAYO LTDA. Agencia:
Fecha de Pago: 08/03/2017

Pagos Realizados

Rubro	Componente	Año	Valor
IMPUESTO A LA PROPIEDAD	Exoneración por Chofer Profesional	2017	-419.60
IMPUESTO A LA PROPIEDAD	Impuesto	2017	419.60
IMPUESTO AMBIENTAL	Impuesto	2017	8.00
IMPUESTO AMBIENTAL	Exoneración Ambiental por Chofer Profesional y Transporte Público	2017	-8.00
IMPUESTO RODAJE	Impuesto	2017	47.01
TASA SPPAT	Tasa	2017	24.54
TASA SPPAT	Recargo	2017	12.03
TASAS ANT	Tasa	2017	36.00
TOTAL:			119.58

Fig. 70. Rubros o impuestos a pagar en la matrícula del vehículo Hyundai Accent 1.6 Estándar.