



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

***SEDE QUITO***

**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA  
MEDIANTE EL USO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA APLICACIONES EN  
MOVILIDAD EMPLEADO EN UN KART ELÉCTRICO UBICADO EN EL DISTRITO  
METROPOLITANO DE QUITO**

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

**AUTOR(ES): BRAYAN ALEXANDER QUILUMBA CHASI  
FERNANDO VINICIO RAMÍREZ ZURITA**

**TUTOR: CARLOS DAVID ÁLVAREZ BASANTES**

Quito - Ecuador

2023

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Nosotros, Fernando Vinicio Ramírez Zurita con documento de identificación N° 1751163674 y Brayan Alexander Quilumba Chasi con documento de identificación N° 1727631010 manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Brayan Alexander Quilumba Chasi  
1727631010



---

Fernando Vinicio Ramírez Zurita  
1751163674

## **CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Brayan Alexander Quilumba Chasi con documento de identificación No. 1727631010 y Fernando Vinicio Ramírez Zurita con documento de identificación No. 1751163674, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Artículo Académico: “Análisis de la eficiencia de la recuperación de energía eléctrica mediante el uso de celdas fotovoltaicas para aplicaciones en movilidad empleado en un kart eléctrico ubicado en el Distrito Metropolitano de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Automotrices, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

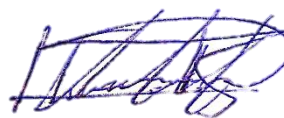
Quito, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Brayan Alexander Quilumba Chasi  
1727631010



---


Fernando Vinicio Ramírez Zurita  
1751163674

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos David Álvarez Basantes con documento de identificación N° 0604240796, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA RECUPERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA APLICACIONES EN MOVILIDAD EMPLEADO EN UN KART ELÉCTRICO UBICADO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por Brayan Alexander Quilumba Chasi con documento de identificación N° 1727631010 y por Fernando Vinicio Ramírez Zurita con documento de identificación N° 1751163674, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 11 de septiembre del año 2023

Atentamente,



---

Ing. Carlos David Álvarez Basantes, MI.

0604240796

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mi familia por su apoyo incondicional frente a las adversidades que se han presentado a lo largo de mi formación como profesional, a mi madre por el acompañamiento en las largas noches de estudio brindándome sus consejos permitiéndome desarrollarme como un buen ciudadano, a mi padre y su gran esfuerzo en la ardua labor de educarme y servir como un pilar inquebrantable para el cumplimiento de mi sueños y anhelos, a mi hermano que me acompaño en mis momentos de melancolía y tristeza como una luz de esperanza oculta en la oscuridad y por último y no menos importante a mi hermana Diana que a pesar su repentino fallecimiento nunca me dejo sin su amparo y compañía impulsándome para lograr el cumplimiento de mi objetivo de no ser solo un profesional si no también una persona de valores y empática ante el dolor y sufrimiento de los demás.

Fernando Vinicio Ramírez Zurita.

Dedico el presente proyecto con profundo agradecimiento y amor a mi familia, quienes han sido fundamentales en mi formación como persona. A mis queridos padres quienes han luchado incansablemente para brindarme la oportunidad de obtener una educación universitaria, les debo todo mi éxito y logros. Este título universitario no me pertenece solo a mí, sino que ustedes se lo ganaron, ya que su esfuerzo y sacrificio han sido la base de mi camino hacia el éxito.

Los quiero infinitamente, Mamá y Papá.

Brayan Alexander Quilumba Chasi.

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme cumplir una etapa más en mi desarrollo como profesional y darme la capacidad de entendimiento y razonamiento para superar los retos que se han presentado a lo largo de mi carrera universitaria, gracias a mi docente tutor Carlos Álvarez por su guía y apoyo durante toda la realización de este proyecto, un agradecimiento especial a mi familia y a todas las personas que de uno u otro modo pusieron un aporte en mi crecimiento como profesional, además también expreso mi sincero agradecimiento a la comunidad de educadores de la carrera de ingeniería automotriz por el conocimiento impartido durante toda mi etapa estudiantil que será fundamental para mi desarrollo dentro de un entorno laboral.

Fernando Vinicio Ramírez Zurita

Expreso mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que han sido parte de mi trayectoria académica. En primer lugar, agradezco a mis padres, quienes han sido mis mayores impulsores y han estado conmigo en todo momento en cada etapa de este proceso, También quiero agradecer a la Universidad por haberme permitido formarme en sus aulas, agradezco a todos los profesores de la carrera de ingeniería automotriz por su dedicación y conocimientos compartidos en especial a mi docente tutor Carlos Álvarez quien ha invertido su tiempo para la realización de mi artículo académico. Por último, agradezco a Dios por su protección y cuidado constante. En esas madrugadas y noches en las que me dirigía a la Universidad, su presencia me ha dado fortaleza y confianza.

Brayan Alexander Quilumba Chasi

# ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA DE LA RECUPERACION DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE EL USO DE CELDAS FOTOVOLTAICAS PARA APLICACIONES EN MOVILIDAD EMPLEADO EN UN KART ELÉCTRICO UBICADO EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

## ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF ELECTRICITY RECOVERY THROUGH THE USE OF PHOTOVOLTAIC CELLS FOR MOBILITY APPLICATIONS USED IN AN ELECTRIC GO-KART LOCATED IN THE METROPOLITAN DISTRICT OF QUITO

Carlos David Alvarez<sup>1</sup>, Fernando Ramírez-Zurita<sup>2</sup>, Brayan Quilumba-Chasi<sup>2</sup>

### Resumen

En esta investigación se analizó el rendimiento energético de un Kart eléctrico con carga solar. Se implementaron conexiones en serie y paralelo de las baterías para cumplir con los requerimientos de carga durante la experimentación. Se recolectaron datos estáticos y dinámicos para evaluar el comportamiento del sistema de carga. Se determinó que la resistencia aerodinámica del Kart es insignificante debido a su velocidad máxima limitada. Se consideraron factores como la resistencia a la rodadura, la fuerza inercial y la fuerza gravitatoria para calcular la resistencia total del vehículo. Los datos obtenidos se analizaron utilizando herramientas gráficas y se observó una relación directamente proporcional entre la masa y la resistencia total. Por otro lado, se identificó la franja horaria con mayor radiación solar que corresponde a las 10h:30 con una radiación máxima de 0.59 kW, también se registraron los amperajes y el voltaje generados por los paneles solares, en conjunto se propuso una aplicación para aprovechar el potencial de energía solar en los parqueaderos ubicados frente y detrás del bloque B de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) dentro del distrito metropolitano de Quito, generando la posibilidad de instalar paneles solares en las superficies expuestas de los vehículos, lo que permitiría utilizar de manera eficiente esta fuente de energía renovable. En general, los resultados indicaron que el Kart eléctrico puede ser cargado utilizando paneles solares, demostrando su viabilidad en aplicaciones de movilidad eléctrica.

**Palabras Clave:** Celdas fotovoltaicas, kart eléctrico, movilidad eléctrica, panel solar, radiación solar, recuperación energética.

### Abstract

The energy performance of a solar-charged electric kart was analyzed in this research. Series and parallel battery connections were implemented to meet the charging requirements during experimentation. Static and dynamic data were collected to evaluate the charging system's behavior. It was determined that the kart's aerodynamic resistance is insignificant due to its limited top speed. Factors such as rolling resistance, inertial force, and gravitational force were analyzed using graphical tools, revealing a directly proportional relationship between mass and total resistance. Additionally, the time slot with the highest solar radiation was identified, corresponding to 10:30 a.m. with a maximum radiation of 0.59 kW. Current and voltage generated by the solar panels were also recorded. A proposal was made to harness the solar energy potential in the parking lots located in front of and behind Block B of the Universidad Politécnica Salesiana (UPS) in the metropolitan district of Quito. This proposal involved installing solar panels on the exposed surfaces of vehicles, allowing for efficient utilization of this renewable energy source. Overall, the results indicated that the electric kart can be charged using solar panels, demonstrating its viability in electric mobility applications.

**Keywords:** Photovoltaic cells, electric kart, electric mobility, solar panel, solar radiation, energy recovery.

<sup>1</sup> Carrera de Ingeniería Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador, ORCID: 0000-0001-6651-8329,

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniería Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador, ORCID: 0009-0006-5837-3696,

<sup>2</sup> Carrera de Ingeniería Automotriz, Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador, ORCID: 0009-0003-7386-5486.

## 1. Introducción

La movilidad eléctrica a lo largo de los últimos años ha presentado un crecimiento exponencial evidenciado en la implementación de nuevas marcas con vehículos de propulsión eléctrica e híbrida [1], este comportamiento por parte de las industrias de fabricación vehicular mostraría una transición hacia las tecnologías amigables con el medio ambiente, un indicativo de esta tendencia a nivel mundial se lo verifica en la cantidad de vehículos con este tipo de propulsión circulando en las calles de todo el mundo, para el año 2010 tan solo existían 17.000 automotores en circulación, mientras que para el año 2019 se producía un aumento de hasta 7.2 millones de vehículos de los cuales el 47% se encuentran dentro del territorio de la República de China [2], mientras que para el caso de la república ecuatoriana, en el intervalo entre 2017 a 2019 se vendieron un total de 356 vehículos eléctricos a nivel nacional, estos vehículos corresponden a las marcas de Dayang, Kia, BYD, Renault y BMW, además mediante el uso de encuestas se determinó que el tan solo 38% de los ecuatorianos encuestados afirman que el Ecuador está listo para el uso vehículos eléctricos [3].

Este tipo de movilidad se distingue por su bajo nivel de emisiones de gas nocivo al ambiente, no obstante, para evaluar el nivel de impacto ambiental que se genera como resultado del uso de estas tecnologías se debe tomar en cuenta los procesos de generación energética, los cuales en su mayoría están vinculados con la implementación de combustibles fósiles [4]. Un caso evidenciado de esta problemática se presenta en Chile, donde cuenta con una capacidad instalada de 25.248 MW de los cuales el 51.7% corresponde a fuentes térmicas (21.2% carbón, 19.2% gas natural y 11.4% petróleo) [4]. En estas circunstancias una movilidad por medio de vehículos eléctricos puede no compensar la contaminación producida por los procesos de extracción, traslado y refinamiento de los combustibles, además que en países como Argentina para los inicios del año 2020 se registró que la intensidad de carbono dentro de la matriz eléctrica correspondía a 297g(CO<sub>2</sub>)/KWh [5], esto indica que el suministro de energía para alimentar los sistemas de propulsión de los VE no

corresponden a fuentes cien por ciento renovables.

El uso de energías renovables como fuentes principales de alimentación en la actualidad no se presentan como una competencia ante la incidencia de los combustibles fósiles los cuales están inmersos en casi todos los aspectos de la industria [6], por el contrario, el potencial que pueden llegar a tener en un futuro sustentable produce un sentido de conciencia que puede llegar a ser aprovechado por las nuevas tecnologías [6]. Una de las energías renovables más usadas es la solar, la cual es una fuente energética limpia e inagotable que puede ser aprovechada para la alimentación de diversos módulos. Esta energía consiste en la utilización de celdas fotovoltaicas para transformar la energía solar en eléctrica, estas celdas están conformadas por laminas semiconductoras de silicio que al ser sometidas a los efectos de la radiación solar producen una diferencia de potencia que es aprovechada en modo de electricidad. [7]

El estudio de la incidencia de la radiación en los sistemas fotovoltaicos en las diversas regiones del mundo permitiría generar procesos de optimización e implementación de estas tecnologías para un aprovechamiento óptimo, por lo cual, en esta investigación se realizó un análisis de las prestaciones obtenidas por parte de un sistema fotovoltaico que es usado como medio de recarga para un Kart eléctrico, con el fin de determinar si la cantidad de energía producida por parte de un conjunto de paneles solares es capaz de generar una mejora positiva en el rendimiento que puede llegar a tener un vehículo eléctrico.

## 2. Materiales

### 2.1. Estructura del Kart Eléctrico

#### 2.1.1. Batería

El modelo de las baterías usadas para este artículo son 6-DZF-12 de 12V con una unidad de carga eléctrica de 12Ah fabricadas con plomo-ácido, este modelo de baterías está diseñadas para usos comerciales como: bicicletas y scooter eléctricos, poseen una dimensión de 9.7 cm x 15 cm x 10 cm [8].





Figura 1 Batería plomo ácido 6-DZF-12

[9]. Permite controlar el acelerador, freno, luces, pedal, motor y cargador del Kart eléctrico.



Figura 4 Controlador de velocidad

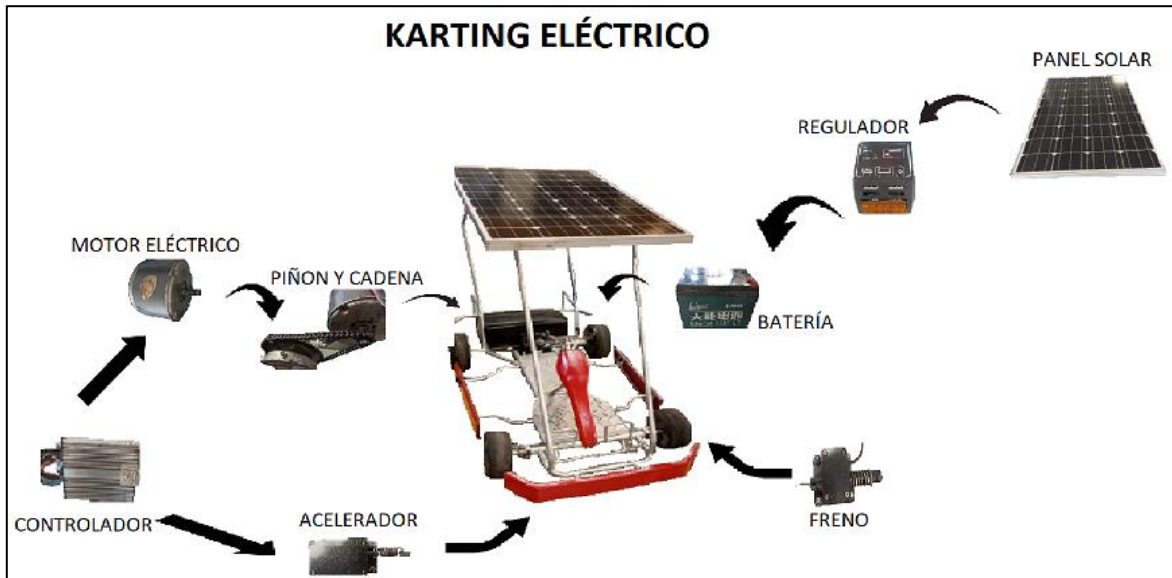


Figura 2 Energy Supply Block Diagram

### 2.1.2. Motor eléctrico

El motor implementado para la investigación es de tipo eléctrico del modelo MY1016 de 180W a 1800 RPM que funciona con 24 VDC con una corriente nominal de 10A de la marca UrbanX



Figura 3 Motor eléctrico MY1016

### 2.1.4. Panel solar

El panel solar usado para este artículo es un modelo SYSM-100S, posee unas dimensiones de 668x1005x35 mm con una potencia máxima (Pm) de 100Watt, este modelo trabaja con rangos de temperatura desde -45°C +85°C y nos otorga una corriente máxima (Imp) de 5.56 A y un voltaje máximo (Vmp) de 18V.



Figura 5 Panel solar SYSM-100S

### 2.1.3. Controlador de velocidad

Controlador fabricado con una aleación de aluminio diseñado para un voltaje nominal de 24 V adecuado para bicicletas y scooters eléctricos con una dimensión de 3.26x2.55x1.45 pulgadas

### 2.1.5. Regulador de corriente

Un regulador de corriente diseñado para controlar el flujo de la tensión desde el panel solar a las baterías es del modelo: CMP 12-10A, tiene una capacidad de 12V-24V de cambio automático con una corriente nominal de hasta los 10 A, posee

una potencia máxima de entrada de 120/240W con una eficiencia de conversión del 95% [10].



Figura 6 Regulador de corriente

### 2.1.6. Piñón y cadena

Los piñones utilizados son de acero SAE 1020 y una cadena de transmisión de potencia, la cual tiene como objetivo transmitir el movimiento del motor hacia la rueda, posee una transmisión de 4.09:1, lo que quiere decir que por 4.09 giros del motor, se obtiene 1 giro en el piñón de la rueda [11].



Figura 7 Piñón y cadena

### 2.1.7. Sistema de aceleración

El sistema de aceleración permite controlar la potencia que genera el motor eléctrico, la misma está conformado por un cable de policloruro de vinilo (PVC), que al ser tensado por el pedal acciona el motor eléctrico dando movimiento al Kart eléctrico.



Figura 8 Sistema de aceleración

### 2.1.8. Sistema de freno

Posee un sistema de freno mecánico, el cual es accionado al aplicar una fuerza en el pedal, haciendo que el freno se active mecánicamente en el disco de la rueda, deteniendo el Kart eléctrico en su totalidad, está constituido por un cable de vinilo (PVC) y pastillas de freno las cuales son las encargadas de frenar el disco [12].

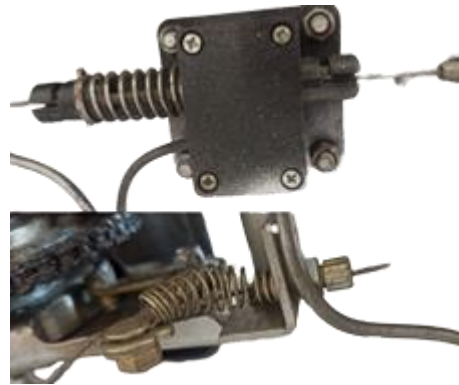


Figura 9 Sistema de freno

## 2.2. Equipos para registro de datos

### 2.2.1. PicoScope 4425A

El PicoScope automotriz es una herramienta de medición de los parámetros que interactúan con todos los componentes electrónicos de los vehículos. Posee una precisión de  $\pm 1\%$  de plena escala [13]. El cual por medio de una computadora podemos observar directamente las señales cambiantes de los cables, por ejemplo: el voltaje y amperaje.

Posee cuatro puertos con un ancho de banda de 20 MHz con los cuales se puede registrar hasta 4 señales simultáneamente, el mismo incluye una gran variedad de accesorios para su aplicación, como cables, puntas y pinzas amperimétricas. Además, contiene una interfaz para sondas inteligentes con las cuales se evita conectar erróneamente los cables. [14]



Figura 10 PicoScope automotriz

## 3. Metodología.

### 3.1.1. Conexiones eléctricas

El Kart eléctrico se encuentra implementado con dos tipos de conexiones para cumplir con los requerimientos de carga en relación con la etapa de experimentación, estos son la conexión de serie y paralelo de las baterías.

La conexión en serie es la encargada del movimiento del vehículo ya que genera el voltaje requerido para el accionamiento del motor eléctrico, mientras que la conexión en paralelo facilita y optimiza las cargas de las baterías cuando el vehículo se encuentra en condiciones estáticas.

Como método de optimización de tiempo se diseñó que los cambios de las conexiones sean controlados mediante el accionamiento de un interruptor ubicado en el lateral del karting, la conexión eléctrica se puede apreciar en la Fig. 11.

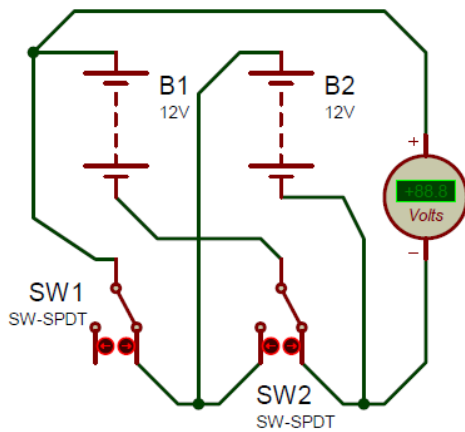


Figura 11 Diseño en Proteus de conexión de serie a paralelo.

### 3.1.2. Obtención de datos estáticos

La recolección de datos estáticos se llevó a cabo dentro del periodo de tiempo de 30 días. Con la implementación del PicoScope el cual se encarga del control y registro de los valores obtenidos.

La frecuencia de la toma de datos fue de 15 min comenzando desde las 7:30 am hasta que vehículo obtenga una carga estable de 26 V conectados en series, teniendo en cuenta que la batería usada para esta investigación tiene un voltaje nominal de 12V.

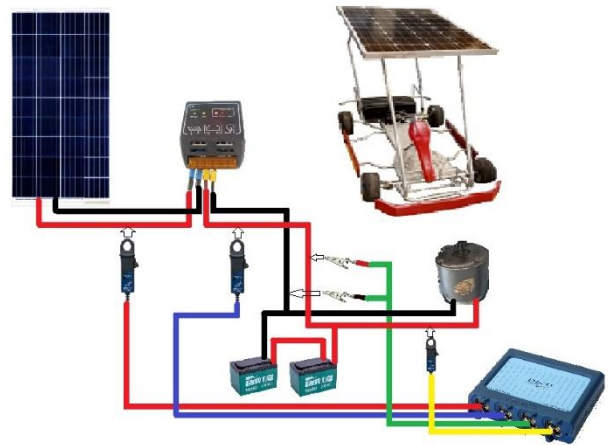


Figura 12 Instalación de dispositivos de medición

### 3.1.3. Obtención de datos dinámicos

Para la obtención de datos dinámicos a diferencia de los datos estáticos se tomó en cuenta el consumo que se genera por parte del motor eléctrico dando como resultado la obtención de cuatro valores, tres de amperaje y uno de voltaje, estos valores son la corriente antes y después del regulador, además se registró el amperaje necesario en la línea de alimentación del motor eléctrico y el voltaje que está consumiendo el vehículo conectado en serie, estos valores al igual que las pruebas estáticas fueron controlados y registrados por el PicoScope 4425A. Estas pruebas se realizaron con el fin de determinar el nivel de recarga de las baterías durante el proceso de conducción.

### 3.1.4. Resistencia al avance

#### 3.1.4.1. Resistencia a la rodadura

La resistencia al avance depende de factores como el diseño y tipo de construcción además de las condiciones de operación a las que los vehículos son sometidos [2], por lo cual para esta investigación se determinó que la influencia que tiene el peso (W) y la constante de resistencia a la rodadura (fr) presenta afectaciones significativas para el comportamiento del vehículo causando pérdidas resultantes del contacto del suelo con la superficie del neumático.

#### 3.1.4.2. Resistencia aerodinámica

Se ha determinado que la resistencia aerodinámica del kart eléctrico es despreciable, ya que su velocidad máxima no supera los 25 km/h. Esta afirmación se respalda en el estudio llevado a cabo [15], quienes afirman que en todos los vehículos que no exceden los 120 km/h, la resistencia aerodinámica se considera insignificante debido a la falta de cambios

significativos en el coeficiente de resistencia a la rodadura.

### 3.1.4.3. Fuerza inercial

Debido a los efectos que se generan por parte de la masa ( $m$ ) y la aceleración ( $a_x$ ) se produce un valor de inercia que en conjunto con el coeficiente de masa giratoria ( $\gamma$ ), ocasiona una resistencia al avance que se debe tomar en cuenta debido a su afectación en el desarrollo de la prueba dinámica del karting. [2]

### 3.1.4.4. Fuerza gravitatoria

Al considerar la naturaleza del terreno. Se concluyó que, para el cálculo de la resistencia total del kart eléctrico, se descartara la influencia de la fuerza gravitatoria. Esta elección se basó en el hecho de que la pendiente en la que se desplaza el kart es mínima, lo cual implica que dicha fuerza no tenga un efecto relevante en el desempeño general del kart eléctrico.

### 3.1.5. Estimación de la resistencia al avance

Los cálculos dinámicos requeridos para el presente artículo se basan en el área frontal para determinar la resistencia que presenta el vehículo a las condiciones ambientales, este cálculo se lo realizó mediante la implementación del software de diseño asistido SolidWorks con el cual en base a una foto frontal se determinó el área de aplicación como se lo verifica en la Fig. 14.

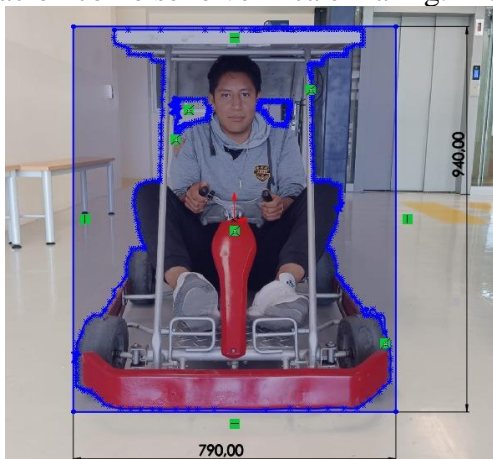


Figura 13 Cálculo de área frontal

El área frontal total obtenida del vehículo fue de  $0.48 \text{ m}^2$  con este valor se procederá a obtener el valor de  $C_x$  y  $f_r$  los cuales son variables que influyen principalmente en las condiciones dinámicas del Kart y las mismas que se obtendrán mediante la prueba de frenado utilizando el

método demostrado en la investigación de José Ignacio Huertas [15].

Para la aplicación del cálculo dinámico del kart eléctrico se definió la Tabla 1. La cual indica las constantes físicas que interactúan tanto con el vehículo y su entorno.

Tabla 1 Datos resistencia a la rodadura

DATOS			
Constante	Símbolo	Valor	Unidad
Masa 1	$m_1$	11.86	Kg
Masa 2	$m_2$	12.15	Kg
Gravedad	$g$	9.81	$\text{m/s}^2$
Coeficiente de resistencia aerodinámica	$C_x$	0.0047	(-)
Coeficiente de resistencia a la rodadura	$f_r$	0.0288	(-)
Coeficiente de Masas giratorias	$\gamma$	1.0818	(-)
Aceleración	$a_x$	0.708	$\text{m/s}^2$

A continuación, se presenta la ecuación para determinar el cálculo de la resistencia total que se plantea utiliza en este artículo.

$$F_T = R_T = R_x + F_a + F_i + F_o \quad (1)$$

La cual está determinada de la siguiente forma, como se observa en la ecuación 2

$$R_T = f_r * W + 0 + \gamma * m_1 * a_x + 0 \quad (2)$$

Reemplazamos, procedemos a sustituir los valores de las constantes, comenzando con los valores de la masa 1,

$$R_t = 0.0288 * 11.86 * 9.81 + 1.0818 * 11.86 * 0.708$$

Por lo tanto, se obtiene una resistencia total de:

$$R_{T1} = 12.44 \text{ N}$$

Con el fin de analizar la variación en la resistencia total debido al incremento de masa que se dio como resultado de la añadidura de herramientas

de medición, llevamos a cabo la misma operación utilizando la masa 2.

$$F_T = R_T = R_x + F_i$$

$$R_T = f_r * W + \gamma * m * a_x$$

Reemplazamos las constantes y se involucró el valor de masa 2.

$$R_t = 0.0288 * 12.15 * 9.81 + 1.0818 * 12.15 * 0.708$$

Obteniendo,

$$R_{T2} = 12.743N$$

Se determina que la diferencia entre los valores de  $R_{T1}$  y  $R_{T2}$  se debe al aumento del peso causado por los equipos de medición añadidos.

### 3.1.6. Esquematzación de datos

Se utilizó la herramienta de análisis Signal Analyzer de Matlab para llevar a cabo un análisis estadístico basado en los datos obtenidos durante las pruebas dinámicas y estadísticas. Este análisis proporcionó una base sólida para el estudio de los resultados, con la implementación de esta herramienta se generaron graficas que reflejan el comportamiento del vehículo durante el periodo de experimentación en función del tiempo.

Un ejemplo de esta esquematización de datos se lo ve reflejado en la Fig.18 la cual es una gráfica de amperaje-tiempo donde se ve el comportamiento de la corriente a lo largo de un día de experimentación y de manera visual aporta durante los procesos de análisis para generar resultados concisos y de mayor precisión.

### 3.1.7. Posibles aplicaciones

Los parqueaderos de la UPS albergan una cantidad considerable de vehículos que debido a la actividad laboral se mantiene estacionados por largos periodos de tiempo, el área que ocupa estos automotores tiene un potencial de aplicación para un sistema de recuperación energético mediante el uso de los paneles solares como se puede visualizar en la Fig. 15 y 16.

Considerando la cantidad de espacios disponibles, el estacionamiento ubicado en frente y detrás del bloque B de la UPS puede albergar un total de 130 vehículos. Esta cifra representa la capacidad total de estacionamiento en dicha área.

Considerando un área promedio de  $6.82 m^2$  por vehículo, lo cual se determinó mediante el uso del programa ImageJ, se obtiene un área total de  $887.38 m^2$  la cual en caso de la implementación del sistema de recuperación energética podrían genera un alto suministro de energía para los dispositivos electrónicos que conforman el auto.



Figura 14 Parqueadero frente al bloque B



Figura 15 Parqueadero trasero del bloque B

## 4. Resultados y Discusión

En primer lugar, la mayor radiación solar observada durante la toma de datos fue a las 10:30 am con una magnitud máxima de 0.59 kW mientras que la radiación solar mínima se la observó a las 7:30 am con un valor de 0.13 kW, como se lo muestra en la Fig 17. Presenciando así mayor energía a partir de las 10:30 am.

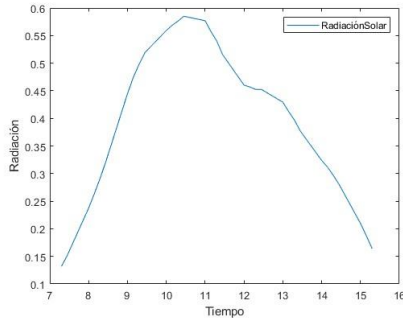


Figura 16 Resultados de radiación solar (kW-T)

En el caso de los amperajes se logra observar que los valores máximos fueron tomados a las 10:00 am como lo muestra la Fig. 18. Esto como resultado del ángulo de incidencia debido a la inclinación del panel solar con respecto al sensor UV, debido a que el panel solar está inclinado hacia el norte mientras, que el sensor UV posee una inclinación al sur, causando que el panel solar capte mucho más rápido la radiación solar. Dando como resultado un amperaje máximo del panel solar (PS) de 2.33 A y del regulador del panel solar (RPS) de 2.41 A. Mientras, que los amperajes mínimos fueron del PS 0.61 A y del RPS 0.661 A. En el horario de las 3:30 pm, esto valores darían paso a una posible investigación de los efectos que generan el ángulo de incidencia de la radiación solar dentro de la energía suministrada por parte del panel solar.

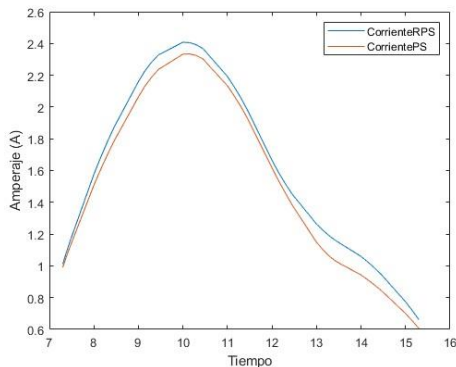


Figura 17 Resultados de corrientes RPS Y PS

Finalmente, en la Fig 19. Se logra observar el comportamiento del voltaje en el cual podemos decir que obtuvimos el punto de mayor voltaje

de 11:30 am a 12:00 pm, lo que significa que en ese intervalo de tiempo de 30 minutos las baterías alcanzaron un valor de 13,4 V proporcionado por el panel solar en su estado estático. Esto demuestra que las baterías se encontraban casi completamente cargadas. Además, no se observan pérdidas de voltaje durante los procesos de acumulación de energía por parte del panel solar.

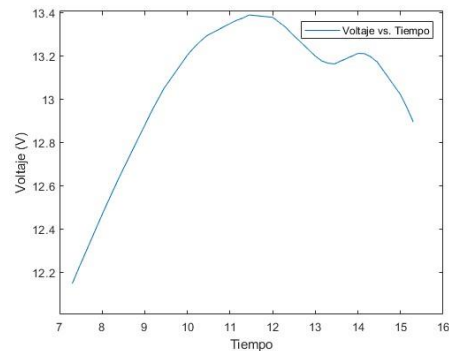


Figura 18 Resultados del voltaje de las baterías

En la Fig. 20 se aprecia el comportamiento de cada uno de los valores obtenido y su influencia directa entre sí. Como se puede observar el comportamiento de las ondas es relativo al tiempo de experimentación, variando únicamente para mostrar los valores relevantes para la investigación, como el desfase de las ondas y las afectaciones en la energía suministrada debido al ángulo de incidencia de los rayos solares.

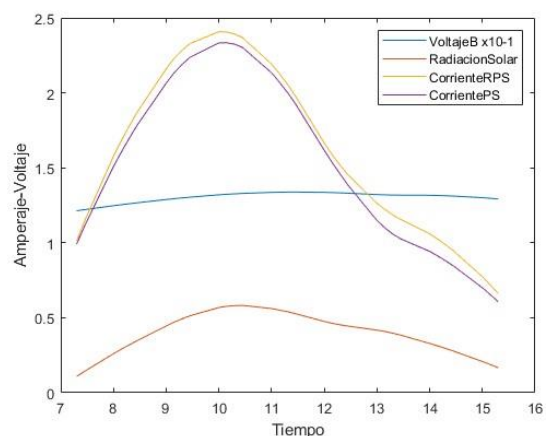


Figura 19 Resultados generales

Tabla 2 Comparativas de pruebas de autonomía estáticas - dinámicas

<b>Comparativa (Pruebas estáticas - Pruebas Dinámicas)</b>				
<b>Pruebas Dinámicas</b>	<b>Distancias (Km)</b>	<b>Duración (Min)</b>	<b>Velocidad (Km/h)</b>	<b>Radiación KW</b>

	2,01	39:13:00	11	0,749831933
	2,57	47:50:00	10	0,887147333
	2,26	42:52:00	11	0,414214564
<b>Promedio pruebas dinámicas</b>	2,28	43:18:20	10,67	0,683731277
<b>Promedio pruebas estáticas</b>	2,84	33:21:00	15	N/A

Las pruebas dinámicas fueron realizadas en condiciones de cielo despejado con el fin de obtener el mayor rendimiento posible por parte del panel solar, teniendo claro esta condición de evaluación se determinó que el promedio de la radiación obtenida fue de 0.68 kW como se puede evidenciar en la Tabla.2, lo que equivale a un aumento del 30% en la autonomía del kart eléctrico en contraste con los periodos de conducción libres de la energía suministrada por parte del panel solar, donde se obtuvo un promedio de 33:21 min de autonomía lo cual corresponde a una diferencia de 9:57 min.

Al tomar el dato de 30% en el aumento de la autonomía se realiza una proporción en función del valor máximo de radiación que se obtuvo a lo largo de todo el periodo de pruebas el cual fue de 1.15 kW, en base a este valor de referencia nos indicaría que en condiciones ideales de temperatura, humedad y radiación como máximo nos otorgaría el panel solar un aumento en la autonomía de hasta el 50.63%.

Las variaciones que se generaron en las dos condiciones de experimentación no solo recaen en la autonomía sino más bien en la velocidad y la distancia recorrida por el vehículo, de igual forma como se lo indica en la Tabla. 2, en este caso se muestra una clara diferencia entre la distancia recorrida por las dos pruebas esto a causa de la reducción en la velocidad del karting, que de igual forma indico una disminución significativa en su magnitud.

Las afectaciones observadas corresponden a un aumento en el peso debido a la implementación del PicoScope y la computadora portátil en las pruebas dinámicas. Los resultados obtenidos en los cálculos de la resistencia total al movimiento muestran que durante las pruebas estáticas fue de 12.44 N, mientras que durante las pruebas dinámicas fue de 12.74 N, lo que representa un

aumento del 2.47%. Este incremento en la resistencia total al movimiento ha generado una diferencia en la velocidad y la distancia recorrida, siendo de 4.33 km/h y 0.56 km, respectivamente

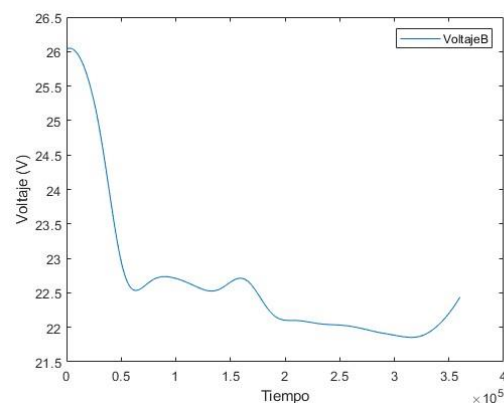


Figura 20 Voltaje de las baterías en serie

En relación con los datos obtenidos de velocidad y distancia se puede comprobar que durante las pruebas dinámicas el vehículo no mantuvo un consumo constante del voltaje como se puede verificar en la Fig. 21, en esta curva se muestra una tendencia de aumento desde la muestra 0.5 a la 1.5 lo que se comprueba mediante la Fig. 22, donde se ve un aumento en el suministro de corriente por parte del panel solar en el mismo rango de muestras. Estas condiciones permiten que la autonomía del vehículo aumente de manera proporcional al amperaje otorgado por la radiación solar.

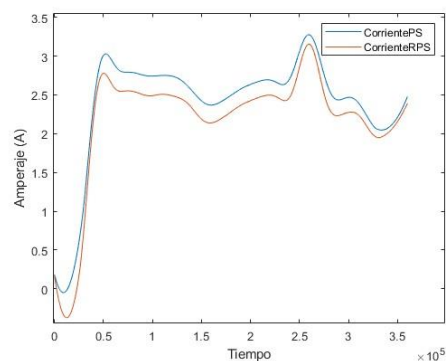


Figura 21 Corriente Regulador-Panel Solar

En la segunda etapa de observación, se observa un patrón consistente en los valores de corriente en el rango de muestras de 2.5 a 3. Sin embargo, este comportamiento no se refleja directamente en el voltaje de las baterías, excepto por una ligera inclinación, mientras que en la Fig. 23 donde se refleja la corriente que llega al motor eléctrico de igual manera indica una elevación que influiría en el rendimiento del vehículo que mantiene una aceleración total de manera constante, por lo cual la corriente ya no estaría siendo almacenada en las baterías de plomo-acido sino más bien que está siendo usada de manera directa para la alimentación del motor eléctrico.

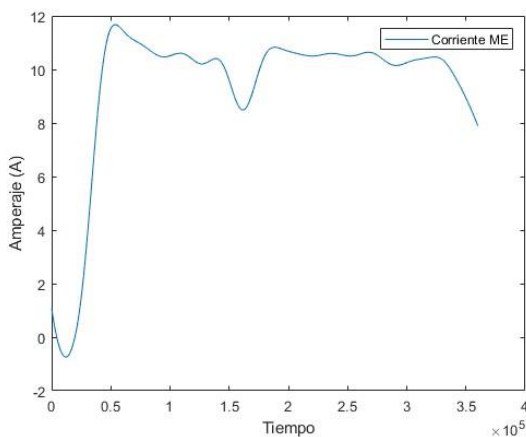


Figura 22 Corriente motor eléctrico

La influencia que existe entre el comportamiento de las gráficas de voltaje y amperaje se lo puede visualizar en la Fig. 24 de una manera más esquemática para la verificación los valores antes mencionados.

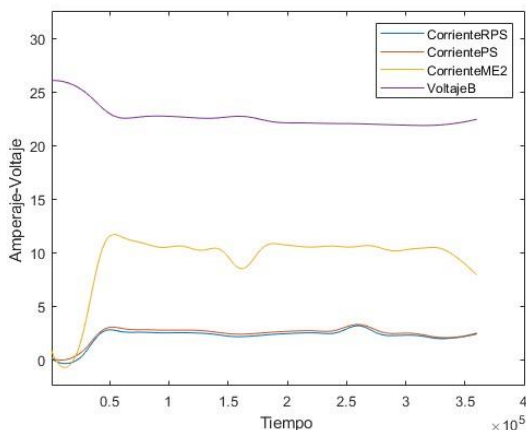


Figura 23 Datos dinámicos en función del número de muestras

Para el caso de las posibles aplicaciones se determinó que teniendo un área de acción de  $887.38 m^2$  se podría obtener un total de energía generada de 218,66 kWh, esto teniendo en cuenta

que en un área de  $0.67134 m^2$  se obtuvo una energía de 0.17 kWh, esta energía podría ser empleada para la alimentación de componentes electrónicos implicados en la movilidad eléctrica, además puede ser optimizada mediante el uso de nuevas tecnologías que facilite la sustitución de la estructura clásica del vehículo con paneles solares que adquieran formas que faciliten la aerodinámica del vehículo.

## 5. Conclusiones

Los datos obtenidos en forma estática muestran una relación coherente entre la radiación solar, amperaje y voltaje, dando como resultado una recuperación energética de 0,17 kWh por día. En los cuales se observó una radiación máxima de 0.59 kW a las 10:30 am, dato que coincide con los amperajes máximos registrados en el panel solar y el regulador de corriente del panel solar. Además, el voltaje alcanza su punto máximo alrededor de las 11:30 am, indicando que las baterías ya poseían una carga recuperada. Estos resultados quieren decir que la recuperación del panel solar si es viable para la carga de las baterías del kart eléctrico.

La implementación de celdas fotovoltaicas en contraste con el funcionamiento del kart sin el sistema de recuperación energética, generó un aumento en la autonomía del 30% y con una capacidad de lograr una mejora de hasta el 50.63% en condiciones ideales de temperatura y radiación, en esta caso el uso de los sistemas de recuperación energético se presentan como alternativa para mejorar el rendimiento de la movilidad eléctrica, mientras los paneles solares cumplan con una proporción adecuada en función de la capacidad de las baterías implementadas en el vehículo. Este proceso de carga se lo puede verificar en el comportamiento de las ondas de la Fig.24 donde se visualiza el proceso de carga del kart durante la conducción.

El ángulo de incidencia que poseen los paneles con respecto a los rayos solares tiene un alto nivel de afectación en los procesos carga. Debido a que el panel solar se encuentra con un ángulo de inclinación de  $1.99^\circ$ , mientras que el sensor UV posee una inclinación de  $16.60^\circ$ , esto se lo evidencio en el desfase que se generó con los



datos de amperaje y voltaje del kart en comparación con los valores registrados por la estación meteorológica de la UPS. Este resultado mostraría que la ubicación del Kart es más beneficiosa para los procesos de carga que la del sensor UV de la estación que posee un ángulo de diferencia de 180°. Otro factor que influye dentro del comportamiento del kart fue la resistencia a la rodadura la cual causó que en la velocidad y la distancia sufrieran una reducción en sus magnitudes.

Como medio de optimización de los procesos de carga se verificó que con la adaptación de un circuito que varié la conexión de serie a paralelo se puede reducir el tiempo que tarda en completar la carga de las baterías debido a la diferencia del voltaje que suministra el panel solar con el valor de voltaje requerido por las baterías.

La inexistencia de vehículos eléctrico-equipados con panel solares resulta en un desperdicio de energía renovable dentro de los parqueaderos de la Universidad Politécnica Salesiana. Con un área de 887.38 m<sup>2</sup>, sería beneficioso implementar sistemas de celdas fotovoltaicas en los vehículos para aprovechar la energía solar disponible mientras los vehículos se encuentran estacionados. Esto debido a que la energía recuperada por el panel solar del kart eléctrico fue de 0.17 kWh, teniendo esto en cuenta se deduce que en los parqueaderos de la universidad se desperdicia un total de energía solar de 218,66 kWh. El cual, ayudaría a reducir la dependencia de combustibles fósiles.

## Referencias

- [1] E. Salazar Marín, «Vehículos eléctricos una opción viable para Colombia,» *Universidad Tecnológica de Pereira*, vol. 1, pp. 14-15, 2022.
- [2] F. Aparicio Izquierdo, C. Vera Álvarez y V. Díaz López, *Teoría de los vehículos automóviles*, Madrid: ETS INGENIEROS INDUSTRIALES, 2001.
- [3] G. G. Reyes Campaña, D. J. Guanuche Larco, S. A. Pulles Tinoco y M. S. Aguirre Stoica, «Estudio de la percepción de vehículos eléctricos en la ciudad de Qui,» *Dominio de las ciencias*, vol. 7, n° 5, pp. 10-11, 2021.
- [4] E. Vivanco Font, «Energías renovables y no renovables,» *Asesoría Técnica Parlamentaria*, p. 3, 2020.
- [5] R. Prieto y S. Gil, «Hacia un transporte sustentable,» *Petrotecnia*, vol. 1, p. 96, 2020.
- [6] M. Guerra, «Implicaciones éticas en la producción y consumo de energía a través de fuentes energéticas renovables y no renovables,» Soyapango, Universidad Don Bosco, 2012, pp. 33-38.
- [7] H. Sixto Domínguez, «LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA,» *Ciencia y medio ambiente*, vol. 1, pp. 58-59, 2006.
- [8] Fresco's, «Tianneng 6-DZF-12 12V 12AH for Electric Bike/electric scooter battery,» [frescomalaysia.com.my](https://www.frescomalaysia.com.my/tianneng-6-dzf-12-12v-12ah-electric-bike-electric-scooter-battery-Frescococoa-I6336233-2007-01-Sale-I.htm), [En línea]. Available: <https://www.frescomalaysia.com.my/tianneng-6-dzf-12-12v-12ah-electric-bike-electric-scooter-battery-Frescococoa-I6336233-2007-01-Sale-I.htm>. [Último acceso: 20 05 2023].
- [9] Amazon, «24 V Motor Cepillado Controlador Caja Controlador de Velocidad Para Ciclo Eléctrico Scooter Ebike (350W) Ebike Acelerador 24V 350W Cepillado Controlador Variable,» [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Cepillado-Controlador-Velocidad-El%C3%A9ctrico-Acelerador/dp/B0758ZTS2B?th=1>. [Último acceso: 22 05 2023].
- [10] E. Ltd, «Enfsolar.com,» [En línea]. Available: <https://www.enfsolar.com/pv/charge-controller-datasheet/1682>. [Último acceso: 2023 05 22].
- [11] J. R. B. Capell, «Tipos de cadenas,» *Sadi Transmisiones S.L.*, pp. <https://saditransmisiones.com/tipos-cadenas/>, 10 02 2020.

- [12] W. contributors, «Freno,» *Wikipedia, The Free Encyclopedia*, p. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Freno&oldid=149952931>, 2019.
- [13] PicoScope, «ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS OSCILOSCOPIOS PARA DIAGNÓSTICO PICOSCOPE 4225A Y 4425A,» Pico Technology Ltd, Texas , 2019.
- [14] A. Expert, «PICO Kit Standard 4 Canales,» *Autoexpert-spain.com*, pp. <https://www.autoexpert-spain.com/producto/pico-kit-standard-4-canales/>, 2020.
- [15] J. I. Huertas y G. A. Álvarez Coello, «Exactitud y precisión de los coeficientes de resistencia al arrastre y a la rodadura obtenidos mediante ensayos de desaceleración en carretera,» n° 3, pp. 1-8, 2017.
- [16] IEA, «IEA,» Junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. [Último acceso: 27 06 2023].