



Diseño, construcción y modelado de un sistema fotovoltaico inteligente (SFA) para una estación de carga.

Design, construction and modeling of an intelligent photovoltaic system (SFA) for a charging station.



**Bryam Tacuri Chavez¹, John Peralta Guanoquiza¹,
Mayra Rivas Villa¹, Santiago Moscoso Bernal¹**

¹ Universidad Católica de Cuenca / Ingeniería Eléctrica.

bryam.tacuri.63@est.ucacue.edu.ec

DOI: <https://doi.org/10.26871/killkanatecnica.v7i2.1075>



Resumen

En presente artículo aborda: el diseño, dimensionamiento y modelado de una estación de carga conectado a un sistema fotovoltaico para la alimentación de dispositivos móviles, tomando como referencia geográfica la ciudad de Cuenca - Ecuador. La investigación realiza una introducción acerca de la energía fotovoltaica que permite incentivar a la población el uso de energías amigables. Se realizó un análisis del recurso solar disponible, utilizando en primera instancia el método descriptivo ya que permite sintetizar conceptos y teorías fundamentales de la energía solar fotovoltaica, y explicativo porque a través de leyes y relaciones matemáticas se obtienen distintas variables para el dimensionamiento de los equipos utilizados, de esta manera se establecen métricas y se realizan comparaciones de un SFA fijo con un SFA con seguimiento, para determinar cuál de los sistemas es el más eficiente. Como resultado se obtiene que el sistema fotovoltaico aislado fijo vs doble se obtuvo que tiene un 37% de eficiencia ah comparación de un sistema fijo vs móvil que tiene un 13% de eficiencia.

Palabras clave: *energías renovables, sistema fotovoltaico, estaciones de carga, dispositivos móviles.*

Abstract

The following paper addresses the designing, sizing, and modeling of a charging station, linked to a photovoltaic system for mobile device charging, taking the city of Cuenca, Ecuador as a geographical reference. The research provides an introduction to photovoltaic energy that encourages the use of eco-friendly energy sources among the population. An analysis of the available solar power resource was conducted. Initially, a descriptive method was employed to synthesize fundamental concepts and theories about photovoltaic energy. Subsequently, an explicative method utilizing mathematical relationships and laws was used to derive various equipment sizing variables. This allowed for metrics and comparisons between a fixed SAPS (Stand-Alone Photovoltaic System) and a tracking SAPS, in order to determine the most effective system. The results show that the fixed vs double Stand-Alone Photovoltaic System achieved an efficiency of 37%, while the fixed vs mobile system achieved an efficiency of 13%.

Keywords: *renewable energies, photovoltaic system, charging stations, mobile devices.*

Introducción

La energía renovable nace de fuentes naturales inagotables, de las cuales su explotación reduciría en enorme medida a la sobre explotación de fuentes no renovables. Una de las fuentes de energía más visibles actualmente es la energía solar, lograda desde la captación de la radiación electromagnética del sol mediante captadoras células fotovoltaicas, logrando cambiar esa radiación en energía eléctrica [1].

En este sentido, el ministerio de Electricidad y energías renovables, a través de la ley orgánica del servicio público de energía eléctrica, en su artículo 26 promueve el uso de las “Energías renovables no convencionales” a través de tecnologías limpias y energías alternativas, de conformidad con lo señalado en la Constitución que propone desarrollar un sistema eléctrico sostenible, sustentado en el aprovechamiento de los recursos renovables de energía [2].

El sitio geográfico del Ecuador en relación al sol se puede considerar elegida, debido que se encuentra sobre la línea equinoccial. En este punto los rayos solares son recibidos de forma perpendicular y en un ángulo definido, todas estas condiciones benefician la utilización de esta fuente de energía.

Por esta razón, en estos tiempos de crisis ambiental la generación de energía eléctrica usando recursos renovables ha adquirido más grande trascendencia actualmente y se ha inducido el progreso de diferentes medios de aprovechamiento de estos recursos.

El proceso de análisis de datos para estimar el SFA más eficiente se lo realizó a través de tablas comparadas usando modelos matemáticos; ade-

más, se construyó un prototipo en el cual a través de un microcontrolador Arduino Uno y usando como lenguaje de programación C++, se realiza la simulación de un sistema de seguimiento a la posición del sol (azimut), para contrastar con los datos obtenidos de las tablas comparadas.

Finalmente, se desarrolló la estación de carga, que impulsa el aprovechamiento de la energía del sol emitida a la tierra por medio de sus rayos para producir energía, de esta forma se va a estar minimizando precios en las futuras facturas por consumo eléctrico y paralelamente se ayudará a minimizar los índices de contaminación.

Metodología-Procedimiento para el proceso fotovoltaico

A. Generalidades

PANELES SOLARES: Los paneles solares son el mediador que provoca que la luz solar nos sirva de energía. Su bosquejo es sencillo, bastante eficaz y posibilita el autoconsumo, lo cual provoca la sostenibilidad [10].

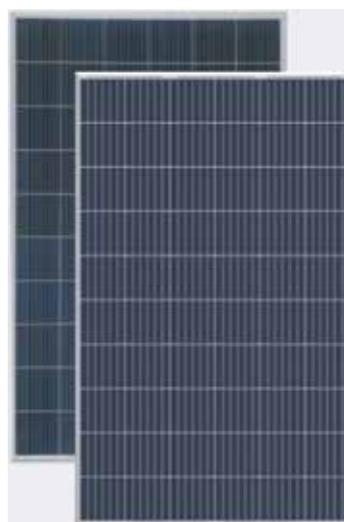


Figura 1. Panel solar Policristalino de 280w

Documento recibido el 21 de julio de 2022.
¹ SFA: Sistema fotovoltaico aislado

BATERÍA: La batería, además llamada pila o acumulador eléctrico, es un aparato formado por celdas capaces de transformar la energía química en su interior en energía eléctrica. De esta forma, las baterías producen corriente continua y sirve para alimentar diversos circuitos eléctricos, dependiendo de su tamaño y potencia [11].



Figura 2. Batería de plomo gel 12v y 200Ah.

CONTROLADORES DE CARGA MPPT²: Es un convertidor electrónico de CC a CC que optimiza la combinación entre los paneles solares (paneles fotovoltaicos). Permite que un conjunto de paneles tenga un voltaje más alto que el banco de baterías. Esto es relevante para áreas con baja irradiación o durante el invierno con menos horas de luz solar [3].



Figura 3. Controladores de carga Mppt de 50A.

² MPPT: Seguidor del punto de máxima potencia.

ESTRUCTURA METALICA:

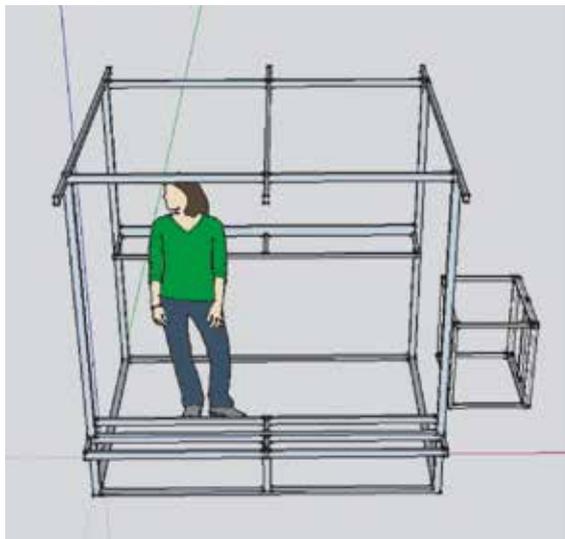


Figura 4. Estructura Metalica de hierro.
Cotas: 2m de largo por 1.5m de ancho por 2m de altura

CABLE AWG: Cable para la transmisión de corriente que te permite hacer conexiones o extensiones de uso rudo aterrizadas para automatización o control industrial.



Figura 5. Cable AWG calibre numero 14 de 2.5mm²

MAQUETA

ARDUINO UNO: Arduino es una plataforma de creación de electrónico de código abierto [4].



Figura 6. Arduino Uno.

PANEL SOLAR: Consta de una alta eficiencia de transformación de energía solar [5].



Figura 7. Panel solar de 5V – 200mA -1W.

CONTROLADOR DE CARGA: Cargador de Batería Litio Lipo es un minúsculo modulo perfecto para la carga de baterías Lipo o Li-ion de una celda de 3.7V 1Ah [14].

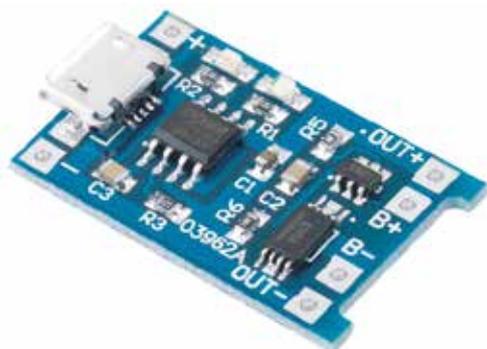


Figura 8. Controlador de carga TP4056

TRANSFORMADOR: Permite elevar el voltaje de la batería a 5V.



Figura 9. Transformador.

BATERÍA RECARGABLE: Permiten la obtención de energía eléctrica por transformación de energía química.



Figura 10. Batería recargable de 3.4V

SERVOMOTOR MG996R: Es un actuador rotativo que permite un control preciso en posición angular, este servomotor puede rotar de 0° hasta 180° [13].



Figura 11. Servomotor MG996R - 4.8V- torque 10.4kg

LDR - RESISTENCIAS: Es un resistor que varía su valor de resistencia eléctrica dependiendo de la cantidad de luz que incide sobre él [12]. 2 resistencias de 3kohm. Son componentes semiconductores su principal función es limitar el paso de la corriente en un circuito eléctrico [6].



Figura 12. LDR.



Figura 13. Resistencias de 3kohm.

ESTRUCTURA DE MADERA: Una estructura de madera que permite montar los componentes y que estos realicen su función correctamente.

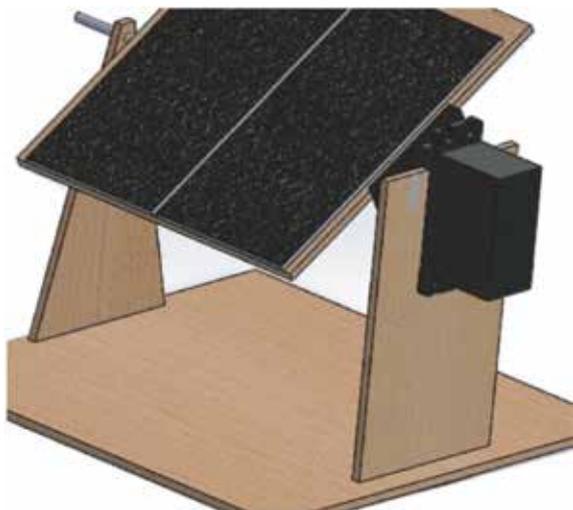


Figura 14. Estructura de madera para el montaje del seguidor de carga en maqueta.

B. Dimensionamiento de la estación de carga

1) Diagrama de bloques.

Para comprender más el diagrama que implemento el siguiente bloque para comprender la estación de carga.

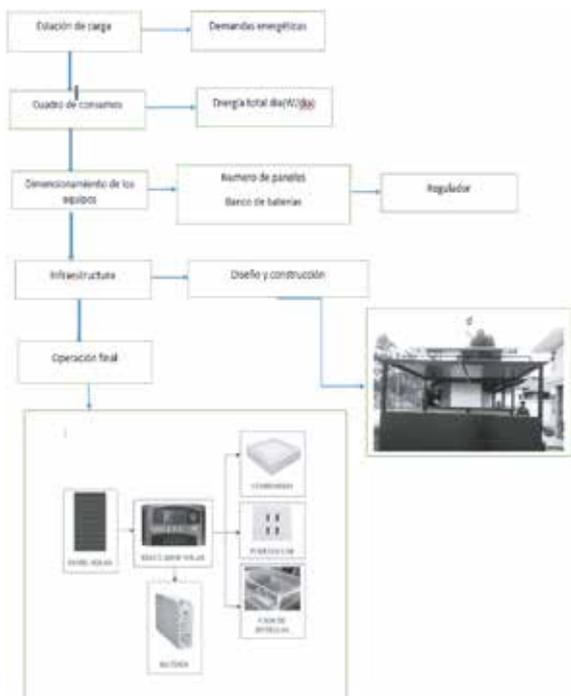


Figura 15. Diagrama de bloques.

2) Cuadro de consumos

En este apartado se realiza el cálculo del consumo energético de la estación de carga.

Tabla 1. Consumos totales.

ENERGIA TOTAL					
EQUIPOS	Cantidad	Consumo C/u (W)	Consumo Gral (W)	Uso diario (h/día)	Consumo Máximo, C T (Wh/día)
Luminarias	2,00	6,00	12,00	12,00	144,00
USB	8,00	10,00	80,00	6,00	480,00
Maquina de botellas	1,00	10,00	10,00	6,00	60,00
Energía Total					684,00

3) Cálculo del número de paneles

Para realizar el dimensionamiento de del panel solar partimos de los siguientes datos:

1. Datos del panel

En este caso se seleccionó un panel poli cristalino.

Tabla 2. Potencia del panel.

Data	Value	Unit
Potencia maxima	280	W
Voltaje maximo pico	31,3	V
Corriente maxima pico	8,95	A

2. Datos energéticos

Tabla 3. Energía día.

Data	Value	Unit
Energía día	684	Wh/día
Hora solar	4	

Partimos de la siguiente formula:

$$\# \text{ panele} = \frac{\text{Energía día} \cdot 1.3}{\text{Horas sol} \cdot \text{Potencia del panel}}$$

$$\# \text{ panele} = \frac{684W \cdot 1.3}{4 \cdot 280W}$$

$$\# \text{ panele} = 0.80$$

4) De acuerdo al cálculo necesitaremos un panel.

1. Cálculo de las baterías:

Para realizar el dimensionamiento de la batería partimos de los siguientes datos:

Tabla 4. Cálculo de la batería.

Data	Value	Unit
Energía día	684	Wh/día
Días de autonomía	2	
Descarga	0,7	
Voltaje del banco	12	V

2. Corriente del banco:

$$I_{\text{banco}} = \frac{\text{Energía día}}{\text{Voltaje del banco}}$$

$$I_{\text{banco}} = \frac{684 \text{Wh/día}}{12 \text{V}}$$

$$I_{\text{banco}} = 57 \text{Ah}$$

3. Banco de baterías

$$\text{Banco} = \frac{\text{Días de autonomía} * I_{\text{banco}}}{\text{Descarga}}$$

$$\text{Banco} = \frac{2 * 57 \text{Ah}}{0,7}$$

$$\text{Banco} = 162,85 \text{Ah}$$

De acuerdo al mercado se ha seleccionado una batería de 200Ah de tipo gel.

1. CABLEADO EN CONTINUIDAD (C.C)

Para realizar el cálculo del calibre del conductor se utiliza la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\sigma \cdot \Delta V}$$

Ecuación N° 4

Donde:

S: Sección de cable(mm²)

I: Corriente(A)

L: Largo del cable(m)

σ: Conductividad (cobre=59)

ΔV: Caída de tensión(V)

Para realizar el cálculo del calibre de conductor se utilizará un cuadro en Excel

2. PANEL A REGULAR DE CARGA

Tabla 5. Energía día.

CALCULO DE SECCIÓN DE CABLES DE CONTINUA					
Datos a modificar (leer notas)			Sección teórica		CABLE A UTILIZAR
Corriente	Largo	Caída de tensión (volts):	mm ²	mm ²	AWG
10	2,5	1	0,85	2,5	14

3. REGULADOR A BATERÍAS

Tabla 6. Energía día.

CALCULO DE SECCIÓN DE CABLES DE CONTINUA					
Datos a modificar (leer notas)			Sección teórica		CABLE A UTILIZAR
Corriente	Largo	Caída de tensión (volts):	mm ²	mm ²	AWG
50	0,5	1	0,85	2,5	14

C. Cálculos de eficiencia energética-radiación solar.

Tabla 7. Sistema Anual.

Año 2020 Potencial del Sistema					
Meses	W fijo	W movil	W doble	Fijo vs Mo	Fijo vs DoI
Enero	81,9552419	94,7808871	163,910618	14%	50%
Febrero	81,7187069	91,3197414	163,437155	11%	50%
Marzo	78,5860647	86,9943817	156,750457	10%	50%
Abril	72,2870278	80,4206944	144,574444	10%	50%
Mayo	74,0420968	85,5206183	148,083495	13%	50%
Junio	77,1950278	90,4288056	154,389167	15%	50%
Julio	79,3325	92,4708065	158,664328	14%	50%
Agosto	94,3797312	109,268817	188,759624	14%	50%
Septiembre	92,1496667	105,091083	184,2995	12%	50%
Octubre	95,2542204	109,602392	190,508495	13%	50%
Noviembre	87,3406944	101,645778	174,682333	14%	50%
Diciembre	71,5815054	81,9182527	143,16293	13%	50%
Promedio anual				13%	50%

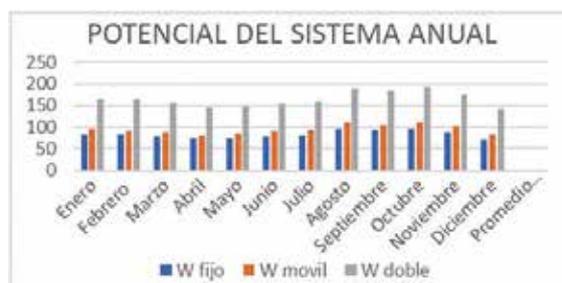


Figura 16. Promedio del sistema anual que recibe.

Tabla 8. Sistema Anual.

Año 2020 Potencial del Panel					
Meses	W/m ² fij	W/m ² mó	W/m ² doI	Fijo vs Mo	Fijo vs DoI
Enero	365,276855	419,571398	365,276855	13%	0%
Febrero	364,829971	405,43681	364,829971	13%	0%
Marzo	349,061505	384,830833	349,061505	13%	0%
Abril	319,923528	353,343333	319,923528	13%	0%
Mayo	327,16379	374,313333	327,16379	13%	0%
Junio	340,757444	395,318583	340,757444	13%	0%
Julio	347,326398	401,072581	347,326398	13%	0%
Agosto	415,934086	478,291532	415,934086	13%	0%
Septiembre	406,532333	460,024278	406,532333	13%	0%
Octubre	421,434704	480,995134	421,434704	13%	0%
Noviembre	393,384778	454,869333	393,384778	13%	0%
Diciembre	318,320108	361,125511	318,320108	13%	0%
Promedio anual				13%	0%

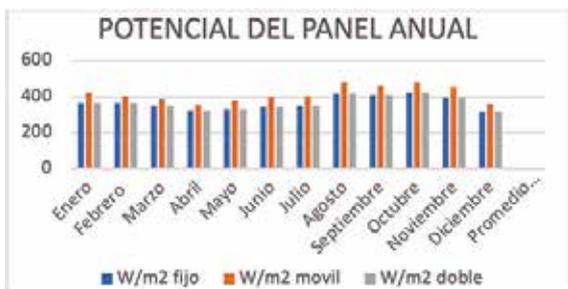


Figura 17. Promedio del sistema anual que transmite.

D. Programación del sistema de seguimiento fotovoltaico (maqueta).

```

Panel_solar_con_movimiento_VERSION_SEMILLA
//archivo <Servo.h> // se incluye la librería para el servo motor

//librerías
#include <Servo.h> //se incluye la librería de salida de Arduino para el primer servo
#include <Servo.h> //se incluye la librería de salida de Arduino para el segundo servo
#include <Servo.h> //se incluye la librería de salida de Arduino para el tercer servo

//servos
Servo servo_panel; //se declara el primer servo motor en el programa
int pos_panel = 0; //se declara la posición inicial en el que se colocará el servo motor

void setup() {
  // put your setup code here, to initialize variables:
  Serial.begin(9600);
  servo_panel.attach(9); //se declara la variable de salida del servo motor
  servo_panel.write(pos_panel); //llamamos a la variable del servo motor y la escribimos en el programa

  delay(1000);
}

void loop() {
  servo_panel.write(pos_panel);

  //leemos los datos
  int estado_servo_1 = analogRead(A0); //se lee el dato que devuelve el primer servo
  int estado_servo_2 = analogRead(A1); //se lee el dato que devuelve el segundo servo
  int estado_servo_3 = analogRead(A2); //se lee el dato que devuelve el tercer servo

  //convertimos los datos a grados
  int pos_servo_1 = map(estado_servo_1, 0, 1023, 0, 180);
  int pos_servo_2 = map(estado_servo_2, 0, 1023, 0, 180);
  int pos_servo_3 = map(estado_servo_3, 0, 1023, 0, 180);

  //movemos el servo
  servo_panel.write(pos_servo_1);
  delay(1000);
  servo_panel.write(pos_servo_2);
  delay(1000);
  servo_panel.write(pos_servo_3);
  delay(1000);
}
    
```

E. Resultados y costos.

Como resultado se obtuvo que un SFA móvil a nivel energético es más eficiente que un SFA fijo, con un incremento de un 13% de producción.

Por otro lado, comparando entre un SFA fijo con un SFA fijo con doble potencia, se obtuvo un incremento de un 37% de producción. Considerando que todos los sistemas se utilizaron paneles de iguales características.

En conclusión, un SFA móvil es más eficiente a nivel energético que un SFA fijo, sin embargo, la

inversión que se tiene que realizar no justifica el incremento de la producción, por tal razón es más eficiente implementar un SFA fijo con doble potencia, ya que la inversión que se necesita para este sistema, si justifica el incremento de producción.

Tabla 9. Analisis de costos del panel.

Diferencia de costos de los 3 sistemas	
SFA fijo	\$ 1.121,48
SFA Movil	\$ 1.170,38
SFA Doble	\$ 1.234,10
Diferencia SFA Fijo vs SFA movil	
\$	48,90
Diferencia SFA Fijo vs SFA doble	
\$	112,62

Conclusión

El uso de sistemas ambientalmente amigables para la generación de energía eléctrica, como lo son los sistemas fotovoltaicos, ha demostrado ser viable.

Ah nivel del país existe la tendencia a optar por la energía solar fotovoltaica para la producción de electricidad ya que nuestro país se encuentra sobre la línea equinoccial, esto permite que nuestro proyecto obtenga la mejor eficiencia.

Para llegar a obtener resultados se utilizó la fuente de datos “Europea Comission International PVGIS”, en el cual permite simular el sistema fotovoltaico móvil, sistema fotovoltaico fijo y el sistema fotovoltaico con doble potencia, permitiendo obtener los niveles de irradiancia sobre la superficie del panel en cada uno de ellos, así como su eficiencia.

Como conclusión de la investigación se demostró, que un SFA móvil es más eficiente a nivel energético que un SFA fijo con un incremento de un 13% de eficiencia, sin embargo, la inversión que se tiene que realizar no justifica el incremento de la producción, por tal razón es más eficiente implementar un SFA fijo con doble potencia, incrementado la producción en un 37%, justificando la inversión que se necesita para este sistema.

Referencias

- [1] «ECUADOR CONSOLIDA LA PRODUCCIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DE FUENTES RENOVABLES,» [En línea]. Available: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/ecuador-consolida-la-produccion-electrica-a-partir-de-fuentes-renovables/>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [2] «ARCONEL,» 22 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://www.regulacion-electrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Codificacion-Regulacion-No.-ARCONEL-003-18.pdf>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [3] «Vista de Diseño de una estación de carga solar para vehículos eléctricos en centros comerciales,» Enerlac, 23 Junio 2021. [En línea]. Available: <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/164/261>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [4] C. A. SPIEGELER, «DISEÑO DE ESTACIÓN SOLAR PARA CARGA ELÉCTRICA DE EQUIPO ELECTRÓNICO,» Biblioteca USAC, Abril 2014. [En línea]. Available: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2983_IN.pdf. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [5] C. F. R. Espinoza, «Dimensionado de una estación para carga de dispositivos móviles a base de,» Culcyt, Agosto 2016. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/user/Desktop/DOCUMENTOS/2022%20DOCUMENTOS/MAYRA%20RIVAS/SEXTO/ENERGIAS%20RENOVABLES/Dialnet-DimensionadoDeUnaEstacionParaCargaDeDispositivosMo-7193321.pdf>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [6] «Estacion de Carga - IEE,» Instituto de Energía Eléctrica, [En línea]. Available: <https://iee-unsjconicet.org/estacioncarga/>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [7] «Dimensionado de una estación para carga de dispositivos móviles a base de energía solar fotovoltaica | Cultura Científica y Tecnológica,» Revistas Electrónicas UACJ, 30 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/1468>. [Último acceso: 12 Julio 2022].
- [8] G. C. C. Xavier, «Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falqu,» 2020. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18646/4/UPS-GT002920.pdf>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [9] P. S. M. Alejandra, «Repositorio Universidad Técnica de Ambato: Diseño y simulación de un sistema fotovoltaico para la obtención de una certificación leed en la categoría de energía y atmósfera para la empresa Solinfra de la ciudad de Quito,» Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica. Carrera de Ingeniería Mecánica, Julio 2017. [En línea]. Available: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/26546>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [10] «¿Qué son los paneles solares y cuál es su futuro?,» BBVA, [En línea]. Available: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-son-los-paneles-solares-como-funcionan-y-cual-es-su-futuro/>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [11] D. Ondarse, «Batería,» Concepto, 2020.

- [En línea]. Available: <https://concepto.de/bateria/>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [12] Y. Fernández, «Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno,» Xataka, 3 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [13] «SERVOMOTOR TOWER PRO MG996R 13 KG.CM STANDARD 180°,» Electrostore, 2019. [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/motores/servomotores/servomotor-tower-pro-mg996r-13-kg-cm-standard-180/>. [Último acceso: 15 Julio 2022].
- [14] «ELECTROSTORE,» MÓDULO TP4056 CARGADOR BATERÍAS LITIO CON PROTECCIÓN, [En línea]. Available: <https://grupoelectrostore.com/shop/modulos-y-shields/cargadores-para-baterias/modulo-tp4056-5v-micro-usb-1a-cargador-para-baterias-litio-con-proteccion/#:~:text=El%20M%C3%B3dulo%20TP4056%20Cargador%20De,bater%C3%ADas%20no%20reciban%20ning%C3%BAn%20da%C3%B>. [Último acceso: 18 Julio 2022].

Recibido: 01 de abril de 2023

Aceptado: 31 de agosto de 2023