



**Demanda energética del transporte urbano para la electromovilidad
pública de la Amazonía ecuatoriana**
**Urban transport energy demand for public electromobility in the
Ecuadorian Amazon**

Rubén Darío Ledesma-Acosta
rledesma@uea.edu.ec

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0002-2086-0185>

Miguel Ángel Guilcamaigua-Tarco
miguel.guilcamaigua@istfo.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Francisco de Orellana, Puyo, Pastaza, Ecuador
<https://orcid.org/0000-0003-3617-753X>

Jenny Paola Garay-Montaña
jenngaray95@gmail.com

Red de Investigación Koinonía, Puyo, Pastaza, Ecuador
<https://orcid.org/0009-0009-9914-4744>

RESUMEN

El objetivo de este estudio es calcular la demanda energética de un bus de transporte público del cantón Pastaza en una ruta de mayor recorrido para consideración de proyectos de electromovilidad en el cantón Pastaza. Se realizó 32 ensayos durante el recorrido real de una ruta del servicio de transporte público en una distancia de 22.23 [km], determinando la altitud positiva acumulativa, el ciclo típico y el consumo energético mediante el calculando de: Resistencia a la rodadura [E.Rx], Fuerza de arrastre [E.Fd], Resistencia debido a la pendiente [E.Rg], Resistencia debido a la inercia [E.Rt] y Energía ganadas [E+]. Las altitudes positivas acumulativas en los tres días de ensayo fueron 297.97 [m], 293.83 [m] y 272.40 [m] respectivamente; la demanda energética de la ruta de estudio en función al ciclo típico fue determinada en el ensayo 26 donde su demanda energética fue de 224.18 [kwh].

Descriptores: transporte; economía del transporte; planificación del transporte. (Fuente: Tesauro UNESCO).

ABSTRACT

The objective of this study is to calculate the energy demand of a public transport bus of the Pastaza canton on a longer route for consideration of electromobility projects in the Pastaza canton. Thirty-two tests were carried out during the actual route of a public transport service over a distance of 22.23 [km], determining the cumulative positive altitude, the typical cycle and energy consumption by calculating: Rolling resistance [E.Rx], Drag force [E.Fd], Resistance due to slope [E.Rg], Resistance due to inertia [E.R?] and Energy gained [E+]. The cumulative positive altitudes on the three test days were 297.97 [m], 293.83 [m] and 272.40 [m] respectively; the energy demand of the study route as a function of the typical cycle was determined on test 26 where its energy demand was 224.18 [kwh].

Descriptors: transport; transport economics; transport planning. (Source: UNESCO Thesaurus).

Recibido: 19/02/2024. Revisado: 22/02/2024. Aprobado: 28/02/2024. Publicado: 14/03/2024.

Sección artículos de investigación



INTRODUCCIÓN

En el 2019 Ecuador inicia con la aplicación de leyes que contribuyan al cambio de la transición del transporte basado en combustibles hacia el transporte eléctrico que refleja el interés sostenido en adoptar un modelo más sostenible y racional. El artículo 14 de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, menciona que a partir del año 2025 todos los vehículos que se incorporen al servicio de transporte público urbano e interparroquial, en el Ecuador continental, deberán ser únicamente de medio motor eléctrico (Ley Orgánica de Eficiencia Energética [LOEE], 2019).

El transporte público ha sido un componente crucial en la economía y la sociedad durante muchos años, al mismo tiempo que ha suscitado preocupación en el ámbito ambiental debido a las emisiones gaseosas resultantes de la combustión de combustibles fósiles (León, 2020). Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del sector del transporte en Ecuador son de 19.057 kton de CO₂, 68 kton de N₂O y 132 kton de CH₄ (Ministerio de Energía y Minas, 2021).

En la actualidad, Ecuador cuenta con una población de 16,938,986 habitantes, donde la población económicamente activa (PEA) abarca a aquellos de 18 a 64 años. Dentro de este grupo, el 63,6% de las personas entre 18 y 30 años utilizan el transporte público, mientras que, entre aquellos de 31 a 64 años, esta cifra es del 52,78% (Instituto Nacional de Estadísticas y Censo [INEC], 2023). Ahora bien, la provincia de Pastaza tiene una población de 83,933 habitantes, de los cuales el 46,13% conforma la PEA, y en su mayoría, el uso de transporte público es su principal medio de movilización (Guevarra, 2019). Se destaca que persiste una importante dependencia de buses que utilizan diésel como fuente energética.

Al querer implementar buses eléctricos, es necesario definir cuatro parámetros esenciales en el ámbito técnico: costos iniciales, especificaciones del vehículo, características del tren de potencia y costos de funcionamiento y mantenimiento. Además, se debe realizar un análisis ambiental considerando factores como el clima, el perfil de altitud y su relación con el ciclo de las rutas (Zumba, 2018). Para Ecuador, la electromovilidad puede presentar nuevas fuentes de empleo en la industria digital y automotriz. Según el informe de balance energético nacional, la generación eléctrica bruta es de 32,047 GWh, y el sector del transporte ocupa 11 GWh (Ministerio de Energía y Minas, 2021). Al adoptar esta estrategia en el sector del transporte público, Ecuador se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible para el año 2030, específicamente los objetivos 7 y 13.

El objetivo principal de este estudio es calcular la demanda energética de un bus de transporte público del cantón Pastaza en una ruta de mayor recorrido para consideración de proyectos de electromovilidad en el cantón Pastaza.

MÉTODO

Registro de datos en la ruta de análisis

Se seleccionó una ruta específica del transporte urbano en la ciudad de Puyo del cantón Pastaza, optando por aquella Cooperativa de Transporte Urbano que recorre la mayor distancia. En la Figura 1 se muestra el recorrido inicial que es desde el sector El Placer en la parroquia Tarqui y culmina en el Dique Pambay. La distancia total es de 22.23 km, distribuido en 11.69 km de ida desde El Placer hasta el Dique Pambay, y el retorno se realiza desde el Dique de Pambay hasta El Placer recorriendo 10.54 km. A este itinerario se denominada "Ruta 3".

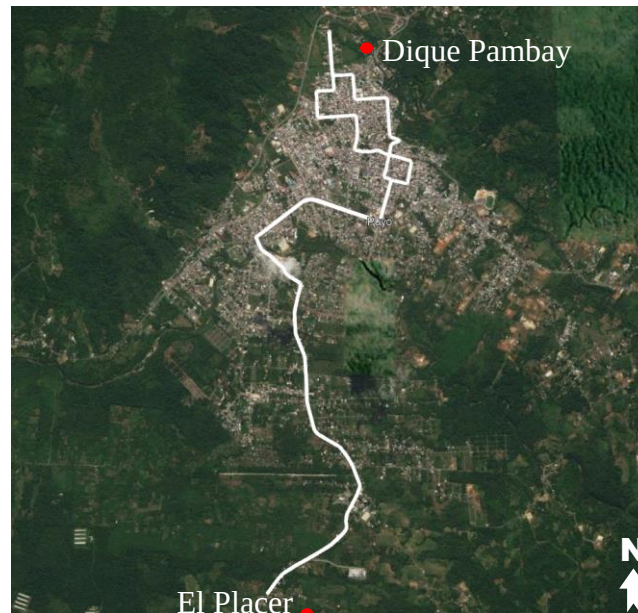


Figura 1

Ruta desde El Placer en Tarqui hasta Dique Pambay en Puyo

La cooperativa de transporte utiliza 6 unidades y realiza 11 viajes diarios, en el cual, se registró información del trayecto como: Tiempo t [s], Aceleración $a(t)$ [m/s^2], Velocidad $v(t)$ [km/h] y Altitud $h_{gps}(t)$ [m], los mismos que se presentan en la Tabla 2. Los datos se obtuvieron con un bus de transporte urbano en 32 ensayos de viaje, en condiciones reales durante tres días consecutivos, registrando datos entre 4061 a 4805 con el uso de un GPS navegador modelo GPSMAP 64sx de marca GARMIN que dispone en su sistema operativo un mapa topográfico restablecido. Las características del bus corresponden a un vehículo de acuerdo con las normas ecuatorianas INEN 2255: 2000, INEN 1658:2015, y de características como se presenta en la Tabla 1

Tabla 1. Datos del vehículo usado en las 32 pruebas.

Magnitud	Dimensión	Valor	Símbolo
Masa	M	12375,00	kg
Coeficiente de arrastre	Cd	0,75	
Coeficiente de resistencia a la rodadura	fr	0,0092	
Gravedad	g	9,789	m/s^2
Área frontal	A	6,63	m^2
Densidad del aire	pa	1,015	kg/m^3
Radio dinámico	Rd	0,51	M
Número de pasajeros		55	Pax

Obtenido las 32 pruebas de viaje, se efectuó una limpieza de datos con el objetivo de eliminar posibles errores en la pendiente que podrían afectar a la Resistencia debido a la pendiente (Rd) y Resistencia a la rodadura (Rx). Este proceso se realizó con el uso del software en línea disponible en <https://www.gpsvisualizer.com/>. Los datos rectificados se usaron para realizar el cálculo de la pendiente corregida mediante el Reglamento de la Unión Europea (UE) 2017/1151 de la comisión de 1 de junio de 2017 (Diario Oficial de la Unión Europea, 2017) el

mismo que especifica en el Apéndice 7b el "Procedimiento para determinar la ganancia de altitud positiva acumulativa de un trayecto".

Metodología para determinar la ganancia de altitud positiva acumulativa

Verificación fundamental de la calidad de datos de la señal del GPS. Los datos registrados fueron comprobados que las velocidades instantáneas del bus estén completas, si es el caso de faltar datos, se debe interpolar usando un sensor de velocidad referenciado con un mapa topográfico. En el caso de esta investigación, los datos interpolados se corrigieron con la Ecuación 1.

Ecuación 1

Donde:

$$|h_{GPS}(t) - h_{map}(t)| > 40 \text{ m}$$

$$h(t) = h_{map}(t)$$

$h(t)$ = altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t en metros sobre el nivel del mar [m.s.n.m],
 $h_{GPS}(t)$ = altitud del vehículo medida con GPS en el punto de datos t [m.s.n.m],
 $h_{map}(t)$ = altitud del vehículo según el mapa topográfico en el punto de datos t [m.s.n.m].

Corrección de los datos de altitud instantánea del vehículo. Los datos de la altitud inicial $h(0)$ en la distancia inicial $d(0)$ del recorrido del bus, se usaron de los registrados con el GPS y posteriormente se verificó con un mapa topográfico de forma que los valores de la desviación no sean superiores a 40 m. Los datos de la altitud instantánea $h(t)$ se corrigió aplicando la Ecuación 2.

Ecuación 2

Donde:

$$|h(t) - h(t-1)| > \left(\frac{v(t)}{3.6} * \sin 45^\circ\right)$$

$$h_{corr}(t) = h_{corr}(t-1)$$

$h(t)$ = altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos t [m.s.n.m],
 $h(t-1)$ = altitud del vehículo tras el examen y la verificación fundamental de la calidad de los datos en el punto de datos $t-1$ [m.s.n.m],
 $v(t)$ = velocidad del vehículo en el punto de datos t [km/h],
 $h_{corr}(t)$ = altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos t [m.s.n.m],
 $h_{corr}(t-1)$ = altitud instantánea corregida del vehículo en el punto de datos $t-1$ [m.s.n.m].

Cálculo de la ganancia de altitud positiva acumulativa. La distancia total d_{tol} [m] del recorrido del bus se determinó sumando las distancias instantáneas d_i como lo indica la Ecuación 3.

Ecuación 3

Donde:

$$d_i = \frac{v_i}{3.6}$$

d_i = distancia instantánea [m],
 v_i = velocidad instantánea del vehículo [km/h].

La ganancia de la altitud acumulativa se calculó en función a los datos de resolución espacial constante de 1 [m] considerando la primera medición de la salida del bus $d(0)$ y a su valor se denominó "Punto de ruta" caracterizado con el valor de distancia específico d y su altitud $h(d)$ [m sobre nivel del mar]. Para la altitud de cada punto de la ruta discreto d del bus se calculó interpolando la altitud instantánea $h_{corr}(t)$ como lo indica en la Ecuación 4.

$$h_{ins}(d) = h_{corr}(0) + \frac{h_{corr}(1) - h_{corr}(0)}{d_1 - d_0} * (d - d_0) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

$h_{ins}(d)$ = altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m.s.n.m],

$h_{corr}(0)$ = altitud corregida inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m.s.n.m],

$h_{corr}(1)$ = altitud corregida inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m.s.n.m],

d = distancia acumulativa recorrida hasta el punto de ruta discreto considerado d [m],

d_0 = distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente antes del respectivo punto de ruta d [m],

d_1 = distancia acumulativa recorrida hasta la medición inmediatamente después del respectivo punto de ruta d [m].

Suavizado adicional de los datos. A los valores de la altitud de cada punto de la ruta discreto d , se suavizó considerando d_a como punto de ruta primera y d_e como punta de ruta última. Para el suavizado, se aplicó dos rondas, la primera se usó con las siguientes ecuaciones.

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d+200m) - h_{int}(d_a)}{(d+200m)} \quad \text{para } d \leq 200m \quad \text{Ecuación 5}$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d+200m) - h_{int}(d-200m)}{(d+200m) - (d-200m)} \quad \text{para } 200m < d < (d_e - 200m) \quad \text{Ecuación 6}$$

$$road_{grade,1}(d) = \frac{h_{int}(d_e) - h_{int}(d-200m)}{d_e - (d-200m)} \quad \text{para } d \geq (d_e - 200m) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$h_{int,sm,1}(d) = h_{int,sm,1}(d - 1m) + road_{grade,1}(d), d = d_a + 1 \text{ a } d_e \quad \text{Ecuación 8}$$

$$h_{int,sm,1}(d_a) = h_{int}(d_a) + road_{grade,1}(d_a) \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$road_{grade,1}(d)$ = pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la primera ronda de suavizado [m/m],

$h_{int}(d)$ = altitud interpolada en el punto de ruta discreto considerado d [m.s.n.m],

$h_{int,sm,1}(d)$ = altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado d [m.s.n.m],

d = distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m],

d_a = punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros [m],

d_e = distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m].

Para realizar el suavizado de la segunda ronda, se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,ms,1}(d+200m) - h_{int,sm,1}(d_a)}{(d+200m)} \text{ para } d \leq 200m \quad \text{Ecuación 10}$$

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,ms,1}(d+200m) - h_{int,sm,1}(d-200m)}{(d+200m) - (d-200m)} \text{ para } 200m < d < (d_e - 200m) \quad \text{Ecuación 11}$$

$$road_{grade,2}(d) = \frac{h_{int,sm,1}(d_e) - h_{int,sm,1}(d-200m)}{d_e - (d-200m)} \text{ para } d \geq (d_e - 200m)$$

Ecuación 12

Donde:

$road_{grade,2}(d)$ = pendiente de la carretera suavizada en el punto de ruta discreto considerado tras la segunda ronda de suavizado [m/m],

$h_{int,ms,1}(d)$ = altitud interpolada suavizada, tras la primera ronda de suavizado en el punto de ruta discreto considerado d [m.s.n.m],

d = distancia acumulativa recorrida en el punto de ruta discreto considerado [m]

d_a = punto de ruta de referencia a una distancia de 0 metros [m],

d_e = distancia acumulativa recorrida hasta el último punto de ruta discreto [m].

Resultado final de la altitud positiva. La altitud positiva acumulativa ganada en la Ruta 3 se calculó integrando todas las pendientes positivas de la carretera interpoladas y suavizadas, es decir, $road_{grade,2}(d)$. Adicional, se normalizó el resultado por la distancia total de la Ruta 3 que es 22.23 [km] y expresado en [m] la ganancia de altitud acumulativa por cada 100 [km] de distancia recorrida.

Metodología para el cálculo del consumo energético y ciclo típico de conducción

Concluida la corrección de la pendiente, se calculó el ciclo típico de conducción y el consumo energético del bus. La metodología para el ciclo de conducción se realizó mediante el método directo que según (Pinto Gómez de las Heras, 2011) se caracteriza por un recorrido de un vehículo en situación de tráfico real que representa información detallada para saber el comportamiento del vehículo bajo conducción, y de acuerdo con (Astudillo, 2016) los ciclos de conducción de rutas reales en tránsito presentan variaciones de la velocidad en cada instante del recorrido.

Las variables consideradas para el análisis del ciclo de conducción son de acuerdo con (Restrepo et al. 2007) que corresponde a: velocidad, tiempo, distancia, altitud y/o pendiente de

la ruta, y también, las variables del vehículo presentadas en la Tabla 2. Para prescribir el ciclo típico de los 32 ensayos de la Ruta 3, se usó la metodología de (Urgilés-Amoroso & Urgilés-Verdugo, 2021) que consiste analizar los valores de los porcentajes de las diversas energías comprometidas en el ciclo de conducción para aplicar el método de diferencias mínimas relativas en predictores utilizando una regresión lineal múltiple. Los predictores que se asignó corresponde a: tiempo de recorrido, distancia, variaciones de la velocidad, paradas, variaciones de la aceleración, relación aceleración-velocidad, y los variables a predecir que son las correspondientes a la demanda del consumo energético. Con esta metodología permitió disminuir la multicolinealidad entre variables dependientes e independiente realizando una matriz ortogonal.

Para el cálculo de la demanda del consumo energético del bus, se aplicó la metodología establecida por (Zumba, 2018) empleando las siguientes ecuaciones:

Resistencia a la rodadura. Se refiere a la resistencia que experimenta los neumáticos con la calzada de la vía cuando está en movimiento considerando el ángulo de la pendiente para cada instante del tiempo. Esto se expresa en la Ecuación 13.

Ecuación 13

Donde:

$$R_x = f_r * M * g * \cos\theta$$

R_x = resistencia a la rodadura [N]

f_r = coeficiente de resistencia a la rodadura [cd]

M = masa [kg]

g = gravedad [m/s²]

θ = pendiente del camino [rad]

Fuerza de arrastre. Es la fuerza aerodinámica que ejerce el motor del bus en movimiento, como lo expresa la Ecuación 14.

Ecuación 14

Donde:

$$F_d = \frac{1}{2} * C_d * \rho_a * A * v^2$$

F_d = fuerza de arrastre [N]

C_d = coeficiente de arrastre [cd]

ρ_a = densidad del aire [kg/m³]

A = área frontal del vehículo [m²]

v = velocidad [m/s]

Resistencia debida a la pendiente. El bus en movimiento ejerce una resistencia por el piso a desnivel o pendiente, es decir, es la resistencia opuesta generada constituida por la masa del vehículo y el ángulo de la pendiente. Para el cálculo se usó la Ecuación 15.

Ecuación 15

Donde:

$$R_g = M * g * \sin\theta$$

R_g = resistencia debida a la pendiente [N]

M = masa [kg]

g = gravedad [m/s²]

θ = pendiente del camino [rad]

Resistencia debido a la inercia. Se manifiesta en el bus un movimiento cuando ejerce una fuerza superior a la de la inercia, esto se calcula con la Ecuación 16.

Ecuación 16

Donde:

$$R_l = M * a$$

R_l = resistencia debida a la inercia [N]

M = masa [kg]

a = aceleración [m/s^2]

Torque en la rueda. La potencia y el par motor del bus transmite a las ruedas la fuerza que impulsa para realizar el desplazamiento del bus. Mediante la Ecuación 17 se pudo calcular el torque en la rueda del bus.

Ecuación 17

Donde:

$$\tau_x = F_x * R_d$$

τ_x = torque de rueda [Nm]

F_x = fuerza en rodadura [N]

R_d = radio dinámico [m]

Potencia en la rueda. Con la Ecuación 18, se calculó el valor de energía en función al tiempo que el motor del bus traslada a las ruedas mediante la transmisión.

Ecuación 18

Donde:

$$P_x = F_x * v$$

F_x = fuerza de rodadura [N]

V = velocidad [m/s]

Demanda de energía. Se basa en la cantidad de energía requerida para realizar el recorrido del bus por todo su trayecto de ruta. Esta energía se calculó con la Ecuación 19.

Ecuación 19

Donde:

$$E_x = P_x * \Delta t$$

E_x = demanda de energía [kWh]

P_x = potencia en rueda [kW]

Δt = variación del tiempo [s]

Fuerza en la rueda. Considerada como la sumatoria de las fuerzas que se resisten al movimiento del bus, como lo expresa la Ecuación 20.

Ecuación 20

Donde:

$$F_x = F_d + R_x + R_l + R_g$$

F_x = fuerza en rueda [N]

F_d = fuerza de arrastre [N]

R_x = resistencia a la rodadura [N]

R_l = resistencia a la inercia [N]

R_g = resistencia a la pendiente [N]



RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos:

Registro del recorrido en los 32 ensayos con GPS

La información obtenida del recorrido del bus de transporte público en la Ruta 3, se realizó sin detener el registro del GPS en las paradas de buses, en los semáforos, ni en momentos que el bus espera a pasajeros. En los tres días de registro de datos, el conductor no apagó el motor del bus. Los datos registrados para el cálculo de la pendiente se presentan de forma sucinta, es decir, en los tiempos iniciales uno, medios y últimos, esto debido a que los datos del tiempo [s] de los ensayos fueron entre 4061 a 4805.

La topografía donde recorre el bus de transporte público tiene valores de pendiente positiva de 2.17 [%] y de -2.42 [%] como negativa. En todo el trayecto el bus no experimenta pendientes superiores al 6%, es decir, la topografía en la zona urbana de Puyo se puede considerar de falso plano con pendiente menores al 6%.

Determinación de la ganancia de altitud positiva acumulativa

En la verificación fundamental de la calidad de los datos registrados en la Ruta 3, se realizó identificando datos faltantes de la velocidad instantánea y de la altitud instantánea. En los 32 ensayos los datos de velocidad y altitud fueron registrados satisfactoriamente con el GPS GARMIN GPSMAP 64xs. Para efectos de aplicación de la metodología, se presenta la corrección de los datos interpolados aplicando la Ecuación 1, y su resultado se representa como $h(t)$ en la Tabla 2.

Tabla 2. Corrección de la altitud instantánea del recorrido del bus.

Ensayo	Tiempo t [s]	Aceleración		v(t) [km/h]	hGPS(t) [m]	hmap(t) [m]	h(t) [m]	hcorr(t) [m]	di [m]	dacum [m]
		a(t) [m/s ²]								
1	1	0.47		1.7	950.0	931.0	950.0	950.0	0.5	0.5
	2296	0.27		35.7	959.0	936.5	959.0	959.0	9.9	10997.8
	4587	-0.48		4.8	958.0	931.2	958.0	958.0	1.3	21086.9
2	1	0.97		3.5	958.0	931.2	958.0	958.0	1.0	1.0
	2053	1.95		10.4	956.0	931.1	956.0	956.0	2.9	10444.4
	4105	-0.30		5.5	959.0	931.0	959.0	959.0	1.5	21065.7
3	1	-0.14		1.3	959.0	931.0	959.0	959.0	0.4	0.4
	2112	0.61		34.0	958.0	936.6	958.0	958.0	9.5	10998.7
	4223	-0.35		1.9	958.0	931.1	958.0	958.0	0.5	21141.1
4	1	1.49		5.4	957.0	931.1	957.0	957.0	1.5	1.5
	2295	-0.13		12.7	957.0	931.8	957.0	957.0	3.5	9848.5
	4588	0.17		0.6	951.0	931.2	951.0	951.0	0.0	21135.2
5	1	1.77		6.4	948.0	931.1	957.0	957.0	1.5	1.5
	2310	0.75		36.2	960.0	931.8	957.0	957.0	3.5	9848.5



Ensayo	Tiempo t [s]	Aceleración		v(t) [km/h]	hGPS(t) [m]	hmap(t) [m]	h(t) [m]	hcorr(t) [m]	di [m]	dacum [m]
		a(t) [m/s ²]								
6	4617	0.34		1.2	966.0	931.2	951.0	951.0	0.2	21135.2
	1	0.56		2.0	966.0	931.2	948.0	948.0	1.8	1.8
	2207	0.67		12.2	967.0	928.2	960.0	960.0	10.1	10306.0
	4412	0.01		1.0	954.0	931.0	966.0	967.0	0.3	21136.0
7	1	1.32		4.8	954.0	931.3	954.0	954.0	1.3	1.3
	2281	0.14		30.6	956.0	930.2	956.0	956.0	8.5	10449.4
	4561	-0.18		0.1	951.0	931.3	951.0	951.0	0.0	21110.8
8	1	1.13		4.1	965.0	931.2	965.0	967.0	1.1	1.1
	2316	0.30		55.0	953.0	930.1	953.0	953.0	15.3	10421.8
	4630	0.13		4.0	957.0	931.1	957.0	957.0	1.1	21070.2
9	1	0.97		3.5	957.0	931.2	957.0	957.0	1.0	1.0
	2316	-1.42		44.7	964.0	938.2	964.0	964.0	12.4	10753.7
	4378	-0.50		0.1	955.0	931.3	955.0	955.0	0.0	21064.6
10	1	0.95		3.4	956.0	931.3	956.0	955.0	1.0	1.0
	2142	0.06		18.3	952.0	931.6	952.0	952.0	5.1	9826.0
	4282	-0.55		0.3	949.0	930.6	949.0	949.0	0.1	21073.1
11	1	1.10		4.0	949.0	930.6	949.0	949.0	1.1	1.1
	2270	0.17		21.6	952.0	928.8	952.0	952.0	6.0	10049.9
	4538	-0.41		3.0	950.0	930.9	950.0	950.0	0.8	21155.8
12	1	1.20		4.4	950.0	930.9	950.0	950.0	1.2	1.2
	2379	0.11		31.7	957.0	935.6	957.0	957.0	8.8	11025.3
	4556	0.21		2.5	948.0	931.1	948.0	949.0	0.7	21073.5
13	1	0.88		3.2	948.0	931.1	948.0	947.0	0.9	0.9
	2223	0.01		10.3	958.0	932.5	958.0	958.0	2.9	9871.8
	4443	-0.25		0.1	945.0	931.3	945.0	945.0	0.0	21160.2
14	1	0.87		3.1	945.0	931.3	945.0	945.0	0.9	0.9
	2145	0.19		15.9	959.0	942.0	959.0	959.0	4.4	10860.4
	4288	-0.51		0.5	947.0	931.2	947.0	947.0	0.1	21080.1
15	1	0.87		3.1	949.0	931.0	949.0	949.0	0.9	0.9
	2135	-0.27		6.4	954.0	930.7	954.0	954.0	1.8	9500.3



Ensayo	Tiempo t [s]	Aceleración		v(t) [km/h]	hGPS(t) [m]	hmap(t) [m]	h(t) [m]	hcorr(t) [m]	di [m]	dacum [m]
		a(t) [m/s ²]								
16	4269	-0.22		0.6	956.0	931.2	956.0	956.0	0.2	21106.0
	1	0.90		3.2	955.0	931.2	955.0	956.0	0.9	0.9
	2155	-0.25		0.0	955.0	930.8	955.0	955.0	0.0	9487.3
	4307	-0.58		0.9	941.0	931.1	941.0	940.0	0.3	21118.3
17	1	1.45		5.3	941.0	931.1	941.0	941.0	1.5	1.5
	2083	0.16		27.0	939.0	928.3	939.0	939.0	7.5	10357.4
	4164	-0.32		0.6	952.0	931.1	952.0	953.0	0.2	21167.4
	1	1.09		3.9	952.0	931.1	952.0	952.0	1.1	1.1
18	2030	0		0.0	956.0	928.2	956.0	956.0	0.0	9730.1
	4059	-0.18		0.5	958.0	931.2	958.0	957.0	0.1	21112.2
	1	0.51		1.8	957.0	931.2	957.0	958.0	0.5	0.5
	2110	0.29		16.5	948.0	927.8	948.0	948.0	4.6	10117.7
19	4220	0.14		0.5	955.0	930.3	955.0	954.0	0.1	21130.1
	1	0.57		2.1	954.0	930.9	954.0	954.0	0.6	0.6
	2402	-0.99		15.3	951.0	927.7	951.0	951.0	4.2	10053.2
	4802	-0.99		0.3	957.0	931.1	957.0	957.0	0.1	21048.7
20	1	0.44		1.6	957.0	931.0	957.0	957.0	0.4	0.4
	2131	0.34		32.4	963.0	935.5	963.0	963.0	9.0	10662.1
	4260	-0.11		3.1	949.0	931.1	949.0	949.0	0.9	21066.9
	1	0.71		2.6	959.0	931.0	959.0	961.0	0.7	0.7
21	2068	0		30.0	969.0	939.8	969.0	969.0	8.3	10918.5
	4134	-0.26		0.1	954.0	931.2	954.0	954.0	0.0	21127.0
	1	0.53		1.9	948.0	930.7	948.0	949.0	0.5	0.5
	2042	1.45		5.3	949.0	927.8	949.0	949.0	1.5	10081.7
22	4083	-0.24		3.1	952.0	930.8	952.0	952.0	0.9	21145.2
	1	0.87		3.1	952.0	930.8	952.0	952.0	0.9	0.9
	2225	0.52		16.8	949.0	932.6	949.0	949.0	4.7	9881.6
	4449	0		1.0	954.0	930.9	954.0	955.0	0.3	21075.9
23	1	0		0.0	954.0	930.9	954.0	954.0	0.0	0.0
	2095	0.08		21.5	947.0	931.3	947.0	947.0	6.0	9812.3



Ensayo	Tiempo t [s]	Aceleración		v(t) [km/h]	hGPS(t) [m]	hmap(t) [m]	h(t) [m]	hcorr(t) [m]	di [m]	dacum [m]
		a(t) [m/s ²]								
26	4189	-0.33		1.3	950.0	931.2	950.0	950.0	0.4	21047.9
	1	0.05		2.1	945.0	930.9	945.0	945.0	0.6	0.6
	2164	0.08		47.2	951.0	931.0	951.0	951.0	13.1	9142.0
	4327	-0.28		0.1	957.0	931.2	957.0	958.0	0.0	19676.8
27	1	0.90		3.3	954.0	931.1	954.0	953.0	0.9	0.9
	2135	0		0.0	948.0	930.7	948.0	953.4	0.0	8968.5
	4269	0.10		1.9	946.0	930.8	946.0	946.0	0.5	20606.8
	1	1.37		4.9	946.0	930.8	946.0	946.0	1.4	1.4
28	2133	-0.75		10.2	950.0	932.5	950.0	950.0	2.8	9677.4
	4265	-0.01		2.5	960.0	931.0	960.0	960.0	0.7	20843.8
	1	0.96		3.5	961.0	931.1	961.0	962.0	1.0	1.0
	2230	0.01		25.4	954.0	927.8	954.0	954.0	7.1	10069.2
29	4458	0.23		3.3	956.0	931.2	956.0	957.0	0.9	21051.9
	1	0.69		2.5	966.0	931.2	966.0	967.0	0.7	0.7
	2380	-0.90		25.9	952.0	927.8	952.0	952.0	7.2	10174.5
	4758	-0.28		3.0	953.0	931.2	953.0	953.0	0.8	21047.4
30	1	1.03		3.7	964.0	931.3	964.0	965.0	1.0	1.0
	2345	0.52		17.4	959.0	942.1	959.0	959.0	4.8	10753.4
	4687	-0.02		0.6	956.0	931.2	956.0	956.0	0.2	20907.0
	1	1.45		5.3	961.0	931.1	961.0	961.0	1.5	1.5
31	2294	-0.51		24.2	959.0	929.4	959.0	959.0	6.7	10224.2
	4585	0.03		2.1	955.0	930.9	955.0	955.0	0.6	20743.6

Respecto a la corrección de los datos de altitud instantánea que recorrió el bus, se realizó a los valores de $h(t)$ aplicando la Ecuación 2 y su resultado se presenta en la Tabla 4 como $h_{corr}(t)$.

En la determinación de la ganancia de altitud positiva acumulativa, se estableció una resolución espacial uniforme de 1 [m] con los valores de ruta discretos d y sus valores de altitud $h_{int}(d)$. Los valores obtenidos de la altitud de cada punto de ruta discreto d se realizó con los valores de la interpolación de la altitud instantánea medida en h_{corr} con la Ecuación 4. Los resultados se presentan en la siguiente tabla 3.



Tabla 3. Cálculo de la ganancia de la altitud positiva acumulativa.

Ensayo	Tiempo t [s]	d [m]	d0 [m]	d1 [m]	hcorr (0) [m]	hcorr (1) [m]	hint (d) [m]	roadgrade.1 (d) [m]	hins,sm ,1 (d) [m]	roadgrade.2 (d) [m/m]
1	1	0.5	0.0	2.5	950.0	950.0	950.0	0.055	950.1	0.055
	2296	10997.8	10987.9	11007.7	959.0	959.0	959.0	-0.028	959.0	-0.028
	4587	21086.9	21085.6	21087.4	958.0	958.0	958.0	0.007	958.0	0.007
2	1	1.0	0.0	2.7	958.0	958.0	958.0	-0.005	958.0	-0.010
	2053	10444.4	10441.5	10449.0	956.0	956.0	956.0	0.015	956.0	0.015
	4105	21065.7	21064.2	0.0	959.0	0.0	959.1	0.010	959.0	0.015
3	1	0.4	0.0	2.1	959.0	959.0	959.0	-0.040	959.0	-0.040
	2112	10998.7	10989.2	11008.0	958.0	957.0	957.5	-0.008	958.0	-0.009
	4223	21141.1	21140.6	21141.1	958.0	958.0	958.0	-0.030	958.0	-0.028
4	1	1.5	0.0	4.3	957.0	957.0	957.0	0.020	957.0	0.017
	2295	9848.5	9845.0	9851.9	957.0	957.0	957.0	0.006	956.5	0.007
	4588	21135.2	21135.1	21135.2	951.0	951.0	951.0	-0.035	951.0	-0.038
5	1	1.8	0.0	3.5	948.0	947.0	947.5	0.057	948.1	0.054
	2310	10306.0	10296.0	10316.6	960.0	960.0	960.0	0.025	960.0	0.026
	4617	21136.0	21135.7	21136.0	967.0	966.0	966.0	-0.005	967.0	-0.002
6	1	0.6	0.0	1.1	966.0	966.0	966.0	-0.027	966.0	-0.027
	2207	11074.1	11070.7	11078.0	967.0	967.0	967.0	-0.028	967.0	-0.028
	4412	21124.8	21124.5	21124.8	953.0	954.0	954.0	-0.005	953.0	-0.005
7	1	1.3	0.0	3.5	954.0	954.0	954.0	0.020	954.0	0.020
	2281	10449.4	10440.9	10458.0	956.0	957.0	956.5	0.021	956.0	0.020
	4561	21110.8	21110.8	21110.8	951.0	951.0	951.0	0.013	950.5	0.010



Ensayo	Tiempo t [s]	d [m]	d0 [m]	d1 [m]	hcorr (0) [m]	hcorr (1) [m]	hint (d) [m]	roadgrad e.1 (d) [m]	hins,sm ,1 (d) [m]	roadgrad e.2 (d) [m/m]
8	1	1.1	0.0	3.0	967.0	965.0	966.2	-0.057	966.9	-0.057
	2316	10421.8	10406.6	10437.8	953.0	953.0	953.0	0.017	953.0	0.019
	4630	21070.2	21069.1	21070.2	957.0	957.0	957.0	0.005	957.0	0.005
9	1	1.0	0.0	2.3	957.0	957.0	957.0	-0.077	956.9	-0.077
	2316	10753.7	10741.3	10764.5	964.0	964.0	964.0	0.010	964.0	0.011
	4378	21064.6	21064.6	21064.6	956.0	955.0	955.0	-0.043	957.0	-0.030
10	1	1.0	0.0	2.2	955.0	956.0	955.4	-0.017	955.0	-0.015
	2142	9826.0	9820.9	9830.9	952.0	952.0	952.0	-0.011	952.0	-0.010
	4282	21073.1	21073.1	21073.1	949.0	949.0	949.0	-0.015	949.3	-0.013
11	1	1.1	0.0	2.4	949.0	949.0	949.0	-0.005	949.0	-0.002
	2270	10049.9	10043.9	10055.8	951.0	951.0	951.0	0.014	951.5	0.015
	4538	21155.8	21155.0	21155.8	950.0	950.0	950.0	-0.015	950.0	-0.017
12	1	1.2	0.0	2.5	950.0	950.0	950.0	0.028	950.0	0.028
	2379	11025.3	11016.5	11034.2	957.0	957.0	957.0	-0.021	956.5	-0.021
	4556	21073.5	21072.8	21073.5	949.0	948.0	948.0	-0.010	949.0	-0.010
13	1	0.9	0.0	1.7	947.0	948.0	947.5	-0.010	947.0	-0.007
	2223	9871.8	9868.9	9874.7	959.0	958.0	958.5	-0.001	958.0	0.000
	4443	21160.2	21160.2	21160.2	945.0	945.0	945.0	-0.007	945.0	-0.010
14	1	0.9	0.0	3.0	945.0	946.0	945.3	0.042	945.0	0.042
	2145	10860.4	10855.9	10864.7	960.0	960.0	960.0	-0.003	959.0	0.000
	4288	21080.1	21080.0	21080.1	947.0	947.0	947.0	-0.030	947.0	-0.030
15	1	0.9	0.0	2.0	949.0	949.0	949.0	0.055	949.1	0.055
	2135	9500.3	9498.5	9501.7	955.0	954.0	954.5	0.015	954.5	0.016



Ensayo	Tiempo t [s]	d [m]	d0 [m]	d1 [m]	hcorr (0) [m]	hcorr (1) [m]	hint (d) [m]	roadgrad e.1 (d) [m]	hins,sm ,1 (d) [m]	roadgrad e.2 (d) [m/m]
16	4269	21106.0	21105.8	21106.0	957.0	956.0	956.0	-0.035	957.6	-0.027
	1	0.9	0.0	1.6	956.0	955.0	955.4	-0.010	956.0	-0.007
	2155	9487.3	9487.3	9487.3	955.0	955.0	955.0	0.004	956.0	0.004
	4307	21118.3	21118.0	21118.3	940.0	941.0	941.0	0.000	940.0	0.000
17	1	1.5	0.0	3.1	941.0	940.0	940.5	0.045	941.0	0.045
	2083	10357.4	10349.9	10365.1	939.0	938.0	938.5	-0.001	939.0	-0.001
	4164	21167.4	21167.3	21167.4	952.0	952.0	952.0	0.015	952.0	0.010
18	1	1.1	0.0	2.3	952.0	952.0	952.0	0.010	952.0	0.010
	2030	9730.1	9730.1	9730.1	956.0	956.0	956.0	0.013	957.0	0.012
	4059	21112.2	21112.1	21112.2	957.0	958.0	958.0	-0.012	957.0	-0.017
19	1	0.5	0.0	1.9	958.0	957.0	957.7	0.000	958.0	0.000
	2110	10117.7	10113.2	10122.8	948.0	948.0	948.0	-0.013	947.5	-0.011
	4220	21130.1	21130.0	0.0	954.0	0.0	954.0	-0.035	954.5	-0.033
20	1	0.6	0.0	2.1	954.0	955.0	954.3	-0.002	954.0	-0.005
	2402	10053.2	10048.9	10056.1	951.0	951.0	951.0	-0.015	951.0	-0.015
	4802	21048.7	21048.6	21048.7	956.0	957.0	957.0	-0.023	956.0	-0.030
21	1	0.4	0.0	0.7	957.0	957.0	957.0	0.015	957.0	0.015
	2131	10662.1	10653.1	10671.3	963.0	963.0	963.0	0.005	963.0	0.005
	4260	21066.9	21066.1	21066.9	949.0	949.0	949.0	0.002	949.0	0.000
22	1	0.7	0.0	2.0	961.0	959.0	960.3	0.005	961.0	0.008
	2068	10918.5	10910.2	10928.1	969.0	969.0	969.0	-0.007	969.0	-0.005
	4134	21127.0	21127.0	21127.0	955.0	954.0	954.0	-0.030	956.0	-0.020



Ensayo	Tiempo t [s]	d [m]	d0 [m]	d1 [m]	hcorr (0) [m]	hcorr (1) [m]	hint (d) [m]	roadgrad e.1 (d) [m]	hins,sm ,1 (d) [m]	roadgrad e.2 (d) [m/m]
23	1	0.5	0.0	2.6	949.0	948.0	948.8	0.018	949.0	0.022
	2042	10081.7	10080.2	10083.5	950.0	949.0	949.6	-0.010	950.0	-0.011
	4083	21145.2	21144.3	0.0	952.0	0.0	952.0	-0.020	952.0	-0.020
24	1	0.9	0.0	2.0	952.0	952.0	952.0	0.007	952.0	0.005
	2225	9881.6	9877.0	9886.1	948.0	949.0	948.5	0.008	948.5	0.009
	4449	21075.9	21075.7	21075.9	955.0	954.0	954.0	-0.002	955.0	0.000
25	1	0.0	0.0	0.7	954.0	954.0	954.0	0.025	954.0	0.025
	2095	9812.3	9806.3	9818.2	947.0	948.0	947.5	0.020	947.0	0.022
	4189	21047.9	21047.5	21047.9	951.0	950.0	950.0	-0.033	951.0	-0.027
26	1	0.6	0.0	1.2	945.0	945.0	945.0	0.037	945.0	0.035
	2164	9142.0	9128.9	9155.1	947.3	950.0	948.7	0.010	947.6	0.009
	4327	19676.8	19676.7	19676.8	958.0	957.0	957.0	0.035	958.0	0.040
27	1	0.9	0.0	2.2	953.0	954.0	953.4	0.002	953.0	0.003
	2135	8968.5	8968.5	8968.5	953.4	948.0	953.4	-0.012	953.4	-0.010
	4269	20606.8	20606.3	20606.8	946.0	946.0	946.0	0.003	945.6	-0.002
28	1	1.4	0.0	3.9	946.0	946.0	946.0	-0.022	946.0	-0.022
	2133	9677.4	9674.6	9680.3	950.0	951.0	950.5	0.010	950.0	0.010
	4265	20843.8	20843.1	20843.8	960.0	960.0	960.0	0.027	960.0	0.030
29	1	1.0	0.0	2.4	962.0	961.0	961.6	-0.022	962.0	-0.022
	2230	10069.2	10062.2	10076.5	954.0	954.0	954.0	0.001	954.0	0.002
	4458	21051.9	21051.0	21051.9	957.0	956.0	956.0	0.028	957.0	0.030
30	1	0.7	0.0	2.0	967.0	966.0	966.6	-0.027	967.0	-0.027
	2380	10174.5	10167.3	10180.5	952.0	951.0	951.9	0.004	952.5	0.004
	4758	21047.4	21046.6	21047.4	953.0	953.0	953.0	0.015	952.0	0.008



Ensayo	Tiempo t [s]	d [m]	d0 [m]	d1 [m]	hcorr (0) [m]	hcorr (1) [m]	hint (d) [m]	roadgrade.1 (d) [m]	hins,sm ,1 (d) [m]	roadgrade.2 (d) [m/m]
31	1	1.0	0.0	2.7	965.0	963.0	964.2	-0.017	965.0	-0.017
	2345	10753.4	10748.6	10757.8	959.0	959.0	959.0	0.003	959.0	0.002
	4687	20907.0	20906.8	20907.0	956.0	956.0	956.0	0.010	956.0	0.013
32	1	1.5	0.0	2.9	961.0	961.0	961.0	-0.010	961.0	-0.010
	2294	10224.2	10217.4	10230.6	959.0	959.0	959.0	0.010	959.5	0.009
	4585	20743.6	20743.0	20743.6	955.0	955.0	955.0	0.007	955.0	0.010

En la aplicación de las dos rondas para el suavizado de cada punto de la ruta discreto d , se consideró a $d_a = 0$ como punto de ruta inicial y a d_c = al valor de distancia última del recorrido para cada ensayo, es decir, en los 32 ensayos se usó el valor de distancia útil último que registró el GPS. Los resultados de las ecuaciones 5 y 6 se presentan en la Tabla 5 mediante roadgrade.1 (d) [m] y roadgrade.2 (d) [m/m] respectivamente.

El resultado final de la ganancia de altitud positiva acumulativa de la Ruta 3, se determinó integrando todas las pendientes positivas interpoladas y suavizadas que corresponden a los valores de roadgrade.2 (d). La altitud positiva acumulativa de los días 1, 2 y 3 corresponden a 297.97 [m], 293.83 [m] y 272.40 [m] respectivamente.

Determinación del ciclo típico y demanda energética del bus

La demanda energética necesaria para la Ruta 3 que exige el bus en función al ciclo de conducción fue analizado en los 32 ensayos. El análisis determinó la demanda energética [Kwh] y los porcentajes [%] de energía de: Resistencia a la rodadura [E.Rx], Fuerza de arrastre [E.Fd], Resistencia debido a la pendiente [E.Rg], Resistencia debido a la inercia [E.Ri] y Energía ganadas [E+], en las cuales, las diferencias mínimas relativas (DMR) observadas mediante la matriz ortogonal, presentó el valor mínimo al ensayo 26 como se presenta en la siguiente tabla 4.



Tabla 4. Consumo energético en función al ciclo típico en [kwh] y [%].

ENSAYO	E.Fd [Kwh]	E.Rx [Kwh]	E.Rt [Kwh]	E.Rg [Kwh]	E+ [Kwh]	E.Fd [%]	E.Rx [%]	E.Rt [%]	E.Rg [%]	E+ [kwh]	DMR
1	0.469	3.519	2.858	10.223	17.068	2.746	20.616	16.745	59.894	17.068	5.485
2	0.883	3.562	2.459	22.666	29.571	2.988	12.045	8.316	76.652	29.571	8.275
3	0.694	3.587	2.574	14.736	21.591	3.213	16.612	11.923	68.251	21.591	1.424
4	0.500	3.488	3.100	10.454	17.542	2.848	19.885	17.673	59.594	17.542	5.680
5	0.533	3.527	3.078	13.005	20.143	2.648	17.508	15.283	64.561	20.143	1.652
6	0.596	3.443	2.914	14.071	21.024	2.834	16.377	13.863	66.926	21.024	0.443
7	0.555	3.442	2.817	13.622	20.436	2.718	16.841	13.785	66.655	20.436	0.176
8	0.543	3.301	2.540	11.636	18.020	3.016	18.321	14.093	64.570	18.020	1.623
9	0.709	3.391	3.524	15.797	23.421	3.027	14.480	15.045	67.448	23.421	1.275
10	0.684	3.421	2.805	14.772	21.682	3.157	15.777	12.936	68.130	21.682	1.349
11	0.593	3.346	2.650	15.202	21.790	2.720	15.354	12.160	69.767	21.790	2.613
12	0.586	3.366	2.878	13.424	20.253	2.892	16.618	14.209	66.282	20.253	0.387
13	0.543	3.445	3.174	12.739	19.901	2.727	17.311	15.951	64.012	19.901	2.072
14	0.537	3.348	3.043	12.860	19.789	2.716	16.920	15.380	64.984	19.789	1.361
15	0.526	3.384	3.290	9.992	17.192	3.062	19.683	19.135	58.120	17.192	6.825
16	0.621	3.390	2.221	13.918	20.150	3.083	16.822	11.025	69.070	20.150	2.049
17	0.697	3.530	2.885	13.078	20.190	3.451	17.485	14.289	64.776	20.190	1.381
18	0.716	3.472	2.925	14.915	22.029	3.251	15.763	13.279	67.707	22.029	1.027
19	0.649	3.391	2.479	13.315	19.834	3.273	17.097	12.498	67.132	19.834	0.520
20	0.486	3.395	2.967	10.468	17.316	2.805	19.608	17.135	60.452	17.316	4.991
21	0.553	3.357	2.335	14.872	21.117	2.618	15.896	11.059	70.427	21.117	3.109
22	0.834	3.349	2.498	17.781	24.462	3.409	13.692	10.212	72.687	24.462	5.111
23	0.681	3.295	2.510	15.920	22.406	3.039	14.705	11.202	71.054	22.406	3.708
24	0.587	3.401	2.874	15.588	22.450	2.616	15.148	12.802	69.434	22.450	2.344
25	0.667	3.357	2.969	14.777	21.770	3.065	15.422	13.637	67.877	21.770	1.212
26	0.570	3.543	2.733	13.537	20.382	2.796	17.383	13.408	66.413	20.382	0.143
27	0.608	3.552	1.732	13.055	18.947	3.207	18.748	9.142	68.903	18.947	2.410
28	0.554	3.627	2.348	11.984	18.512	2.991	19.593	12.684	64.732	18.512	1.732
29	0.463	3.334	2.577	10.662	17.037	2.720	19.572	15.127	62.581	17.037	3.301
30	0.557	3.633	1.727	13.842	19.759	2.818	18.388	8.742	70.053	19.759	3.161

ENSAYO	E.Fd [Kwh]	E.Rx [Kwh]	E.Rt [Kwh]	E.Rg [Kwh]	E+ [Kwh]	E.Fd [%]	E.Rx [%]	E.Rt [%]	E.Rg [%]	E+ [kwh]	DMR
31	0.391	3.342	2.255	11.771	17.759	2.204	18.817	12.695	66.284	17.759	0.582
32	0.355	3.337	2.111	10.535	16.337	2.171	20.425	12.920	64.484	16.337	2.026
PROMEDIO					20.308						
DESVIACIÓN ESTANDAR					2.632						
INTERVALO DE CONFIANZA NORMAL (0.05)					0.912						

Conocido el ciclo típico del bus analizado, se desarrolló la gráfica de velocidad en relación con el tiempo, en la misma que, se presenta una velocidad máxima de 59.76 [km/h].

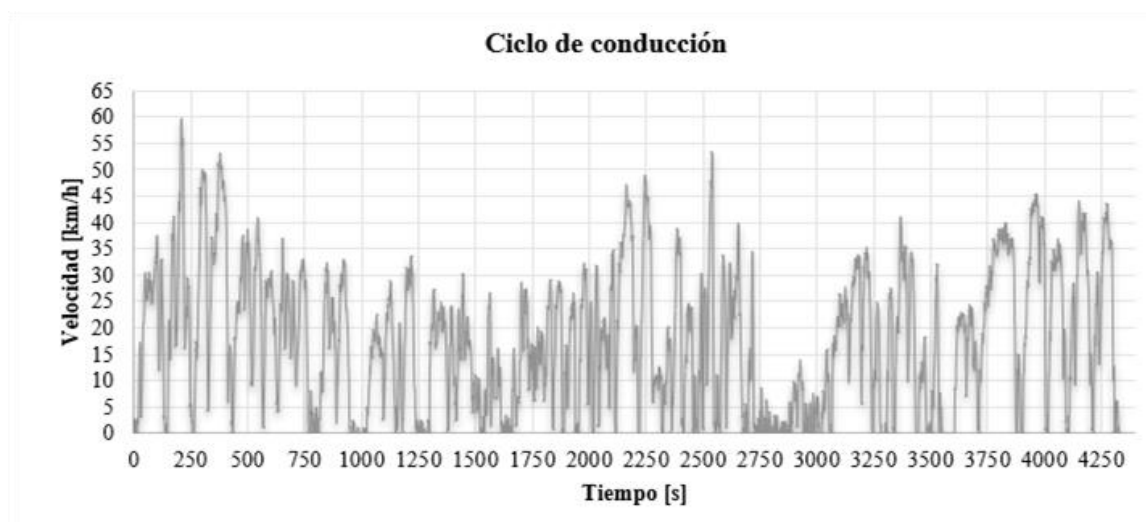


Figura 1

Gráfica del ciclo típico de la Ruta 3

En la Tabla 5 se presenta los parámetros característicos del ciclo de conducción y la demanda energética.

Tabla 5. Parámetros característicos del ciclo de conducción de la Ruta 3.

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Duración	4328	[s]
Distancia	21.21	[km]
Velocidad promedio	17.64	[km/h]
Velocidad máxima	59.76	[km/h]
Detenido	10.95	[%]
Velocidad constante	6.88	[%]
Aceleración	43.29	[%]

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD
Desaceleración	38.88	[%]
Aceleración positiva promedio	0.42	[m/s ²]
Aceleración máxima	3.60	[m/s ²]
Aceleración negativa promedio	-0.45	[m/s ²]
Aceleración mínima	-5.24	[m/s ²]
Aceleración por velocidad positiva promedio	0.15	[m ² /s ³]
Aceleración por velocidad negativa promedio	24.97	[m ² /s ³]
Demanda energética positiva	20.38	[kWh]
Rendimiento	1.04	[km/kWh]
%Regeneración	49.40	[%]

El ciclo típico de la Ruta 3, se transita en una pendiente máxima de 942.4 [m] y a una altura mínima de 910.3 [m]. El perfil de las pendientes fue determinante para el consumo energético.

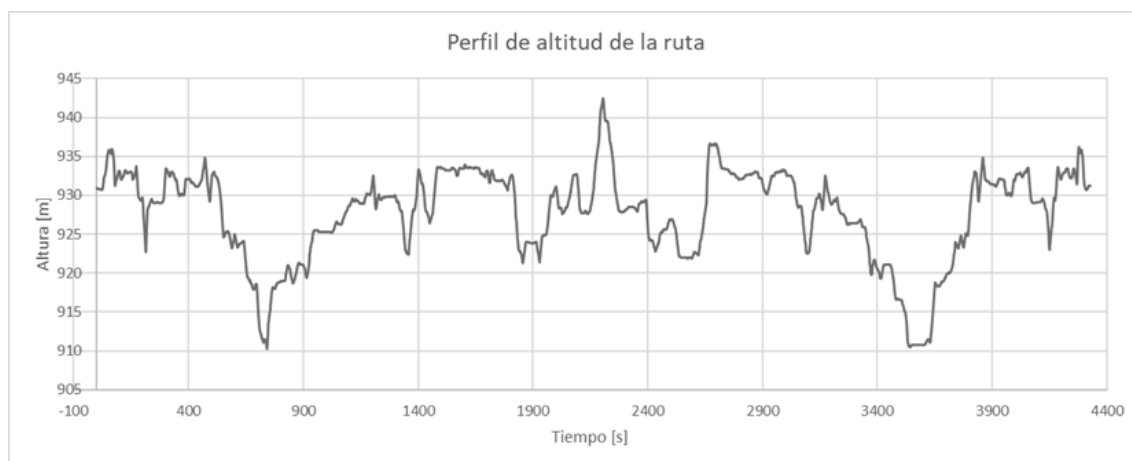


Figura 2

Perfil topográfico del ciclo de conducción de la Ruta 3.

Para calcular el consumo energético diario, es imperativo tener en cuenta la demanda energética del ciclo típico multiplicada por el número diario de recorridos realizados por el bus, que, en este caso, es 11 viajes diarios multiplicado por la demanda energética de 20.38 [kwh], da un consumo de 224.18 [kwh].

DISCUSIÓN

La información obtenida de los ciclos de conducción en condiciones reales es esencial para informar decisiones estratégicas relacionadas con la movilidad, el transporte y la gestión ambiental. Como señala (Leguísamo et al. 2020), entender el comportamiento de los vehículos en situaciones reales proporciona una base sólida para abordar estos temas de manera efectiva. En el contexto del servicio urbano de transporte público, es crucial reconocer que los diferentes comportamientos de conducción surgen tanto de las características de la ruta como del uso variado por parte de los usuarios, como destaca (Jiménez-Alonso et al. 2013). La asignación de ciclos típicos de conducción, como resultado de estudios estandarizados, a menudo basados en similitudes en la línea de ruta o sus características, presenta desafíos en la selección adecuada de vehículos y en la evaluación precisa del consumo de energía, como se observa en la investigación.

Esto resalta la necesidad de adaptar los vehículos a las condiciones específicas de la ciudad y las rutas, así como de comprender mejor el consumo de energía asociado con el uso de combustible diésel. Además, según el Ministerio de Energía y Minas del Ecuador (2021), el transporte urbano representa una parte significativa del consumo total de energía en el país, con un 10.6% de este consumo. En este contexto, la importancia de establecer ciclos típicos de conducción adecuados se evidencia aún más, ya que estos pueden ser fundamentales para la reorganización de la flota de vehículos existente o para la incorporación de nuevas unidades. Esto, a su vez, puede contribuir significativamente a la reducción del consumo de energía y de las emisiones atmosféricas, aspectos cruciales en términos de sostenibilidad ambiental en el transporte urbano.

La demanda de energía del ciclo típico obtenido se relaciona con la energía positiva calculada necesaria para que el vehículo complete la ruta. Esta demanda energética se atribuye a la resistencia al avance en la carretera, que varía según el peso del vehículo debido a los pasajeros, la resistencia aerodinámica del autobús y la resistencia de rodadura de los neumáticos. Por ejemplo, al considerar el recorrido de la Ruta 3, se determina que el consumo energético diario sería de 192.5 [kWh] con el autobús vacío y 260.92 [kWh] con el autobús lleno de 55 pasajeros. Estos hallazgos son consistentes con estudios previos, como el realizado por (Zumba, 2018) en la Línea 5, donde se encontraron valores similares para una ruta de 28 [km], con una velocidad máxima de 55.28 [km/h] y seis viajes diarios.

En el proceso de selección de un autobús eléctrico adecuado, es crucial considerar el parámetro crítico del autobús lleno, que incluye el número de pasajeros, la masa y los consumos específicos. Tras aplicar un incremento del 10 [%], el consumo energético total se estima en 287.01 [kWh]. Basándonos en estos criterios, el autobús que mejor se adapta a las exigencias de la Ruta 3 es el BYD KG-9 (establecido en el mercado ecuatoriano), que tiene una capacidad energética de 324 [kWh]. Este modelo específico no solo presenta una autonomía adecuada, sino que también cuenta con la capacidad energética suficiente para cubrir la demanda diaria calculada. Es importante destacar que este tipo de autobuses eléctricos suelen ser más eficientes en comparación con los de combustión interna, ya que pueden recorrer distancias más largas con un menor consumo energético. Por lo tanto, es esencial realizar un estudio detallado de las necesidades energéticas para cada ruta que se quiera implementar el recorrido de un autobús eléctrico, considerando factores como la pendiente del terreno, que influyen significativamente en el modelo y las capacidades.

Sin embargo, el camino hacia la plena adopción de vehículos de propulsión eléctrica en el transporte público sigue siendo gradual y sujeto a diversos desafíos con objetivos iniciales del 35 % y 85 % respectivamente a partir de 2025. Este enfoque conservador y de máximo esfuerzo refleja la complejidad y las implicaciones a largo plazo de la transición hacia la electromovilidad en el transporte público ecuatoriano. La discusión sobre este tema es fundamental para orientar políticas y estrategias efectivas que impulsen el desarrollo sostenible y la reducción de emisiones en el sector del transporte de la ciudad de Puyo.



CONCLUSIONES

Considerar la acumulación de la pendiente positiva del recorrido del bus, es fundamental para establecer las energías que se manifiestan en el recorrido de la Ruta 3. Estas fuerzas varían en función a la pendiente, condiciones ambientales y sobre todo a la resistencia a la rodadura. También, se considera para diseñar rutas y el torque que debe tener el bus cuando este se encuentre lleno de usuarios.

El ciclo típico de la Ruta 3, determina la importancia de selección los buses debido a la eficiencia energética y a la adaptación de la ruta respecto a las condiciones topográficas, es decir, un bus que esté considerado para el servicio de transporte de la Ruta 3, puede estar fuera del consumo de energía necesario.

En los escenarios analizados de demanda energética con carga de pasajeros vacío y lleno, la demanda energética en la Ruta 3, presenta variaciones entre 193,6 kWh y 260,92 kWh de consumo diario. Este rango se observa en pendientes inferiores al 6%, según los datos registrados para el presente análisis.

FINANCIAMIENTO

No monetario

CONFLICTO DE INTERÉS

No existe conflicto de interés con personas o instituciones ligadas a la investigación.

AGRADECIMIENTOS

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador.

REFERENCIAS

- Astudillo, R. (2016). *Obtención de ciclos típicos de conducción para la flota de buses urbanos del cantón Cuenca* [Obtaining typical driving cycles for the urban bus fleet in the canton of Cuenca]. [Tesis de Magister, Universidad del Azuay]. Repositorio institucional. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/6145/1/12407.pdf>
- Diario Oficial de la Unión Europea. (2017). Reglamento (UE) 2017/1151 de la Comisión de 1 de Junio de 2017. DOUE-L-2017-81343. <https://data.europa.eu/eli/reg/2017/1151/spa>
- Guevarra, J. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Pastaza al año 2025* [Development and Land Management Plan for the province of Pastaza to the year 2025]. https://pastaza.gob.ec/planificacion/pdot_pastaza_2019.pdf
- Jiménez-Alonso, Felipe, Román de Andrés, Alfonso & López Martínez, José María. (2013). Determinación de ciclos de conducción en rutas urbanas fijas [Determination of driving cycles on fixed urban routes]. *Dyna Ingeniería e Industria*, 88(6), 681-688.
- Leguísamo, Julio C., Llanes-Cedeño, Edilberto A., Celi-Ortega, Santiago F., & Rocha-Hoyos, Juan C.. (2020). Evaluación de la conducción eficiente en un motor de encendido provocado, a 2810 msnm [Efficient driving evaluation an ignition engine at 2810 meters above sea level]. *Información tecnológica*, 31(1), 227-236. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642020000100227>
- Ley Orgánica de Eficiencia Energética [LOEE], 2019. Suplemento – Registro Oficial N° 449. <https://www.registroficial.gob.ec/index.php/registro-oficial-web/publicaciones/suplementos/item/11451-suplemento-al-registro-oficial-no-449>
- Ministerio de Energía y Minas (2021). Balance Energético Nacional 2021. https://www.rekursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2022/08/Balance_Energe%CC%81tico_Nacional_2021-VF_opt.pdf



- Pintos Gómez de las Heras, Borja (2011). *Desarrollo de una metodología para generación de ciclos de conducción representativos del tráfico real urbano. Aplicación para medida de emisiones en banco de rodillos* [Development of a methodology for generating typical driving cycles representative of real urban traffic. Application for emission measurement in roller banks.]. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado. <https://oa.upm.es/9437/>
- Restrepo V., A. H., Carranza S., Y. A., & Tibaquira G., J. E. (2007). Diseño Y Aplicación De Una Metodología Para Determinar Ciclos De Conducción Vehicular En La Ciudad De Pereira [Design and application of a methodology to determine vehicle driving cycles in the city of Pereira]. *Scientia Et Technica*, 1(37).
- Urgilés-Amoroso, P. J., & Urgilés-Verdugo, S. I. (2021). Aplicación del método de diferencias mínimas ponderadas para la obtención de un ciclo de conducción en una ruta urbana de un autobús. Caso de estudio: Azogues, Ecuador [Application of the weighted minimum difference method to obtain a driving cycle on an urban bus route. Case study: Azogues, Ecuador]. *INCITEC (REVISTA INNOVACIÓN, CIENCIA Y TECNOLOGÍA)*, 1(2), 48–52. <https://doi.org/10.53632/incitec.v1i2.101>
- Zumba, W. (2018). *Evaluación de la demanda energética de buses con motores de combustión interna, reales; para implementar buses eléctricos* [Assessment of the energy demand of real internal combustion engine buses in order to implement electric buses]. <http://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/7609>

Derechos de autor: 2024 Por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>