



**UNIVERSIDAD  
DEL AZUAY**

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**

**DEPARTAMENTO DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA**

**OPTIMIZACIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS  
DEL TREN MOTRIZ DE UN BUS ELÉCTRICO PARA  
SERVICIO URBANO EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA**

**Trabajo previo a la obtención del título:**

**MAGISTER EN SISTEMAS DE PROPULSIÓN ELÉCTRICA**

**Nombre del autor:**

Ing. Ángel José Quevedo Ríos

**Nombre del director:**

Ing. Carlos López Torres PhD

**Cuenca - Ecuador 2022**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mi madre y mi hermana, quienes han sido ese apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos, a quienes agradezco por sus consejos y amor, siendo fundamentales para seguir adelante a pesar de los obstáculos presentados en el camino. A Vane León, quien está de manera constante en mis pensamientos, a quien admiro por su perseverancia en la fe, agradezco a Dios por permitirme conocerla en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco, a todos los docentes que forman parte del programa de maestría de sistemas de propulsión eléctrica, por transmitirme sus valiosos conocimientos, siendo los mismos fundamentales para el desarrollo de este trabajo, al PhD Carlos López Torres, un infinito agradecimiento, por su colaboración y valiosa guía en cada etapa del desarrollo de mi trabajo de titulación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MATERIALES Y MÉTODOS.....	2
A. Modelo de la dinámica longitudinal del vehículo.....	2
1) Resistencia aerodinámica.....	3
2) Resistencia a la pendiente.....	3
3) Resistencia a la rodadura.....	3
B. Determinación de la demanda energética.....	3
C. Proceso de dimensionamiento de los componentes del tren motriz eléctrico.....	5
D. Optimización multiobjetivo de los componentes del tren motriz eléctrico.....	5
E. Proceso de optimización multiobjetivo mediante algoritmos genéticos.....	6
III. RESULTADOS.....	7
A. Simulación del tren motriz eléctrico.....	7
B. Solución de batería, inversor y máquina eléctrica.....	7
C. Solución a nivel de costo de la batería.....	7
IV. CONCLUSIONES.....	7
V. RECOMENDACIONES.....	8
VI. REFERENCIAS.....	8

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tendencia mundial de las emisiones de CO2 procedentes de la combustión de combustibles.....</i>	<i>1</i>
<i>Figura 2. Requerimientos y parámetros de diseño y correlaciones entre la eficiencia y el costo del sistema en el tren motriz eléctrico.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 3. Fuerzas que actúan sobre un vehículo.....</i>	<i>2</i>
<i>Figura 4. Trayecto de los buses de la línea 14.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 5. Dispositivo JETHAX OBD II.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 6. Ciclo típico de conducción, bus línea 14.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 7. Diagrama de flujo del proceso de optimización.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 8. Simulación de balance de energías en Simulink.....</i>	<i>7</i>

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>TABLA I. PARÁMETROS UTILIZADOS EN LA SIMULACIÓN.....</i>	<i>4</i>
<i>TABLA II. RESULTADOS DEL CICLO DE CONDUCCIÓN.....</i>	<i>4</i>
<i>TABLA III. REQUERIMIENTO ENERGÉTICO.....</i>	<i>5</i>
<i>TABLA IV. ALTERNATIVAS DE BATERÍAS.....</i>	<i>5</i>
<i>TABLA V. ALTERNATIVAS DE INVERSORES.....</i>	<i>5</i>
<i>TABLA VI. MOTOR TRACCIÓN ELÉCTRICA, ALTERNATIVA 1.....</i>	<i>5</i>
<i>TABLA VII. MOTOR TRACCIÓN ELÉCTRICA, ALTERNATIVA 2.....</i>	<i>5</i>
<i>TABLA VIII. MOTOR TRACCIÓN ELÉCTRICA, ALTERNATIVA 3.....</i>	<i>6</i>
<i>TABLA IX. MOTOR TRACCIÓN ELÉCTRICA, ALTERNATIVA 4.....</i>	<i>6</i>
<i>TABLA X. RESULTADOS DE LA OPTIMIZACIÓN.....</i>	<i>7</i>
<i>TABLA XI. SOLUCIÓN DE BATERÍA DE ALTA TENSIÓN.....</i>	<i>7</i>
<i>TABLA XII. SOLUCIÓN A NIVEL DE COSTO DE LA BATERÍA.....</i>	<i>7</i>

# OPTIMIZACIÓN MEDIANTE ALGORITMOS GENÉTICOS DEL TREN MOTRIZ DE UN BUS ELÉCTRICO PARA SERVICIO URBANO EN LA CIUDAD DE RIOBAMBA

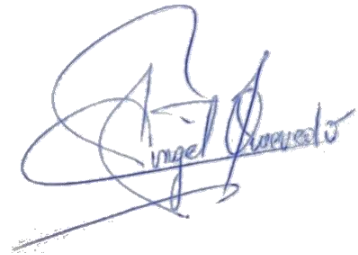
## RESUMEN

En la actualidad, en las ciudades ecuatorianas, el transporte urbano se desarrolla principalmente sobre buses con motor de combustión interna, en este contexto es necesario la incorporación de buses eléctricos que cubran los requerimientos energéticos de las ciudades donde vayan a operar. La tecnología de cada componente del sistema de propulsión de los vehículos eléctricos, continua en constante desarrollo y el costo de estos sigue siendo elevado, (principalmente las baterías), es preciso analizar y seleccionar la alternativa de bus eléctrico que mejor se adapte a las condiciones de operación en las cuales trabajará. En ese contexto, se presenta una metodología para optimizar mediante algoritmos genéticos los componentes del tren motriz eléctrico (batería de alta tensión, inversor y motor eléctrico), en base al ciclo real de conducción de una línea de bus urbano de la ciudad de Riobamba, a fin de obtener la demanda energética, con la cual se realiza una optimización multiobjetivo que permita maximizar el rendimiento energético [ $km/kWh$ ], y minimizar el costo del tren motriz eléctrico.

**Palabras clave**— Tren motriz eléctrico, demanda energética, algoritmos genéticos



Ing. Carlos López Torres PhD  
Director del trabajo de titulación



Ing. Ángel Quevedo R.  
Autor

# OPTIMIZATION BY MEANS OF GENETIC ALGORITHMS OF THE POWER TRAIN OF AN ELECTRIC BUS FOR URBAN SERVICE IN THE CITY OF RIOBAMBA

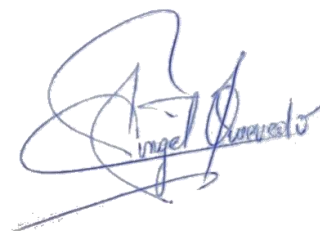
## ABSTRACT

Currently, in Ecuadorian cities, urban transportation is developed mainly on buses with internal combustion engines, in this context it is necessary to incorporate electric buses that meet the energy requirements of the cities where they will operate. The technology of each component of the propulsion system of electric vehicles is constantly developing and the cost of these is still high (mainly batteries), it is necessary to analyze and select the alternative electric bus that best suits the operating conditions in which it will work. In this context, a methodology is presented to optimize by means of genetic algorithms the components of the electric powertrain (high voltage battery, inverter and electric motor), based on the real driving cycle of an urban bus line in the city of Riobamba, in order to obtain the energy demand, with which a multi-objective optimization is performed to maximize the energy yield [km/kWh], and minimize the cost of the electric powertrain.

**Key words**— Electric powertrain, energy demand, genetic algorithms.

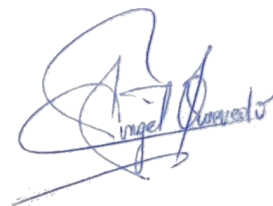


Ing. Carlos López Torres PhD  
Director del trabajo de titulación



Ing. Ángel Quevedo R.  
Autor

Translated by



Angel Quevedo