



## **Departamento de Posgrados**

# **MAESTRÍA EN ESTUDIOS SOCIOAMBIENTALES CON MENCIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO, SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO**

**DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA SELECCIONAR UN BUS  
ELÉCTRICO.**

**Magíster en estudios socioambientales con mención en cambio climático,  
sustentabilidad y desarrollo**

### **Autor**

Ing. Diego Francisco Torres Moscoso

### **Director**

Ing. Daniel Cordero-Moreno. PhD.

**Cuenca, Ecuador**

**2021**

### **DEDICATORIA.**

Este trabajo de tesis, dedico a mi esposa Cecilia Maldonado, a mi hijo Diego Fran, quienes me dieron el apoyo incondicional y sacrificaron su tiempo de reunión familiar.

### **AGRADECIMIENTOS.**

Agradezco de corazón a Daniel Cordero por su guía, apoyo y amistad, de igual manera a Luis Tonon y a Efrén Fernández por su apoyo incondicional.

MAESTRÍA EN ESTUDIOS SOCIOAMBIENTALES CON MENCIÓN EN CAMBIO CLIMÁTICO,  
SUSTENTABILIDAD Y DESARROLLO.

**Título:**

DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA SELECCIONAR UN BUS ELÉCTRICO.

**Autor:**

Ing. Diego Francisco Torres Moscoso

**Resumen**

El proyecto propone el desarrollo de una metodología para seleccionar un bus eléctrico que funcione en un circuito urbano, considerando: a) las características técnicas de la unidad, dimensiones, masa, capacidad, rendimiento; b) las características de la ruta urbana, cantidad de paradas y pasajeros, longitud y tiempo; c) la caracterización de la demanda de energía mediante la dinámica longitudinal del autobús, la metodología de obtención del ciclo de conducción, emisiones de CO<sub>2</sub>, la medición del nivel de presión sonora del bus; d) costos para el funcionamiento del bus, impuestos, precio, incentivos, mantenimiento, empleados, intereses, energía. El análisis financiero determinó que el proyecto no es factible debido a valores de la tasa interna de retorno, que no alcanza valores de la tasa de descuento y valores negativos del valor actual neto, puede ser por el costo del bus, por la cantidad de pasajeros promedio de cada ruta, costos de mantenimiento, al financiamiento.

**Palabras clave:** Bus. Ciclo. Conducción. Eléctrico. Financiero. Metodología. Rutas. Universidad.

**Title:**

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGY FOR SELECTING AN ELECTRIC BUS.

**Author:**

Eng. Diego Francisco Torres Moscoso

**Abstract**

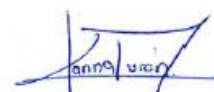
The project proposed the development of a methodology to select an electric bus to operate in an urban circuit, considering: a) the technical characteristics of the unit, dimensions, mass, capacity, performance; b) the characteristics of the urban route, number of stops and passengers, length and time; c) the characterization of the energy demand through the longitudinal dynamics of the bus, the methodology to obtain the driving cycle, CO<sub>2</sub> emissions, the measurement of the sound pressure level of the bus; d) costs for the operation of the bus, taxes, price, incentives, maintenance, employees, interest, energy. The financial analysis determined that the project was not feasible due to values of the internal rate of return, which did not reach values of the discount rate and negative values of the net present value, it might be due to the cost of the bus, the average number of passengers on each route, maintenance costs, financing.

**Key words:** Bus. Cycle. Driving. Electric. Financial. Methodology. Routes. University.

Translated by



Eng. Diego Francisco Torres Moscoso



## Contenido

DEDICATORIA .....	2
AGRADECIMIENTOS.....	2
<b>DESARROLLO DE UNA METODOLOGÍA PARA SELECCIONAR UN BUS ELÉCTRICO. ....</b>	<b>10</b>
Resumen .....	10
Palabras clave: Bus. Ciclo. Conducción. Eléctrico. Financiero. Metodología. Rutas. Universidad. ....	10
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
1. Antecedentes.....	11
1.2 Objetivo general.....	12
1.3 Objetivos específicos.....	12
1.4 Alcance.....	12
1.5 Metodología.....	13
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>14</b>
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS BUSES ELÉCTRICOS.....</b>	<b>14</b>
2. Introducción.....	14
2.3 Normativa y Reglamentos.....	14
2.4 Normativa bus urbano. ....	15
2.5 Características Técnicas.....	16
2.5.1 Dimensiones y masa.....	16
2.5.2 Tren de potencia.....	16
2.5.3 Ejes, suspensión y dirección.....	16
2.5.4 Capacidad de pasajeros.....	17
2.6 Características técnicas de buses eléctricos.....	17
2.7 Conclusión.....	31
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>32</b>
<b>FACTORES QUE INTERVIENEN EN UNA RUTA URBANA DEL BUS ELÉCTRICO .....</b>	<b>32</b>
3. Introducción.....	32
3.1 Criterios para el diseño de la ruta de un bus urbano. ....	32
3.2 Diseño de la ruta incluido las paradas. ....	32
3.2.1 Densidad de la población.....	32
3.2.2 Densidad de empleo.....	32
3.2.3 Cobertura de la ruta. ....	32
3.2.4 Limitaciones en el número de desvíos o ramificaciones. ....	32
3.2.5 Cobertura (geográfica) equitativa en toda la base impositiva local. ....	32
3.2.6 Consideraciones de diseño del sistema.....	33
3.2.7 Optimización y reducción de duplicaciones de la ruta.....	33
3.2.8 Conectividad de red.....	33
3.2.9 Equidad de servicio. ....	33
3.2.10 Ruta directa.....	33
3.2.11 Proximidad a las residencias. ....	33

3.2.12 Proximidad a lugares de trabajo. ....	33
3.2.13 Limitación del número de transferencias requeridas de los pasajeros. ....	33
3.2.14 Requisitos de ubicación de las paradas de autobús. ....	33
3.2.15 Los requisitos de distancia entre las paradas de autobús. ....	33
3.3 Propuesta de horarios. ....	33
3.3.1 Establecer los niveles de servicio urbano, interparroquial, intraprovincial. ....	34
3.3.2 Definir el tipo de servicio, que es alimentador de otras rutas o el principal que atraviesa la ciudad. ....	34
3.3.3 Número máximo de personas de pie. ....	34
3.3.4 Intervalos de espera máximos. ....	34
3.3.5 Periodos picos versus periodos no picos. ....	34
3.3.6 Intervalos mínimos de espera. ....	34
3.3.7 Personas de pie versus personas sentadas. ....	34
3.3.8 Duración del tiempo de pie. ....	34
3.3.9 Tiempo de espera para la transferencia de servicio. ....	34
3.3.10 Horarios de funcionamiento en cada parada. ....	34
3.3.11 Horario general en el que funciona el servicio. ....	34
3.4 Economía y productividad. ....	34
3.4.1 Pasajeros por hora. ....	34
3.4.2 Costo por pasajero. ....	35
3.4.3 Pasajeros por kilómetro. ....	35
3.4.4 Pasajeros por viaje. ....	35
3.4.5 Cantidad de kilómetros por pasajero. ....	35
3.4.6 Ingresos por pasajero por ruta. ....	35
3.4.7 Subsidio por pasajero. ....	35
3.4.8 Relación de recuperación del costo variable mínimo a nivel de ruta. ....	35
3.4.9 Costos mínimos a nivel de ruta, incluyen costos variables, costos fijos. ....	35
3.4.10 Rendimiento a nivel de ruta en relación con otras rutas en el sistema. ....	35
3.5 Control del servicio. ....	35
3.5.1 Puntualidad. ....	35
3.5.2 Continuidad. ....	35
3.6 Seguridad y confort de los pasajeros. ....	35
3.6.1 Quejas de pasajeros. ....	35
3.6.2 Viajes perdidos y viajes adicionales no programados. ....	35
3.6.3 Accidentes. ....	35
3.6.4 Condiciones ambientales del pasajero (limpieza, estado del vehículo, información, señalética). ....	36
3.6.5 Información especial en áreas donde los pasajeros no se sienten seguros esperando los buses. ....	36
3.7 Metodología para la selección de rutas de buses urbanos. ....	36
3.8 Ponderación de criterios. ....	38
3.9 Diseño de la ruta. ....	48
3.10 Programación de horarios. ....	49

3.11 Criterio económico y productivo.....	49
3.12 Seguridad y confort del pasajero.....	49
3.13 Movilidad y planificación.....	50
3.14 Características de movilidad y uso del transporte de la ciudad.....	50
3.15 Densidad poblacional del Cantón Cuenca.....	53
3.16 Características de la movilidad en la ciudad de Cuenca.....	55
3.17 Rutas urbanas para el bus eléctrico.....	56
3.17.1 Ruta #1 Directa.....	57
3.17.2 Ruta #2 Eco Campus.....	57
3.17.3 Ruta #3 Baños.....	58
3.17.4 Ruta #4 Sedes Centro.....	59
3.17.5 Ruta #5 Exprés.....	60
3.18 Coincidencia de rutas.....	61
3.19 Conclusiones.....	62
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>63</b>
<b>CONSUMO DE ENERGÍA Y FACTOR DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>63</b>
4. Introducción.....	63
4.1 Metodología para calcular los valores en las ecuaciones de dinámica longitudinal del vehículo.....	63
4.2 Análisis de datos.....	65
4.2.1 Coeficientes de resistencia al aire (Cd).....	65
4.2.2 Área frontal.....	65
4.2.2.1 Área frontal proyectada.....	65
4.2.2.2 Área frontal calculada.....	66
4.2.2.3 Área frontal basada en software de dibujo.....	66
4.2.2.4 Diferencia en los métodos de medición del área frontal.....	66
4.3 Resistencia a la rodadura.....	67
4.3.1 Radio dinámico de la rueda.....	67
4.3.2 Agentes externos para determinar la energía necesaria.....	68
4.4 Ciclos de conducción de las rutas de buses urbanos en la ciudad de Cuenca.....	68
4.4.1 Ciclo de conducción recorrido línea N°5 Los Andes – El salado.....	68
4.5 Proceso para determinar un ciclo de conducción.....	69
4.5.1 Método de obtención del ciclo.....	69
4.5.2 Establecer la ruta y el vehículo.....	70
4.5.3 Instrumentación.....	71
4.5.4 Recolección de datos.....	71
4.6 Análisis físico estadístico.....	72
4.6.1 Método de ponderaciones.....	72
4.6.2 Datos estadísticos.....	73
4.6.3 Cálculo del promedio ponderado de las desviaciones de los parámetros en relación a la media aritmética.....	73
4.7 Método <i>micro – trip</i> .....	76
4.8 Factor de emisión de CO <sub>2</sub> .....	78

4.9 Nivel de presión sonora. ....	80
4.10 Centro de pruebas e investigación. ....	81
4.10.1 Medición del ruido interior. ....	81
4.10.1.1 Objetivo. ....	81
4.10.1.2 Descripción de la prueba. ....	81
4.10.1.3 Equipo de prueba, instalaciones y personal. ....	82
4.10.1.4 Preparación y procedimiento de la prueba. ....	82
4.10.2 Medición del ruido exterior. ....	84
4.10.2.1 Objetivo. ....	84
4.10.2.2 Descripción de la prueba. ....	84
4.10.2.3 Equipo de prueba, instalaciones y personal. ....	85
4.10.2.4 Preparación y procedimiento de la prueba. ....	85
4.10.2.4.1 Prueba de aceleración desde una velocidad constante. ....	85
4.10.3 Prueba de aceleración desde un punto muerto. ....	87
4.11 Medición de ruido emitido por vehículos en aceleración. ....	89
4.11.1 Método de ensayo. NTE INEN 2665. ....	89
4.11.2 Objetivo. ....	89
4.11.3 Instrumentación. ....	89
4.11.4 Ensayo no válido. ....	89
4.11.5 Lugar de ensayo. ....	90
4.11.6 Procedimiento de ensayo. ....	90
4.12 Medición de ruido de tráfico rodado. ....	92
4.12.1 Modelo de medición RLS-90. ....	92
4.12.2 Corrección de velocidad. ....	93
4.12.3 Corrección por la gradiente. ....	93
4.12.4 Corrección por tipo de calzada. ....	93
4.13 Medición del nivel de evaluación continuo equivalente ( $L_{ReqT}$ ). ....	93
4.13.1 Consideraciones para la medición. ....	94
4.13.2 Cálculo del nivel de evaluación continuo equivalente ( $L_{ReqT}$ ). ....	94
4.13.3 Corrección por distancia de medición. ....	95
4.13.4 Corrección por tipo de calzada ( $C_{rs}$ ). ....	95
4.14 Reducción de ruido en tráfico urbano. ....	96
4.14.1 Modelo de medición de presión sonora específico de autobús. ....	96
4.14.2 Valores del nivel de presión sonora emitidos únicamente por los autobuses. ....	97
4.14.3 Valores de medición de nivel de presión sonora tanto en parada como aceleración. ....	97
4.15 Valores de nivel de presión sonora. ....	98
4.15.1 Texto unificado de legislación secundaria de medio ambiente (TULSMA). ....	98
4.15.2 Normativa europea No 540/2014 homologación de tipo UE de los vehículos de motor. ....	98
4.16 Conclusiones. ....	99

<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>100</b>
<b>ESTIMACIÓN FINANCIERA PARA LA APLICABILIDAD DE BUSES URBANOS ELÉCTRICOS EN EL CANTÓN CUENCA.....</b>	<b>100</b>
5. Introducción.....	100
5.1 Denominación de rutas, longitud de recorrido, tiempo y cantidad de pasajeros.....	100
5.2 Precio bus eléctrico.....	101
5.3 Inflación en el Ecuador.....	101
5.4 Transporte público urbano en el cantón Cuenca.....	101
5.5 Análisis financiero para determinar la factibilidad de implementación de un bus eléctrico urbano en el cantón Cuenca.....	102
5.5.1 Cantidad de pasajeros anuales por cada ruta.....	102
5.5.2 Proyección de ingresos.....	102
5.5.3 Ingresos por publicidad.....	106
5.5.4 Gastos operativos.....	108
5.5.4.1 Salarios.....	108
5.5.4.2 Mantenimiento y Reparaciones.....	108
5.5.4.3 Repuestos.....	111
5.5.4.4 Egresos por costos fijos.....	112
5.5.4.5 Consumo de energía.....	112
5.5.4.6 Consumos de operación y legalización.....	114
5.6 Utilidad operacional.....	114
5.6.1 Financiamiento.....	119
5.6.1.1 Plan de pagos.....	119
5.7 Flujo final.....	120
5.7.1 Tasa de descuento.....	124
5.7.2 Valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR).....	124
5.8 Otros escenarios.....	124
5.8.1 Simulación financiera para establecer un punto de equilibrio mediante el valor del pasaje.....	124
5.8.2 Simulación financiera para establecer un punto de equilibrio mediante la cantidad de pasajeros.....	125
5.9 Análisis financiero para un bus urbano que funciona con un motor de combustión Diesel.....	125
5.9.1 Características técnicas bus urbano con motor Diesel.....	125
5.9.2 Mantenimiento y repuestos bus con motor Diesel.....	126
5.9.3 Consumo de combustible bus urbano con motor Diesel.....	130
5.9.4 Financiamiento bus urbano con motor Diesel.....	130
5.9.5 Flujo final.....	131
5.9.6 Valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR) para el bus urbano con motor Diesel.....	139
5.10 Otros escenarios para el bus urbano con motor Diesel.....	139
5.10.1 Simulación financiera para establecer un punto de equilibrio mediante el valor del pasaje.....	139
5.10.2 Simulación financiera para establecer un punto de equilibrio mediante la cantidad de pasajeros para el bus urbano con motor Diesel.....	139



5.10.3 Simulación financiera para establecer el modelo con el precio promedio anual por galón de diésel para el año 2021 de 1.62 dólares para el bus urbano con motor Diesel.....	140
5.11 Conclusiones bus urbano eléctrico. ....	140
5.12 Conclusiones bus urbano con motor Diesel. ....	140
Bibliografía.....	142
<b>ANEXO 1.....</b>	<b>146</b>