

PROTOTIPO DE BICICLETA ELÉCTRICA CON ESTACIÓN DE CARGA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO MEDIO DE TRANSPORTE URBANO SOSTENIBLE

José Martín Muñoz Salcedo¹

¹Universidad Estatal de Milagro - UNEMI

Autor para correspondencia: jmuozs@unemi.edu.ec

Recibido: 2019/05/30

Aprobado: 2019/11/30

DOI: <https://doi.org/10.26621/XV21.2019.12.A09.PUCESI.2550.6684>

RESUMEN

El actual patrón de expansión del transporte terrestre ya no es sostenible. El crecimiento que deviene de la demanda de movilidad particular ha aumentado sustancialmente las emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI y sus complicaciones asociadas: contaminación ambiental, acústica y congestión vehicular; estas permutaciones, que afectan la calidad del aire, también acrecientan los cambios climáticos, resultando imperante la precisión de medidas de optimización e impulso de modalidades de transporte que confluyan a la sostenibilidad y sustentabilidad, en detrimento de la contaminación promovida mayormente por material particulado no combustionado. Las tecnologías limpias y eficientes en el transporte convergen a una necesidad latente para propiciar un consumo energético responsable y forjar un futuro sostenible. Se reportan cifras alarmantes de contaminación a nivel mundial, por lo que este estudio, derivado del diseño, construcción y puesta en marcha de un prototipo de bicicleta eléctrica de tracción trasera, alimentada por un sistema de baterías Ion-Litio, forja una alternativa cero emisiones que, en complemento, integra una estación de carga de energía solar fotovoltaica auto sustentada que fructifica la radiación del recurso solar para el almacenamiento energético en un banco de baterías preparado para abastecer la demanda energética de movilidad, en reemplazo del transporte particular convencional. Los resultados, consecuentes del dimensionamiento técnico, reflejan un óptimo funcionamiento en términos de velocidad, autonomía y eficiencia, con una bicicleta capaz de generar fuerza de ascensión en pendientes y moverse por terrenos irregulares con gran potencia. Una alternativa que converge hacia una madurez tecnológica respecto a la movilidad eléctrica en aras de un desarrollo sustentable.

Palabras clave: bicicleta eléctrica, energías renovables, movilidad eléctrica sostenible

ABSTRACT

The current land transport expansion patterns no longer sustainable. The growth that results from the demand for private mobility has substantially increased greenhouse gas emissions – GHG and its associated complications: environmental acoustic pollution and vehicular congestion; these permutations which affect air quality, also increase climate changes resulting of the precision of optimization measures and promotions measures and promotion of transport modalities that converge to sustainability and sustainability, to the detriment of pollution promoted mostly by non-combusted particulate material. Clean and efficient transport technologies converge to a latent need to promote responsible energy consumption and forge a sustainable future .Alarming figures of pollution are reported worldwide, so this study derived from the design, construction and commissioning of a rear-wheel electric bicycle prototype, powered by a Ion-Lithium battery system, forges a zero emission alternative which, in addition, integrates a self- sustain solar photovoltaic charging station that produces the radiation from the solar resource for energy storage in a battery bank prepared to supply the energy demand for mobility, replacing conventional private transport. The results consistent with the technical dimensioning, reflect an optimal performance in terms of speed, autonomy and efficiency with a bicycle capable of generating ascending force on slopes and moving through irregular terrain with great power. An alternative that converges towards a technological maturity regarding electric mobility for the sake of sustainable development.

Keywords: electric bicycle, renewable energies, sustainable electric mobility

INTRODUCCIÓN

La evolución de las energías renovables como vector de desarrollo sostenible ha devenido del interés por invertir en fuentes limpias y adoptar mecanismos de respuesta para contrarrestar la crisis ecológica, con interés en tecnologías de movilidad; así, se han venido iniciando programas para contribuir a la demanda de movilidad sustentable (Yi, 2019). La contribución de las fuentes energéticas, tras la sustitución parcial de los combustibles fósiles, se posiciona altamente en los mercados de generación de electricidad, aplicaciones térmicas, servicios energéticos aislados y carburantes para transporte, imperando este último como alternativa para la reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero-GEI (en adelante, GEI) y otros contaminantes locales, contrayendo la dependencia energética y coadyuvando al desarrollo tecnológico (Hazarathaiyah, 2019).

El rol protagónico del crecimiento demográfico y urbanístico como únicas vías del desarrollo dilapidó el verosímil o, por decirlo de otro modo, inicialmente sustentable sistema vehicular. De este modo, el uso masivo de vehículos privados ha acrecentado el consumo de energía fósil, por su acceso exhuberante y barato, en desmedro de la permuta ambiental y biofísica, punto medular de la crisis ecológica. No en vano, el mayor consumo del petróleo se origina en las metrópolis urbanas, siendo claro que el urbanismo y la movilidad se relacionan con dinámicas de retroalimentación positivas: nuevos sistemas de transporte conducirán la conquista de nuevas parcelas territoriales (Morales, 2014).

Proporcional al metabolismo del transporte, se vincula el progreso económico, industrial y sostenible (Manheim, 1979) pues, a mayor nivel adquisitivo, mayor flota automotriz y por efecto, mientras más alto sea el nivel de vehículos, más alto será el impacto ambiental, social y económico, exigiendo una dinámica de movilidad con recursos materiales y energéticos paralela a la progresión demográfica (Gruber, 2014; Tie-Quiao, 2018; Greenhalgh, 2019); extrapolando esta proporción, se espera un incremento significativo de emisiones asociadas al transporte, pues concomitante al cambio climático antropogénico, "los GEI del sector de transporte están creciendo más rápidamente que de cualquier otro sector económico" (Hazarathaiyah, 2019). Para colmo, los sistemas tradicionales o populares de movilidad han transgredido los límites admisibles de circulación estimulando desplazamientos a pie o en bicicleta (Morales, 2014).

La mayor cantidad de emisiones de GEI son atribuidas al transporte terrestre; en tanto la predominancia ambiental evolucione a la par del progreso sectorial, la adopción de

estrategias de mitigación en respuesta al cambio climático resulta imperativa. Con el objetivo de hacer sostenible el transporte motorizado e impulsar modalidades eficientes y económicas, este estudio diseña un prototipo de bicicleta eléctrica sustentada por un sistema de baterías Ion-Litio, con carga a una estación de energía solar fotovoltaica auto sustentada, que, gracias a la radiación del recurso solar, almacena energía eléctrica en un banco capaz de abastecer la demanda energética de la bicicleta y otras recargas de consumo eléctrico conectadas a la estación.

El transporte en Ecuador

El patrón de movilidad ecuatoriano ha fomentado la infraestructura vial motorizada, cuyas complicaciones advierten riesgos sociales, ambientales y económicos. Ha progresado el desarrollo urbano, ampliándose exponencialmente el tamaño de numerosas urbes, pero no ha crecido a la par el transporte terrestre ni en calidad ni en cantidad, volviéndose por ende insostenible. Así, pese a que el transporte terrestre solventa la mayor proporción de la demanda de movilidad, según datos provistos por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (2018), se percibe un importante incremento en la movilidad individual, con mayor incidencia en las provincias de Guayas y Pichincha, urbes económicas de mayor importancia, seguidas por Azuay y Tungurahua. El parque automotor se ha incrementado exponencialmente, con mayor concentración particular de vehículos y motocicletas, la mayoría de estas con un rendimiento ineficiente, tras la emisión de material particulado no combustionado (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2016).

Las emisiones vehiculares de carácter antropogénico afectan la calidad del aire sobre la concentración atmosférica; en la provincia del Guayas, Milagro, tercera urbe más grande y poblada de la provincia y primera conurbación del Ecuador, se posiciona como la segunda ciudad más contaminada con un indicador que supera los $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgramos por metro cúbico) para un material particulado respirable presente en la atmósfera de PM_{2.5}, mientras que el material particulado más grande, conocido como PM₁₀, alcanza cifras de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valores muy por encima de los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (2017).

Sobre la data histórica, el transporte es el sector con mayor crecimiento de emisiones en los últimos años, por lo que se prevé que al año 2025 estas alcancen casi el 80% (Hubenthal, 2010). A la par de este pronóstico, las soluciones deberán abordar un contexto sostenible. Se han visibilizado estrategias de movilidad y promoción de energías renovables con la introducción de vehículos híbridos y eléctricos, la caracterización de infraestructura

vial y la planificación de inversiones que favorecerán modos de transporte motorizado individual para mitigar esta problemática que supone la mayor incidencia en el cambio climático.

Inserción de la bicicleta en el transporte urbano

La movilidad en dos ruedas se promueve como medio efectivo de transporte urbano. La planificación de las ciudades en los últimos años ha enfatizado, al menos en teoría, su transformación física y cultural en contra del transporte vehicular y su uso indiscriminado, que conlleva una tasa per-cápita en desequilibrio en contribución al uso de energía fósil (Morales, 2014). Los sacrificios para mitigar los problemas que supone el transporte ineficiente, que han colisionado con la demarcación biofísica del planeta, prevén la promoción de la bicicleta y sus beneficios asociados: mejorar la salud pública, disminuir la contaminación, favorecer el urbanismo, reparar la economía, etc. (Correa y Ramírez, 2017).

Diversos estudios proponen la participación gubernamental para regular y masificar la bicicleta como medio de transporte público-privado, sobre la fundamentación tácita de que el desarrollo de un modelo de movilidad sostenible nace con la inclusión de políticas de asignación equitativa de espacios viales y ejes de intervención para el transporte individual (Quintero y Quintero, 2015). El pronóstico de madurez de un sistema de este tipo se fortalece con infraestructura incluyente y condiciones de accesibilidad metropolitana (Jakovcevic et al, 2016); de este modo, determinados países de Latinoamérica han adoptado modelos de desarrollo vial de grandes urbes europeas, asiáticas y americanas (Greenhalgh et al, 2019; McQueen, 2019). En Ecuador, la cultura ciclista se ha incrementado y fue en el 2012 cuando se construyeron las primeras ciclovías como sistema alternativo y de seguridad deportiva con iniciativas gubernamentales, municipales y de la sociedad civil (Pinto et al., 2015); estas decisiones se han extrapolado hacia la comunidad internacional de "Iniciativa Ciudades Emergentes y Sostenibles (ICES)", donde Ecuador funge como miembro activo del programa, a procura de ejecutar planes de sostenibilidad urbana y desarrollo.

Las bicicletas y sus sistemas complementarios contribuyen por tanto a este fin último, como vector de cambio eficiente de la planificación urbana en el eje de transporte frente a la movilidad vehicular, punto cardinal de la contaminación atmosférica (Cabezas, 2016, Hazarathaiyah, 2019).

Bicicleta eléctrica: motor de cambio sostenible

La bicicleta eléctrica, vehículo accionado de cero

emisiones, representa una alternativa al transporte motorizado particular que, acompañado de un motor eléctrico, confluye hacia un ecosistema vehicular energéticamente eficiente (Castro et al, 2019). Esta bicicleta integra un motor eléctrico impulsado con la fuerza de aceleración manillar; su estructura, sumada al sistema de baterías, que almacena energía para liberarla como movimiento y arranque, conforma la parte externa de la bicicleta que figura como un modelo convencional (Park, 2018; Greenhalgh, 2019).

A la vanguardia de la movilidad, sin presencia fósil (hidrocarburos) para su funcionamiento y debido a su escaso volumen físico, se configura como el medio de transporte sostenible más rápido en trayectos urbanos, articulando además dos grandes beneficios desde el punto de vista burocrático: acceso a ciclovías sin registro de matriculación y tránsito sin permisos de manejo (Dijk et al, 2013; Jakovcevic et al, 2016).

La gran oferta de bicicletas y por ende su precio, en descenso respecto al de los vehículos privados, caracteriza su protagonismo como medio de transporte, adscrito a una nueva cultura de movilidad que impulsa el transporte público y racionalice de este modo el uso vehicular indiscriminado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Prototipo de bicicleta eléctrica para condiciones de movilidad en la ciudad de Milagro

La caracterización geográfica de la ciudad de Milagro y sus condiciones particulares, al encontrarse en una zona tropical de terrenos planos, sin pendientes pronunciadas, viabiliza la movilidad urbana sostenible en pro del bienestar social, económico y ambiental.

El desarrollo de un prototipo de bicicleta eléctrica en reemplazo de vehículos y motocicletas particulares se fundamenta en tres pilares fundamentales: transporte cero emisiones compatible con la infraestructura vial, aceptación urbanística sin permisos de circulación y desarrollo tecnológico y social (Zaripov, 2019).

La limitación de pedaleo en vías asimétricas constituye un factor predominante para su utilización, pues el concepto de bicicleta eléctrica integra elementos que proporcionan autonomía y poco esfuerzo del ciclista, representando un modelo de transporte de cambio y tecnología que, articulado a una estación de carga, se convierte en una opción formidable para el desplazamiento ecológico.

Instrumentación de la bicicleta

El prototipo de bicicleta eléctrica se construye con base a una bicicleta montañera convencional de tracción trasera aro 26" y marco estándar, a la cual se le equipan componentes eléctricos integrados por la batería (banco de baterías Ion-Litio recicladas -menos contaminantes que la de Plomo/Ácido-), controlador, motor y sensores para la asistencia de pedaleo y aceleración.



Figura 1. Prototipo bicicleta eléctrica

El ensamble del motor se realiza en la rueda posterior de la bicicleta adaptando un motor HUB sin escobillas de imanes permanentes, de 1500 Watts de potencia, en un solo armazón; se adaptan los ejes rotativos con pivote de torque para, en su conjunto, formar la rueda eléctrica motorizada con control de manubrio y pedaleo.



Figura 2. Ensamble de motor en rueda posterior

El sistema de engranaje se adecua al pedal y sobre esta composición, tras el asiento, se ubica el sistema de baterías con un soporte de aluminio (al ser una aplicación de ajuste manual los cables y baterías van a la vista, protegidos contra la temporalidad), el cual integra una llave de giro en sentido horario para bloqueo y desbloqueo de la batería de alojamiento.

Sobre el banco de baterías se sitúa el controlador, capaz de regular la velocidad del motor en función de la intensidad del pedaleo y de la posición del manillar de aceleración.

El sistema contempla un sistema de frenado dinámico que conserva parte de la energía perdida al frenar y la almacena en el banco de baterías para posterior liberación.



Figura 3. Ensamble controlador y batería



Figura 4. Articulación blanco del manillar

En el blanco del manillar se ajustan los manubrios de mando de aceleración tipo mariposa y se adapta el panel LCD que visualiza el estado de carga de la batería, velocidad y distancia recorrida.

Este esfuerzo mecánico prevé reducir el esfuerzo del ciclista como solución tecnológica que cubra largas distancias planas y, especialmente, trayectos con pendientes pronunciadas por su fuerza de ascensión a plena carga (dependiente del peso del equipo y ciclista, batería y potencia); sin autonomía, el motor se desconecta funcionando como una bicicleta común.

Se articula así un híbrido eléctrico inteligente con transmisión directa, confiable, seguro y correctamente instalado que soporta la temporalidad.



Figura 5. Vista lateral bicicleta eléctrica

Tabla 1. Especificaciones de la bicicleta eléctrica

| CARÁCTERÍSTICAS TÉCNICAS BICICLETA | | |
|------------------------------------|--------------------------|------------|
| Batería | Capacidad | 960 wh |
| | Límite Controlador | 40 A |
| Litio-Ion | Tiempo de carga | 5-6 h |
| | Profundidad de des-carga | 80% |
| Motor | Controlador Motor | Brushless |
| | Potencia Nominal | 1500 W |
| | Voltaje | 48 V |
| | Par max. | 35 N.m |
| Carga | Voltaje de entrada (AC) | 90 a 220 V |
| | Corriente carga | 5A |
| Rendimiento | Velocidad máxima | 60 km/h |
| | Autonomía homologada | 40 km |
| | Capacidad ascensión | <25° |
| | Consumo | 24 wh/km |

Sistema de batería

Integra un prototipo recargable de baterías Ion-Litio de celdas cilíndricas Tipo-18650, recicladas de equipos portátiles en desuso, como sistema de almacenamiento de energía solar fotovoltaica, que a diferencia de la tecnología plomo ácido convencional confluye a la sostenibilidad y sustentabilidad, en detrimento de la contaminación ambiental que supone su disposición final como residuo electrónico de alta toxicidad.

Esta batería reciclada suministra energía al motor para la asistencia del ciclista. La batería se ubica en el soporte posterior del cuadro de la bicicleta sobre la llanta trasera, de modo que el centro de gravedad proporcione estabilidad, ajustada a un riel metálico.

Su aplicación metodológica se soporta en:

- 1. Diseño:** Batería rectangular, peso medio, facilidad de montaje-desmontaje, acoplado en una base que forma el porqué de baterías.
- 2. Requisitos:** 100 unidades de baterías Litio-Ion de 12 V, 24 V, 36 V y 48 V, reciclados de ordenadores portátiles en desuso, menor a siete años de antigüedad.
- 3. Operación:** Desmontaje de baterías, obtención de celdas cilíndricas y mantenimiento de sus polos, ulterior a la medición del voltaje unitario, separando y registrando las celdas >2.75 V; estas celdas se someten al proceso de carga y descarga para registro de su capacidad real (celdas <2.74 V para aplicaciones de menor capacidad). Se clasifican las celdas >1000 mAh tras su registro de capacidad unitaria y montaje grupal en serie y paralelo, para emplazarlas en conexión al BMS y desarrollo de pruebas de rigor.

La matemática utilizada para la construcción del prototipo, derivó una estructura de 12 V de corriente continua que, a través del inversor, transformó a 110 V de corriente alterna, permitiendo la alimentación de artefactos eléctricos de uso doméstico e industrial.

En términos económicos (costos de reutilización de desechos), los resultados reflejan una reducción sustancial frente a tecnologías de almacenamiento energético de iguales características.

Tabla 2. Especificaciones Banco de Baterías

| BANCO BATERÍAS CONFORMADO | |
|--|----------------|
| Tipo de batería | Ion-Litio |
| Capacidad | 84 wh |
| Protección BMS | 20 A |
| Profundidad de Descarga | 80% |
| Voltaje Nominal | 12 V |
| Tecnología | Ciclo profundo |
| Tiempo de carga (Radiación óptima) | >3 h |
| Número Paneles Solares | 1 |
| Potencia Panel solar | 28 W |
| Voltaje Panel con step up Vcc | 18 VDC |
| Corriente de cortocircuito I _{sc} | 2 A |
| Número Inversores | 1 |
| Potencia nominal por inversor | 300 W |
| Controlador solar de carga | 12 V/20 A |



Figura 6. Conformación Banco de Baterías

Caracterización de la estación de carga

Para alimentar el sistema de baterías de la bicicleta se desarrolla un modelo de abastecimiento energético renovable. El resultado: una estación de carga con un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica, capaz de cubrir la demanda la bicicleta eléctrica, solución económicamente viable con una base tecnológica ambientalmente sostenible.

Su desarrollo prevé: 1) estimación del consumo caracterizando el perfil de demanda, 2) evaluación del recurso, 3) asignación de valores de potencia a los paneles solares, 4) dimensionar la estación con cálculos técnicos de potencia y amperaje de regulador e inversor, 5) simulación de producción energética, 6) montaje e instalación de los componentes, 7) mediciones de calidad, funcionalidad, tiempo de carga y descarga.

Se emplea un ordenador estándar equipado con Matlab, Pvgis, Solar Gis, Google Earth Pro.

Tabla 4. Especificaciones Estación de carga

| ESTACIÓN DE CARGA | |
|--------------------------------|----------------|
| Capacidad | 2016 wh |
| Límite Corriente controlador | 20 A |
| Profundidad descarga | 60 % |
| Voltaje Nominal | 12 V |
| Tecnología | Ciclo profundo |
| Tiempo de carga | >8h |
| Número Paneles Solares | 2 |
| Potencia Paneles solares | 170 W |
| Voltaje Panel Vcc | 18 VDC |
| Corriente de cortocircuito ISc | 6 A |
| Número Inversores | 2 |
| Potencia nominal por inversor | 1000 W |
| Controlador solar de carga | 12 V/20 A |

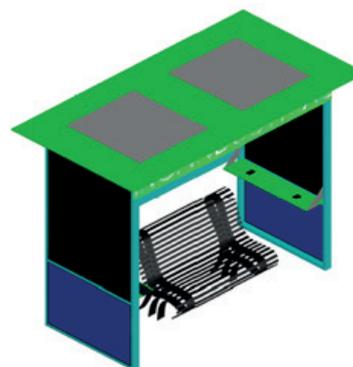


Figura 7. Prototipo estación de carga

La instalación conecta las placas solares en serie-paralelo junto al regulador de voltaje BMS, para la carga del banco de baterías y el aporte energético almacenado a un inversor de transformación de corriente continua en alterna, para finalmente alimentar las cargas de consumo de la bicicleta y otros dispositivos.

Según las especificaciones descritas, la energía se almacena en un banco de baterías de ciclo profundo de 2016 wh, pudiendo abastecer el requerimiento de carga de dos bicicletas por día, o en su efecto, cubrir más de dos cargas completas diarias de una bicicleta (resultados de carga real), con capacidad factísimil según demanda.

La estación cuenta una estructura de aluminio tipo marco, para el montaje de equipos y componentes que soporta temporalidad y da confort y sombra.



Figura 8. Estructura Estación de carga

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La evaluación dinámica se realiza en trayectos específicos de la ciudad de Milagro en planimetría y ligeras pendientes, con un ciclista de características antropométricas de 1.85 m de altura y 64 kg de peso. El monitoreo del recorrido de pruebas se evalúa según el desempeño en puntos de máxima pendiente.

Los resultados del prototipo dimensionado técnicamente reflejan que en terrenos planos la bicicleta, con un motor de más de 90% de eficiencia y una batería de 48 V y 20 Ah, puede alcanzar velocidades de hasta 60 km/h, con autonomía de alrededor de 40 km a plena carga o una duración de más de 40 minutos de uso por carga completa. En condiciones de mayor pendiente, exigencia y torque, pese a la potencia del motor de 1500 W, la bicicleta requiere un mayor consumo energético en detrimento de su autonomía, requiriendo pausas del ciclista para que el motor regule la temperatura y limite su rendimiento en caso de sobrecalentamiento, pues se demuestra relación directa entre la temperatura y el rendimiento del motor. En climas cálidos se reduce la capacidad del controlador pudiendo recalentarse, mientras que en condiciones de menor grado de temperatura, el motor opera en su máxima potencia, siendo capaz de generar la fuerza necesaria para la ascensión de pendientes de 25° y moverse por terrenos irregulares, sin asistencia de torque, permitiendo una circulación sin interrupciones para la estabilización de la rueda motorizada.

La exigencia al límite del prototipo determinó que en terrenos con ligeras pendientes negativas (bajadas), la energía cinética obtenida del frenado dinámico con manubrio al descender, se transforma en energía eléctrica almacenada en el banco de baterías, incrementando su capacidad en aproximadamente un 10%. Esto obedece a la inserción de un dispositivo de frenado dinámico, que redime parte de la energía perdida al frenar y se almacena en el banco para posterior liberación; así, al pedalear en reversa, la cinética de frenado se convierte en energía almacenable. Culminada la energía eléctrica del sistema de baterías, se demuestra la necesidad de incrementar el esfuerzo físico del ciclista para su movilidad (considerando el peso de los elementos que la componen). No obstante, su funcionalidad deviene de las condiciones estándar de diseño.

Este desarrollo tecnológico constituye un medio de transporte eficiente, sostenible y adaptable a las condiciones planimétricas de la ciudad de Milagro, así como de territorios con pendientes pronunciadas y con presencia de lluvia, dado que los componentes eléctricos se encuentran protegidos contra fuertes precipitaciones.

En términos económicos, la instrumentación de la bicicleta y la caracterización de la estación de carga, cuyo importe aproximado asciende a USD 2.100, funge como una solución asequible frente a otros sistemas de movilidad con similares características, como el caso de las motocicletas, dado que la energía primaria requerida para su puesta en marcha proviene del sol, suponiendo una única inversión inicial y un costo nulo de recorrido.

CONCLUSIONES

La movilidad sostenible funge como alternativa de cambio en los sistemas de transporte, debido a una simple cuestión energética: la energía actualmente utilizada, bajo combustibles fósiles, no satisfará la demanda de transporte verosímil; en cuyo caso, la propuesta de transporte individual para el desplazamiento urbano constituye el hoy y el mañana del tránsito urbano.

Este estudio construye un prototipo de bicicleta eléctrica que adapta tecnologías de locomoción integradas por la batería, controlador, motor, y sensores para la asistencia de pedaleo y aceleración, con adaptaciones para la conversión de una bicicleta montañera convencional aro 26" en una bicicleta eléctrica de pedaleo asistido, con funcionamiento eficiente en condiciones geográficas de planimetría y centros urbanos con presencia de pendientes de hasta 25°.

La documentación del ejemplar, cuyo costo asciende a USD 1.500 aproximadamente, integra un diseño esbelto con cableado y batería visibles, resistente a los esfuerzos mecánicos, que proporciona una potente autonomía para recorrer trayectos de 40 km a plena carga o más de 40 minutos de uso por carga completa, alcanzando velocidades de hasta 60 km/h. En conjunto, la estación de carga y el ejemplar alcanzan un importe aproximado que asciende a USD 2.100, sin costos de operación.

Esta aplicación tecnológica puede considerarse en la promoción de políticas de movilidad sostenible para gobiernos locales, quienes prevén reducir el consumo fósil para vehículos de combustión interna e impulsar medios de transporte alternativos, favoreciendo la inserción de bicicletas y el desarrollo de la infraestructura necesaria para la adaptación de estaciones de carga, como la del modelo, diseñadas con el propósito de alimentar las baterías que integran el sistema eléctrico de locomoción.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Cabezas, D. (2016). *La bicicleta como motor del cambio del siglo XXI*. Barcelona, España: Editorial UOC. ISBN: 9788491163473

- Castro, A., Gaupp, M., Dons, E., Clark, A., et al. (2019). Physical activity of electric bicycle users compared to conventional bicycle users and non-cyclists: Insights based on health and transport data from an online survey in seven European cities. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, Volumen 1, Número 100017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100017>
- Correa, G., y Ramírez, A. (2017). Bike Prototype for Sustainable Individual Urban Transportation. *Lámpasakos*, Numero 17, pp 40-51. DOI: <http://dx.doi.org/10.21501/21454086.2055>
- Dijk, M., Orsato, R., y Kemp, R. (2013). The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, Numero 54, pp 135-145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.024>
- Greenhalgh et al, (2019) An exploration of stroke survivors' perspectives on cycling and the use of electric bikes, *Physiotherapy Practice and Research*. ISSN 2213-0683.
- Gruber, J., Kihm, A., y Lenz, B. (2014). A new vehicle for urban freight? An ex-ante evaluation of electric cargo bikes in courier services. *Research in Transportation Business & Management*, Numero 11, pp 53-62. DOI: DOI:10.1016/j.rtbm.2014.03.004
- Hazarathaiyah, P. (2019) Design and Fabrication of Hybrid Electric Bike. *International Journal of Applied Engineering Research*, Volumen 14, Numero 4, pp. 930-935. ISSN 0973-4562
- Hubenthal, A. (2010). Evaluación del sector transporte en Ecuador con miras a plantear medidas de mitigación al Cambio Climático. Quito: PNUD.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2016). Estadísticas de movilidad urbana. Quito, Ecuador.
- Jakovcevic, A., Franco, P., Vison, M., & Ledesma, R. (2016). Perception of the individual benefits of bike sharing use as a mode of transport. *Suma Psicológica*, Volumen 23, Número 1, pp 33-41. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sumpsi.2015.11.001>
- Manheim, M.L. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis*, vol. 1: Basic Concepts. MIT Press, Cambridge.
- McQueen, M. (2019). How E-Bike Incentive Programs are Used to Expand the Market. *Transportation Research and Education Center*, A white paper of University of Tennessee, Knoxville. Obtenido de: https://peopleforbikes.org/wp-content/uploads/2019/05/E-bike-Incentives-Paper-05_15_19-Final.pdf
- Ministerio de Transporte y Obras Públicas. (2018). Estadísticas de transporte en Ecuador. Obtenido de <https://www.obraspublicas.gob.ec/biblioteca/>.
- Morales, L. (2014). BiciMAD y el auge de la bicicleta en Madrid. Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Organización Mundial de la Salud. (2017). *Public Health, environmental and social determinants of health (PHE)*. Obtenido de https://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/cities-2011/en/
- Park, C. (2018). Electric Bike. Patents US20180370593A1.
- Pinto, A., Fuentes, N., y Alcivar, D. (2015). La situación de la bicicleta en el Ecuador: avances, retos y perspectivas. *Friedrich Ebert Stiftung - ILDIS*. Quito, Ecuador, ISBN: 978-9978-94-147-8
- Quintero, J., y Quintero, L. (2015). El transporte sostenible y su papel en el desarrollo del medioambiente urbano. *Ingeniería y Región*, Volumen 2, Número 14, pp 87-97.
- Tie-Quiao, T. (2018). Modeling electric bicycle's lane-changing and retrograde behaviors. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, Volumen 490, pp 1377-1386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physa.2017.08.107>
- Yi, H., Ziqi, S., Zhaocai, L. (2019). Factors Influencing Electric Bike Share Ridership. *Transportation Research*, Department of Civil and Environmental Engineering, Utah State University, Logan, UT 84322-4110, United States *Sage Journals*, pp12-22.
- Zaripov, R., Gavrilovs, P. (2019). Study of dynamic characteristics of electric bicycles. *Procedia Computer Science*, Volumen 149, pp 307-313. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.140>