

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas

Carrera de Electricidad



TEMA:

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO
PARA SEÑALIZACIÓN LUMINOSA EN CARRETERAS**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

Alexis Ricardo Torres Angamarca

DIRECTOR:

PhD. Gerardo Isaias Collaguazo Galeano Msc.

Ibarra – 2025



AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004291272		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Torres Angamarca Alexis Ricardo		
DIRECCIÓN:	Antonio Ante - San Francisco de Natabuela		
EMAIL:	artorresa@utn.edu.ec / torresalexisricardo68@gmail.com		
TELÉFONO FIJO:	S/N	TELÉFONO MÓVIL:	0968837894

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	<i>DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO PARA SEÑALIZACIÓN LUMINOSA EN CARRETERAS</i>
AUTOR (ES):	<i>Alexis Ricardo Torres Angamarca</i>
FECHA: DD/MM/AAAA	28/10/2025
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero(a) Eléctrico(a)
ASESOR /DIRECTOR:	<i>Ing. Francisco Naranjo MSc.</i> <i>Ing. Gerardo Collaguazo PhD.</i>



2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de octubre de 2025

EL AUTOR:

.....
Alexis Ricardo Torres Angamarca



CERTIFICADO DEL DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo, Gerardo Isaías Collaguazo Galeano en calidad de director del señor estudiante Alexis Ricardo Torres Angamarca certifico que ha culminado con las normas establecidas en la elaboración del Trabajo de Integración Curricular con el tema: “DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN ELÉCTRICO FOTOVOLTAICO PARA SEÑALIZACIÓN LUMINOSA EN CARRETERAS”

Para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico, aprobado la defensa, impresión y empastado.

Ing. Gerardo Isaías Collaguazo Galeano PhD.

DIRECTOR DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, fuente de mi fortaleza y sabiduría, quien ha sido el fundamento de cada uno de mis logros y me ha bendecido con el conocimiento y sabiduría necesarios.

De manera especial, dedico este trabajo con todo el cariño a mis padres Gloria Angamarca y Edison Torres, quienes han sido mi mayor ejemplo de esfuerzo, perseverancia y amor incondicional. Gracias por su apoyo constante y por brindarme las bases necesarias para alcanzar este logro. Son mi mayor inspiración y mi fortaleza para seguir alcanzando todos mis objetivos. Los quiero mucho.

A mis hermanos, Karina, Anderson y Pao, por su amor y apoyo incondicional. Ustedes son mi mayor inspiración para seguir adelante, sus sonrisas, ocurrencias y compañía, me mantienen constante y alegre en el ritmo de mi vida.

Con profundo cariño, dedico también este logro a mis abuelitos, cuyo amor y oraciones constantes han sido un respaldo invaluable en mi camino, pidiendo a Dios que no me falte fuerza y salud.

A toda mi familia, quienes confiaron en mí y me han brindado su apoyo y ganas de seguir adelante en cada etapa de mi formación académica y personal. Les agradezco por estar allí siempre pendiente de cada uno de mis aciertos y desaciertos.

A mis amigos Emerson, Ahuqui, Milton, Sebastián, Tatiana y Lizeth, quienes me han acompañado tanto dentro y fuera del aula, compartiendo risas, esfuerzos y valiosos aprendizajes. Gracias por los momentos vividos y por hacer de esta etapa una experiencia significativa en mi vida.

Finalmente, a mi segunda familia “NTC CREW”, con quienes compartí los primeros sueños, juegos y enseñanzas de la vida. Gracias por estar presentes desde mis inicios, por su amistad genuina y por ser parte de una etapa llena de aventuras y apoyo mutuo.

A todos ustedes y cada uno que confió en mí, valoro inmensamente el apoyo que me han brindado.

Ricardo Torres



AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la fortaleza, salud y sabiduría necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida académica. Le agradezco por ser mi guía constante, por bendecirme en cada paso del camino y por regalarme una gran familia y amigos que han sido un apoyo incondicional en mi formación como persona.

Expreso mis más sinceros agradecimientos a mi tutor, Msc. Gerardo Collaguazo, por compartir generosamente sus conocimientos y brindarme una orientación técnica invaluable. Su guía fue fundamental para el desarrollo de este trabajo, y su paciencia y dedicación fomentaron en mi la confianza y el fortalecimiento de mis capacidades.

También agradecer a mi asesor Msc. Francisco Naranjo por su valiosa orientación, dedicación y compromiso a lo largo de este proceso. Su experiencia, paciencia y constante disposición para guiarme contribuyeron a mi crecimiento académico y profesional.

A los docentes que conforman la Carrera de Electricidad por compartir sus conocimientos y experiencia a lo largo de mi crecimiento académico. Su vocación y su compromiso con la enseñanza han sido pilares fundamentales en mi educación.

Por último, y no menos importante, agradezco profundamente a la “Universidad Técnica del Norte” por haberme brindado la oportunidad de formarme profesional y personalmente en un entorno de excelencia académica. Este espacio de aprendizaje, crecimiento y valores ha sido fundamental en mi desarrollo de habilidades y conocimientos que me acompañaran en mi vida profesional.

Ricardo Torres



Tabla de Contenido

DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	12
ABSTRACT.....	13
CAPITULO 1	14
Introducción	14
El Problema.....	14
1.1 Problema de Investigación.....	14
1.1.1 Problemática a investigar	14
1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación	16
1.2 Objetivos.....	16
1.2.1 Objetivo General	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 Alcance y delimitación.....	16
1.4 Justificación.....	17
CAPÍTULO 2.....	20
2.1 Antecedentes	20
2.2 Sistemas de Generación Eléctrica Fotovoltaica.....	22
2.3 Componentes de un Sistema Fotovoltaico.....	23
2.3.1 Módulos Fotovoltaicos	24



2.3.2	Regulador de Carga.....	25
2.3.3	Batería.....	28
2.3.4	Inversor	30
2.4	Señales de Tránsito Verticales.....	31
2.4.1	Señales de Tránsito Verticales Luminosa	33
CAPITULO 3.....		40
3.1	Descripción del Lugar.....	40
3.2	Metodología	42
3.3	Procedimiento.....	43
3.4	Materiales	46
3.4.1	Software Especializado.....	46
3.4.2	Dispositivos	48
3.4.3	Cálculos Matemáticos Empleados para el Dimensionamiento Fotovoltaico	56
3.4.4	Normativa y Caracterización de la Señal Vertical.....	62
CAPÍTULO 4.....		63
4.1	Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico.....	64
4.1.1	Cálculo de la Hora Solar Pico (HSP).....	64
4.1.2	Determinación de la Inclinación Óptima de los Paneles	65
4.1.3	Cálculo del Consumo Máximo del Sistema	65
4.1.4	Selección y Cálculo del Módulo Fotovoltaico.....	66
4.1.5	Selección y Cálculo de la Corriente del Regulador de Carga.....	68
4.1.6	Selección y Cálculo de la Batería.....	71
4.1.7	Cálculo del Tiempo de Carga de la Batería.....	74



4.1.8	Determinación de Intensidad por Tramo	76
4.1.9	Selección de Conductores	77
4.1.10	Determinación de Caída de Tensión.....	81
4.1.11	Selección de los Elementos de Protección	83
4.2	Esquema Eléctrico del Sistema de Señalización Luminosa Fotovoltaico.....	85
4.3	Altura de Instalación de la Señal Luminosa y Panel Solar.....	87
4.4	Estructura de Soporte de la Señal Vertical	87
4.4.1	Accesorios de Fijación.....	91
4.5	Esquema General de Montaje de la Señal Vertical Luminosa	92
4.4.2	Consideraciones de Diseño	95
4.4.3	Pruebas Mecánicas Sobre la Estructura.....	96
4.5	Esquema Electrónico de la Unidad de Control.....	101
4.6	Verificación del Diseño a través de Simulación.....	103
4.6.1	Flujograma para el control de la Señalización Luminosa.....	108
4.7	Inversión Total Estimada del Proyecto	112
4.8	Modelado Estructural y Eléctrico en Revit.....	113
Conclusiones.....		119
Recomendaciones		120
Referencias.....		121
ANEXOS		128



Índice de Figuras

Figura 1. Regulador de carga MPPT. [15].....	26
Figura 2. Regulador de carga PWM. [17]	27
Figura 3. Ejemplos de aplicación de señalizaciones verticales luminosa. Adaptada de [25]	33
Figura 4. Ubicación de la zona de estudio.	40
Figura 5. Comportamiento de lluvia y nubosidad a lo largo del día. Datos extraídos de [28] ...	41
Figura 6. Diagrama de bloques que describe las actividades realizadas	44
Figura 7. Conexión de una matriz led para más de un módulo [35].....	50
Figura 8. Módulo LED P10 320 x 160mm. [36]	51
Figura 9. Reductor de voltaje Buck 5V. [37].....	51
Figura 10. Convertidor Boost-Buck DC a DC. [38].....	53
Figura 11. Sensor de Lluvia Y1-83. [39].....	54
Figura 12. Módulo Sensor BH1750. [40]	55
Figura 13. Radiación promedio mensual del lugar de estudio. [52].....	64
Figura 14. Cantidad de horas de exposición a la irradiación solar durante un día. [53].....	75
Figura 15. Tabla de calibre de conductor. [54]	78
Figura 16. Diagrama eléctrico del sistema de señalización luminosa fotovoltaica.....	86
Figura 17. Sistema de soporte para poste realizado en Revit.	90
Figura 18. Dimensiones de la señal vertical luminosa.	93
Figura 19. Comportamiento del Flujo de Aire Alrededor de la Estructura.....	97
Figura 20. Distribución de la presión en la estructura.	99
Figura 21. Análisis de turbulencia alrededor de la señal vertical.....	100
Figura 22. Diagrama Electrónico de la Unidad de Control.....	102
Figura 23. Simulación de la señal luminosa en condiciones nocturnas.	105
Figura 24. Simulación de la señal luminosa en un entorno lluvioso.	106
Figura 25. Simulación de la señal luminosa en condiciones de niebla en la carretera.	107
Figura 26. Simulación de la señal luminosa bajo condiciones de niebla y lluvia.....	108
Figura 27. Diagrama de flujo del control para señales luminosas.....	109
Figura 28. Modelo 3D de la señal vertical luminosa con alimentación fotovoltaica.	114
Figura 29. Modelo 3D del Tablero de Control.	115
Figura 30. Conexiones internas del circuito eléctrico y electrónico.....	116
Figura 31. Cableado y Distribución del Circuito Electrónico.	117
Figura 32. Modelado 3D de la ubicación de la señalética en el tramo vial.	118



Índice de Tablas

Tabla I Sistemas fotovoltaicos y sus características principales	22
Tabla II Principales tipos de módulos fotovoltaicos	24
Tabla III Tipos de baterías y características.....	29
Tabla IV Clasificación de señales verticales y su función	32
Tabla V Ubicación de las señales de acuerdo con la norma aplicable.....	35
Tabla VI Clases de señales verticales según su forma.....	37
Tabla VII Dimensiones de paneles luminosos, dinámicos o fijos	39
Tabla VIII Especificaciones técnicas del Módulo LED P10	49
Tabla IX Niveles de intensidad lumínica en diferente situación	55
Tabla X Demanda de energía estimado a considerar de una señal luminosa	66
Tabla XI Comparación de paneles fotovoltaicos de diferentes marcas	67
Tabla XII Características técnicas del panel solar monocristalino de 300W	68
Tabla XIII Especificaciones técnicas de reguladores de carga	70
Tabla XIV Características técnicas del controlador de carga	70
Tabla XV Registro diario de irradiación solar en el mes de diciembre (en kWh/m ²).....	72
Tabla XVI Características técnicas de la batería POWEST – FL122000GS.....	74
Tabla XVII Intensidad que fluye por cada tramo en condiciones ideales	77
Tabla XVIII Características de los conductores de cobre THHN/THWN-2	79
Tabla XIX Características de los conductores de cobre SPT	80
Tabla XX Características técnicas del cable UTP Cat.6	81
Tabla XXI Resultados de Caída de Tensión y Pérdidas.....	81
Tabla XXII Especificaciones Técnicas del Interruptor Termomagnético, marca LANGIR.....	84
Tabla XXIII Especificaciones Técnicas del Interruptor Diferencial, marca CHZFGOLD	85
Tabla XXIV. Características de Poste Metálico.....	88
Tabla XXV Características generales del anclaje para postes metálicos	89
Tabla XXVI Descripción del material seleccionado para los elementos de la señalética	94
Tabla XXVII Umbrales de detección de luz en diferentes condiciones ambientales	103
Tabla XXVIII Precio estimado para la instalación de un sistema de señalización luminosa con energía solar	112



RESUMEN

Las dificultades para acceder a la red eléctrica convencional en ciertos tramos de carretera, junto con factores climáticos adversos que reducen la visibilidad, como la lluvia y niebla, justifican el diseño de sistemas autónomos de señalización como una alternativa técnica relevante. Este trabajo de investigación expone el diseño de un sistema de señalización vertical luminosa basado en energía fotovoltaica, orientado en la carretera E35 específicamente entre San Pablo y Otavalo, provincia de Imbabura, donde la visibilidad es reducida por la noche y periodos nubosos. Se empleó el método cuantitativo, que implica la recopilación, análisis y aplicación de valores numéricos para el dimensionamiento fotovoltaico a través de ecuaciones matemáticas, parámetros de diseño, modelado y simulación con softwares como Revit y Arduino IDE. Se consideró variables como irradiación solar, consumo diario, autonomía y capacidad de almacenamiento. Los parámetros eléctricos resultantes permitieron determinar el panel solar adecuado y los demás equipos del sistema. Además, se definieron los parámetros técnicos de la señal vertical para cumplir con la normativa nacional y ajustarse al diseño desarrollado, elaborando una propuesta técnica acorde a los requerimientos establecidos. Los resultados de este estudio muestran que la propuesta cumple con los requerimientos funcionales y normativos para su implementación en zonas caracterizadas por acceso limitado a la red eléctrica o condiciones meteorológicas adversas, representando una solución viable para mejorar la señalización y seguridad vial. Para futuros estudios, se sugiere validar los cálculos y el comportamiento del sistema mediante un prototipo.

Palabras Clave: Dimensionamiento fotovoltaico, Panel solar, Seguridad Vial, Señalización vertical luminosa, Simulación computacional.



ABSTRACT

The difficulties in accessing the conventional electrical grid in certain road sections, along with adverse weather conditions that reduce visibility, such as rain and fog, justify the design of autonomous signaling systems as a relevant technical alternative. This research paper presents the design of a solar powered illuminated vertical signage system. The focus is on the E35 highway, specifically the stretch between San Pablo and Otavalo in the Imbabura province, an area known for limited visibility at night and during cloudy periods. We used a quantitative method, which involved collecting, analyzing, and applying numerical data to size the photovoltaic system. This was done using mathematical equations, design parameters, modeling, and simulations with software like Revit and Arduino IDE. Variables such as solar irradiance, daily consumption, autonomy, and storage capacity were considered. The resulting electrical parameters allowed us to determine the appropriate solar panel and other system components. Additionally, the technical parameters of the vertical sign were defined to comply with national regulations and fit the developed design, creating a technical proposal that met the established requirements. The results of this study show that the proposed solution meets the functional and regulatory requirements for implementation in areas with limited access to the power grid or adverse weather conditions. It represents a viable solution for improving road signage and safety. For future studies, we suggest validating the calculations and system performance using a prototype.

Keywords: Photovoltaic sizing, Solar panel, Road Safety, Illuminated vertical signage, Computational simulation.



CAPITULO 1

Introducción

Tema: Diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para señalización luminosa en carreteras.

El Problema

1.1 Problema de Investigación

1.1.1 Problemática a investigar

La señalización luminosa en carreteras juega un rol fundamental en la seguridad vial de las personas, ya que capta la atención de los conductores hasta un porcentaje mayor que la señalización habitual, ésta permite identificar y prever situaciones de tráfico, reduciendo así el riesgo de accidentes de tránsito.

Tradicionalmente estos sistemas dependen de la red eléctrica convencional para su funcionamiento, que por lo general se encuentran ubicados en autopistas donde la red eléctrica está a amplia disponibilidad. Todo lo contrario, sucede en tramos viales donde se muestra complicado contar con este tipo de sistema de señalización luminosa, debido a la dificultad de acceso a la red eléctrica y el de no tener un control de mayor desempeño sobre la seguridad vial. Con ello, la necesidad de diseñar un sistema que alimente eléctricamente a este tipo de señalizaciones en rutas mediante paneles solares radica en varios factores claves donde uno de ellos es la falta de acceso a la red eléctrica convencional.

Por lo que se refiere al clima, en el cual la neblina baja, fuertes lluvias y opacidad, se



adueñan de las carreteras impidiendo la visibilidad de los conductores sobre las señalizaciones verticales habituales, resultan ser poco eficaces en estos periodos climáticos generando un no tan factible control de tránsito sobre ciertas rutas que comúnmente son problema para los conductores.

A modo de ejemplo, Actualmente en Imbabura, en la carretera E35, en el trayecto entre San Pablo y el ingreso a Otavalo, se tiene un 96% de nubosidad con 20°C en el día, mientras que en la noche hay un 99% de nubosidad con 7°C, según datos de AccuWeather, (pronóstico del tiempo online), esto conlleva a citar un apartado del Código de práctica para el alumbrado público del Instituto Ecuatoriano de Normalización con respecto a la luminancia del campo visual del conductor, en la sección 4.3.2 que indica que “La visión y velocidad de percepción dependen principalmente del nivel general de luminancia y de las relaciones de contraste de luminancia en el campo visual” (“Servicio Ecuatoriano de Normalización” INEN, 2014, p. 5), en donde en la autopista mencionada el nivel de iluminación sobre señalizaciones de tránsito es importante tenerlas bien remarcadas debido a las variables climáticas actuales y señalizaciones tanto verticales como horizontales que se ven afectadas por estas condiciones en el sitio.

Por ende, la dificultad de acceso a la red eléctrica convencional y cambios drásticos del clima en carreteras pueden representar un importante problema a futuro en cuanto a la disponibilidad eléctrica y el riesgo de accidentes de tránsito.



1.1.2 Formulación de la pregunta de investigación

¿Qué parámetros se deben tomar en cuenta para dimensionar un sistema de señalización vertical luminosa en carreteras con condiciones meteorológicas adversas (lluvia y nubosidad) basado en energía fotovoltaica?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para señalización luminosa en carreteras mediante herramientas computacionales que ayuden al dimensionamiento de paneles solares y señalización vertical.

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Describir los sistemas de energía eléctrica fotovoltaica y señalización de tránsito vertical.
2. Dimensionar los paneles solares y señalización vertical considerando la normativa nacional.
3. Diseñar un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico.

1.3 Alcance y delimitación

Para la elaboración del diseño eléctrico fotovoltaico destinado a la señalización luminosa en carreteras, se indagará sobre los tipos de sistemas de energía eléctrica fotovoltaico con sus conceptos, definiciones y características de dimensionamiento, teniendo en cuenta los elementos del cual depende cada tipo de sistema, tales como: tipos de placas solares fotovoltaicas, tipos de



baterías de almacenamiento, su capacidad y funcionamiento. Además, la descripción del tipo de señalización de tránsito vertical sobre la vía, su función y ubicación.

Para la propuesta del dimensionamiento de paneles solares se tomará en cuenta diferentes aspectos como: parámetros para paneles fotovoltaicos, flujos solares, dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía, promedios de salida de potencia fotovoltaica y la irradiación solar inclinada. Esto con la ayuda de datos recopilados que arroja Global Solar Atlas y POWER Data Access Viewer.

Mientras que, para el dimensionamiento de la señalización luminosa en carreteras se tendrá en consideración las normativas nacionales en sistemas de señalización vertical siendo un gran apoyo para el diseño.

Por último, se realizará el diseño del sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico por medio de softwares como Arduino IDE y Autodesk Revit que permitirán la programación y modelado 3D de la señalización luminosa con alimentación solar fotovoltaica.

1.4 Justificación

La presente investigación se enfocará en el estudio sobre el diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico destinado a la señalización luminosa en carreteras, con el fin de aportar conocimiento técnico sobre el diseño eléctrico, considerando aspectos de dimensionamiento de paneles solares y las normativas nacionales aplicables únicamente a la señalización vertical en Ecuador, en busca de propiciar seguridad vial y una mejor visibilidad para los conductores mediante un sistema



eléctrico de señalización luminosa viable, estructurado y riguroso, independientemente de la red eléctrica convencional.

El análisis y descripción de este tipo de diseño eléctrico aporta a nuevas posibilidades de construcción e implementación de sistemas de señalización luminosa en carreteras con sistemas fotovoltaicos, como también el conocimiento sobre el dimensionamiento de paneles solares y señaléticas verticales luminosa, compensando la seguridad vial a los conductores en la panamericana norte o zonas vehiculares en periodos de clima pesado como: tiempos lluviosos, brumosos e incluso dotando de alimentación eléctrica a estos sistemas de señalización luminosa en donde la red eléctrica convencional se vea inaccesible, manteniendo el mismo concepto de las señaléticas verticales de tránsito tradicionales.

Es importante resaltar que las señalizaciones convencionales verticales no se logran diferenciar de una manera tan efectiva por los conductores en lapsos especialmente nublosos, resultando ser un problema para el control vehicular en la carretera. En tanto a la accesibilidad de la energía eléctrica, las vías vehiculares que más frecuentan tener dificultad de acceso a este medio son las que se localizan en zonas montañosas rodeadas de vegetación, que puede también ser preocupante al no alertar al conductor con señalizaciones de tránsito por anticipado unos cuantos metros atrás.

No obstante, la energía eléctrica producida por un sistema eléctrico fotovoltaico no logra reemplazar en su totalidad a la red eléctrica convencional, pero si generar la cantidad de energía eléctrica necesaria para un sistema de iluminación requerida como lo es el caso.



De esta manera, el presente diseño busca sentar las bases para la futura implementación de sistemas de señalización luminosa fotovoltaica, enfocados en garantizar la seguridad vial en tramos de carretera donde no dispongan de la red eléctrica interconectada, especialmente en condiciones climáticas brumosas o similares, por lo que se hará necesario implementar este tipo de sistema que logre cumplir con la problemática planteada.



CAPÍTULO 2

Marco Teórico

En este capítulo, se describe el tema de los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica, los componentes que intervienen en la estructura de estos sistemas y las señales de tránsito vertical, considerando aspectos clave de este último como los tipos, tamaños, características, formas, etc., así teniendo en cuenta este conjunto de temas indispensables para la implementación de un sistema de generación eléctrica fotovoltaica.

2.1 Antecedentes

El proyecto de investigación que se presenta en este escrito, consta del diseño y dimensionamiento de paneles solares, señalización vertical en carreteras e instalación eléctrica del sistema, para dotar de alimentación eléctrica fotovoltaica a un sistema luminoso de señalización vertical en carreteras, ya que la señalización luminosa facilita a gran medida a los conductores que transiten por la vía, y por consiguiente, se encuentren más cautelosos al volante cuando la situación lo requiere [1]. Los tipos de señalizaciones de tránsito, ya sean verticales u horizontales y luminosa, habitualmente se encuentran ubicados en puntos de la carretera donde es más frecuente el tránsito vehicular y la accesibilidad a la red eléctrica (en el caso de depender de la energía eléctrica), pero en ocasiones estas señalizaciones no se encuentran ubicadas en zonas donde la red eléctrica es inaccesible y el clima del lugar, que juega también un rol fundamental en la seguridad vial, no es favorable para el hecho de precautar a los conductores con un aviso simbólico en la vía. La Empresa Pública de Movilidad del Norte, en sus datos estadísticos constata que las condiciones ambientales y del clima constituyen el 1% entre los factores que intervienen en los accidentes de



tránsito [2]. Por tanto, el clima brumoso, lluvia y opacidad en la vía impide la visualización de los conductores de estos avisos preventivos originando inseguridad. Además, el Instituto Ecuatoriano de Normalización presenta en un párrafo la importancia de las señalizaciones en la vía, donde aclara que los dispositivos de control de tránsito comunican a los usuarios las normas vigentes y proporcionan las advertencias y orientaciones necesarias para garantizar la operación segura, ordenada y eficiente [3], así como también de las normativas que deben cumplirse para el dimensionamiento de este tipo de señaléticas.

En cuanto a la situación energética en el país, la producción de energía eléctrica fotovoltaica es la adecuada para tener un sistema de iluminación, por la capacidad de generar una potencia nominal suficiente que abastezca un proyecto fotovoltaico, si bien es cierto, esta potencia nominal depende de factores externos principalmente de la radiación solar en el lugar de instalación, por lo que en Ecuador la radiación solar se presenta con mayor intensidad, especialmente en la región sierra del país [4]. Teniendo en cuenta este hecho, la forma de generar energía eléctrica en áreas remotas donde no exista la red eléctrica convencional, es mediante la fuente de energía fotovoltaica, lo cual Vélez [5], menciona que las tecnologías fotovoltaicas tienen una gran ventaja en el medio, ya que pueden ser instaladas en lugares de difícil acceso, siendo una fuente de energía amigable con el medio ambiente y la misma vez los componentes técnicos de estos sistemas son fáciles al momento del transporte.

Es importante recalcar que el dimensionamiento de los módulos solares y señalización vertical luminosa, aplicará para zonas alejadas de las grandes ciudades como también en vías donde existan factores climáticos que afecten a la diferenciación o visualización de los conductores



hacia las señaléticas instaladas, proponiendo así un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico con la noción fundamental que describe este documento para la futura implementación de este tipo de sistema.

2.2 Sistemas de Generación Eléctrica Fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica aprovecha la radiación solar en un determinado espacio, mediante el cual convierte esta energía solar en electricidad de manera directa, obteniendo la disponibilidad de este recurso para la alimentación de sistemas eléctricos. Existen varios tipos de sistemas de generación eléctrica fotovoltaica los cuales permiten su funcionamiento dependiendo del lugar de ubicación y la radiación solar que incide en el sitio.

A continuación, se presenta una tabla que muestra los diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos y sus características principales.

Tabla I

Sistemas fotovoltaicos y sus características principales

Tipo de sistema	Descripción	Aplicación
Fotovoltaico Aislada	Funciona de forma autónoma, sin necesidad de estar conectado a la red eléctrica [6]. Este sistema almacena la energía generada en baterías para su uso posterior, siendo una alternativa crucial en áreas donde la conexión a la red eléctrica es limitada o inexistente.	Rújula en su libro menciona que las principales aplicaciones se clasifican en; implementación de sistemas eléctricos en viviendas y edificios, en el sector agropecuario, iluminación autónoma, señalización y comunicaciones, entre otros en específico [7].
Fotovoltaico conectada a la red	Este sistema en específico produce energía eléctrica en condiciones favorables, la cual se consumirá parcial o completamente en las proximidades. Cualquier exceso de energía será	Se aplica en instalaciones destinadas al autoconsumo y a la venta de energía, así como también en centrales fotovoltaicas.



inyectado a la red de distribución o a puntos de consumo adicionales [6].

Fotovoltaico híbrido

Un sistema fotovoltaico híbrido puede generar, almacenar y suministrar electricidad a la red o para consumo. Según Candial Benavente [8], existen varias opciones de generación de energía diferenciadas por su ubicación geográfica o las necesidades del consumidor.

Se aplica en entornos residenciales o en empresas que requieren un respaldo eléctrico en caso de interrupciones en el suministro proporcionado por la red eléctrica del proveedor de servicios [9].

Fotovoltaico flotante

Un sistema fotovoltaico flotante se instala en cuerpos de agua, como mares, lagunas, estanques entre otros. Estas plantas fotovoltaicas flotantes son una opción viable para áreas con limitaciones de espacio terrestre y disponibilidad de agua [10].

Este tipo de tecnología tiene diversas aplicaciones, tales como; embalses para el control de inundaciones, plantas hidroeléctricas, estanques industriales y agrícolas, entre otras en específico.

2.3 Componentes de un Sistema Fotovoltaico

Conocer a detalle la arquitectura y componentes que forman a un sistema de generación de energía fotovoltaica, es importante para el diseño e implementación de una alternativa de producción de electricidad, identificando la función que cumple cada elemento, y las características de los componentes con el fin de lograr el funcionamiento adecuado del sistema e identificar la configuración arquitectónica que este conlleva.


2.3.1 Módulos Fotovoltaicos

Los módulos fotovoltaicos juegan un rol fundamental para la generación de energía eléctrica a partir de la radiación solar. Aunque una célula solar típica genera 1,5 W con una tensión de 0,5 V y una corriente de 3 A, en realidad no es idónea para la mayoría de las aplicaciones [11].



En el dimensionamiento de un sistema de generación fotovoltaico se necesita conocer que parámetros se deben tener en cuenta a la hora del diseño. Baselga señala que “los parámetros característicos de un módulo se miden en condiciones estándar de medida (CEM o STC en inglés): para una irradiancia de 1000 W/m², una temperatura de célula de 25 °C y una distribución espectral de AM=1,5” [12].

En el mercado fotovoltaico se encuentra una gran variedad de módulos solares. La Tabla II muestra de manera concisa los distintos tipos de módulos fotovoltaicos disponibles en el mercado, junto con sus descripciones, características y niveles de eficiencia, se clasifican en:

Tabla II
Principales tipos de módulos fotovoltaicos

Tipo de Módulo	Descripción	Características	Eficiencia
	De acuerdo con Sánchez [13], este tipo de células están constituidas por un monocristal de silicio y genera una potencia considerable. Sin embargo, el costo de producción es elevado.	Los colores son de azul homogéneos en toda su superficie y la conexión de las células van conjuntamente entre sí.	Rendimiento directo del 15 al 18%. A pesar de eso, en la fabricación realizada en el laboratorio resulta ser el 24% aproximadamente [14].



Silicio Policristalino	Se forma por un policristal de silicio. El precio de su producción es mucho más barato siendo como una alternativa económica.	Distintos tonos de color azul. Tiene la forma de un cuadrado por el hecho de aprovechar mejor el espacio entre las células que constituyen el módulo solar.	El rendimiento directo de esta rodea el 12 y 14%. El rendimiento en condiciones de laboratorio es del 19 – 20% [14].
	Este módulo no posee una estructura cristalina como tal. El proceso de fabricación implica la aplicación de capas finas de silicio mediante técnicas sobre un sustrato que puede ser vidrio, plástico o metal [15].	Es semiflexible, tiene un color homogéneo tipo marrón, sin embargo, no existe la visibilidad de conexión entre las células dentro del módulo.	Con respecto al rendimiento, de manera directa es menor al 10% y en el laboratorio el 16% exactamente [14].
Silicio Amorfo			
			

Al seleccionar el tipo adecuado de módulo para el diseño de una instalación fotovoltaica, es fundamental tener en cuenta las necesidades específicas y la ubicación del sistema con el fin de lograr un rendimiento óptimo.

2.3.2 Regulador de Carga

La función del regulador es el de controlar el proceso de carga y descarga que padece el sistema de almacenamiento de energía durante su uso, limitando el flujo de energía eléctrica de las baterías o hacia las mismas, con la finalidad de mejorar la eficiencia, tiempo de uso del dispositivo y funcionamiento global del sistema de generación fotovoltaica [16].

La instalación de este equipo se encuentra en la unión de las baterías de almacenamiento y los paneles solares para generar un punto de regulación de energía [17]. Así pues, el regulador de carga opera en dos áreas distintas. En la primera zona, se encarga de asegurar una carga adecuada para las baterías, evitando tanto las sobrecargas como otros posibles inconvenientes y en la



segunda zona, se ocupa de garantizar un suministro eléctrico suficiente durante el día y prevenir la descarga excesiva de las baterías [18]. Este elemento se clasifica en dos principales tipos PWM y MPPT.

Regulador de Carga MPPT. Definido por sus siglas MPPT (Seguidor del Punto de Máxima Potencia), este regulador trabaja en el punto de máxima potencia, buscando obtener una alta eficiencia al maximizar la intensidad generada por los paneles solares. Además, es versátil teniendo a extensa disposición paneles solares dentro del mercado comercial. Son comúnmente empleados en parques solares o instalaciones conectadas a la red eléctrica [19].

Su principal tarea consiste en transformar la salida de corriente continua (CC) de mayor voltaje proveniente de los paneles solares en una tensión reducida para cargar las baterías. Para lograr esto, el regulador MPPT utiliza un microprocesador interno que realiza cálculos continuos para determinar la potencia óptima que el controlador puede suministrar a las baterías en cada estado de carga [20].



Figura. 1. Regulador de carga MPPT. [20]

En la Figura 1 se representa el regulador de tipo MPPT, el cual se destaca por sus características y el modelo de fabricación asociado. Además, se caracteriza por ser ampliamente utilizado en instalaciones fotovoltaicas de alta potencia. Aunque su precio es más elevado en



comparación con otros reguladores, su eficiencia en el funcionamiento de estos sistemas fotovoltaicos de gran escala es notable.

Regulador de Carga PWM. Un regulador de carga PWM (Modulación por Ancho de Pulsos), se trata de un regulador diseñado para cargas de menor tamaño. En consecuencia, los paneles solares y las baterías operan a un voltaje igual, sin tomar en cuenta el punto de máxima potencia a diferencia del regulador MPPT [21].

Para que el regulador PWM funcione, internamente deja pasar la corriente del panel solar hacia la batería hasta que este empieza a estar cargada completamente, por consiguiente, inicia la conexión y desconexión de la batería del panel extremadamente rápida para llegar al 100% de su carga, finalmente una vez cargada, desconecta completamente la batería [21].



Figura. 2. Regulador de carga PWM. [22]

La Figura 2 representa, a modo de ejemplo, un regulador de carga PWM en su forma física. No obstante, es importante tener en cuenta que las características y el diseño de este regulador pueden variar dependiendo del fabricante y del material utilizado en su construcción.

Orientado al diseño de instalaciones fotovoltaicas pequeñas que requieran de bajo voltaje, el regulador PWM es esencial para estos casos, además, son económicos y simples de manejar considerándolos prácticos.



2.3.3 Batería

La batería o acumulador se encarga de almacenar la energía eléctrica que generan los módulos fotovoltaicos una vez que la radiación solar haya impactado en dicha placa.

Un aspecto importante de las baterías es su tasa de descarga, que indica el número de horas en las que la batería puede descargar su capacidad nominal en donde esta tasa se representa mediante un número seguido de la letra "C". Por ejemplo, una batería de 12 V con una capacidad nominal de 200 Ah y una tasa de descarga de C100 significa que puede descargar 2 amperios durante un período de 100 horas [23].

Al igual que los otros componentes, las baterías también se diferencian por su tecnología, existen varios tipos de baterías:

Baterías de Plomo Ácido Abierto. Conocidas también como baterías OPZS, son más accesible dentro de su categoría. Debido a su tamaño considerable, emiten gases, por lo que es necesario instalarlas en áreas con una adecuada ventilación y señalización. Estas baterías tienen una profundidad de descarga cercana al 60%, lo que resulta en una vida útil más limitada en comparación con otros tipos de baterías [23].

Baterías de Ion-Litio. De acuerdo con un trabajo de investigación, las baterías de Ion-Litio es una de las tecnologías más avanzadas y aceptadas socialmente debido a que el litio es uno de los metales más ligeros con mayores densidades de energía. Sin embargo, en coste, es elevado, teniendo como ventaja la duración del ciclo de vida de 4500 ciclos aproximadamente por ende casi no necesita tener un mantenimiento [24].



Baterías de GEL. Contienen electrolito en forma de GEL, lo que elimina la necesidad de un mantenimiento prolongado y les permite tener más ciclos de vida, lo que aumenta su durabilidad. Además, presentan una baja tasa de autodescarga, mantienen un rendimiento estable a lo largo de su vida útil y son resistentes al calor [23].

A continuación, en la Tabla III, se expone varias de las características resumidas de los tipos de baterías mencionados anteriormente; ciclos de vida, rendimiento, duración de almacenamiento, tiempo de respuesta, entre otros aspectos que sobresalen al momento de seleccionar que tipo de acumulador sería esencial en un sistema de generación fotovoltaico.

Tabla III

Tipos de baterías y características

	GEL	Ion-Litio	Plomo-Ácido
Densidad de energía (Wh/kg)	100-160	110-160	30-50
Rango de energía (MJ)	36×10^3	36×10^3	144×10^3
Ciclos de vida	2000 - 4000	4500	2500
Rendimiento (%)	94-98	98	90
Mínimo estado de carga (%)	20	10	20
Duración de almacenamiento	Minutos-Días	Minutos-Días	Minutos-Días
Tiempo de respuesta (ms)	ms	ms	20

Fuente: Adaptado de [24]

El mercado ofrece una amplia gama de baterías, con diferentes características técnicas y rendimiento que dependen de la tecnología, el fabricante y el proveedor. Asimismo, hay diferencias en cuanto al nivel de voltaje, profundidad de descarga, requisitos de mantenimiento y



carga [24]. Por lo tanto, no existe un tipo específico de batería para una aplicación particular, sino que se selecciona de acuerdo con las necesidades y funcionalidades requeridas.

2.3.4 *Inversor*

El inversor es la interfaz que procesa la energía captada por los paneles solares que generan potencia directa para interconectarlos a las cargas o a la red eléctrica, las cuales funcionan con corriente alterna [25].

Es importante tener en cuenta el ajuste del nivel de voltaje con el cual trabajar. Según, un artículo de investigación redacta que:

Tanto el voltaje de entrada como el de salida pueden ser constantes o variables, dependiendo de las necesidades del sistema. Si se realiza un ajuste en el voltaje de entrada en DC y se mantiene constante la ganancia del inversor, se puede lograr una salida con voltaje variable. Por otro lado, si el voltaje de entrada en DC es fijo y no se puede controlar, es posible obtener un voltaje de salida variable mediante técnicas que modifiquen la ganancia del inversor [26].

Los inversores se diferencian por sus características de diseño, aplicación, material de fabricación, proveedor, entre otros factores que inciden al momento de adquirirlo. Según De la Cruz [27] señala que, principalmente estos inversores pueden clasificarse por la forma de onda de la tensión de salida:

Inversores de Onda Cuadrada. Estos inversores comúnmente utilizan la técnica básica de modulación por ancho de pulso en la entrada de potencia de tensión continua. Alonso, citado por De la Cruz, demuestra que este tipo de onda presenta una alta cantidad de armónicos indeseados,



lo que resulta en una distorsión armónica total (THD) significativa, aproximadamente del 40%. Además, su eficiencia se sitúa alrededor del 50-60% [27].

Inversores de Onda Senoidal Modificada. En este tipo de inversor, la forma de onda es modificada y se acerca a su forma de onda senoidal, sin embargo, su forma de onda puede no ser tan limpia como la de otros tipos de inversores. Alonso, citado por De la Cruz, evidencia que estos inversores presentan un THD del 20% y alcanzan un rendimiento cercano al 90%. Por lo general, se utilizan en la electrificación rural para suministrar energía a electrodomésticos comunes, computadoras y otros equipos [27].

Inversores de Onda Senoidales Pura. Los inversores de onda senoidales poseen un buen filtrado de señal generada, es decir, generan una forma de onda de corriente alterna más limpia y estable, similar a la de la red eléctrica convencional. “No presenta ningún problema en relación con la THD o estabilidad de la tensión” [27]. Alonso, citado por De la Cruz, menciona que estos inversores están ganando popularidad en comparación con los anteriores, ya que pueden utilizarse con diferentes tipos de carga, como iluminación, motores, telecomunicaciones, entre otros [27].

2.4 Señales de Tránsito Verticales

Las señales de tránsito pueden ser horizontales o verticales y son la parte fundamental en carreteras, estas se utilizan para ayudar a una circulación segura de tránsito para peatones y vehículos. Contienen instrucciones las cuales deben ser acatadas por los usuarios de las vías, con el objetivo de prevenir peligros que pueden no ser muy evidentes o, a su vez, información acerca de rutas, direcciones, destinos y puntos de interés, se caracterizan por la combinación de un



mensaje, forma y color en específico, además, el mensaje puede ser una leyenda un símbolo o ambos [3].

Gallegos Henao, como se citó en E. De la Cruz, afirma que la señalización vertical consiste en placas instaladas en postes o estructuras a lo largo de la vía, las cuales utilizan símbolos y leyendas para advertir sobre peligros, establecer prohibiciones o restricciones en el uso de las vías [28].

En relación con lo anteriormente expuesto, es relevante mencionar que las señales de tránsito verticales se dividen en cinco categorías distintas, cada una con un propósito específico y una función determinada para brindar información a los usuarios de las vías. En la siguiente Tabla IV, se detallan las clases de señales verticales junto con la descripción de la función que desempeña cada una de ellas.

Tabla IV

Clasificación de señales verticales y su función

Tipo de señal	Código de identificación	Función
Señales regulatorias	Código R	Regulan el movimiento de tránsito e indican cuando se aplica un requerimiento legal.
Señales preventivas	Código P	Advierten sobre condiciones inesperadas o peligrosas en la vía o sectores adyacentes a la misma.
Señales de información	Código I	Informan direcciones, distancias, rutas, ubicación de servicios y puntos de interés turístico.
Señales especiales delineadoras	Código D	Delinean al tránsito que se aproxima a un lugar con cambio brusco (ancho, altura y dirección) de la vía, o la presencia de una obstrucción en la misma.

Señales para trabajos en la vía y propósitos especiales	Código T	Advierten, informan y guían sitios de trabajos en las vías y aceras, además para alertar sobre otras condiciones temporales y peligrosas que podrían causar daños a los usuarios viales.
--	----------	--

La señalización vertical puede adoptar una forma más efectiva para los conductores, conocida como señalización vertical luminosa, la cual implica el uso de métodos de iluminación en las señales verticales. El propósito de esta modalidad es asegurar la visibilidad de las señales y mejorar su percepción por parte de los usuarios de las vías.

2.4.1 Señales de Tránsito Verticales Luminosa

Las señales de tránsito verticales luminosa son dispositivos en donde combinan los elementos de las señales de tránsito verticales con la iluminación para mejorar la percepción y visibilidad a los conductores, especialmente en condiciones de poca luz o visibilidad reducida por varios factores que se pueden encontrar en las carreteras. Este tipo de señales se componen de paneles en donde contienen luz LED o lámparas incandescentes que emiten luz en colores específicos según el mensaje que se desea transmitir.



Figura. 3. Ejemplos de aplicación de señalización vertical luminosa. Adaptada de [29]



En la Figura 3 se presentan ejemplos y aplicaciones representativos de la señalización vertical luminosa utilizada en diversos contextos. Las señales verticales luminosa incluye, paneles de mensajes variable, pantalla publicitaria de leds, balizamiento, para vehículos y señalización vertical con focos led adheridos a la señalética.

Codificación de Señales. De acuerdo con el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), el sistema de codificación sobre las señales verticales que se utiliza es el siguiente [3].

- a) Un número que indica la serie o grupo de señales.
- b) Un número de la señal dentro de la serie o grupo.
- c) Las letras D (derecha) o I (izquierda) cuando la señal tiene un significado direccional.
- d) Una letra que indica el tamaño de la señal (por ejemplo, A, B, C, etc., siendo A la señal más pequeña, B el siguiente tamaño, etc.).

La codificación del literal d escrita servirá seguidamente en la descripción de las dimensiones de tamaño en señales verticales luminosas.

Características. Las características de estos dispositivos varían con respecto a la aplicación. El Grupo Empresarial Villar [29], en el catálogo de señalización con iluminación led señala que las características generales de estos dispositivos son:

- a) Sistema de energía: puede ser autónomo mediante placas solares o conectado a la red eléctrica con una batería externa 12 – 24 V.



- b) Modo de funcionamiento: Noche o día, sincronizados por cable o radio frecuencia, con programación horaria, activación por detección de vehículo y/o persona y por temperatura exterior.
- c) Zona iluminada de la señal: considera orla (franja o tira LED), pictograma en función del modelo y textos.
- d) Diodos LED con alta luminosidad fácil a la percepción del conductor.

Ubicación y Visibilidad. Es fundamental considerar parámetros como la ubicación y visibilidad al diseñar señalizaciones verticales luminosas. Por esta razón, el Instituto Ecuatoriano de Normalización ha establecido normas aplicables que rigen este tipo de señalética.

“Las señales se deben instalar en el lado derecho de las vías. En circunstancias especiales y que se especifican en el Reglamento, las mismas pueden duplicarse al lado izquierdo o colocarse elevadas sobre la calzada” [3].

De acuerdo con la Tabla V a continuación, la disposición de estas señales se encuentra determinada por el contexto en el que se encuentren, así como por su propósito de uso.

Tabla V

Ubicación de las señales de acuerdo con la norma aplicable

Zona o Área	Ubicación
Colocación Longitudinal	La ubicación longitudinal de las señales se determinará en función de la naturaleza de su mensaje o su uso específico.

**Colocación lateral y altura**

La ubicación lateral de las señales se determina desde el borde de la vía hasta el borde más cercano de la señal que está junto a la vía. Asimismo, la altura de la señal debe medirse desde la proyección de la superficie de la calzada hasta la parte inferior de la señal más baja en el poste en caso de múltiples señales.

Colocación lateral en zona rural

Se debe ubicar la señal a una distancia mínima de 600 mm desde el borde exterior de la berma, espaldón, postes de guía, cara de riel o guardavía de protección. En caso de haber una cuneta, esta distancia se mide desde el borde externo de la misma. La separación de la señal no debe ser inferior a 2,00 m ni superior a 5,00 m desde el borde del pavimento de la vía, a excepción de las señales grandes de información en autopistas.

Colocación lateral en zona urbana

En vías que incluyan aceras, las señales tendrán que colocarse, a mínimo 300 mm del filo del bordillo, y máximo a 1,00 m. Si hay bordillos en parterres o islas de tránsito, la separación mínima debe ser de 500 mm.

Altura en zona rural

Dentro de las zonas rurales, las señales se deberán instalar alejadas de la vegetación y claramente legibles bajo la iluminación de los faros de vehículos por la noche. La altura libre de la señal no debe encontrarse menor a 1,50 m desde la superficie del terreno hasta el borde inferior de la señal. Por otra parte, para señales direccionales que arrojen información en intersecciones y zonas pobladas la altura libre debe ser de 2,00 m.

Altura en zona urbana

Para evitar problemas a los peatones, dentro de las vías con aceras, la altura libre de la señal no debe ser menos de 2,00 m desde la superficie de la acera hasta el borde inferior de la señal.

Instalación aérea

El tipo de señal aérea debe ubicarse a una altura mínima de 5,3 m sobre el nivel más alto de la calzada, mientras que en aéreas rurales la altura debe estar a 6,20 m.

Las señales aéreas son utilizadas para proporcionar información de tráfico en vías que cuentan con múltiples carriles, donde se necesita controlar el uso de cada carril o donde el espacio lateral es limitado para colocar señales laterales [3].



Con respecto a la visibilidad de la señalización, se detalla varios puntos que se deben tener en cuenta al momento de instalar una señalización de este tipo [30]. Estas deben:

- a) Estar claramente definidas en su forma, color y grafismo,
- b) Debe haber una adecuada relación de contraste entre la señal y el entorno en la que se ubica,
- c) Las señales deben contar con una adecuada iluminación, ya sea mediante luces propias (luminosas).
- d) Complementar con información relieve y en sistema Braille en los rótulos que identifiquen funciones permanentes,

Tamaños y Formas. La uniformidad de diseño de las señales es esencialmente importante para la fácil percepción por parte del usuario vial. Por esta razón, se estandariza la forma, color y mensaje, de modo que las varias clases de señales sean reconocidas de manera instantánea [3].

Con base a la Tabla VI, se deduce las formas y el uso que a las señales se les tiene que asignar, manteniendo la buena visibilidad y ubicación anteriormente descrito.

Tabla VI

Clases de señales verticales según su forma

Forma	Descripción
	El octágono se usa exclusivamente para la señal de PARE.
	El triángulo equilátero con un vértice hacia abajo se usa esencialmente para la señal de CEDA EL PASO.



El rectángulo con el eje mayor vertical, su uso aplica habitualmente para señales regulatorias.



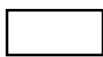
La forma de círculo se aplica para señales con cruces de ferrocarril.



Para señales preventivas y trabajos en vía con pictogramas, se usa la forma de un rombo.



Una cruz con color amarillo se reserva únicamente para indicar la ubicación de un cruce de ferrocarril a nivel.



El rectángulo con el eje mayor horizontal se usa en señales de información y guía, para obras en las vías y propósitos especiales, tales como placas complementarias para señales regulatorias y preventivas.



La forma de escudo de la señal tiene el uso para informar las rutas.



El pentágono aplica para señales en zona escolar.

“El uso de una señal que este en discrepancia con las condiciones existentes crea confusión, estableciendo una situación potencialmente peligrosa” [3].

Por otra parte, las señales luminosas son mostradas como paneles luminosos, estos presentan una variedad de formas, ya sea dinámicas o estáticas, compuestas por múltiples unidades luminosas individuales que se combinan para formar mensajes. Estos mensajes consisten en textos, flechas o símbolos, los cuales pueden cambiar con el tiempo. Asimismo, las luces que componen el panel pueden ser constantes o intermitentes [3].

La integración de los paneles luminosos mencionados anteriormente y los criterios establecidos para las señales verticales da lugar al concepto de una señal vertical luminosa. Por



consiguiente, el Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) proporciona en una tabla los parámetros que regulan las dimensiones adecuadas de estos paneles luminosos.

Tabla VII

Dimensiones de paneles luminosos, dinámicos o fijos

Tipo de panel	Tamaño mínimo	Distancia mínima de legibilidad	Número mínimo de elementos
A	1200 x 600 mm	0.8 km	12
B	1500 x 750 mm	1.2 km	13
C	2400 x 1200 mm	1.6 km	15
D	...*	0.8 km	12

Nota: Tabla extraída de [3].

La Tabla VII indica el tamaño mínimo que debe llevar las señales en los paneles luminosos, por ejemplo, tomando el tipo de panel A (siendo la señal pequeña) y si la señal plasmada es una flecha, como tamaño mínimo de esta informa que debe tener 1200 mm como largo de la flecha, y de ancho es igual a 600 mm. La distancia de percepción mínima de esta señal debe estar a 0.8 km y, finalmente, el número mínimo de elementos que debe tener la señal es de 12.



CAPITULO 3

Materiales y Métodos

Conforme a la descripción de los sistemas de generación eléctrica fotovoltaica y señalización de tránsito vertical, se realizó el dimensionamiento del panel solar y señal vertical luminosa, en el cual, teniendo como referencia la carretera Panamericana en el trayecto entre San Pablo y el ingreso a Otavalo, se examinó la metodología y el procedimiento empleados para el dimensionamiento y diseño.

3.1 Descripción del Lugar

El presente estudio se enfocó en el área comprendida entre San Pablo y Otavalo, específicamente el tramo de 1,03 km antes de llegar a la ciudad de Otavalo (Otavalo Sign), ubicada en la provincia de Imbabura. Esta ubicación está marcada en amarillo tal como se indica en la Figura 4.

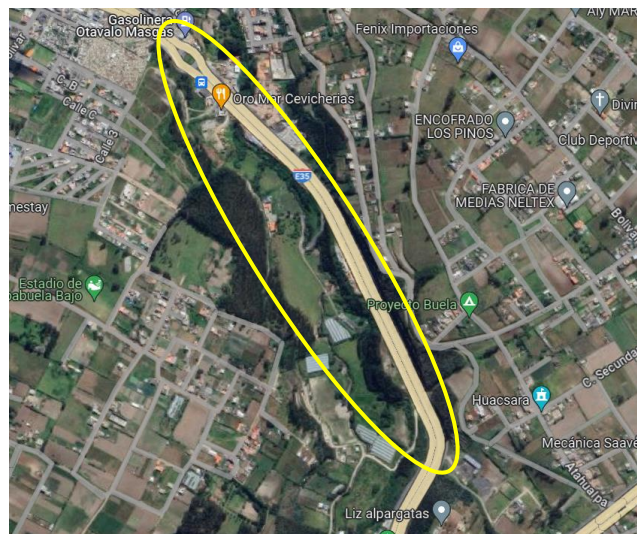


Figura 4. Ubicación de la zona de estudio.



La zona presenta un terreno ondulado con una altitud de 2595,02 metros [31]. En términos de clima, el tiempo es despejado de mayo a septiembre, y la nubosidad promedio durante todo el año alcanza el 77,5%. Asimismo, las precipitaciones más relevantes se registran entre los meses de enero y abril. De acuerdo con los registros de METEORED (sitio web online de información climática), durante un día típico de este periodo, tanto la lluvia como la nubosidad presentan variaciones a lo largo del día, registrándose un promedio de 5 horas continuas o intermitentes de presencia de lluvia y neblina. Este promedio corresponde a un patrón climático característico de la temporada [32]. Esta tendencia puede observarse en la gráfica a continuación.

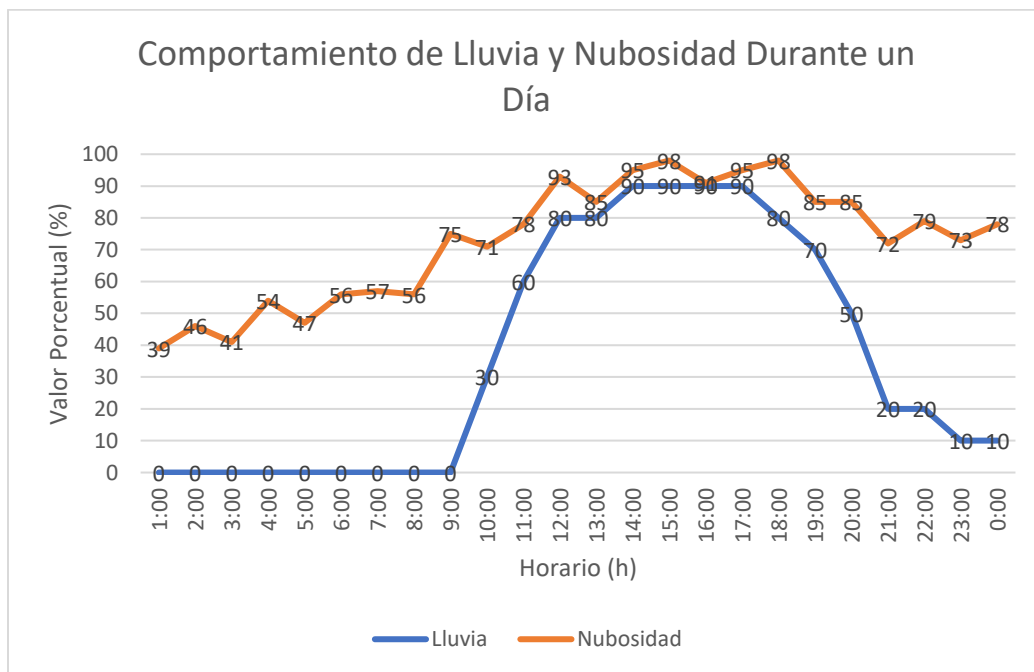


Figura 5. Comportamiento de lluvia y nubosidad a lo largo del día. Datos extraídos de [32]

La Figura 5 se puede observar que, a partir de un porcentaje de nubosidad y lluvia superior al 90%, las condiciones atmosféricas generan un entorno con poca visibilidad, dificultando ver a largas distancias. Por esta razón, este rango porcentual es un indicador clave para identificar



momentos del día en los que las condiciones climáticas son desfavorables. Según la gráfica, entre la 1 y 5 de la tarde existe un porcentaje superior al 90%, lo que equivale a 5 horas de lluvia y nubosidad aproximadamente. Aunque el tiempo que duran estos eventos meteorológicos comúnmente suelen variar en otros días, esto representa un patrón típico de la temporada.

En medio de estos factores en la carretera, es posible captar una señal luminosa a una distancia máxima de 200 m [33]. Es decir que la visibilidad más allá de ese punto esta significativamente reducida debido a la presencia de niebla y lluvia.

En cuanto a la infraestructura de la señalización actual, en el área se identificaron diversos tipos de señales de tránsito verticales, tales como, señales informativas, preventivas y de regulación, que no se observan apropiadamente durante la noche, esto debido al desgaste u otros factores que impidan la preservación de su estado original.

3.2 Metodología

En la ejecución de este proyecto, se implementó una metodología que integra de manera organizada el diseño y la simulación computacional, que conlleva seguir un conjunto de pasos y procesos para alcanzar el objetivo deseado, tales como la selección de la tecnología fotovoltaica, el dimensionamiento de los componentes fotovoltaicos y señalización vertical, así como el diseño integral del sistema utilizando software especializado. En el transcurso de este proceso, se utilizó diferentes métodos y técnicas de investigación, las cuales se detallan a continuación, con el fin de adaptar el proyecto a una futura implementación.



Para el marco teórico, se usó el método de investigación documental, sustentado en examinar detalladamente los estudios científicos anteriores sobre tecnologías fotovoltaicas y señalización vertical, con el objetivo de recopilar la información revisada y realizar una selección de la tecnología. La revisión bibliográfica permitió comprender el estado actual de la investigación en el ámbito de la energía solar fotovoltaica aplicada a la señalización en carreteras. Con el punto de vista cuantitativo, se emplearon ecuaciones matemáticas para determinar los parámetros eléctricos de potencia, voltaje y corriente en la entrada y salida del sistema fotovoltaico, con el propósito de lograr un adecuado dimensionamiento del sistema. La técnica de análisis de necesidades y requisitos permitió identificar las necesidades específicas y requisitos técnicos para el sistema de señalización luminosa con alimentación fotovoltaica, tales como, la distancia de percepción de una señal luminosa, lecturas solares y condiciones climáticas. El método de modelado y simulación computacional facilitó la representación virtual del panel solar, batería, tablero de control y señalización vertical, permitiendo visualizar el diseño 3D y el funcionamiento de las señales luminosas bajo cambios en las condiciones ambientales.

Por último, a través del método de documentación técnica, se realizó la redacción de una propuesta técnica que detalla características de diseño, incluyendo los diagramas eléctrico y electrónico, la estructura de soporte del sistema y las dimensiones de la señalización luminosa, mientras que en aspectos de análisis y evaluación se identificó los costos y ubicación del proyecto.

3.3 Procedimiento

Durante la realización de este proyecto, se llevó a cabo una serie de actividades donde abarcó no solo la investigación científica sino también el proceso para la ejecución del diseño



fotovoltaico, esto ayudó a la organización de ideas, estructuración, resolución de ecuaciones y ejecución de técnicas computacionales como la simulación en software especializado para el diseño. Por lo que, en el siguiente diagrama de bloques (Figura 6) se representa de manera visual las etapas efectuadas a lo largo del presente proyecto.

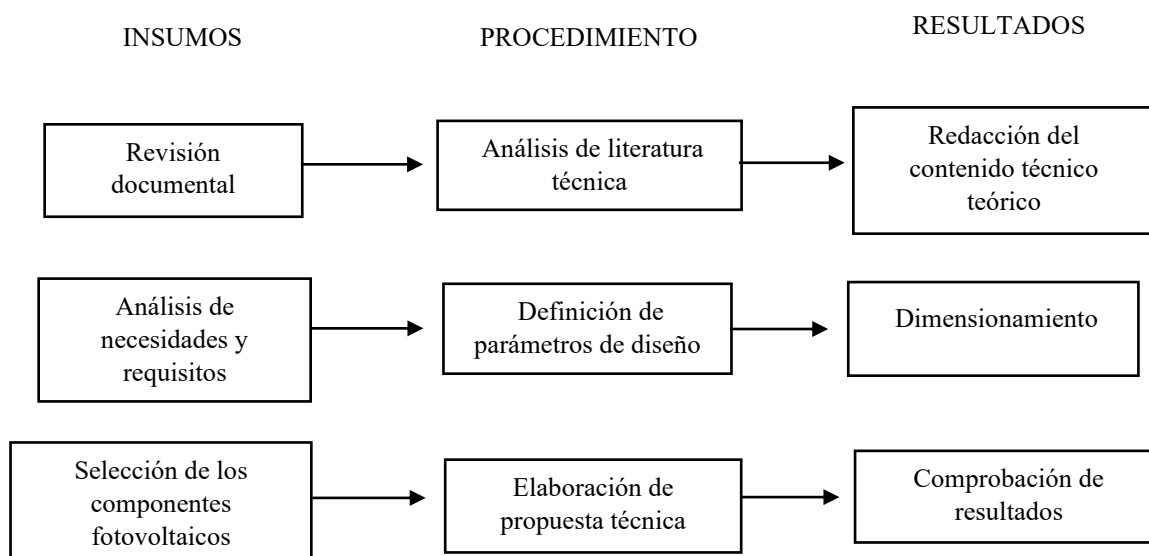


Figura 6. Diagrama de bloques que describe las actividades realizadas

El desarrollo del proyecto se inició con la revisión documental de la investigación en su estado actual, lo que permitió examinar y recopilar información técnica relevante relacionada con las tecnologías fotovoltaicas, en cuanto a su diseño y caracterización, así como con la señalización vertical vial. Este proceso condujo a un análisis riguroso de la literatura técnica, mediante el cual fue posible identificar los conceptos fundamentales y criterios técnicos relevantes para el desarrollo del trabajo de investigación, lo que permitió la redacción del contenido teórico que aborda el capítulo dos del documento.



En la segunda etapa, se llevó a cabo un análisis detallado de necesidades y requisitos considerando como insumos los factores técnicos, geográficos y ambientales propios del entorno en el que se prevé la instalación del sistema. A partir de esta información, se procedió a la definición de los parámetros de diseño, considerando variables clave como lecturas solares, consumo energético y distancia de percepción visual de la señal luminosa bajo condiciones climáticas adversas. Gracias a ello, se procedió a realizar el dimensionamiento del sistema empleando ecuaciones matemáticas para determinar parámetros eléctricos fundamentales, tales como la potencia requerida, la capacidad de almacenamiento de la batería, la corriente de carga necesaria, así como la estimación de la caída de tensión y pérdidas totales del sistema.

Una vez concluido el dimensionamiento, se llevó a cabo la búsqueda y selección minuciosa de los componentes fotovoltaicos, tales como el panel solar, el regulador de carga y la batería. Esta actividad permitió realizar la redacción de una propuesta técnica, en la que se detalló el funcionamiento general del sistema, planos de instalación eléctrica y electrónica, la integración con sensores ambientales de lluvia y luminosidad, la ubicación del sistema y dimensiones estructurales. Adicionalmente, se incorporó una estimación del costo total del sistema, con el propósito de considerar su viabilidad para una eventual implementación. Finalmente, se realizó una comprobación de resultados, que incluyó la validación del sistema mediante simulaciones computacionales, el desarrollo del código de control en el entorno Arduino IDE, el modelado estructural del sistema en la plataforma Revit, y verificación del cumplimiento con la normativa técnica vigente en materia de señalización vial.



3.4 Materiales

Para llevar a cabo esta investigación, se emplearon los siguientes recursos que a continuación se describen, incluyendo tanto fundamentos teóricos como computacionales. Además, proporcionando las ecuaciones matemáticas para determinar los parámetros eléctricos necesarios durante el dimensionamiento, así como también, la caracterización de softwares especializados en la simulación. Asimismo, se describe el reglamento técnico utilizado referente a la señalización vertical en carreteras.

3.4.1 Software Especializado

El uso de software especializado fue fundamental en el diseño, modelado y análisis del sistema, ofreciendo múltiples funciones especializadas que simplificaron estos procedimientos. Además, facilitaron la visualización de elementos estructurales por medio de la simulación, lo cual incrementó la exactitud y confiabilidad de los resultados alcanzados.

3.4.1.1 POWER Data Access Viewer

POWER Data Access Viewer es una herramienta informática creado por la NASA que ofrece el acceso completo a un registro en conjunto de datos solares y meteorológicos a nivel global. Los recursos que facilita el software contribuyen de manera vital a diferentes sectores de estudio, tales como, las energías renovables, planificación de proyectos, sostenibilidad y escalabilidad, eficiencia energética y aplicaciones agrícolas [34]. En el campo de las energías renovables, específicamente al sector eléctrico fotovoltaico, apoya al dimensionamiento del sistema, dando un enfoque a la selección de componentes fotovoltaicos necesarios para abastecer de energía eléctrica a cierta carga.



Se caracteriza por tener una interfaz visual que presenta al usuario un mapa global a través de los sistemas satelitales actuales, permitiendo la recolección de diferentes parámetros meteorológicos de la zona de estudio seleccionada, una vez ingresada la latitud y la longitud. Entre los parámetros que pueden registrarse se encuentran la humedad, la temperatura, el viento y la irradiancia solar. [35]

3.4.1.2 Revit

Revit, creado por Autodesk, es un programa con licencia ampliamente empleado en ingeniería y arquitectura para diseño y colaboración en el área estructural. Se caracteriza por consolidar toda la información del proyecto en una sola base de datos, facilitando así una coordinación y administración exhaustiva del mismo [36].

El software permite manipular tanto el diseño del panel solar como el de la señal vertical, desde diferentes ángulos, vistas y dimensiones. Incluye planos de planta, planos estructurales, perspectivas de elevación, vistas en sección y perspectiva 3D [36]. Además, en el contexto eléctrico, una de sus cualidades destacadas incluye el diseño y documentación de sistemas eléctricos, satisfaciendo las necesidades de modelado en ingeniería y construcción. [37].

3.4.1.3 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) es un software informático de acceso libre que incluye un conjunto de herramientas para la programación. Un IDE proporciona un entorno para la programación que integra un editor de código, un compilador, un depurador y un generador de interfaz gráfica de usuario (GUI). Además, en el caso de Arduino, este entorno



incluye funcionalidades para transferir el programa compilado a la memoria flash del dispositivo hardware [38].

Este programa facilita la transferencia de códigos a diferentes modelos de tarjetas Arduino en el mercado, como Arduino UNO, Nano, MEGA, y también es compatible con tarjetas diseñadas para la comunicación en el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), como la ESP32 [39].

3.4.2 Dispositivos

A continuación, se describen las especificaciones técnicas de los componentes que forman parte de la unidad de control. Estos componentes se seleccionaron considerando su disponibilidad en el mercado y su facilidad de aplicación para el proyecto.

3.4.2.1 Microcontrolador Arduino MEGA 2560

El Arduino Mega modelo 2560, está equipado con el microcontrolador ATmega2560 y ofrece 54 pines digitales para entrada/salida, con 15 de ellos capaces de funcionar como salidas PWM. Cuenta también con 16 entradas analógicas, un oscilador de cristal de 16 MHz, puerto USB, conector de alimentación, un conector ICSP, y un botón de reinicio. Opera a un voltaje de 5 V, recomendándose un rango de entrada de 7 a 12 V, aunque puede manejar un rango de 6 a 20 V. Su corriente máxima por pin es de 20 mA y dispone de una memoria flash de 256 KB, de los cuales 8 KB son usados por el gestor de arranque (bootloader) [40].

Además, el modelo en cuestión tiene un tamaño compacto de 101,52 x 53,3mm y un ligero peso de 37 g. Ofrece varias opciones para conectarse con computadoras, otras placas Arduino o distintos microcontroladores. Utiliza el ATmega2560-16AU para la comunicación en serie UART



TTL (5V), accesible a través de los pines digitales 0 (RX) y 1 (TX), facilitando así la transmisión y recepción de datos [40].

3.4.2.2 Matriz LED P10

El módulo de pantalla LED modelo P10 es un panel matricial LED de 32 x 16, lo que significa que tiene 32 LEDs en horizontal y 16 en vertical. El número 10 en el modelo indica la distancia entre píxeles, que es de 10 mm [41]. Este módulo LED ha facilitado la representación de señales luminosas programables mediante un microcontrolador.

El módulo LED P10 para ser controlado requiere la conexión de los siguientes pines al microcontrolador: Pin de datos, pin de reloj, dos pines de dirección (PinA y PinB), dos pines de control (OE y Latch), y el pin de tierra (GND) [41]. Además, puede ser controlado a una distancia máxima de 100 metros utilizando un cable tipo Ethernet [42].

En la Tabla VIII se muestra más a detalle las especificaciones técnicas de este tipo de panel matricial.

Tabla VIII

Especificaciones técnicas del Módulo LED P10

Parámetros	Descripción
Modelo	Módulo LED P10 para exteriores.
Píxel pitch	10mm
Dimensiones del módulo	360mm*160mm
Densidad del píxel	10.000 (punto m ²)
Configuración del píxel	1R Monocromático



Resolución	32*16 píxeles
Brillo	$\geq 4000 \text{ Cd/m}^2$
Método de control	Protocolo de comunicación I2C, SPI
Distancia de visión	10m – 50m(Max)
Vida útil	100.000 horas
Frecuencia	50/60 Hz
Voltaje	5V – 3A Máx.
Potencia máx.	15W

Nota: Datos tomados de la hoja técnica del dispositivo [42].

Por otra parte, si se desea una matriz led de algún tamaño en específico, se debe seguir la conexión como se observa en la Figura 7.

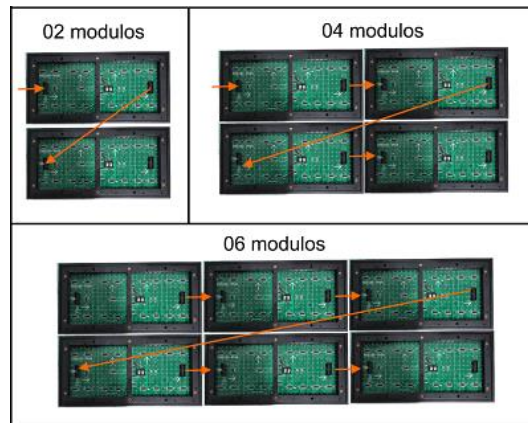


Figura 7. Conexión de una matriz led para más de un módulo [41].

Las flechas de color naranja indica como debe ir conectado el cable de datos de estos módulos, así mismo, para agregar más módulos en horizontal solo se debe seguir el mismo patrón [41]. Para la señal luminosa de límites de velocidad se requirió de 2 módulos led P10 y para la señal luminosa de mensaje variable se utilizó 4 módulos led P10, su ubicación es tal como se muestra en la Figura

6. Mediante esta configuración la potencia de consumo de la señal luminosa de límites de velocidad será de $P = 30W$ y para la señal luminosa de mensaje variable será de $P = 60W$.

La representación física de este panel matricial se ilustra en la Figura 8, destacando tanto la parte frontal como la trasera.

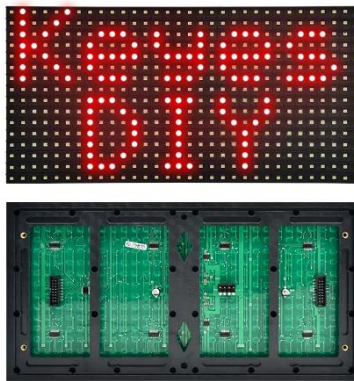


Figura 8. Módulo LED P10 320 x 160mm. [42]

3.4.2.3 Reductor de Voltaje Buck DC XWST

Para adecuar el voltaje de salida del controlador de carga solar (12V DC) a los requerimientos del módulo LED P10 (5V DC), se optó por un convertidor buck DC XW-1224-5. Este dispositivo, garantiza una conversión eficiente de energía y protege al módulo LED de sobrevoltajes. Sus características técnicas, como la corriente de salida de 20A y la potencia ajustable de 5W a 200W, lo convierten en una opción para esta aplicación. Además, su material de construcción es de aluminio con dimensiones de 100*80*39mm, tiene un peso de 550g y la longitud de los cables de conexión es de 13-14cm [43]. La Figura 9 presenta una fotografía del dispositivo reductor de voltaje.



12V 24V to 5V 20A

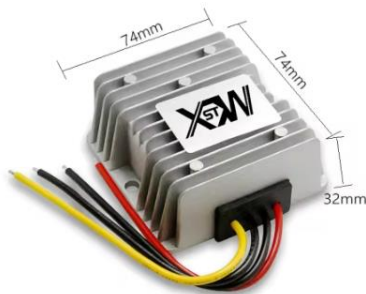


Figura 9. Reductor de voltaje Buck 5V. [43]

3.4.2.4 Convertidor Boost – Buck DC a DC

El convertidor Boost – Buck (elevador - reductor), permitió reducir el voltaje a 7 V en la salida del controlador de carga, debido a que el controlador emite 12 V para el sistema de señalización, por lo tanto, se requirió una fuente de 7 V para alimentar al microcontrolador Arduino, con el fin de proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema.

El módulo boost-buck XL6009 puede admitir voltajes de entrada desde 3,8 V hasta 32 V. En este rango, se pueden obtener niveles de tensión de 1,25 V a 35 V en la salida, que se pueden ajustar y controlar. El límite máximo es de 4 A con respecto a su corriente de entrada. Este dispositivo se destaca por su alta eficiencia, que alcanza hasta el 94% y funciona a una frecuencia de 400 KHz. El módulo mide 48 x 25 x 14 mm y pesa 17,4 g [44].

A continuación, se representa de manera gráfica el dispositivo en la Figura 10:



Figura. 10. Convertidor Boost-Buck DC a DC. [44]

3.4.2.5 Sensor de Lluvia Y1-83 Rain Detector

El sensor de Lluvia Y1-83 está diseñado para su uso en lugares donde solo hay lluvia o nieve. Tiene una señal analógica que calcula la intensidad de la lluvia, utiliza un amplificador operacional llamado circuito integrado LM393 para aumentar el pequeño cambio de voltaje que ocurre cuando una gota de agua cae sobre las pistas del módulo [45]. Durante el proyecto se empleó este dispositivo con el objetivo de realizar acciones específicas en la señal luminosa, particularmente bajo condiciones de lluvia en la carretera.

El dispositivo funciona con un voltaje de operación que va desde 3,3 V hasta 5V. Tiene una interfaz de salida TTL para la conmutación y también una interfaz de salida analógica. La sensibilidad de detección de lluvia cubre un área de detección de 0,05 cm² y puede funcionar en un rango de temperatura que va desde -15°C hasta +55°C. En cuanto a sus características físicas, el área de detección es de 7,2 cm², la carcasa está hecha de polipropileno y tiene dimensiones de 110 x 80 x 175 mm con un peso aproximado de 500 g [45]. En la Figura 11 a continuación, se puede observar físicamente el dispositivo.



Figura. 11. Sensor de Lluvia Y1-83. [45]

3.4.2.6 Módulo Sensor de Luz BH1750

El BH1750 es un sensor de luz digital que se distingue del LDR tradicional al proporcionar lecturas en Lux (lumen/m²), lo cual lo convierte en una opción ideal para aplicaciones como la activación automática de sistemas de iluminación, adaptándose a los niveles de luz ambiental [46]. Durante el proyecto, se utilizó el módulo sensor de luz para controlar y activar la señal luminosa, especialmente en condiciones de neblina o baja luminosidad ambiental.

Este dispositivo se destaca por su precisión y su capacidad para medir la iluminación en un rango ajustable desde 1 hasta 65535 lx. Tiene dimensiones compactas de 13,9 x 18,5 mm y funciona eficientemente con una alimentación de 5 V. Su interfaz de comunicación I2C facilita la integración con la mayoría de los microcontroladores. Además, realiza mediciones de iluminancia y convierte el resultado a una palabra digital [46].

En la Figura 12, se muestra una representación física del sensor de luz:



Figura. 12. Módulo Sensor BH1750. [46]

Para ofrecer un contexto claro respecto a las distintas condiciones de iluminación que puede medir este dispositivo, a continuación, se presenta, a modo de ejemplo, en la Tabla IX los niveles de luz en diversas situaciones.

Tabla IX

Niveles de intensidad lumínica en diferente situación

Situación	Rango de Luz (lm)
Noche	0,001 – 0,02
Luz Lunar	0,02 – 0,3
Nublado Interior	5 – 50
Nublado Exterior	50 – 500
Soleado Interior	100 – 1000
Luz Mínima para lectura	50 – 60
Intensidad estándar sistema de video hogareño	1400

Nota: Datos Extraídos, rangos de luz ejemplo medidos por el sensor BH1750. [47]

La información mostrada en la Tabla fue útil para entender cómo el sensor puede ser utilizado para ajustar automáticamente la iluminación en distintas condiciones ambientales.



3.4.3 Cálculos Matemáticos Empleados para el Dimensionamiento Fotovoltaico

A continuación, se presentan las ecuaciones matemáticas e información de la radiación solar en el sitio, utilizadas conforme al dimensionamiento, con el objetivo de identificar los valores eléctricos requeridos por los componentes fotovoltaicos.

3.4.3.1 Hora Solar Pico (HSP)

Para el cálculo de las horas solar pico en un sitio en específico, se aplicó la ecuación (1) que se muestra seguidamente [48].

$$HSP = \frac{RG}{1kW/m^2} \quad (1)$$

Donde, HSP es las horas solar pico, RG es la radiación global.

3.4.3.2 Inclinación Óptima de los Paneles

Se calculó la inclinación óptima de la superficie del generador fotovoltaico utilizando la latitud del lugar de estudio. Para lograr esto, se utilizó la ecuación (2), que se detalla a continuación [49].

$$\beta_{opt} = \pm 10 + \phi \quad (2)$$

Donde, β_{opt} es el ángulo de inclinación óptima en grados, ± 10 es el porcentaje de uso dependiendo la estación del año, ϕ es la latitud del lugar en grados.



3.4.3.3 Consumo Máximo del Sistema

Para calcular el consumo máximo de energía en el sistema, se consideró la potencia y el tiempo de consumo de cada señal luminosa. Con este propósito, se aplicó la ecuación (3) que se detalla a continuación [50].

$$C_{max} = P_{SL} * T \quad (3)$$

Donde, C_{max} es el consumo máximo en Vatios-hora (Wh/día), P_{SL} es la potencia de la señal luminosa en Vatios (W), T es el tiempo de consumo en el que va a estar en funcionamiento la señal luminosa en horas (h).

Además, se consideró la energía consumida por los componentes del sistema fotovoltaico de manera empírica y se le asignó un valor de 0.108 W. En los cálculos, este consumo se identificó como la potencia de autoconsumo.

3.4.3.4 Potencia del Panel Fotovoltaico

Para calcular la potencia que debe generar el panel fotovoltaico, se tomaron en cuenta las HSP de la zona de estudio, el consumo energético diario, el factor de funcionamiento global y un factor de sobredimensionamiento para mayor seguridad. Para el cálculo, se utilizó la ecuación (4) que se muestra a continuación [51].

$$P_{Gf} = \frac{C_{m\acute{a}x} * 1,30}{HSP * PR} \quad (4)$$

Donde, P_{Gf} es la potencia generada por los paneles fotovoltaicos (Wp), $C_{m\acute{a}x}$ es la potencia de consumo máximo del sistema (Wh/día), 1,30 es el factor de sobredimensionamiento del 30% de la



potencia nominal, HSP son las horas solar pico del sitio de estudio, PR es el factor de funcionamiento global (0,9).

3.4.3.5 Corriente del Regulador de Carga

El regulador de carga fue seleccionado tomando en cuenta tres aspectos clave: primero, la corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico. Segundo, el número de ramales en paralelo del generador fotovoltaico, y finalmente, el factor de seguridad del regulador. Para calcular la magnitud de la corriente del regulador de carga, se utilizó la ecuación (5) a continuación. [51]

$$I_{in} = FS * I_{modsc} * N_p \quad (5)$$

Donde, I_{in} es la corriente de entrada del regulador (A), I_{modsc} es la corriente de cortocircuito de un panel fotovoltaico (A), N_p es el número de ramales en paralelo, FS es el factor de seguridad del regulador que este caso será de 1,25.

3.4.3.6 Capacidad de la Batería

Para calcular la capacidad de la batería necesaria, se consideraron varios parámetros; los días de autonomía, que representan el tiempo que el sistema fotovoltaico pueda suministrar energía en ausencia de sol; la profundidad de descarga permitida antes de que la batería se desconecte del regulador y el voltaje de salida de la batería sea igual al voltaje nominal del generador fotovoltaico. Para esto, se utilizó la ecuación (6), que se muestra a continuación [51].

$$C_{Bat} = \frac{C_{m\acute{a}x} * N}{V_{bat} * P_{dm}} \quad (6)$$



Donde, C_{Bat} es la capacidad de la batería en Ah, C_{max} es el consumo máximo diario del sistema en (Wh), N son los días de autonomía, V_{bat} es el voltaje de la batería (V) y P_{dm} es la profundidad de descarga de la batería.

3.4.3.7 Tiempo de Carga de la Batería

Para determinar el tiempo de carga de la batería seleccionada se consideró la capacidad de la batería y la corriente saliente del regulador de carga. Se calculó mediante la ecuación (7) a continuación [52].

$$T_{cd} = \frac{C}{C_{rate}} \quad (7)$$

Donde, T_{cd} es el tiempo de carga o descarga de la batería, C es la capacidad nominal de la batería en Ah y C_{rate} es la corriente saliente del regulador de carga a la batería en A.

3.4.3.8 Intensidad Circulante por Tramo

Para determinar la intensidad que circula por cada sección del sistema fotovoltaico se optó por la ecuación (8) presentada a continuación [53].

$$I = (P/V) \quad (8)$$

Donde, I es la corriente que circula en cada tramo del sistema fotovoltaico en (A), P es la potencia de entrada por cada sección del sistema en (W), V es el voltaje de entrada por cada sección del sistema en (V).



3.4.3.8 Caída de Tensión

La caída de tensión afecta directamente la distribución de energía dentro de la instalación eléctrica del sistema fotovoltaico, lo que influye en el correcto funcionamiento de los equipos y la eficiencia de la instalación. Para evaluar este rendimiento, es necesario calcular la caída de tensión en cada tramo del circuito. Por lo tanto, dicho cálculo puede determinarse mediante la ecuación (9) presentada a continuación [54].

$$\Delta V = \frac{2 * L * I}{\sigma * S} \quad (9)$$

Donde ΔV es la caída de tensión entre los extremos del conductor en (V), L es la longitud del conductor en (m), I es la intensidad máxima que circula por el conductor en (A), σ es el parámetro de conductividad del cobre a la temperatura del conductor en ($m/\Omega * mm^2$) y S es la sección del conductor en (mm^2).

El cálculo de caída de tensión se puede representar también de manera porcentual, por lo que, la ecuación (10), ayuda a determinar ese valor de pérdidas en el conductor en tanto por ciento.

$$\Delta V(\%) = \frac{\Delta V(V)}{V_{MP}} * 100 \quad (10)$$

Donde $\Delta V(\%)$ es la caída de tensión porcentual, ΔV es la caída de tensión entre los extremos del conductor (V) y V_{MP} representa el voltaje inicial en cada sección del sistema fotovoltaico.

Tras la obtención de la caída de tensión, se pueden calcular las pérdidas de energía con la ayuda de la ecuación (11) que se detalla a continuación [54].



$$\Delta P_{CC} = \Delta V * I \quad (11)$$

Donde ΔP_{CC} son las pérdidas de energía en la línea en (W), ΔV es la caída de tensión en la línea en (V) y I es la intensidad que circula en la línea en (A)

3.4.3.9 Elementos de Protección

Un sistema de protección ayuda a prevenir sobrecorrientes en la instalación fotovoltaica que pueden disminuir la vida útil de los componentes y poner en riesgo a la seguridad de los usuarios. Los elementos de protección se seleccionaron de acuerdo con la corriente que circula por el cableado [55].

- **Interruptor Termomagnético:**

El interruptor termomagnético tiene la función de proteger la instalación eléctrica contra sobrecargas y cortocircuitos [56]. Se seleccionó los tipos de interruptores termomagnético de acuerdo con la sección de cable utilizado en cada tramo del sistema [50].

- **Interruptor Diferencial:**

El interruptor diferencial es un dispositivo diseñado para identificar fallas en el aislamiento eléctrico (contactos indirectos) y proteger a los usuarios de la instalación, interrumpiendo el suministro de energía [53]. Se seleccionó el tipo de interruptor diferencial de acuerdo al valor de corriente que circula por el tramo y bajo valores de sensibilidad normalizados, en este caso de 30mA.



3.4.4 Normativa y Caracterización de la Señal Vertical

El dimensionamiento de la señalización vertical se basó en el reglamento técnico ecuatoriano. El reglamento 5.8.1 del Instituto Ecuatoriano de Normalización menciona sobre la ubicación de las señales verticales en el cual se consideró para el diseño. Además, se implementaron las normas 5.8.3.2 y 5.8.3.4, que tratan sobre la colocación lateral y las alturas necesarias para las señales, aspectos significativos para su diseño en una zona rural. [57].

El artículo 6.8.2 del Instituto Ecuatoriano de Normalización, especifica las medidas y la forma en que deben presentarse los límites de velocidad máxima en las señales reguladoras equipadas con iluminación de diodos emisores de luz (LED). Además, establece que estas señales solo se mostrarán en áreas con condiciones ambientales difíciles, como niebla o lluvia, para indicar la velocidad permitida en la carretera. Estas señales se producirán de acuerdo con las especificaciones detalladas [57].

Se consideró el artículo 8.5 referente a señales de información, que describe mediante figuras, el soporte y la estructura típica para señales de información, en donde esta categoría se empleó para la señal tipo panel de mensaje variable [57].

Por último, el artículo 9.23 define el tamaño y la distancia mínima de legibilidad para señales tipo paneles luminosos, tanto dinámicos como fijos. Esto se empleó para diseñar textos que pueden ser fijos o de mensaje variable. [57]



CAPÍTULO 4

Resultados y Análisis

En este capítulo, se presentan los resultados obtenidos tras la investigación del diseño de un sistema de alimentación eléctrico fotovoltaico para señalización luminosa en carreteras.

Se presentan los resultados del dimensionamiento y la selección de los componentes fotovoltaicos utilizando las ecuaciones matemáticas descritas en el capítulo anterior. Este proceso de cálculo se fundamenta en las metodologías previamente expuestas evaluando parámetros como la determinación de la potencia requerida, el análisis de la radiación solar, cuyos datos fueron recopilados mediante el software Power Data Access Viewer de la NASA, y el estudio de la capacidad de las baterías. Además, se presentan los esquemas de instalación eléctrica y electrónica, que, con respecto al funcionamiento de la unidad de control del circuito electrónico, se llevó a cabo la programación en el entorno de Arduino IDE con el objetivo de ejecutar las acciones de activación de textos y control de la señal luminosa.

Adicionalmente, se presenta el modelado en 3D del diseño de la señalización vertical luminosa haciendo uso de herramientas computacionales como Revit, con la finalidad de visualizar el proyecto de manera realista.

Por último, se presenta una propuesta técnica en donde incluye la descripción del sistema propuesto, ubicación, requisitos técnicos, planos con las dimensiones del proyecto y revisión de costos del material utilizado en el proyecto, con el fin de una futura implementación del sistema.



4.1 Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las ecuaciones matemáticas descritas previamente en el capítulo anterior, junto con la descripción de los componentes fotovoltaicos seleccionados.

4.1.1 Cálculo de la Hora Solar Pico (HSP)

Se utilizó la base de datos del Power Data Access Viewer de la NASA para obtener información sobre la radiación solar mensual de un año, con el fin de determinar los meses con menor y mayor cantidad de radiación. La radiación solar promedio mensual registrada entre San Pablo y el ingreso a Otavalo se muestra en la Figura 13.

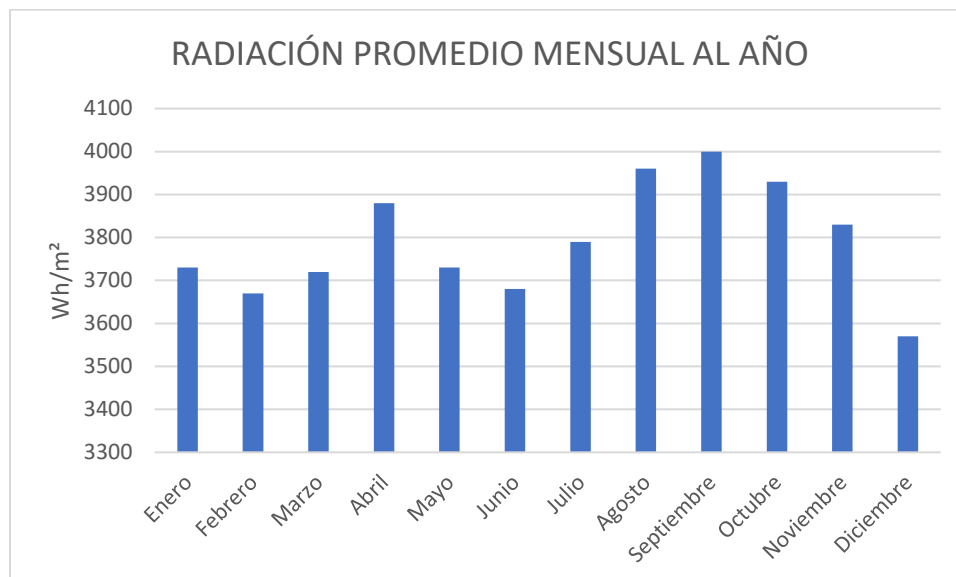


Figura 13. Radiación promedio mensual del lugar de estudio. [58]

Según los datos proporcionados por Data Access Viewer (NASA), en la Figura 13, diciembre es el mes menos favorable en el lugar de estudio ya que registra una radiación solar de



3570 Wh/m². Este valor se usó para determinar las horas solar pico del sitio en conjunto con la ecuación (1), en donde se obtuvo el siguiente resultado.

$$HSP = 3,57$$

Por lo tanto, se tiene un valor de 3,6 horas al día en donde se obtendrá mayor captación de radiación solar por las células fotovoltaicas.

4.1.2 *Determinación de la Inclinación Óptima de los Paneles*

La inclinación óptima de los paneles solares se determinó mediante la ecuación (2), donde se consideró la latitud del lugar de estudio siendo $\varphi = 0,217509^\circ$, obteniendo el siguiente resultado.

$$\beta_{opt} = 10,2^\circ$$

El resultado arrojó un valor de 10,2° orientado con respecto al sur, con el objetivo de asegurar mayor captación de radiación solar en la zona. Sin embargo, de acuerdo a recomendaciones es preferible colocar los paneles fotovoltaicos con un ángulo de inclinación de 15° con el fin de prevenir acumulación de materiales como polvo y hojas sobre la superficie del panel [50].

4.1.3 *Cálculo del Consumo Máximo del Sistema*

El cálculo del consumo máximo del sistema se determinó con el apoyo de la Tabla X, que muestra el tiempo y consumo máximo de energía estimado para cada señal luminosa.

Se consideró un periodo de 12 horas para el funcionamiento de la señal luminosa de límites de velocidad, ya que estará operando durante toda la noche, aproximadamente de 18:00 pm a 06:00



am. Del mismo modo, se consideró un escenario extremo de lluvia y neblina, con una duración de 5 horas, en el cual la señal luminosa de mensaje variable estará en funcionamiento.

Tabla X

Demanda de energía estimado a considerar de una señal luminosa

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Tiempo de Consumo (h)	Energía (Wh/día)
Señal Luminosa de Límites de Velocidad	1	30	12	360
Señal Luminosa de Mensaje Variable	1	60	5	300
Autoconsumo	1	0,108	24	2,592
			Total	662,6

La determinación de la potencia máxima se llevó a cabo mediante la ecuación (3), obteniendo el siguiente resultado.

$$C_{m\acute{a}x} = 662,6 \text{ Wh/día}$$

4.1.4 Selección y Cálculo del Módulo Fotovoltaico

El resultado de la potencia mínima del generador fotovoltaico se determinó mediante la ecuación (4), considerando el consumo máximo de energía del sistema $C_{m\acute{a}x}=662,6 \text{ Wh/día}$, el factor de sobredimensionamiento del 30%, las horas solar pico $HSP=3,6$ y el factor de funcionamiento global $PR=0,9$, resultando en lo siguiente.

$$P_{panel} = 268 \text{ W}$$



Se obtuvo un resultado de 268W de generación fotovoltaica, por lo que se optó por un solo panel solar de 300W, con el propósito de facilitar la instalación en puntos elevados para el montaje del panel, mejor estabilidad del sistema en condiciones climáticas adversas, como fuertes vientos, y la disponibilidad en el mercado.

Para la selección del módulo fotovoltaico se realizó una comparativa entre modelos actualmente en venta de 300 W tipo Monocristalino, debido a que esta tecnología tiene mayor eficiencia en comparación a los módulos solares policristalinos y amorfos. Los parámetros considerados para la comparativa incluyeron el voltaje de operación óptima, corriente de operación óptima y eficiencia, tal como se indica en la Tabla XI.

Tabla XI

Comparación de paneles fotovoltaicos de diferentes marcas

Marca del módulo fotovoltaico	Eficiencia (%)	Voltaje de operación (V)	Corriente de operación (A)
CANADIAN	15,63	36,50	8,22
SOLAR CS6X 300			
JINKO SOLAR	15,46	38,00	7,90
JKM300M-72			
POWEST	20,50	34,20	8,78
NERM300			

El módulo fotovoltaico con mayor eficiencia es el de la marca POWEST modelo NERM300, el cual se optó para el diseño, este panel destaca por su voltaje adecuado, que puede



ser regulado de manera óptima a 12 V, minimizando las pérdidas en la conversión. Además, su corriente de operación es mayor, por ende, puede suministrar más potencia al sistema.

Por ese motivo, se ha seleccionado el panel de la marca POWEST modelo NERM300, que es de tipo monocristalino y está compuesto por 60 células solares. Los parámetros eléctricos se encuentran detallados en la Tabla XII.

Tabla XII

Características técnicas del panel solar monocristalino de 300W

Parámetros	Datos
Potencia Máxima	300Wp
Voltaje óptimo de operación (Vmp)	34,20V
Corriente óptima de operación (Imp)	8,78A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	41,04V
Corriente en circuito abierto (Isc)	9,30A
Eficiencia	20,50%
Número de celdas solares	60 (6 x 10) pcs
Peso	14,3 kg
Dimensiones (alto/ancho/profundo)	1290x1134x30mm
Vida útil promedio	25 años

4.1.5 Selección y Cálculo de la Corriente del Regulador de Carga

Para seleccionar el regulador de carga adecuado, se tomó en cuenta la corriente de cortocircuito del generador fotovoltaico siendo $I_{modsc} = 9,30$ A, el número de ramales en paralelo $N_p=1$ y se aplicó un factor de seguridad de 1,25 (25%), para obtener un resultado más



recomendable. Además, se tuvo en cuenta el tipo de tecnología del regulador (PWM o MPPT). A partir de estos datos, se utilizó la ecuación (5) para calcular la corriente necesaria en la entra del regulador, obteniendo el siguiente resultado.

$$I_{in} = 11,63 A$$

A partir del resultado obtenido, se optó por un regulador de carga con tecnología MPPT de 20 A con una tensión nominal de 12 V, debido a que permite encontrar la máxima eficiencia en la captación de energía generada por el panel solar, y por lo tanto es adecuado en condiciones de luz solar variables o no óptimas, a comparación del controlador de tipo PWM que no toma en cuenta el punto de máxima potencia.

La selección de este componente se fundamentó en varios factores, incluyendo la potencia generada por el panel siendo $P_{t_{max}}=300$ W en condiciones óptimas, la corriente máxima que debe soportar el regulador de carga siendo $I_{in}=11,63$ A y el voltaje máximo generado por el generador fotovoltaico siendo $V_{oc}=41,04$ V.

Después de llevar a cabo la búsqueda bajo los criterios especificados, se compararon dos reguladores de carga solar MPPT que se encuentran actualmente en el mercado. Para ello, es importante conocer las características de cada uno y la Tabla XIII muestra las especificaciones más destacadas de cada componente.



Tabla XIII

Especificaciones técnicas de reguladores de carga

	Tensite MPPT	Victron Energy BlueSolar MPPT
	100/20A - 12/24V	100/20A – 12/24V
Marca	Tensite	Victron Energy
Tensión de la batería	12V	12V
Corriente máxima de carga de la batería	20A	20A
Máxima potencia fotovoltaica	260W	300W
Rango de tensión de trabajo MPPT	100V	100V
Eficiencia	99%	98%

Basado en la comparativa realizada, se determinó que ambos reguladores de carga cumplen con los requisitos del sistema en cuanto a corriente y voltaje. Sin embargo, se eligió el regulador de carga Victron Energy modelo BlueSolar MPPT 100/20A debido a su capacidad para soportar una mayor potencia fotovoltaica y reputación de la marca en el suministro de este tipo de equipos.

En la Tabla XIV, a continuación, se muestran las especificaciones técnicas a detalle del controlador de carga Victron Energy modelo BlueSolar MPPT 100/20A.

Tabla XIV

Características técnicas del controlador de carga

Parámetros	Datos
Tensión de trabajo del regulador	12/24V
Corriente de carga nominal	20A



Potencia fotovoltaica nominal, 12V	300W
Autoconsumo	Inferior a 25mA a 12V
Temperatura de trabajo	De -30 a +60°C
Dimensiones (l/an/p)	100 x 113 x 60mm
Peso	0,65kg
Eficiencia máxima	98%

4.1.6 Selección y Cálculo de la Batería

La capacidad de la batería se determinó por medio de la ecuación (6). Para ello se tomó en cuenta el consumo máximo diario $C_{\max}=662,6$ Wh, una profundidad de descarga del 60% recomendada para baterías de ciclo profundo $P_{dm}=0,6$, un voltaje nominal de la batería de 12V y un periodo de autonomía de 2 días.

La determinación del número de días de autonomía se realizó con base en la evaluación de la irradiación solar correspondiente al sitio de estudio. Se consideran días críticos aquellos en los que la irradiación solar diaria es inferior a $2,0$ kWh/m²/día, ya que en dichos periodos la generación de energía eléctrica resulta insuficiente. Para este análisis, se utilizaron los registros proporcionados por la plataforma Data Access Viewer, lo que permitió identificar los días con irradiación solar nula o muy baja durante el mes de diciembre, previamente seleccionado como el mes con menor disponibilidad de recurso solar, conforme se evidencia en la Figura 13. Los valores obtenidos se presentan en la tabla XV a continuación.



Tabla XV

Registro diario de irradiación solar en el mes de diciembre (en kWh/m²)

Año	Mes	Día	Irradiancia en kWh/m ²
2024	12	1	4,31
2024	12	2	3,81
2024	12	3	4,17
2024	12	4	4,85
2024	12	5	5,55
2024	12	6	3,74
2024	12	7	2,98
2024	12	8	3,88
2024	12	9	2,45
2024	12	10	2,25
2024	12	11	2,74
2024	12	12	4,09
2024	12	13	1,94
2024	12	14	3,90
2024	12	15	2,42
2024	12	16	2,88
2024	12	17	2,26
2024	12	18	3,79
2024	12	19	3,25
2024	12	20	3,63
2024	12	21	3,84
2024	12	22	5,15



2024	12	23	4,13
2024	12	24	3,10
2024	12	25	5,10
2024	12	26	4,62
2024	12	27	2,22
2024	12	28	3,42
2024	12	29	2,93
2024	12	30	3,66
2024	12	31	3,69

Nota. Datos recogidos de NASSA Data Access Viewer. [58]

La tabla XV se destacan con color rojo los días 13 y 27 de diciembre, los cuales presentan valores de irradiación solar particularmente bajos, con 1,94 y 2,22 kWh/m², respectivamente. Debido a que estos niveles de irradiación se consideran insuficientes para una adecuada generación de energía eléctrica, se clasificaron como periodos críticos o sin generación. En función de ello, se estableció un criterio de 2 días de autonomía como parámetro para el dimensionamiento de la capacidad requerida de la batería.

Con esos parámetros definidos, se obtuvo el siguiente resultado.

$$C_{Bat} = 184 \text{ Ah}$$

Se obtuvo una capacidad total requerida de 184 Ah. De acuerdo con este resultado se optó por una batería que pueda cubrir la capacidad del sistema. Por ello, se seleccionó la batería de 200Ah-12V tipo GEL ciclo profundo de la marca POWEST modelo FL122000GS, debido a su durabilidad y disponibilidad en el mercado nacional. En la Tabla XVI, se muestran los datos técnicos a detalle de la batería seleccionada.



Tabla XVI

Características técnicas de la batería POWEST – FL122000GS

Parámetros	Datos
Tensión de la batería	12V
Capacidad de la batería	200Ah
Dimensiones (l/an/p)	522 x 240x 218mm
Peso	59,8 kg
Temperatura de trabajo	25°C ± 3°C
Garantía	3 años

4.1.7 Cálculo del Tiempo de Carga de la Batería

El tiempo de carga de la batería se calculó utilizando la ecuación (7), considerando la capacidad nominal de la batería seleccionada $C = 200 \text{ Ah}$ y la corriente saliente del regulador de carga hacia la batería, es decir, la corriente $C_{\text{rate}} = 20,14 \text{ A}$. Dando lugar al siguiente resultado.

$$T_{cd} = 9,93 \text{ h} \approx 10 \text{ h}$$

Se obtuvo un tiempo de 10 horas aproximadamente para que la batería esté completamente cargada considerando una irradiación solar óptima incidente en el área. Aunque en el sitio de estudio se identificaron 3,57 HSP, la energía generada diariamente es suficiente para cargar la batería al nivel requerido y abastecer a todas las cargas, por lo que las 10 horas de carga estimadas no dependen únicamente de la radiación solar pico continua (HSP), sino de una acumulación distribuida de radiación a lo largo del día.

La Figura 14 muestra una estimación del número de horas de irradiación solar disponible durante un día, basada en datos de Global Solar Atlas. Para este análisis, se consideró el mes de



diciembre, el cual fue seleccionado previamente como el menos favorable para el cálculo de las HSP.



Figura 14. Cantidad de horas de exposición a la irradiación solar durante un día. [59]

La figura 14 presenta la distribución de la irradiación solar a lo largo un día promedio en el mes de diciembre. En la representación gráfica, el color amarillo indica un nivel intermedio de irradiancia, mientras que el color rojo señala valores elevados. Adicionalmente, las tonalidades de un rojo más intenso corresponden a condiciones óptimas para la generación de energía eléctrica, mientras que el color verde representa niveles bajos de irradiación solar.

El recuadro rojo de la derecha muestra que en el sitio de estudio hay una buena cantidad de radiación solar, ya que el tono rojizo indica alta irradiancia. En cambio, el recuadro rojo de la izquierda representa el intervalo horario en el que el módulo fotovoltaico puede generar energía. Tomando como referencia el mes de diciembre, que es uno de los menos favorable, se estima que



el sistema puede producir energía entre las 8:00 AM y las 16:00 PM, durante un periodo de aproximadamente 8 horas.

Aunque teóricamente se necesitan 10 horas para cargar la batería completamente, en condiciones reales solo se dispone con aproximadamente 8 horas efectivas de irradiación solar diaria. Esto se debe a que no todas las horas del día aportan la misma cantidad de energía útil, puede existir posibles consumos simultáneos y, además, la mayor parte de la energía disponible se concentra en un rango estimado de irradiancia entre 300 y 500W/m². Por estas razones, el tiempo de carga completa no se logra en un solo día típico.

Por tanto, se estima que la batería se completa en un periodo de un 1 día más 2 horas adicionales del siguiente día, distribuidos entre 8 horas del primer día y 2 horas del siguiente para alcanzar las 10 horas determinadas inicialmente, siempre que las condiciones de irradiancia sean favorables y no haya consumo excesivo de una carga durante ese tiempo.

4.1.8 Determinación de Intensidad por Tramo

Para determinar la intensidad que circula por cada tramo del sistema fotovoltaico en condiciones ideales, es decir, sin considerar pérdidas, y así seleccionar el calibre adecuado del conductor, se empleó la ecuación (8). Este cálculo se realizó tomando en cuenta la potencia y tensión de entrada en cada tramo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en la tabla XVII.



Tabla XVII

Intensidad que fluye por cada tramo en condiciones ideales

Tramo	Potencia (W)	Tensión (V)	Intensidad (A)
Panel-Controlador	300	34,2	8,78
Controlador-Batería	300	14,4	20,14
Controlador-Reductor de Voltaje DC	90	12	7,5
Controlador - Unidad de Control	2,64	12	0,22
Reductor de Voltaje DC-Señal Límite de Velocidad	30	5	6
Reductor de Voltaje DC-Señal Mensaje Variable	60	5	12

Una vez obtenidos los resultados de corriente para cada tramo, se procedió a seleccionar el calibre de conductor adecuado para cada sección, lo cual se detalla en el siguiente apartado.

4.1.9 Selección de Conductores

Para determinar el calibre adecuado del conductor eléctrico en cada tramo del sistema, se utilizó una tabla de referencia que especifica el calibre apropiado en función a la intensidad que circula por cada tramo. La Figura 15 se ilustra la relación del calibre del conductor según la normativa AWG, facilitando la selección correcta en base a los valores anteriormente obtenidos de intensidad.



Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A		
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A		
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A		
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A		
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A	14 AWG	18 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		
				12 AWG	25 A

Figura 15. Tabla de calibre de conductor. [60]

Después de revisar la tabla de calibres según el amperaje que cada uno puede soportar, se ha seleccionado el número de calibre adecuado a utilizar en el sistema con su longitud aproximada para cada tramo:

- Para el tramo Panel – Controlador, con una longitud de 3m, se seleccionó el calibre de cable 14 AWG.
- Para el tramo Controlador – Batería, con una longitud de 1m, se seleccionó el calibre de cable 10 AWG.
- Para el tramo Controlador – Reductor de Voltaje DC, con una longitud de 1m, se seleccionó el calibre de cable 14 AWG
- Para el tramo Controlador – Unidad de Control, con una longitud de 1m, se seleccionó el calibre de cable 18 AWG.



- Para el tramo Reductor de Voltaje DC – Señal Límites de Velocidad, con una longitud de 3m, se seleccionó el calibre de cable 12 AWG.
- Para el tramo Reductor de Voltaje DC – Señal Mensaje Variable, con una longitud de 3m, se seleccionó el calibre de cable 12 AWG.

A continuación, se optó por un conductor eléctrico de cobre con aislamiento THHN/THWN-2 por sus propiedades de diseño, que le permiten funcionar en ambientes secos, húmedos y mojados, así como por su amplia trayectoria en el mercado. Las secciones de los conductores se detallan en la Tabla XVIII a continuación.

Tabla XVIII

Características de los conductores de cobre THHN/THWN-2

Calibre	Sección Transversal	Hilos	Espesor de Aislamiento	Espesor de Chaqueta	Diámetro externo Aprox.	Peso Total Aprox.
AWG/kcmil	mm²	#	mm	mm	mm	kg/km
14	2,08	1	0,38	0,10	2,59	22,56
12	3,31	1	0,38	0,10	3,01	34,32
10	5,26	1	0,51	0,10	3,81	54,74

Nota. Tabla recreada, datos recogidos de Disensa. [61]

Estos conductores se fabrican en tamaños que van desde 14 AWG (2,08mm²) hasta 1000 Kcmil (507mm²). Están formados por un conductor de cobre suave, que puede ser sólido o trenzado, recubierto con aislamiento de cloruro de polivinilo (PVC) y una capa externa de nylon. Esta estructura ofrece protección mecánica al conductor y lo hace resistente a los derivados del petróleo, productos químicos y aceites [61].



Debido a que no se fabrica este tipo de conductor eléctrico de calibre 18 AWG con aislamiento tipo THHN/THWN-2, se ha optado por utilizar un conductor 18 AWG del tipo SPT para el tramo Regulador de carga – Unidad de control. Las características específicas de este conductor se detallan en la Tabla XIX a continuación.

Tabla XIX

Características de los conductores de cobre SPT

Calibre	Sección Transversal	Construcción		Espesor de Aislamiento	Diámetro externo Aprox.	Peso Total Aprox.
		No. Hilos	Diámetro de hilos (mm)			
AWG/kcmil	mm ²			mm	mm	kg/km
2 x 18	2 x 0,824	12	0,3	0,76	5,44 x 2,72	29,30

Nota. Tabla recreada, datos recogidos de Disensa. [61]

Estos conductores de tipo SPT están formados por dos cables flexibles de cobre de suave, recubiertos con un aislamiento uniforme de PVC (Policloruro de Vinilo), un material diseñado para ser utilizado en ambientes húmedos. [61]

Por otro lado, se optó por emplear un cable UTP Categoría 6e para la transmisión de datos entre la unidad de control y las señales luminosas. Se seleccionó con base a la amplia disponibilidad del cable en el mercado y su capacidad para garantizar una velocidad de transmisión adecuada. Las especificaciones técnicas detalladas del cable se presentan en la Tabla XX. [62]



Tabla XX

Características técnicas del cable UTP Cat.6

Parámetros	Valores
Calibre de conductor	23 AWG
Impedancia	100Ω +/- 15% (de 1 a 250MHz)
Temperatura de operación	-30°C ~ 60°C
Tipo de aislamiento	HDEP
Tipo de ensamble	4 pares
Chaqueta Exterior	LSZH – Gris
Diámetro de conductor sólido	0,5730mm
Desempeño	Probado hasta 250 Mhz

4.1.10 Determinación de Caída de Tensión

Para el cálculo de la caída de tensión entre los extremos del tramo, se aplicaron las ecuaciones (9), (10) y (11), las cuales permitieron calcular la caída de voltaje, las pérdidas de energía en vatios (W) y el porcentaje de caída de voltaje (%). Los resultados obtenidos se presentan de manera resumida en la tabla XXI a continuación:

Tabla XXI

Resultados de Caída de Tensión y Pérdidas

Tramo	Longitud (m)	Sección del conductor (mm ²)	Intensidad (A)	Caída de Tensión ΔV (V)	Caída de tensión porcentual ΔV (%)	Pérdidas de energía ΔP _{cc} (W)
Panel - Controlador	3	2,08	8,78	0,45	1,31	3,95



Controlador – Batería	1	5,25	20,14	0,13	0,89	2,61
Controlador – Reductor de Voltaje DC	1	2,08	7,5	0,13	1,08	0,98
Controlador – Unidad de Control	1	0,82	0,22	0,009	0,07	0,002
Reductor de Voltaje DC – Señal Límites de Velocidad	3	3,3	6	0,19	3,8	1,14
Reductor de Voltaje DC – Señal Mensaje Variable	3	3,3	12	0,38	7,6	4,56
Pérdidas Totales de Energía						
Pérdidas en Vatios (W):					13,24W	
Pérdida Porcentual (%):					14,75%	

De acuerdo con la tabla XXI, se identifica que el tramo con el mayor porcentaje de pérdidas corresponde a la conexión entre el Reductor de Voltaje DC y la Señal Mensaje Variable, registrando un 7,6%. Esto indica que la elección de la sección del conductor puede influir significativamente en la energía suministrada a la carga. Por ello, aumentar el calibre del conductor en este tramo sería una solución adecuada, especialmente si la selección inicial se basó en un análisis de caída de voltaje por tramo, en lugar de la tabla de ampacidad expuesta anteriormente en la figura 15.



Asimismo, se determinó un porcentaje de pérdidas totales del 14,75%, lo que representa una pérdida de 13,24 W de energía en el sistema fotovoltaico. Este valor corresponde a las pérdidas en los conductores a lo largo de cada tramo de la instalación fotovoltaica afectando al rendimiento general de la instalación.

4.1.11 Selección de los Elementos de Protección

Para seleccionar los interruptores termomagnéticos, se tomó en cuenta el calibre de los conductores previamente seleccionados y presentados en el apartado de Selección de Conductores para cada tramo del sistema fotovoltaico. De este modo, en el tramo entre el Panel y el Controlador, así como en el tramo entre el Controlador y Reductor de voltaje, se emplearon conductores de calibre 14 AWG, lo que llevó a la elección de un interruptor termomagnético de 15 A. Por otro lado, para la sección de Controlador y la Batería, se utilizó un conductor de calibre 10 AWG, por lo tanto, se seleccionó un interruptor termomagnético de 30A

El tipo de interruptor termomagnético que se seleccionó fue de corriente continua (DC) unipolar, debido a que el sistema solar fotovoltaico autónomo trabaja con corrientes continuas y requiere protección para las conexiones en los principales tramos. Dado que no se dispone en el mercado de un interruptor termomagnético con el valor exacto de la corriente nominal requerida, se optó por seleccionar dispositivos con valores de corriente nominal cercanos. En consecuencia, se han elegido interruptores termomagnéticos de 16A y 32A, ya que estos valores se encuentran disponibles comercialmente en la actualidad.



En la Tabla XXII se presentan las especificaciones técnicas del interruptor termomagnético de la marca LANGIR, que se empleó en cada sección específica del sistema fotovoltaico debido a que esta marca se encuentra en disponible comercialmente.

Tabla XXII

Especificaciones Técnicas del Interruptor Termomagnético, marca LANGIR

Tramo	Elemento/Equipo	Modelo	Especificaciones Técnicas	Normas
			# Polos: 1P	
Panel – Controlador	Interruptor	JB-C-1P-	Tensión asignada de empleo (Ue):	EN 60947-2
	Termomagnético	16A	hasta 250V DC Corriente nominal: 16A en 25°C	IEC 60947-2
			# Polos: 1P	
Controlador – Reductor de Voltaje	Interruptor	JB-C-1P-	Tensión asignada de empleo (Ue):	EN 60947-2
	Termomagnético	16A	hasta 250V DC Corriente nominal: 16A en 25°C	IEC 60947-2
			# Polos: 1P	
Controlador - Batería	Interruptor	JB-C-1P-	Tensión asignada de empleo (Ue):	EN 60947-2
	Termomagnético	32A	hasta 250V DC Corriente nominal: 32A en 25°C	IEC 60947-2

Del mismo modo, para la selección del interruptor diferencial, se tomó en cuenta la corriente nominal que circula por cada tramo del circuito. Es decir, se eligió un interruptor diferencial de 16A para el tramo entre el Panel y el Controlador, y otro de 16A para el tramo entre el Controlador y el Reductor de Voltaje. Ambos pertenecen a la clase B, diseñada para corriente continua (DC), con el propósito de proteger el sistema eléctrico ante posibles fugas de corriente.

En la tabla XXIII se detallan las especificaciones técnicas del interruptor diferencial de la marca CHZFGOLD el cual se optó del mismo modo, por su disponibilidad en el mercado.



Tabla XXIII

Especificaciones Técnicas del Interruptor Diferencial, marca CHZFGOLD

Tramo	Elemento/Equipo	Modelo	Especificaciones Técnicas	Normas
Panel – Controlador	Interruptor Diferencial	CZK26 - 16A	# Polos: 2P	CE IEC 60898.1
			Tensión nominal: hasta 110V DC	
Controlador – Reductor de Voltaje	Interruptor Diferencial	CZK26 - 16A	Corriente nominal: 16A	CE IEC 60898.1
			Características de Corriente Residual: Type B	
			Duración del Disparo: $\leq 0,1s$	
			Sensibilidad Nominal: 0,03A	
			# Polos: 2P	
			Tensión nominal: hasta 110V DC	
			Corriente nominal: 16A	
			Características de Corriente Residual: Type B	
			Duración del Disparo: $\leq 0,1s$	
			Sensibilidad Nominal: 0,03A	

4.2 Esquema Eléctrico del Sistema de Señalización Luminosa Fotovoltaico

Después de llevar a cabo el cálculo de dimensionamiento del sistema fotovoltaico y seleccionar los componentes adecuados, se presenta a continuación el circuito eléctrico utilizado en el diseño. En la figura 16, se muestra de manera detallada la distribución de los elementos del sistema, permitiendo observar la conexión entre los diferentes equipos y componentes eléctricos.

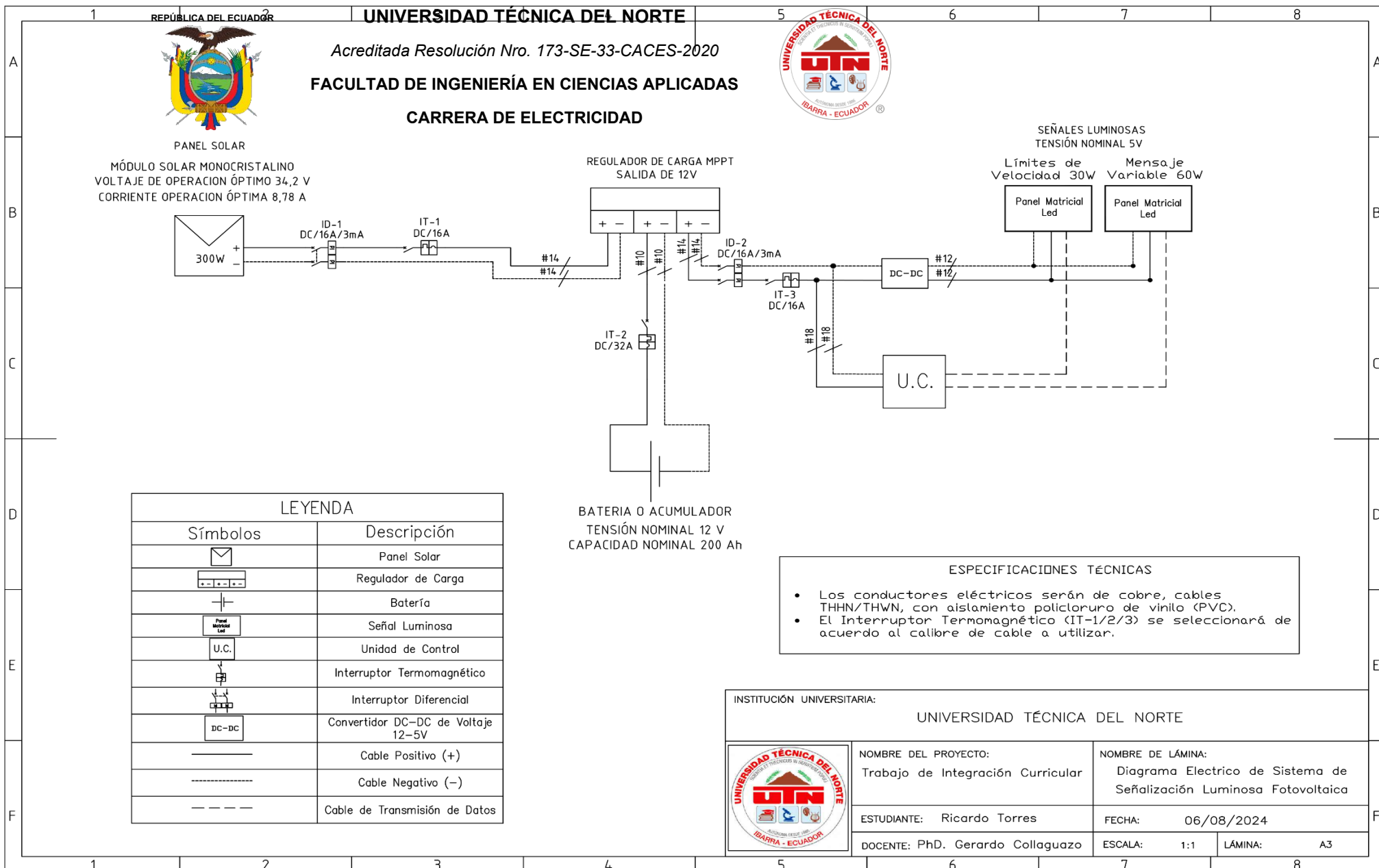


Figura 16. Diagrama eléctrico del sistema de señalización luminosa fotovoltaica.



4.3 Altura de Instalación de la Señal Luminosa y Panel Solar

Conforme con los lineamientos establecidos en la normativa técnica ecuatoriana RTE INEN 004 Artículo 8.5, se optó por una configuración de señalización vertical elevada con soporte en voladizo. La altura de la señal se fijó en 5,30 metros medida desde la base del piso, cumpliendo así con los requisitos de visibilidad y accesibilidad establecidos en la normativa.

Conjuntamente, se determinó una altura de instalación de 8 metros para el generador fotovoltaico, con el objetivo de maximizar la radiación solar incidente y minimizar el sombreado producido por obstáculos circundantes, garantizando así un rendimiento óptimo del sistema de generación eléctrica.

4.4 Estructura de Soporte de la Señal Vertical

Se adaptó la normativa nacional RTE INEN 004 “Señalización Vial. Parte 5” apartado 5.26.6 a la estructura de soporte para la señalética, en el que se ha determinado que el poste más adecuado para el sistema de señalización puede ser de tipo báculo o ménsula, con las características detalladas a continuación:

- Material: Acero Galvanizado
- Espesor: Mínimo 3,6mm
- Altura libre: Mínimo 4,00m
- Diámetro: Mínimo 144mm



Al revisar estos cuatro puntos en función de la normativa, se decidió utilizar un poste metálico fabricado con material de acero galvanizado reforzado, cuyas características se detallan en la tabla XXIV a continuación:

Tabla XXIV.

Características de Poste Metálico.

Material	Altura	Espesor	Diámetro
Acero Galvanizado	10m	5mm	200mm

Se optó por una altura de 10 metros para el poste con el fin de optimizar diversos parámetros de diseño, tales como: maximizar la visibilidad de la señalización, minimizar las interferencias visuales provocadas por la vegetación y edificaciones cercanas, y asegurar una captación solar para el módulo fotovoltaico. Asimismo, se determinó un diámetro de 200mm y un espesor de 5mm para mejorar la rigidez y resistencia del poste metálico.

Por otra parte, el poste metálico debe estar correctamente anclado al piso y para ello se tomó como referencia los criterios técnicos establecidos por CNEL EP para postes metálicos, cumpliendo con la normativa nacional estructural NEC-SE-AC “Norma Ecuatoriana de la Construcción” y los requisitos funcionales de instalación y soporte, por lo cual para la base del piso se adaptó a las características que se muestran en la Tabla XXV.



Tabla XXV

Características generales del anclaje para postes metálicos

Altura Libre (m) H	Longitud Cimt. (mm) H1	D (mm)	A (mm)	B (mm)	Perno Diam. (mm)	Longitud Perno (mm) L1	Diámetro del orificio (mm)
10	1100	450	300	400	19 (3/4")	1200	22

Nota. Tabla recreada. Fuente: Codensa [63].

Con base en los parámetros establecidos en la Tabla XXV, se ha determinado que la longitud óptima de la cimentación para un poste de 10 metros es de H1=1,1 metros de longitud, de este modo en la Figura 17, se representó gráficamente el modelado con el apoyo del software Revit.

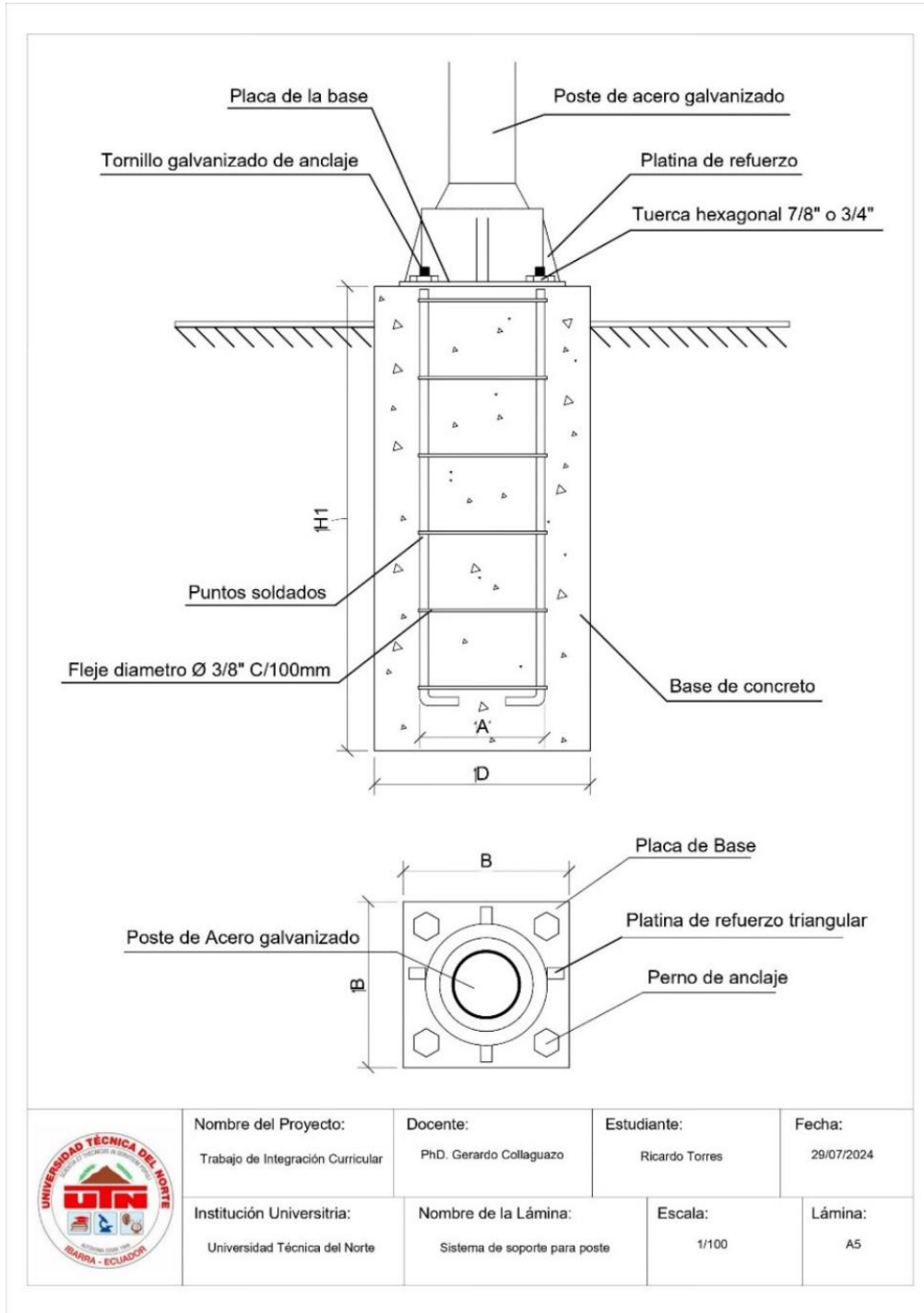


Figura 17. Sistema de soporte para poste realizado en Revit.



4.4.1 Accesorios de Fijación

Para sujetar la señal luminosa, el panel solar y la unidad de control, se usó los siguientes elementos:

Abrazaderas:

- Perfil: soporte en forma de U de 60x40x3mm (ancho x alto x espesor) o superior.
- Longitud de los brazos: aproximadamente 150mm a cada lado para asegurar un buen agarre a la señalética.
- Espesor del material: 3mm o superior, esto dependerá de la carga y del material (acero inoxidable o galvanizado).

Pernos:

- Diámetro: M12 (12mm) o M14 (14mm) de alta resistencia (grado 8,8 o superior).
- Longitud: Aproximadamente 80 – 100mm, considerando el espesor de la abrazadera, del poste y de la placa de refuerzo.

Arandelas:

- Diámetro exterior: 20mm para M12 y 22mm para M14.
- Espesor: 2mm o 3mm.
- Tipo: Planas y de seguridad.

Riel de fijación:

- Perfil: U de 80x40x4mm o superior.



- Longitud: Al menos el ancho de la abrazadera más de 100mm a cada lado para asegurar una buena fijación.

Las medidas y dimensiones de los elementos se determinaron con base al material, tamaño y peso de la señalética y del poste.

4.5 Esquema General de Montaje de la Señal Vertical Luminosa

Una vez seleccionados la altura y las dimensiones de anclaje del poste, se presenta en la Figura 18 el diagrama con las dimensiones en metros de la señal vertical luminosa, desarrollado en Revit.

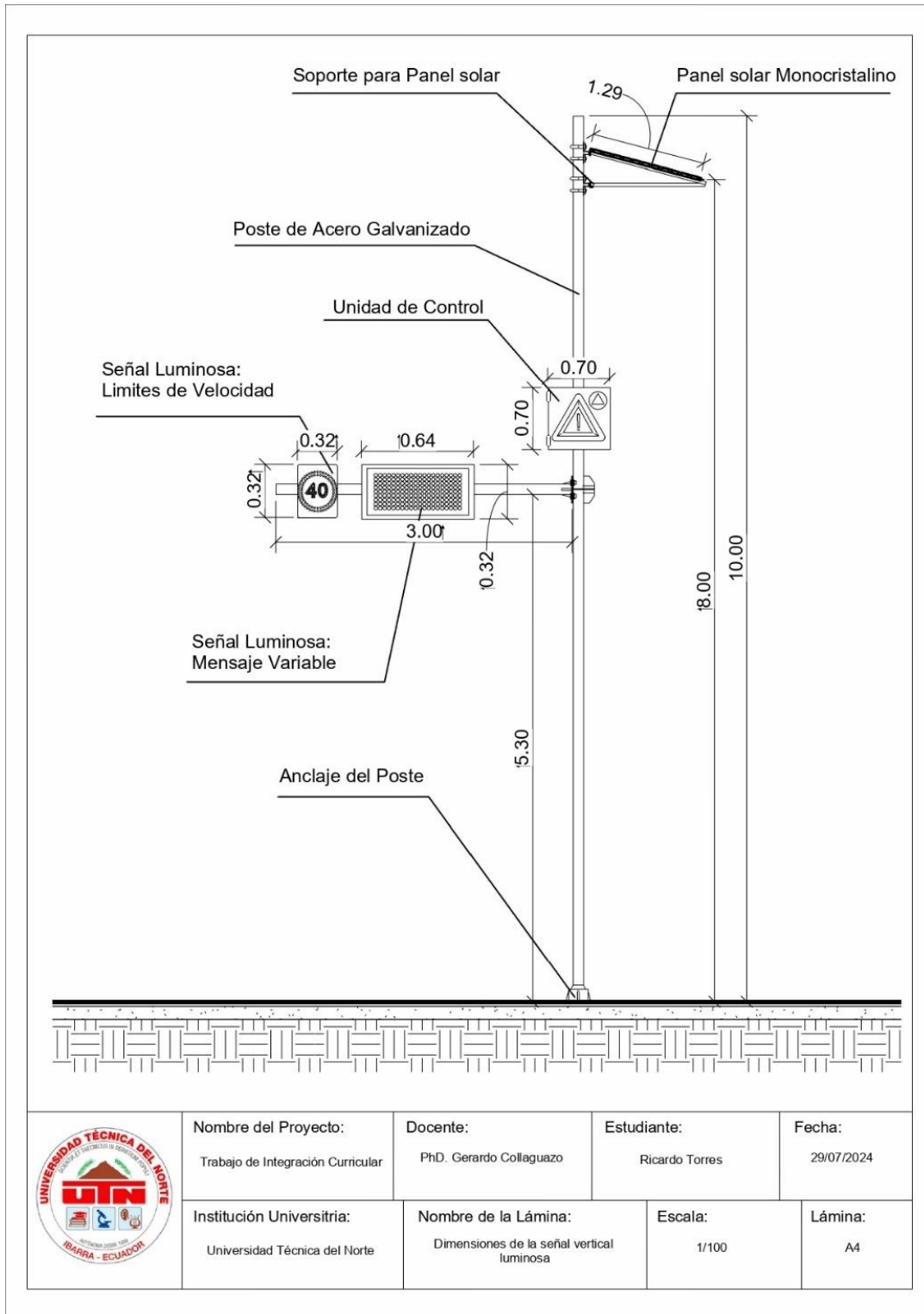


Figura 18. Dimensiones de la señal vertical luminosa.



La selección adecuada de los materiales de construcción para los elementos de la señalética es fundamental para garantizar la durabilidad y el correcto funcionamiento del proyecto fotovoltaico. Por tanto, la Tabla XXVI, resume el material seleccionado para cada componente del proyecto.

Tabla XXVI

Descripción del material seleccionado para los elementos de la señalética

Elemento	Descripción
Poste (estructura de soporte)	Se eligió el acero galvanizado como material para este elemento.
Brazo del Poste (estructura de soporte)	Al igual que el poste, se optó por el mismo material de acero galvanizado para este elemento.
Gabinete de Control (unidad de control)	Se optó por un material de acero galvanizado, aunque también puede ser de acero inoxidable.
Panel solar	El modelo y tipo del panel solar serán de acuerdo con el seleccionado.
Soporte de Panel solar	Se optó por un soporte de panel solar de aluminio resistente, ya que es de gran resistencia, bajo peso y de fácil mecanización.
Señal Luminosa Límites de Velocidad	Se optó por tecnología LED Monocromática, por su larga vida útil y eficiencia energética.
Señal Luminosa Mensaje Variable	De igual forma, se eligió la tecnología LED.



4.4.2 Consideraciones de Diseño

Los criterios considerados en el proceso de diseño fueron los siguientes:

- El cableado eléctrico que conecta los componentes fotovoltaicos se ubicó dentro de la estructura de acero galvanizado.
- El gabinete de control guarda la batería, regulador de carga, elementos de protección y los dispositivos electrónicos para el control de la señal luminosa. Poseerá ventilación para asegurar el buen estado de los componentes eléctricos y electrónicos.
- Los elementos de la señalética se fijaron mediante abrazaderas de fijación, rieles de fijación, tornillos, tuercas y arandelas. El material de los accesorios se optó por el acero galvanizado o metal.
- Los sensores de control fueron ubicados sobre el gabinete de control con el objetivo de detectar las condiciones de lluvia y neblina en el ambiente para el control de la señal luminosa.

Por otro lado, la señalización vertical luminosa ha sido diseñada para su instalación en vías como la carretera Otavalo-San Pablo, cumpliendo rigurosamente con las disposiciones del Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 004, Parte 1” Señalización Vertical”. Conforme a este reglamento, la señal se ubicará en el margen lateral de la vía, siguiendo las especificaciones del apartado 5.8.3.2.



El tiempo de funcionamiento de la señalética será de 12 horas durante el horario nocturno, operando todas las noches. En condiciones de lluvia y niebla en la carretera será de 5 horas, ya que durante estos periodos la visibilidad disminuye considerablemente, lo que hace esencial su activación para mejorar la seguridad vial.

4.4.3 Pruebas Mecánicas Sobre la Estructura

La estructura que sostiene los elementos de la señal vertical debe ser capaz de resistir las acciones variables en su entorno de instalación. Entre estas, el viento suele ser el factor más relevante, ya que ejerce fuerzas considerables sobre la estructura, por lo que su efecto debe ser considerado en el diseño [54]. Por esta razón, se llevaron a cabo pruebas mecánicas para evaluar el impacto del viento sobre la estructura de la señal vertical luminosa, con el objetivo de determinar si la estructura sería capaz de resistir a esta fuerza variable presente en el entorno.

Para llevar a cabo este análisis, se recopilaron datos iniciales sobre el viento en la zona de estudio. Para ello, se utilizó la plataforma web online Ventusky, la cual proporcionó la siguiente información relevante a considerar [64].

- Mes del año con mayor acción del viento: Julio
- Velocidad máxima del viento (ráfagas de viento): 51km/h = 14,16m/s

A partir de estos parámetros y mediante un software especializado en la simulación de flujos de viento alrededor de estructuras, se evaluó el esfuerzo inducido y posibles efectos de fatiga que podrían afectar la señal vertical luminosa.



La Figura 19 ilustra de manera general cómo el viento interactúa con la estructura, representando su flujo a través de líneas de corriente que se desplazan horizontalmente a lo largo del eje x.

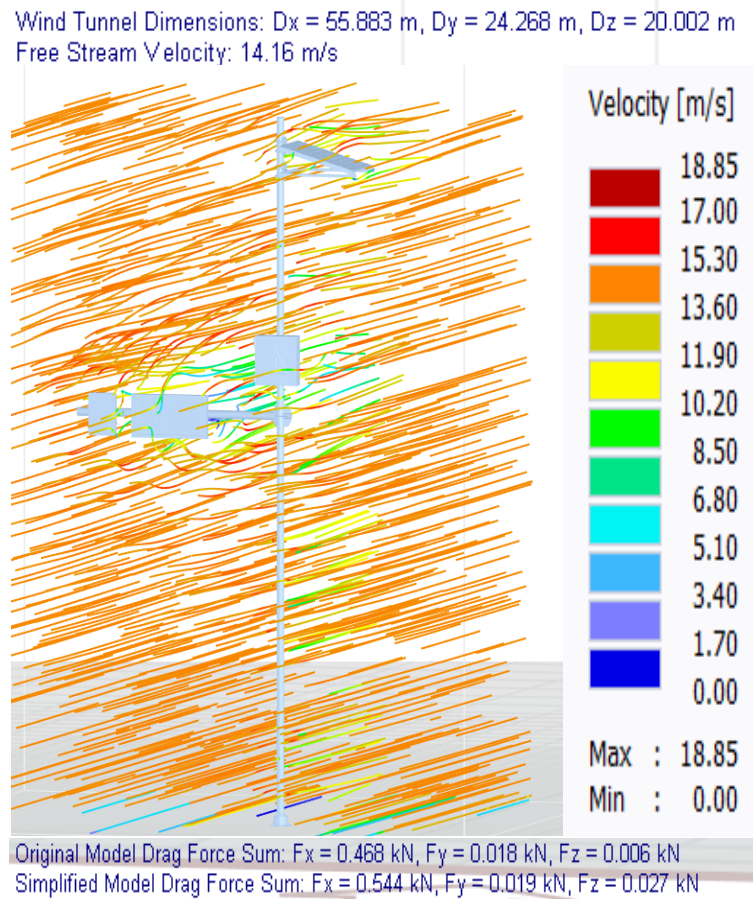


Figura 19. Comportamiento del Flujo de Aire Alrededor de la Estructura.

El software calcula la fuerza total ejercida por el viento sobre la estructura. En la Figura 19 se presentan los resultados de la simulación, donde se observa que el viento aplica fuerzas en distintas direcciones con valores de $F_x=0,468$ kN, $F_y=0,018$ kN y $F_z= 0,006$ kN. De estos, la componente en X (F_x) es la más significativa.



Dado que la estructura está fabricada principalmente con acero galvanizado reforzado y el poste metálico tiene una altura de 10 metros, un diámetro de 200mm y un espesor de 5mm, la carga de viento obtenida (0,468kN) es baja en comparación con cargas de diseño típicas para postes de esta altura, las cuales suelen superar los 2-3 kN en zonas de fuertes vientos. Esto indica que las condiciones de viento en la zona no representan una amenaza para la estabilidad estructural, ya que la fuerza del viento no es lo suficientemente intensa como para deformar o hacer caer la estructura.

Además, se analizó el flujo del viento alrededor de la estructura y los valores de velocidad predominantes en la simulación, considerando lo siguiente:

- Zonas de alta velocidad (rojo/naranja): Representan los puntos de mayor impacto del viento, con velocidades en un rango de 15,30 a 18,85m/s.
- Zonas de baja velocidad (azul/amarillo): Indican áreas donde el viento pierde velocidad, con valores comprendidos entre 0,00 y 13,60m/s.

Esto significa que, con una velocidad máxima de viento de 14,16m/s en la zona, el flujo de aire se mantiene dentro de un rango aceptable, permitiendo que las líneas de flujo conserven su organización sin generar movimientos bruscos que puedan afectar la estabilidad de la señal vertical. Además, tras el impacto con la estructura, el viento sigue un flujo estable, sin generar remolinos muy grandes detrás de la estructura, lo que indica que no se producirán vibraciones significativas que puedan afectar los componentes de la señal vertical luminosa.



Por otro lado, para complementar la simulación, la Figura 20 muestra, a través de un código de colores, cómo se distribuye la presión generada debido al impacto del viento en toda la señal vertical.

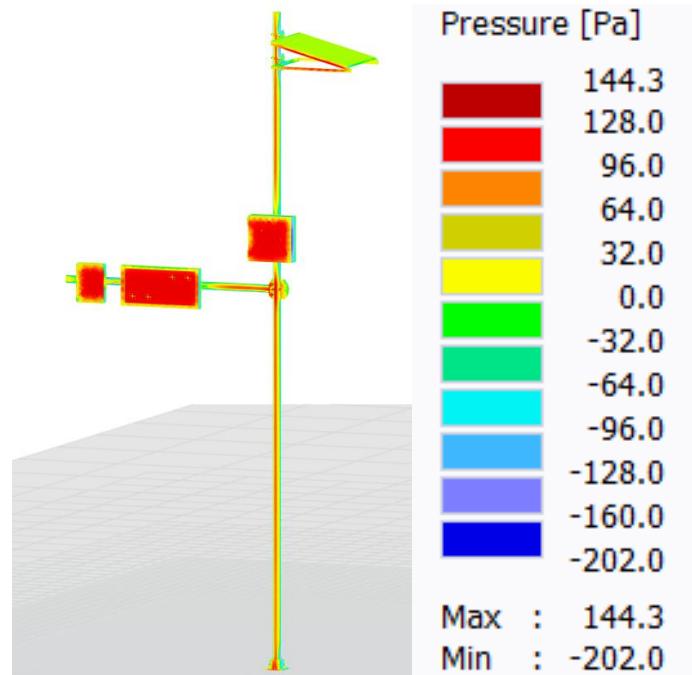


Figura 20. Distribución de la presión en la estructura.

La ilustración permitió identificar que las áreas de mayor presión (+144,3 Pa, en rojo) se concentran en las señales luminosas y el gabinete de control, lo que indica que estos elementos reciben el impacto más significativo del viento. Por lo contrario, el poste principal no presenta zonas críticas de alta presión, lo que sugiere que la fuerza del viento se distribuye de manera uniforme a lo largo de su superficie. Esto evita acumulaciones de presión en puntos específicos, reduciendo el riesgo de deformaciones o fallas en la estructura.



Además, los elementos fijados al poste pueden estar expuestos a zonas de alta presión debido al impacto del viento, lo que podría generar esfuerzos adicionales en sus puntos de anclaje. Sin embargo, el poste principal no presenta acumulaciones significativas de presión, lo que significa que su estabilidad no se verá afectada.

Finalmente, para verificar aún más la estabilidad de la estructura, el software generó resultados sobre las áreas de turbulencia alrededor del poste y sus componentes. Estas zonas fueron identificadas mediante un código de colores, permitiendo una representación visual clara, como se muestra en la Figura 21 a continuación.

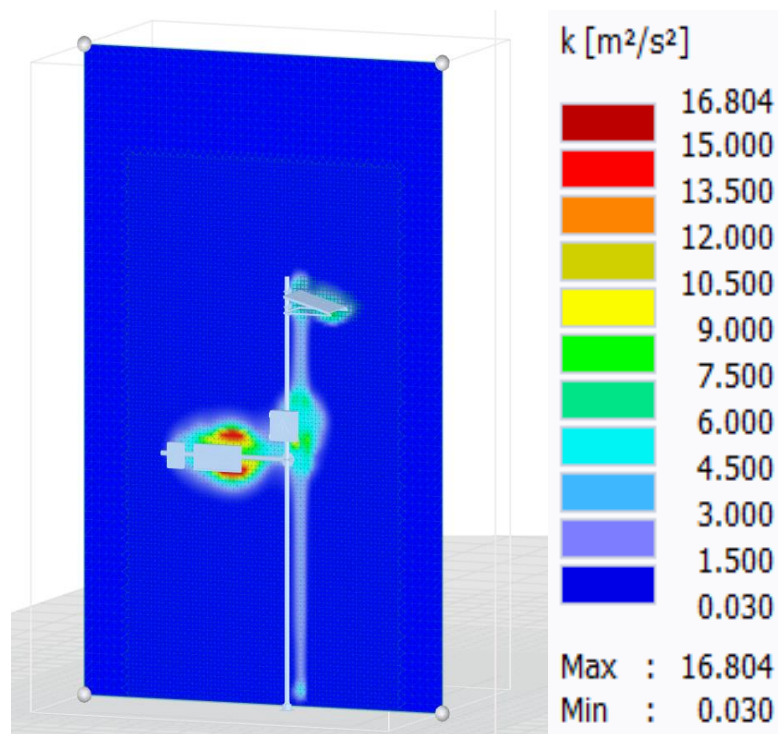


Figura 21. Análisis de turbulencia alrededor de la señal vertical.

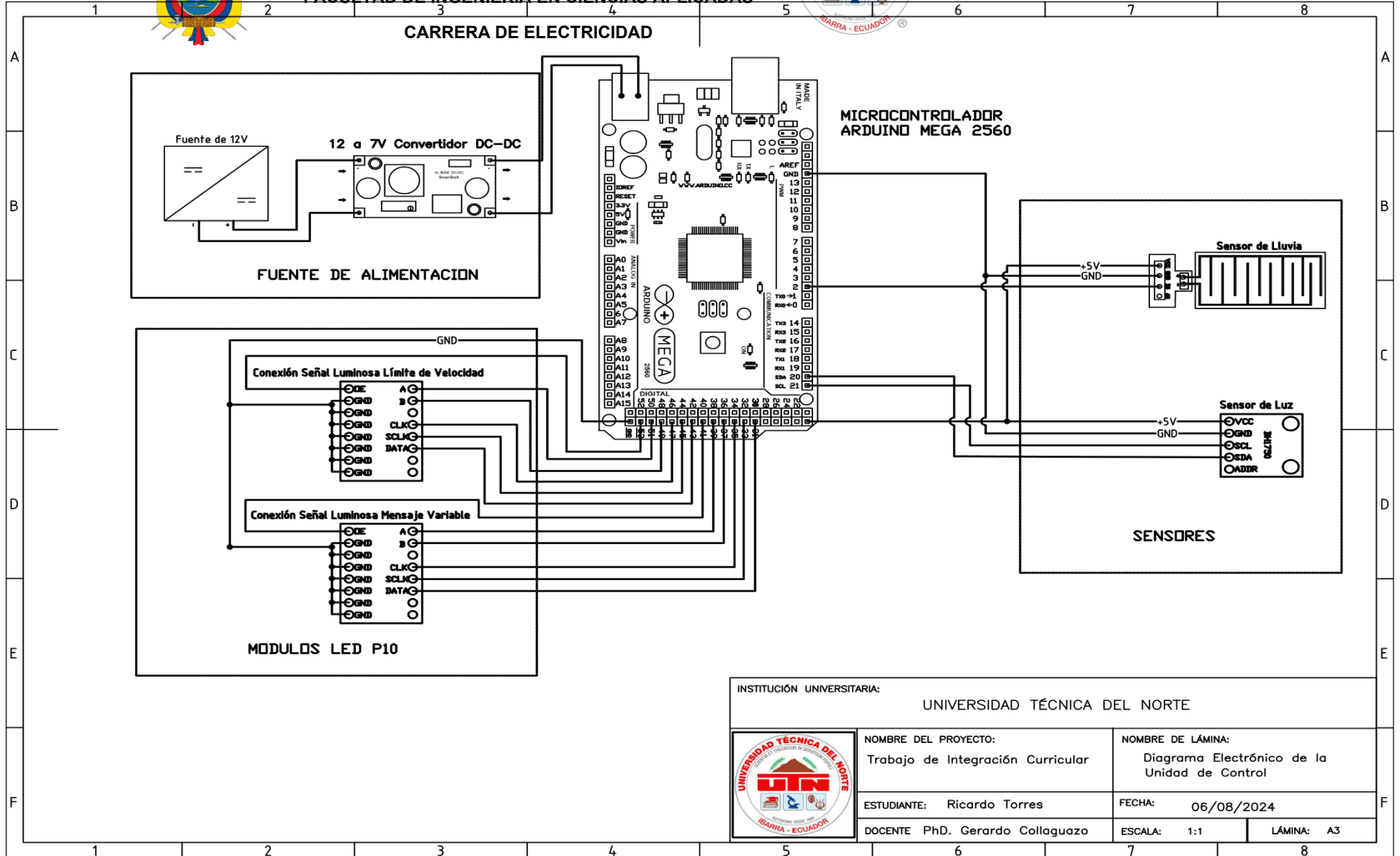


El análisis permitió identificar que las zonas de mayor turbulencia se localizan alrededor de las señales luminosas, donde se observan tonalidades en amarillo, naranja y rojo, con valores que oscilan entre $10,0 \text{ m}^2/\text{s}^2$ y $16,8 \text{ m}^2/\text{s}^2$, según la escala de colores mostrada en la imagen al lado derecho. Por otro lado, el poste principal y los demás elementos presentan colores azulados, lo que indica un flujo de viento estable sin generar turbulencias significativas en su superficie. Como resultado, la estructura mantendrá su estabilidad sin vibraciones fuertes causadas por el viento.

En resumen, con base en los resultados obtenidos por el software, se concluye que la señal vertical luminosa, fabricada en su gran parte con acero reforzado, es segura bajo el viento simulado. El flujo de aire se mantiene estable y no genera turbulencias significativas que pueden provocar inestabilidad o la caída de la estructura. Sin embargo, es fundamental asegurarse de que todos los componentes que conforman la señal, como el panel solar, su soporte, las señales luminosas y el gabinete de control, estén firmemente sujetos a la estructura para evitar que se aflojen con el tiempo.

4.5 Esquema Electrónico de la Unidad de Control

El siguiente diagrama muestra un microcontrolador Arduino MEGA 2560 programado para controlar un sistema de señalización luminosa. El circuito utiliza sensores de lluvia y de luz en el ambiente para activar los módulos LED y mostrar textos programados según las necesidades propuestas. Se ha incluido un convertidor reductor de voltaje para garantizar la seguridad de los componentes electrónicos. A continuación, en la Figura 22 se detalla el circuito electrónico.



INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA:			
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE			
	NOMBRE DEL PROYECTO:	NOMBRE DE LÁMINA:	
	Trabajo de Integración Curricular	Diagrama Electrónico de la Unidad de Control	
ESTUDIANTE:	Ricardo Torres	FECHA:	
		06/08/2024	
DOCENTE:	PhD. Gerardo Collaguazo	ESCALA:	1:1
		LÁMINA:	A3

Figura 22. Diagrama Electrónico de la Unidad de Control



4.6 Verificación del Diseño a través de Simulación

Para el control del encendido y activación de textos de la señal luminosa mediante sensores, se desarrolló un código de programación apoyándose con el software Arduino IDE. Además, para comprobar el funcionamiento del código de programación se realizó una simulación de su operación en un entorno virtual. Es importante aclarar que existe cuatro configuraciones en las que las señales luminosas muestran textos según las cuatro situaciones propuestas: Periodo Nocturno, Periodo con Lluvia, Periodo con Niebla y periodo con Lluvia y Niebla.

Para identificar la oscuridad y la presencia de niebla en estos periodos, se establecieron umbrales de detección en la simulación, equivalentes a los niveles de luz registrados por el sensor de luminosidad. En la tabla XXVII se presentan los umbrales definidos para las condiciones de Noche y Niebla.

Tabla XXVII

Umbrales de detección de luz en diferentes condiciones ambientales

Situación	Rango de medición de luminancia en el ambiente (lx)	Umbral en Simulación, valor analógico (0-1023)
Noche Total	0,001-0,02	0-20
Niebla exterior en el Ambiente	50-500	20-500



Los valores establecidos en la tabla XXVII permiten representar en la simulación la intensidad de luz en el ambiente y su equivalencia con valores analógicos, facilitando así la interpretación de noche total y neblina.

En el caso de “Noche Total”, la luminancia en el ambiente varía entre 0,001 y 0,02 lx, lo que representa una oscuridad casi completa. En la simulación, este nivel de luz se traduce a un valor analógico entre 0 – 20, lo que significa que el sensor detecta muy poca luz.

En el caso de “Niebla exterior en el ambiente”, la luz presente puede estar en un rango mucho mayor, entre 50 y 500 lx. Este escenario representa condiciones de niebla moderada a densa. En la simulación, se establece un valor analógico entre 20 y 500 en la escala analógica de 0 a 1023.

Con esta información, se presentan a continuación imágenes de la simulación, donde se observa la respuesta de los sensores y la activación de las señales luminosas en los distintos escenarios planteados.

La Figura 23 ilustra el funcionamiento de la unidad de control cuando las condiciones de iluminación en la carretera son bajas, es decir, en condiciones nocturnas. Al detectar oscuridad, el sensor de luz opera con el umbral de luminosidad predefinido y se activa enviando una señal al módulo LED 1, el cual muestra un mensaje de “80” informando el límite de velocidad permitido en estas condiciones.

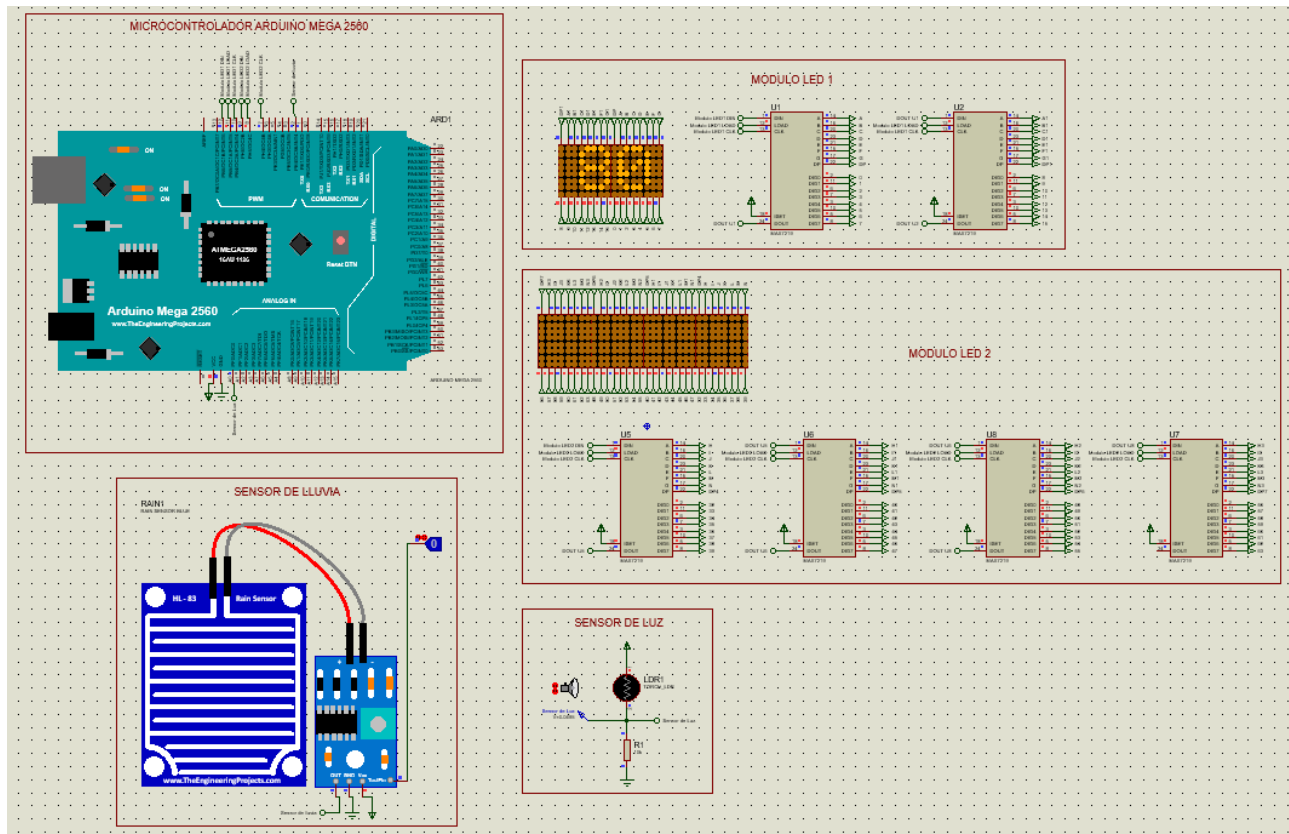


Figura 23. Simulación de la señal luminosa en condiciones nocturnas.

Ante la detección de lluvia severa en la carretera por parte del sensor de lluvia, la unidad de control activa el módulo LED 2, visualizando un mensaje de “Precaución Fuertes Lluvias” y a su vez, se indica en mensaje de “70” en el módulo LED 1, con el fin de informar el límite de velocidad permitido en tales condiciones. La Figura 24 ilustra este escenario de funcionamiento.

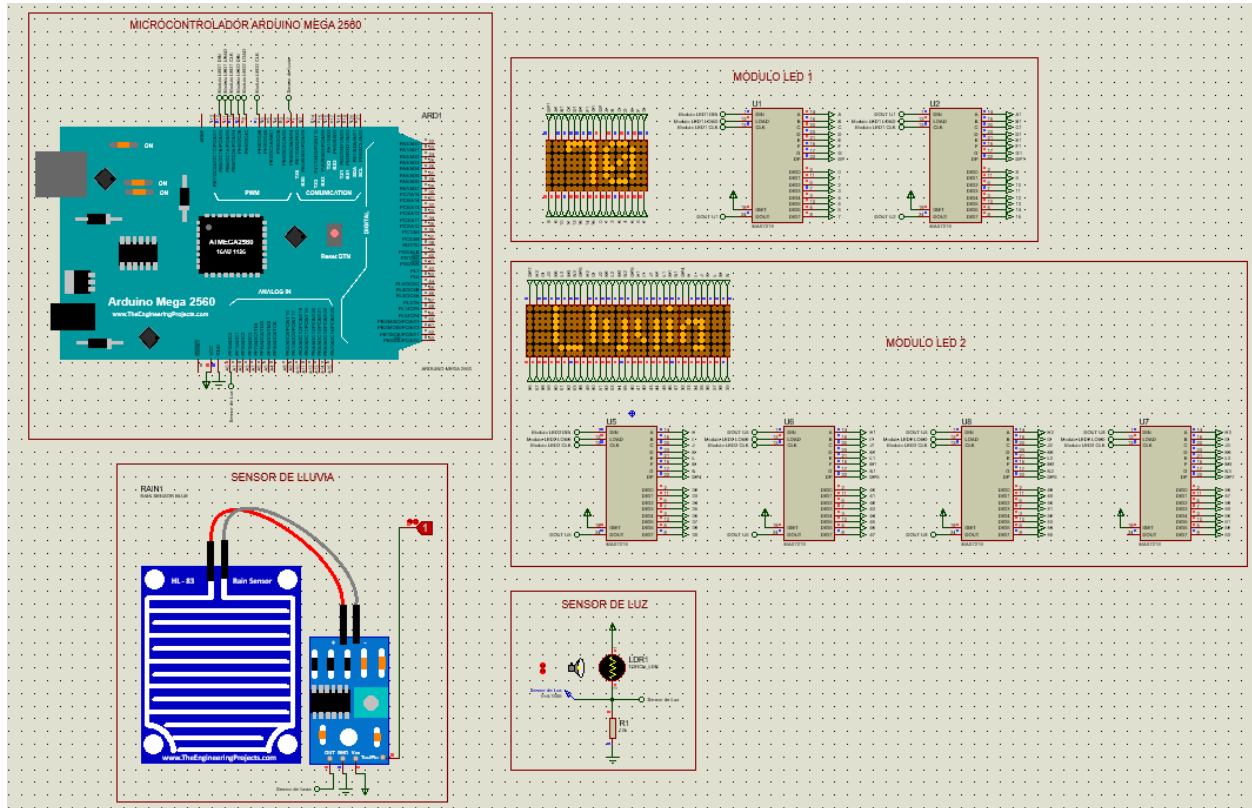


Figura 24. Simulación de la señal luminosa en un entorno lluvioso.

En caso de la presencia de niebla en la carretera, la unidad de control activa nuevamente el sensor de luz, utilizado también como detector de niebla. El sensor de luz envía una señal con respecto al umbral predefinido para estas condiciones y enciende el módulo LED 2 mostrando un mensaje de “Precaución Nieblina” y el módulo LED 1 es actualizado para indicar un límite de velocidad máximo de “60”, manteniendo informado al conductor del cambio climático en el entorno y advirtiendo el límite de velocidad permitido en estas condiciones. Este escenario se ilustra en la Figura 25 a continuación.

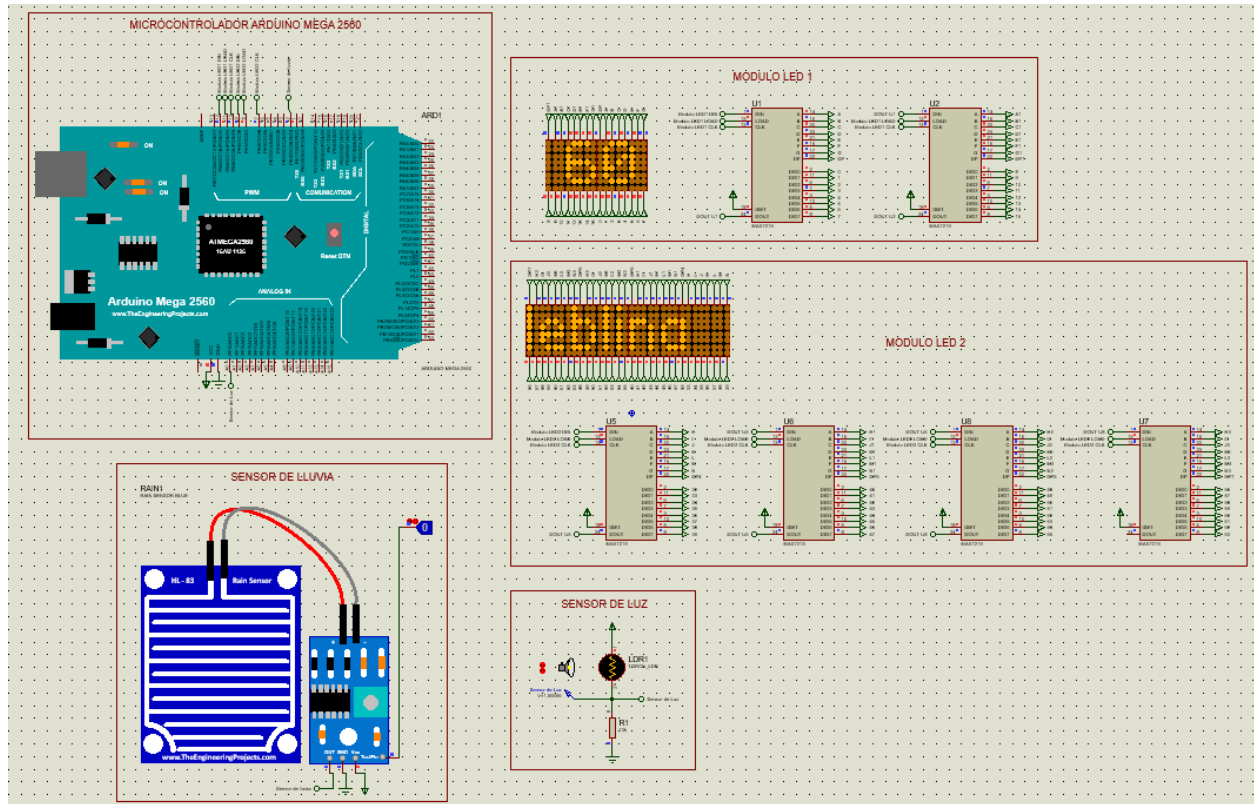


Figura 25. Simulación de la señal luminosa en condiciones de niebla en la carretera.

Por último, si existiese presencia de niebla y lluvia en la carretera, los sensores detectan este acontecimiento y mandan una señal, para que se modifique el mensaje del Módulo LED 1 a “50” y a su vez, se actualiza el mensaje en el Módulo LED 2 a “Conduzca con Precaución”, manteniendo informado al conductor con el límite de velocidad permitido en estas condiciones. En la Figura 26 se ilustra este último acontecimiento mediante el entrono virtual.

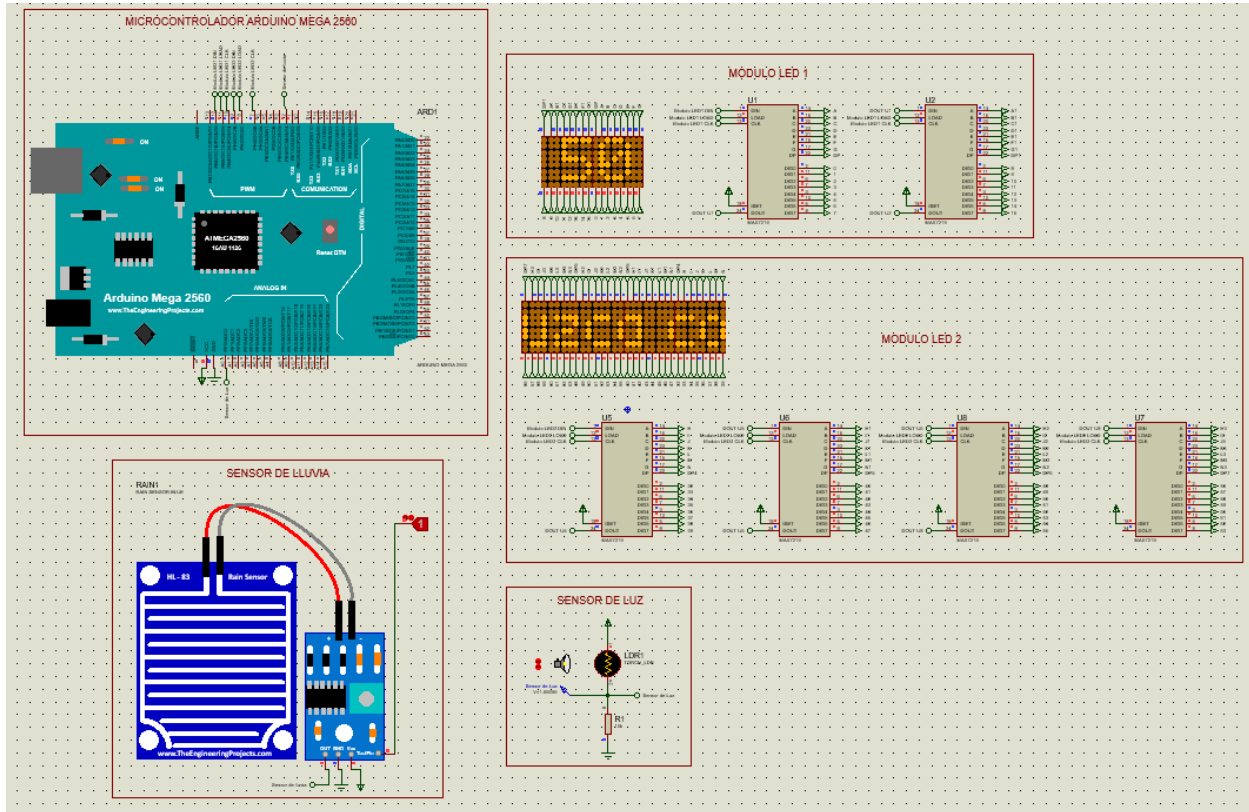


Figura 26. Simulación de la señal luminosa bajo condiciones de niebla y lluvia.

4.6.1 Flujograma para el control de la Señalización Luminosa.

Con el fin de representar de manera visual el código desarrollado en el software Arduino IDE, se elaboró un diagrama de flujo. Asimismo, el código fuente puede consultarse en el Anexo I. La Figura 27 representa el proceso de manera estructurada y organizada entendiendo así el diseño de la lógica detrás del programa.



Figura 27. Diagrama de flujo del control para señales luminosas.



A continuación, se presenta una descripción resumida del código desarrollado para el sistema de señalización luminosa.

1. Inicio: Se inicializa y configura la comunicación serial y los módulos LED.

2. Lectura de Sensores: Se leen los valores del sensor de luz y lluvia.

3. Evaluación de Condiciones:

- Oscuridad detectada:

- Se compara el valor del sensor de luz con el umbral predefinido para la noche.

- Si el valor del sensor de luz es menor que el umbral:

- Muestra "80" en el módulo LED 1.
- Limpia el módulo LED 2

- Si no se detecta oscuridad:

- Evalúa si se detecta lluvia.

- Lluvia detectada:

- Si el sensor de lluvia detecta precipitación:

- Cambia el mensaje del módulo LED 1 a "70".
- Muestra "Precaución Lluvia" en el módulo LED 2.

- Si no se detecta lluvia:



- Evalúa si se detecta neblina.

- Neblina detectada:

- Se compara el valor del sensor de luz con el umbral predefinido para neblina.

- Si el valor del sensor de luz es menor que el umbral:

- Cambia el mensaje del módulo LED 1 a "60".
- Muestra "Precaución Niebla" en el módulo LED 2.

- Si no se detecta neblina:

- Evalúa si se detecta niebla y lluvia.

- Niebla y lluvia detectada:

- Se detecta lluvia y compara el valor del sensor de luz con el umbral predefinido para neblina.

- Cambia el mensaje del módulo LED 1 a "50".
- Muestra "Conduzca con precaución" en el módulo LED 2.

- Si no se detecta niebla y lluvia:

- Evalúa si ninguna condición se cumple.

- Ninguna condición se cumple:

- Limpia los módulos LED 1 y 2



4. Repetición del Proceso: Vuelve a leer los sensores y repetir el proceso.

4.7 Inversión Total Estimada del Proyecto

En esta sección se realizó la evaluación de los componentes que integrarán el sistema de señalización vertical luminosa fotovoltaica, considerando precios de mercados actuales de los equipos y elementos que se optó para este diseño. La información correspondiente se presenta en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII

Precio estimado para la instalación de un sistema de señalización luminosa con energía solar

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio de Costo \$
Panel solar monocristalino POWEST 300 W	U	1	120,00	120,00
Soporte para panel solar	U	1	53,00	53,00
Gabinete Metálico	U	1	95,63	95,63
Modulo LED P10 de 15W	U	6	7,60	45,60
Poste de acero galvanizado 10m	U	1	58,00	58,00
Brazo de acero galvanizado para poste 3m	U	1	58,00	58,00
Abrazaderas metálicas con accesorios	U	6	16,99	101,94
Riel de Fijación	U	6	3,81	22,86
Batería POWEST 12V/200Ah GEL	U	1	446,09	446,09
Controlador de Carga MPPT 20A	U	1	82,00	82,00
Interruptor termomagnético Unipolar 16 A	U	2	10,00	20,00
Interruptor termomagnético Unipolar 32 A	U	1	10,00	10,00
Interruptor Diferencial Bipolar 16A	U	2	29,12	58,24
Reductor Buck DC XWST	U	1	13,51	13,51
Convertidor Boost – Buck DC a DC	U	1	3,00	3,00
Microcontrolador Arduino MEGA 2560	U	1	25,00	25,00
Sensor de lluvia Y1-83	U	1	2,90	2,90



Sensor de luz BH1750	U	1	4,20	4,20
Conductor 14 AWG THHN	M	8	0,36	2,88
Conductor 12AWG THHN	M	12	0,52	6,24
Conductor 10 AWG THHN	M	2	0,84	1,68
Conductor 18 AWG SPT	M	1	0,40	0,40
Cable de transmisión de datos UTP	M	6	0,55	3,30
Subtotal				1234,44
Mano de obra (40%)				493,78
IVA (15%)				186,17
Otros gastos (3%)				37,03
Total, de inversión estimada				\$ 1951,42

La Tabla XXVIII muestra un total de inversión de \$ 1951,42 USD en este proyecto, considerando que es un valor estimado total que se invierte para la señalización vertical luminosa fotovoltaica esto con el objetivo de obtener una cifra que permita tener una idea clara de la inversión inicial para llevarlo a cabo.

4.8 Modelado Estructural y Eléctrico en Revit

El diseño final del sistema de señalización luminosa fotovoltaica se desarrolló en el software Revit con el objetivo de presentar de manera conceptual el modelo 3D del proyecto. A continuación, en la Figura 28 se presenta el resultado obtenido mediante un modelo 3D, el cual incluye la vista frontal, posterior e isométrica.

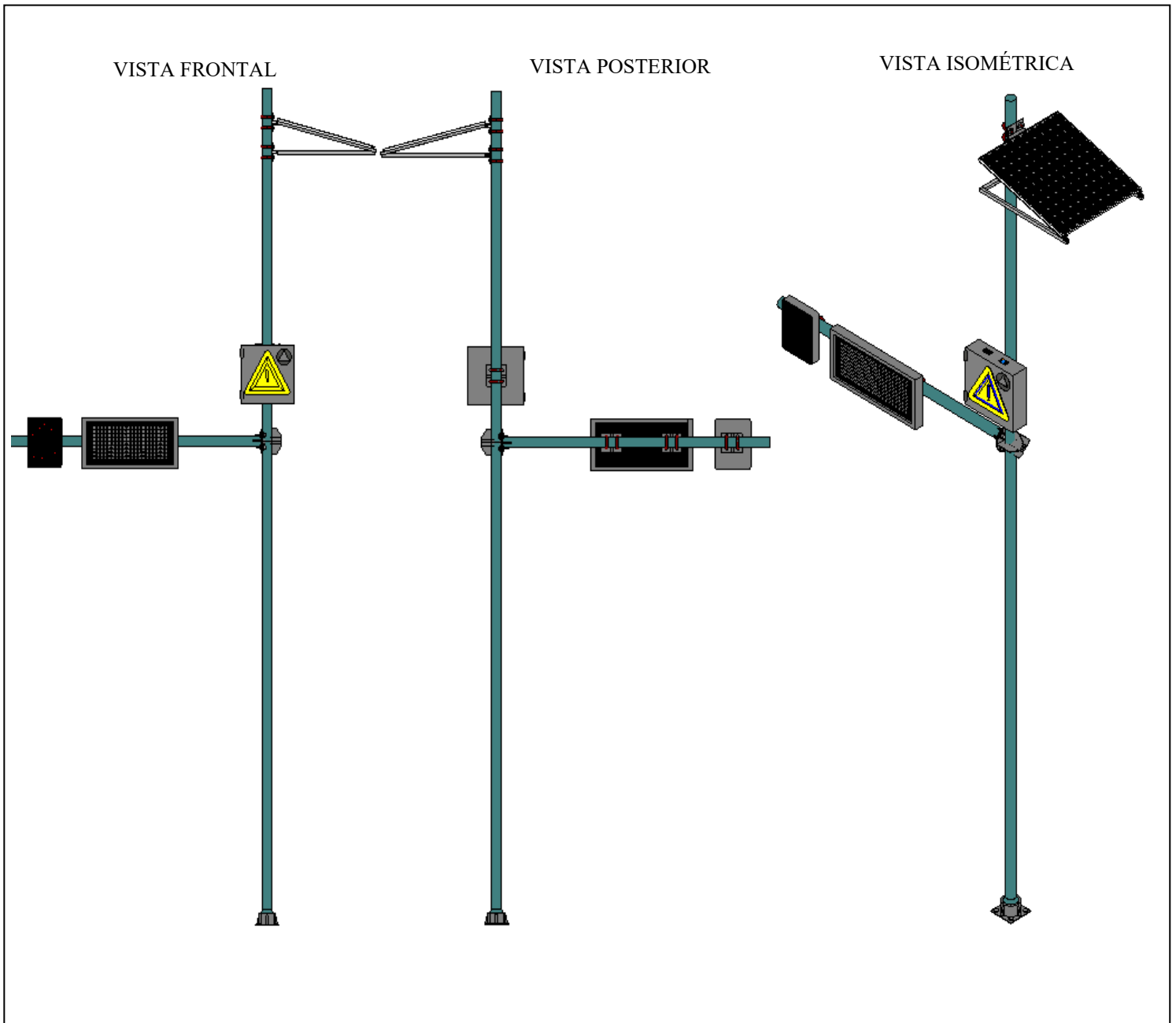


Figura 28. Modelo 3D de la señal vertical luminosa con alimentación fotovoltaica.



De igual manera, la Figura 29 ilustra el tablero de control junto con sus elementos internos, con la finalidad de proporcionar una representación gráfica y conceptual de las conexiones internas y la distribución de cada componente eléctrico y electrónico dentro del tablero de control.

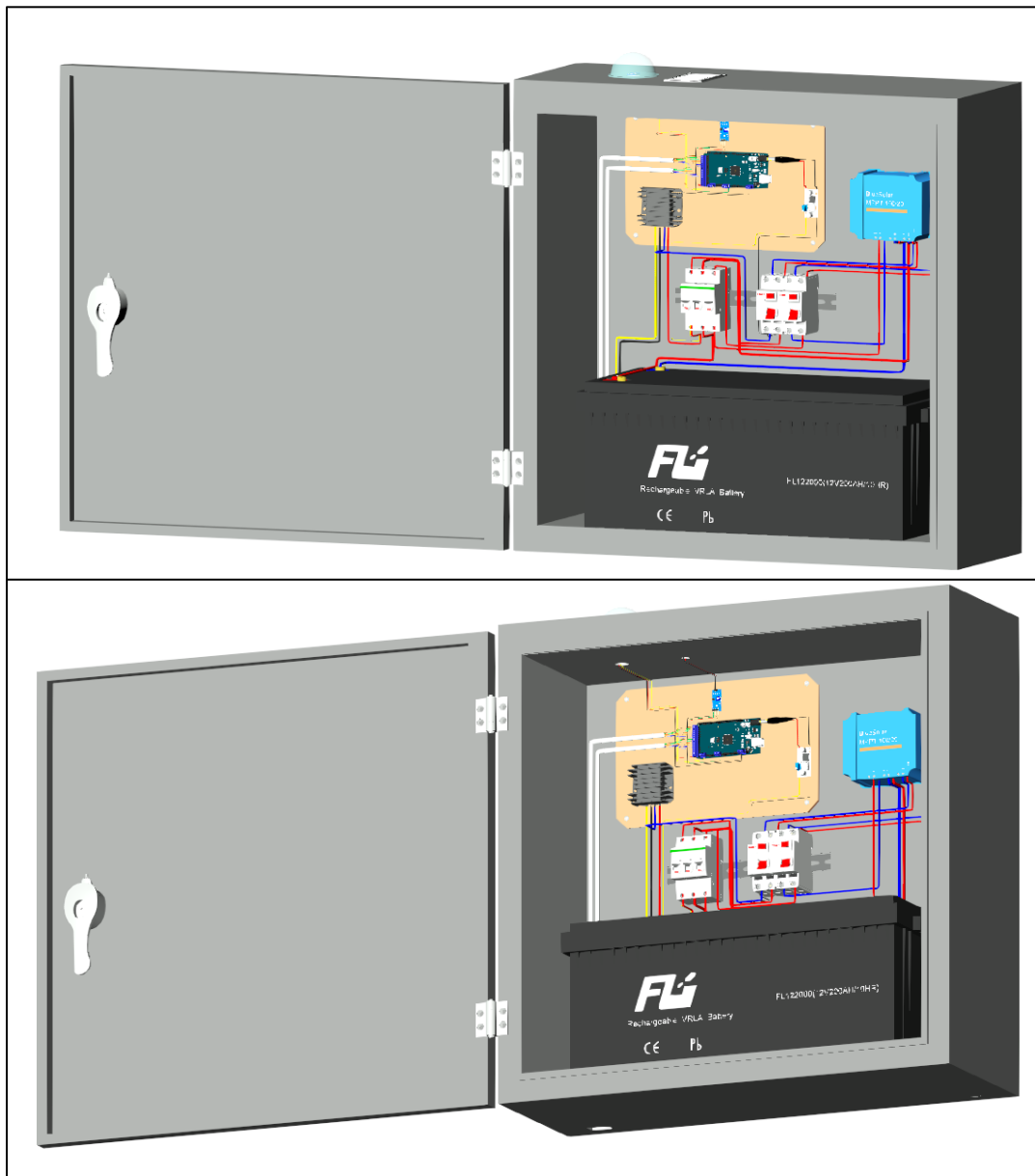


Figura 29. Modelo 3D del Tablero de Control.



Además, la Figura 30 ilustra de manera detallada la disposición y conexiones tanto de los dispositivos electrónicos como los eléctricos dentro del gabinete, incluyendo el Arduino Mega 2560, el módulo convertidor de voltaje XL6009 para alimentar al microcontrolador, el reductor de voltaje DC XWST, sensores de detección, batería, dispositivos de protección y controlador de carga.

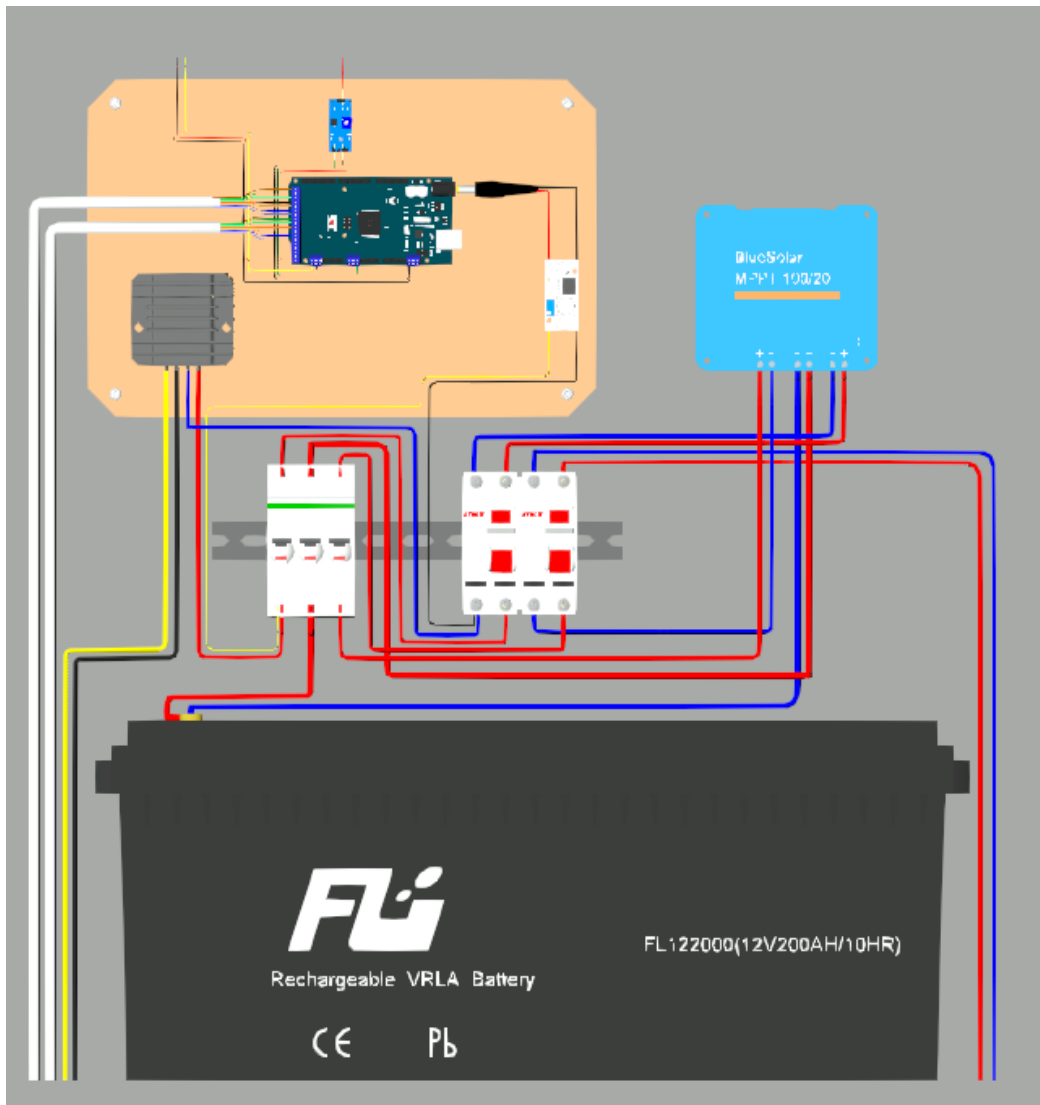


Figura 30. Conexiones internas del circuito eléctrico y electrónico.



Sumado a esto, la Figura 31 seguidamente, proporciona un enfoque más cercano a los detalles del sistema de cableado y distribución de los elementos electrónicos, brindando una representación más precisa de los puntos de conexión del circuito electrónico.

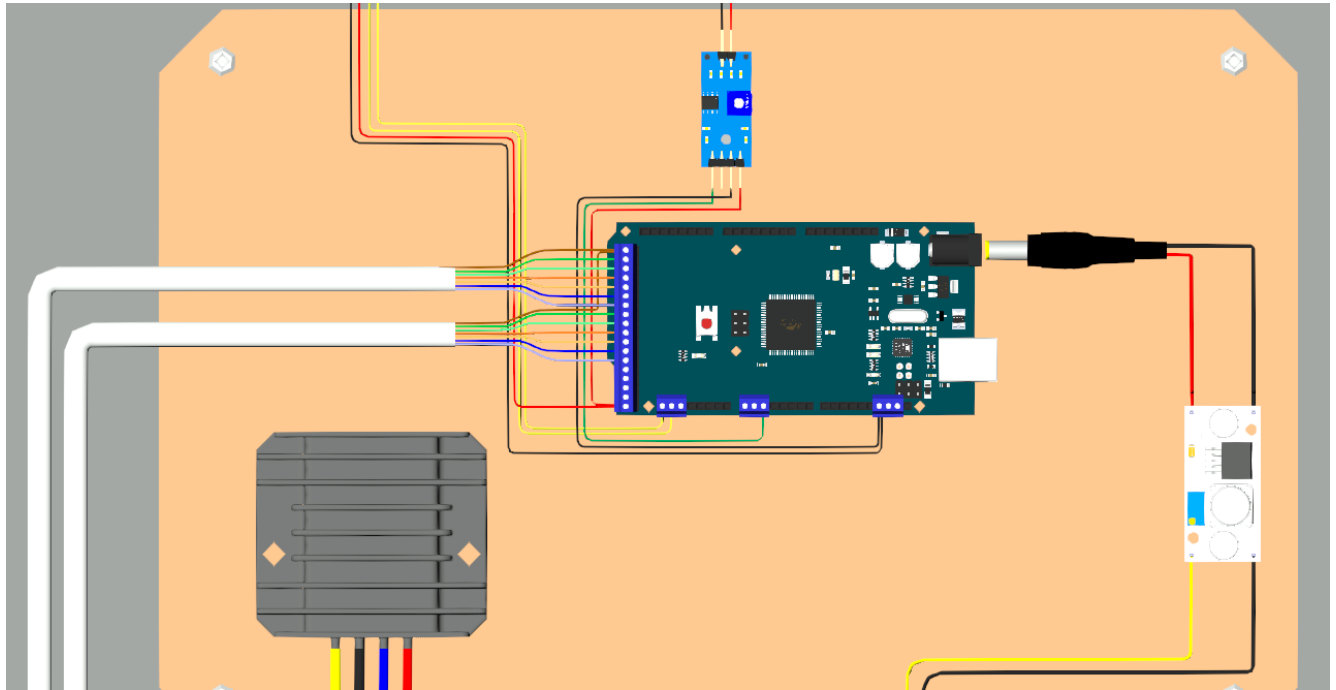


Figura 31. Cableado y Distribución del Circuito Electrónico.

Por último, se llevó a cabo una representación 3D de la instalación y ubicación de la señalética vertical luminosa fotovoltaica a lo largo del tramo vial Otavalo-San Pablo, de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en las normas INEN 004, artículos 5.8.1. y 5.8.3.2. La Figura 32 detalla la disposición de las señaléticas a lo largo del tramo vial acorde a lo señalado.

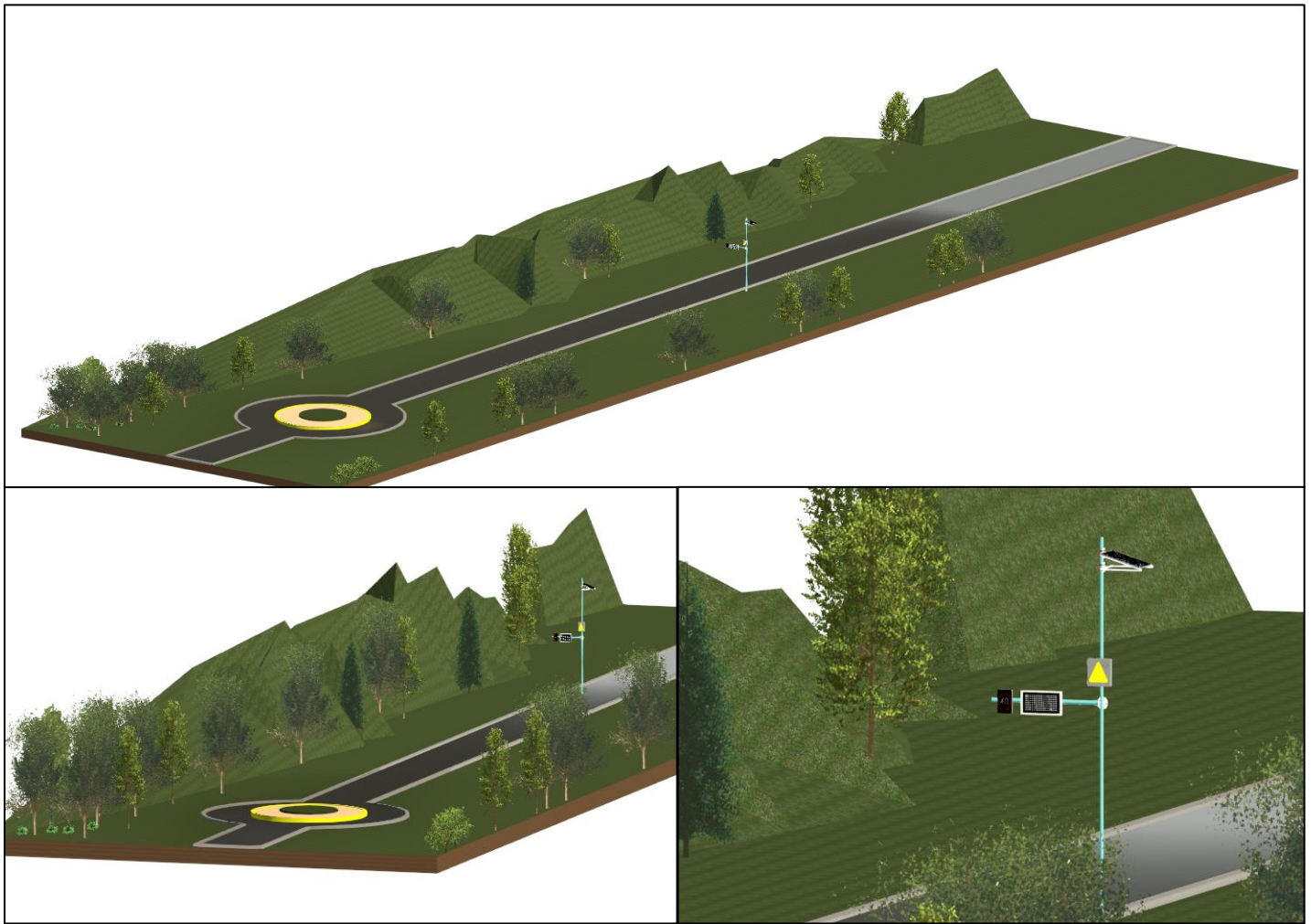


Figura 32. Modelado 3D de la ubicación de la señalética en el tramo vial.



Conclusiones

El estudio de las condiciones actuales de señalización vertical en carreteras caracterizadas por una limitada visibilidad en condiciones climáticas adversas y la falta de acceso a la red eléctrica pública, se ha evidenciado la necesidad de implementar soluciones autónomas y sostenibles. A través de un estudio detallado de los sistemas fotovoltaicos, sus componentes y su dimensionamiento, se comprobó la viabilidad de estas tecnologías para alimentar señales luminosas que mejoren a la seguridad vial. Por ende, se propuso diseñar un sistema fotovoltaico autónomo sin conexión a la red eléctrica, que sea capaz de ofrecer un funcionamiento apto para tramos viales con dichas características.

Se llevó a cabo el dimensionamiento basado en el consumo diario calculado de las cargas y las lecturas solares del lugar de estudio, donde permitió obtener una potencia de 662,6 Wh/día durante las 12 horas aproximadamente que se encontrará en funcionamiento, a partir de este valor, resultó que la potencia del sistema fotovoltaico debe ser de 268Wp capaz de cubrir el consumo de energía de la señalización vertical luminosa, y por consiguiente se seleccionó la capacidad de los paneles solares, batería y regulador de carga con sus características específicas y protecciones para el sistema fotovoltaico.

Con el diseño realizado en Revit y Arduino IDE, fue posible visualizar el modelado estructural, eléctrico y electrónico, así como comprobar el comportamiento del código para el control de las señales luminosas. El diseño se orientó hacia la elaboración de una propuesta técnica en donde incluyen, planos eléctricos, electrónicos, estructurales, ubicación y materiales de



construcción, asegurando que el diseño cumpla con los requerimientos técnicos y normativos establecidos. Además, se estimó un costo de inversión total aproximado del proyecto basado en el precio unitario de cada elemento que se encuentra en el mercado comercial, con el fin de realizar una futura implementación.

Recomendaciones

Se sugiere explorar la viabilidad de instalar sistemas de señalización luminosa fotovoltaica en tramos viales con diferentes condiciones técnicas o ambientales, a fin de evaluar su adaptabilidad a distintos contextos; asimismo, se recomienda considerar la implementación de sistemas híbridos que combinen energía fotovoltaica con otras fuentes de energía renovable o generadores de respaldo, para garantizar el funcionamiento continuo en áreas donde las condiciones solares no sean suficientes durante todo el año.

Para asegurar un dimensionamiento más preciso del sistema fotovoltaico, se recomienda realizar el cálculo del consumo energético a partir de mediciones en condiciones reales de las cargas en funcionamiento, esto conlleva a seleccionar con mayor exactitud la capacidad de los paneles solares, batería y regulador, evitando sobredimensionamiento.

El presente estudio se llevó a cabo utilizando un modelo virtual 3D y técnicas de simulación, con lo que se recomienda validar el diseño a través de la implementación de un prototipo en condiciones operativas reales que evalúe parámetros como el rendimiento energético y el consumo real, junto con la resistencia del prototipo.



Referencias

- [1] PARKING FACIL SL, «Parking Fácil,» [En línea]. Available: <https://www.parkingfacil.com/26-senalizacion-luminosa>. [Último acceso: 23 Agosto 2021].
- [2] Empresa Pública de Movilidad del Norte - MOVILDELNOR EP, «Empresa Pública de Movilidad (EPM),» 20 Mayo 2022. [En línea]. Available: https://www.movidelnor.gob.ec/webepm/uniportalepm/category/boletines_de_prensa/page/12/.
- [3] Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical., 2011.
- [4] K. R. Orozco Jaramillo y Á. J. Ordóñez Mandieta, «Diseño e implementación de una red de sensores para el monitoreo de los niveles de radiación solar en la ciudad de Loja,» MASKAY, vol. 10, n° 1, pp. 44-55, 2020.
- [5] A. M. Vélez Quiroz , «Estudio de la Eficiencia de los sistemas fotovoltaicos y su impacto socio económico en la zona rural del Cantón Chone, Manabí, Ecuador,» Revista de investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología (RIEMAT), vol. 3, n° 1, pp. 23-29, 2020.
- [6] O. Periñan Lamigueiro, Energía Solar Fotovoltaica, Creative Commons, 2020.
- [7] Á. A. Bayod Rújula, Energías renovables: sistemas fotovoltaicos, Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza, 2009.
- [8] I. Candial Benavente, «Universidad Carlos III de Madrid: Biblioteca,» 06 Octubre 2015. [En línea]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23575>.
- [9] HiPower, «Qué es y cómo funciona un sistema híbrido de energía solar,» Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://blog.hipowercr.com/que-es-y-como-funciona-un-sistema-hibrido-de-energia-solar>.
- [10] M. P. Zambrano Jimenez, Viabilidad de una planta fotovoltaica flotante para suministrar energía eléctrica en el alto baudo (Chocó), Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2022.
- [11] F. Rodríguez Mas, A. Ruiz Gómez y D. Valiente García, Apuntes Sobre la Energía Fotovoltaica, Universidad Miguel Hernández, 2022.



- [12 M. Baselga, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, España: Editorial Editex, 2019.
]
- [13 M. Sánchez Fraile, *Desarrollo de una herramienta para el modelado del comportamiento eléctrico de células solares*, 2019.
]
- [14 G. Carmona Rubio y T. Díaz Corcobado, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, Graw-Hill Ciclos Formativos, 2018.
]
- [15 K. A. Benites Cordova, *Diseño de un Sistema Fotovoltaico Flotante para Mejorar el Acceso a la Energía Eléctrica en las Localidades Ubicadas Sobre la Superficie del Lago Titicaca en el Perú*, Callao: [Tesis de grado. Universidad Nacional de Callao], 2021.
]
- [16 S. Sartore, *Artist, Diseño e implementación de un regulador de carga solar para baterías de litio*. [Art]. Universidad de La Laguna, 2021.
]
- [17 M. Herrera y B. Franco, *Artists, Evaluación del rendimientos de paneles fotovoltaicos bajo las condiciones ambientales de Guayaquil*. [Art]. Universidad Politecnica Salesiana Sede Guayaquil, 2022.
]
- [18 P. Caceres, *Artist, Diseño de un regulador de carga P.W.M para instalaciones fotovoltaicas*. [Art]. Universidad Mayor de San Andres, 2018.
]
- [19 L. Romero, *Artist, Implementación de un sistema solar fotovoltaico para la generación eléctrica mediante paneles policristalinos*. [Art]. Instituto Superior Tecnológico Vida Nueva, 2021.
]
- [20 Mipanel solar, «Como elegir un regulador de carga solar: MPPT vs PWM,» 5 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://mipanel solar.com/blog/regulador-de-carga-solar-mppt-vs-pwm>.
]
- [21 J. Trashorras, *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*, Primera ed., Madrid: Paraninfo, S.A., 2021.
]
- [22 Prostar, «Cómo funciona el regulador de carga solar PWM,» 27 Octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.prostarsolar.net/es/como-funciona-el-regulador-de-carga-solar-pwm.html>.
]
- [23 P. García, *Energía solar fotovoltaica para todos*, Segunda ed., Marcombo, S.L., 2022.
]
- [24 J. Castro, M. Domínguez y R. Villaseñor, *Artists, Sistemas de almacenamiento mediante baterías electroquímicas. Contribución a la integración de energías renovables..* [Art]. Universidad Carlos III de Madrid, 2019.
]



- [25 D. Gruezo y V. Solis, «Inversores inteligentes de energía solar fotovoltaica,» Polo del Conocimiento 2022, vol. VII, pp. 1253-1253, 2022.
- [26 C. Cortés, G. Gómez, F. Betancur, S. Carvajal y N. Guerrero, «Análisis experimental del desempeño de un sistema solar fotovoltaico con inversor centralizado y con microinversores: caso de estudio Manizales,» TecnoLógicas, vol. XXIII, pp. 4-4, 2020.
- [27 V. De la Cruz, Artist, Sistema fotovoltaico autónomo para mayor disponibilidad de energía eléctrica en Senati. [Art]. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2020.
- [28 E. De la Cruz, Artist, Estudio proyecto técnico de la señalización vial horizontal y vertical en las calles Simón Rodríguez y Diez de Agosto, ubicado en la parroquia Eloy Alfaro en la ciudad de Latacunga. [Art]. Universidad de las Fuerzas Armadas, 2020.
- [29 Grupo Empresarial Villar, «Catálogo Señalización con iluminación led,» 17 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.grupovillar.es/sites/all/themes/personalizado/pdf/catalogo-led.pdf>.
- [30 Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN), Accesibilidad de las personas al medio físico. Señalización. Requisitos y clasificación, Quito, Pichincha, 2018, 06 de diciembre.
- [31 Art+Com, «Google Earth,» 25 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://earth.google.com/web/@0.21649266,-78.26211168,2596.66849296a,1489.00472727d,30.00000234y,-0h,0t,0r/data=MikKJwoICiExOTJ1eTdfMkN1NW1uZWtSRURReWFNR0hGdTNQcFZYt2sgAToDCgEw>. [Último acceso: 10 Octubre 2023].
- [32 METEORED, «Meteored Tiempo.com,» 26 Marzo 2024. [En línea]. Available: <https://www.tiempo.com/ecuador/otavalo/por-horas>. [Último acceso: 26 Marzo 2024].
- [33 METEORED tiempo.com, «Consideraciones básicas sobre la visibilidad atmosférica: el problema de su cuantificación,» 3 Marzo 2006. [En línea]. Available: <https://www.tiempo.com/ram/2416/consideraciones-bsicas-sobre-la-visibilidad-atmosfrica-el-problema-de-su-cuantificacin/>. [Último acceso: 11 Enero 2024].
- [34 LaLibre.net, «Community Networks,» 2020. [En línea]. Available: <https://cnlearning.apc.org/es/resources/power-data-access-viewer/>.
- [35 L. F. Torrizo y A. Don Africa, «Next-Hour Electrical Load Forecasting using an Artificial Neural Network,» International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering, vol. VIII, nº 3, pp. 832 - 835, Junio 2019.
- [36 P. Echeverri Montes, «¿Qué es y cómo se utiliza Revit?,» 11 Noviembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.echeverrimontes.com/blog/que-es-y-para-que-se-utiliza-revit>. [Último acceso: 20 Enero 2024].



- [37 NKE CAD Systems , «Revit de Autodesk, ¿Qué es, para qué sirve y cómo usarlo?,» 14 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.nke360.es/revit-que-es-novedades-autodesk/>. [Último acceso: 20 Enero 2024].
- [38 WordPress.com, «IDE Arduino - Aprendiendo Arduino,» 11 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/12/11/ide-arduino/>. [Último acceso: 20 Enero 2024].
- [39 F. Ayala y K. Zambonimo, «Herramientas de desarrollo: Tinkercad, Arduino IDE y Microchip Studio,» Quito, 2023.
- [40 Proyecto Arduino, «Arduino MEGA 2560,» [En línea]. Available: <https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/>. [Último acceso: 21 Enero 2024].
- [41 Proyectos Electronicos, «Como Hacer Letreros LED Programables,» 24 Junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.proyectoselectronicoss.com/letreros-led-programables/>. [Último acceso: 30 Enero 2024].
- [42 Shenzhen Eager LED CO., LTD, Product Description: P10 Out Door Led Display Module] [Datasheet PDF].
- [43 Huizhou Xinwei Technology Co. ,Ltd., XWST DC DC Converters Manufacturee] [Datasheet].
- [44 AliExpress, «onvertidor Boost Buck DC-DC ajustable, módulo de voltaje Solar XL6009,» [En línea]. Available: <https://es.aliexpress.com/i/32750837094.html#nav-specification>. [Último acceso: 24 Enero 2024].
- [45 VAISALA, «Y1-83 Rain Detector,» 2015.]
- [46 Naylamp Mechatronics, «Tutorial Módulo Sensor de Luz BH1750,» 2016. [En línea]. Available: https://naylampmechatronics.com/blog/44_tutorial-modulo-sensor-de-luz-bh1750.html. [Último acceso: 23 Enero 2024].
- [47 Moviltronics S.A.S., «Sensor de luz BH1750,» 15 Enero 2020. [En línea]. Available: <https://moviltronics.com/tienda/sensor-bh1750/>. [Último acceso: 22 Julio 2024].
- [48 N. Macías, Artist, Diseño de prototipo de carga para vehículos eléctricos basado en sistemas. [Art]. Universidad Nacional Abierta y a Distancia – UNAD, 2022.
- [49 J. Burdick y P. Schmidt, Install your own solar panels: Desing and Installing a Photovoltaic System to Power Your Home, Infinity Googolplex, 2017.



- [50 J. A. Pérez Zulueta, Artist, *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN FOTOVOLTAICO MEDIANTE TECNOLOGÍA LED PARA EL PARQUE CENTRAL DE LA PROVINCIA DE JAÉN - CAJAMARCA*. [Art]. Universidad Nacional de Jaén, 2019.
- [51 V. H. Chiluiza Briones y J. A. Bravo Contreras, «Implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer de energía a un sector rural del Golfo de Guayaquil mediante el análisis de carga y simulación por software,» *Polo del Conocimiento*, vol. VIII, nº 2, p. 34, Febrero 2023.
- [52 O. O. Apeh, E. L. Meyer y O. K. Overen, «Modeling and experimental analysis of battery charge controllers for comparing three off-grid photovoltaic power plants,» *Heliyon*, nº 7, pp. 2-13, 2021.
- [53 M. Pareja Aparicio, *Cálculo de una instalación aislada*, Tercera ed., Barcelona: Marcombo, 2020.
- [54 C. Pérez, Artist, *Estudio del Sector Fotovoltaico en España. Proyecto de Instalación Fotovoltaica 100 kWp*. [Art]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Sevilla, 2011.
- [55 P. D. Valdiviezo Salas, Artist, *DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA A 15 COMPUTADORAS PORTÁTILES EN LA PUCP*. [Art]. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2014.
- [56 *Rethinking the Future*, «Protecciones Fotovoltaicas: garantizando la eficiencia y seguridad de un sistema solar,» 4 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://mintforpeople.com/noticias/protecciones-fotovoltaicas/>. [Último acceso: 29 Enero 2024].
- [57 Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), *Señalización Vial. Parte 1. Señalización Vertical*, Primera ed., Quito: Reglamento Técnico Ecuatoriano, 2011, pp. 88-215.
- [58 NASA (.gov), «NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER),» *Data Access Viewer (DAV)*, 2024. [En línea]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- [59 *Global Wind Atlas, Energy Data.Info*, «Global Solar Atlas,» [En línea]. Available: <https://globalsolaratlas.info/map?s=0.217235,-78.262101&m=site&c=0.217323,-78.261108,11&pv=small,180,2,1>.
- [60 Lumikon, «Cable eléctrico: Tipos y calibres,» 10 Septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.lumikon.com.mx/blogs/glosario-de-iluminacion/eligiendo-el-cable-electrico-adecuado>. [Último acceso: 08 10 2024].
- [61 *Disensa, Ficha Disensa THHN UNILAY* 2023, pp. 2-2.]



- [62 SATRA Communications Products, «Hoja Técnica Cable sólido U/UTP Categoría 6,» [En línea]. Available: https://satra.pe/wp-content/uploads/2024/09/Ft_Cable_solido_U_UTP_Categoria_6_LSZH-23AWG-2024.pdf. [Último acceso: 15 Junio 2024].
- [63 CODENSA, Reglamento ET204 "Postes metálicos para alumbrado público", 2015, 16 de marzo .
- [64 Ventusky, «Ventusky,» [En línea]. Available: <https://www.ventusky.com/?p=0.231;-78.273;11&l=gust&w=fast>. [Último acceso: 11 Marzo 2025].
- [65 A. Hernández, Artist, Análisis económico de un sistema de almacenamiento para la disminución de desvíos de producción en un parque eólico. [Art]. Universidad de Sevilla, 2016.
- [66 Solargis, «Global Solar Atlas,» [En línea]. Available: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=0.217403,-78.262836,11&m=site&s=0.217699,-78.262437>. [Último acceso: 10 Octubre 2023].
- [67 C. D. Petrel Higueta, Artist, DISEÑO DE SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO AISLADO E INDIVIDUAL EN EL CORREGIMIENTO BOCAS DEL ATRATO-TURBO. [Art]. Universidad de Antioquia, 2021.
- [68 Weather Spark, «El clima y el tiempo promedio en todo el año en Otavalo,» Diciembre 2023. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/20032/Clima-promedio-en-Otavalo-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>. [Último acceso: 20 Diciembre 2023].
- [69 N. Á. Bejarano Bejarano, Artist, DISEÑO DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA SOLAR PARA ILUMINACIÓN EXTERNA DEL MODULAR DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA EN ECOTURISMO. [Art]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, 2011.
- [70 Eliseo Sebastián Energía Solar , «Fusibles Paneles Solares,» 29 Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://eliseosebastian.com/fusibles-en-los-sistemas-fotovoltaicos/>. [Último acceso: 29 Enero 2024].
- [71 Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción. Instalaciones Eléctricas, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), 2018.
- [72 L. P. Umaquina Farinango, Artist, DISEÑO DE UNA ESTACION DE CARGA PARA VEHICULOS ELECTRICOS DE DOS RUEDAS EN EL EDIFICIO DE LA CARRERA DE ELECTRICIDAD DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DEL NORTE UTILIZANDO SISTEMA DE GENERACION SOLAR FOTOVOLTAICO.. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2024.



[73 F. S. Santander Ocles, Artist, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICO PARA EL CAMBIO DE LUMINARIAS EXTERIORES EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE UTILIZANDO TECNOLOGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2020.

[74 R. A. Trejo Viteri, Artist, ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA ECONÓMICA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICA EN EL EDIFICIO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS. [Art]. Universidad Técnica del Norte.

[75 R. A. Trejo Viteri, Artist, Estudio de Factibilidad Técnica Económica para la Implementación de un Sistema de Generación Fotovoltaica en el Edificio de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2021.

[76 Kuarahy Energía Solar, «Cálculo sistema Off Grid completo [Video],» 2020.

[77 Schneider Electric Ficha Técnica , «Interruptor Termomagnético DC Acti9 C60H 2P 15 A Curva C,» [En línea]. Available: <https://www.se.com/co/es/product/A9N61530/interruptor-termomagn%C3%A9tico-dc-acti9-c60h-2p-15-a-curva-c/>. [Último acceso: 15 noviembre 2024].

[78 Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, Decreto Ejecutivo N°705 de 2011, 2011, 06 de abril.



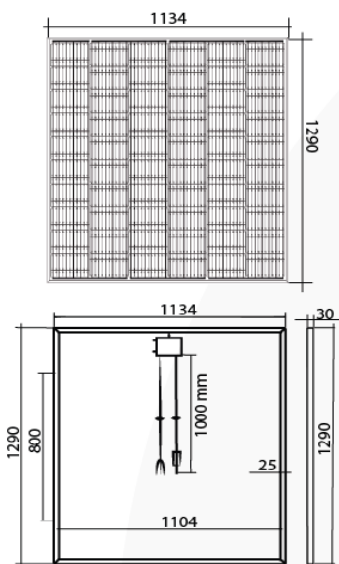
ANEXOS

Anexo A: Ficha técnica del panel solar seleccionado a partir del dimensionamiento.

POWEST®

Panel Solar Monocristalino 300W

- Máxima durabilidad Vs otros módulos fotovoltaicos del mercado.
- Especializados para trabajar en condiciones adversas.
- Mayor rendimiento energético gracias a su vidrio y cristal texturizado avanzado de alta transmisión, permite tener mayor eficiencia y transmisión de energía.
- Diseño innovador en sus celdas, permite reducir costos y tiempos de manejo en su instalación.



CERTIFICADO
DETIE

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES	
Tipo de módulo	Monocristalino
Código	NERM300-8300
Potencia máxima (P _{max})	300W
Tolerancia salida de potencia	±3%
Eficiencia	20.50%
Voltaje en potencia máxima (V _{mp})	34.20VDC
Corriente potencia máxima (I _{mp})	8.78A
Voltaje de circuito abierto (V _{oc})	41.04VDC
Corriente de cortocircuito (I _{sc})	9.30A
Máxima tensión del sistema	1000VDC
Max. serie de fusible	15A
Caja de conexiones (grado de protección)	IP67
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
NOCT (Temperatura nominal de funcionamiento de la célula)	45 +/- 2
Dimensiones (Alto*Ancho*Profundo)	1290mm*1134mm*30mm
Peso	14.3kg
Celda (cantidad / material)	60 / 120 silicio monocristalino
Clase de aplicación	A
Cable (longitud / área transversal)	1000mm / 4.0mm ²
Conector	MC4
Calificaciones y certificados	IEC 61215, IEC 61730, CE, CQC, ISO 9001:2015, ISO 14001:2004, BS OHSAS 18001:2007, RETIE

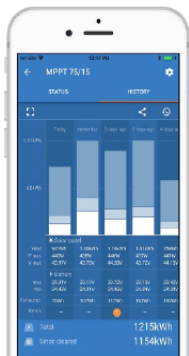


Anexo B: Ficha técnica del controlador de carga seleccionado a partir del dimensionamiento.

**Controladores de carga BlueSolar
MPPT 75/10, 75/15, 100/15, 100/20 y 100/20-48V**



Controlador de carga solar
MPPT 75/15



Seguimiento ultrarrápido del Punto de Máxima Potencia (MPPT, por sus siglas en Inglés).

Especialmente con cielos nublados, cuando la intensidad de la luz cambia continuamente, un controlador MPPT ultrarrápido mejorará la recogida de energía hasta en un 30%, en comparación con los controladores de carga PWM, y hasta en un 10% en comparación con controladores MPPT más lentos.

Salida de carga

Se puede evitar que la batería se descargue en exceso conectando todas las cargas a la salida de carga. Esta salida desconectará la carga cuando la batería se haya descargado cuando llegue a una tensión preestablecida. También se puede optar por establecer un algoritmo de gestión inteligente de la batería: ver BatteryLife.

La salida de carga es a prueba de cortocircuitos.

Algunas cargas (especialmente los inversores) pueden conectarse directamente a la batería, y el control remoto del Inversor a la salida de carga. Puede que se necesite un cable de interfaz especial; por favor, consulte el manual.

BatteryLife: gestión inteligente de la batería

Cuando un controlador de carga solar no es capaz de recargar la batería a plena capacidad en un día, lo que sucede es que el ciclo de la batería cambia continuamente entre los estados "parcialmente cargada" y "final de descarga". Este modo de funcionamiento (sin recarga completa periódica) destruirá una batería de plomo-ácido en semanas o meses.

El algoritmo BatteryLife controlará el estado de carga de la batería y, si fuese necesario, incrementará día a día el nivel de desconexión de la carga (esto es, desconectará la carga antes) hasta que la energía solar recogida sea suficiente como para recargar la batería hasta casi el 100%. A partir de ese punto, el nivel de desconexión de la carga se modulará de forma que se alcance una recarga de casi el 100% alrededor de una vez a la semana.

Algoritmo de carga de batería programable

Consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web para más información.

Temporizador día/noche y opción de regulador de luminosidad

Consulte la sección Asistencia y Descargas > Software en nuestra página web para más información.

Programación y opciones de visualización del historial y de datos en tiempo real

- ColorControl GX u otros dispositivos GX: consulte los documentos Venus en nuestro sitio web.
- Un *smartphone* u otro dispositivo con Bluetooth: se necesita la mochila VE.Direct Bluetooth Smart.

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 75/10	MPPT 75/15	MPPT 100/15	MPPT 100/20	MPPT 100/20-48V
Tensión de la batería (Selección auto)	12/24V				
Corriente de carga nominal	10A	15A	15A	20A	20A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	145W	220W	220W	290W	290W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	290W	440W	440W	580W	580W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	1160W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	13A	15A	15A	20A	20A
Desconexión automática de la carga	Sí				
Tensión máxima del circuito abierto FV	75V		100V		
Eficiencia máxima	98%				
Autoconsumo	12V: 25 mA 24V: 15 mA		25 / 15 / 10 mA		
Tensión de carga de "absorción"	14,4V / 28,8V (ajustable)				
Tensión de carga de "flotación"	13,8V / 27,6V (ajustable)				
Algoritmo de carga	adaptativo multifase				
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.				
Corriente de carga continua	15A		20A		20A / 20A / 1A
Desconexión de carga por baja tensión	11,1V/22,2V/44,4V u 11,8V/23,6V/47,2V o algoritmo BatteryLife				
Reconexión de carga por baja tensión	13,1V/26,2V/52,4V o 14V/28V/56V o algoritmo BatteryLife				
Protección	Cortocircuito de salida / Sobretemperatura				
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40°C)				
Humedad	95%, sin condensación				
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)				
CARCASA					
Color	Azul (RAL 5012)				
Terminales de conexión	6 mm ² / AWG10				
Grado de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)				
Peso	0,5 kg		0,6 kg		0,65 kg
Dimensiones (al x an x p)	100 x 113 x 40 mm		100 x 113 x 50 mm		100 x 113 x 60 mm
NORMATIVAS					
Seguridad	EN/IEC 62109-1, UL 1741, CSA C22.2				
1a) Si se conecta más potencia FV, el controlador limitará la entrada de potencia.					
1b) La tensión FV debe exceder Vbat + 5V para que arranque el controlador.					
Una vez arrancado, la tensión FV mínima será de Vbat + 1V.					
2) Un generador fotovoltaico con una corriente de cortocircuito más alta puede dañar el controlador.					



Anexo C: Ficha técnica de la batería seleccionada a partir del dimensionamiento.

BATERIA SELLADA 12V-200AH REF. FL122000GS



Especificaciones



Aplicaciones

- De uso múltiple.
- Fuente de alimentación. Ininterrumpida (UPS).
- Sistema de potencia Eléctrica (EPS).
- Alimentación de reserva de emergencia.
- Luz de emergencia.
- Señal ferroviaria.
- Señal de aeronaves.
- Alarma y sistema de seguridad.
- Aparatos y equipos electrónicos.
- Fuente de alimentación comunicación.
- Fuente de alimentación DC.
- Sistema de control automático.

Voltaje Nominal	12V
Capacidad Nominal (20 Hr)	200.0 Ah
Dimensiones	Longitud 522.0±3mm (20.55 ") Ancho 240±2mm (9.45 ") Altura 218.0±3mm (8.58 ") Altura Total 224.0±3mm (8.81 ")
Peso Aproximado	Aprox. 59.8 kg (131.9 lbs)
Terminal	T11-M8
Material del Envase	ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)
Rango de Operación	208.0 AH/10.4 A (20hr, 1.80V/Celda,25° C/77°F) 200.0 AH/20.0A (10hr, 1.80V/Celda,25° C/77°F) 172.0 AH/34.4A (5hr, 1.75V/Celda,25° C/77°F) 156.0 AH/52.0A (3hr, 1.75V/Celda,25° C/77°F) 122.0 AH/122.0A (1hr, 1.60V/Celda,25° C/77°F)
Máxima Corriente de Descarga	2000A(5s)
Resistencia Interna	Aprox. 2.7mΩ
Rango de Temperatura de Operación	Descarga -15-50°C (5-122°F) Carga 0-40°C (32-104°F) Almacenamiento -15-40°C (5-104°F)
Rango Nominal de Temp. de Operación	25±3°C (77±5°F)
Ciclo de Uso	Corriente de carga inicial de menos de 60.0A. Voltage. 14.4V - 15.0V a 25° C (77° F) de temperatura. Coeficiente -30mV/°C
Modo Espera	No hay límite en la carga inicial de tensión actual. 13.5V - 13.8V a 25°C (77° F) Temp. Coeficiente -20mV/°C
Capacidad Afectada por la temperatura	40°C (104°F) 103% 25°C (77°F) 100% 0°C (32°F) 86%
Auto- descarga	Las Baterías de la serie Fulibattery GS se pueden almacenar durante un máximo de 6 meses a 25°C (77°F) y luego se requiere una carga de reposición.Para temperaturas más altas del intervalo de tiempo será más corto.

Corriente Constante de Descarga (Amperios) a 25 °C (77 °F)

V/Tiempo	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85WCelda	278.4	240.0	204.6	154.8	115.1	94.3	60.1	46.2	37.6	31.3	27.2	22.1	18.9	10.3
1.80WCelda	343.9	282.4	235.8	179.5	133.9	105.6	65.5	50.6	40.6	33.6	29.2	23.4	20.0	10.4
1.75WCelda	377.8	302.0	250.2	189.2	139.0	110.5	68.0	52.0	41.7	34.5	30.0	23.8	20.2	10.5
1.70WCelda	411.8	322.5	264.0	196.4	144.5	114.0	70.7	53.5	42.7	35.3	30.6	24.2	20.4	10.7
1.65WCelda	444.4	342.9	281.4	204.6	148.1	117.8	72.7	55.8	44.2	36.3	31.3	24.7	20.8	10.8
1.60WCelda	476.4	366.7	297.6	216.0	154.4	122.0	75.1	57.5	45.5	37.3	32.0	25.1	21.0	10.9

Potencia Constante de Descarga (Wattios/celda) a 25 °C (77°F)

V/Tiempo	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85WCelda	514.3	447.8	385.7	295.0	221.3	181.9	116.6	90.1	73.4	61.3	53.5	43.6	37.4	20.4
1.80WCelda	627.7	519.9	438.0	336.9	255.4	202.6	126.4	98.1	78.9	65.5	57.2	46.1	39.5	20.6
1.75WCelda	678.7	549.2	460.2	352.2	262.5	211.0	130.6	100.5	80.7	67.2	58.6	46.8	39.9	20.7
1.70WCelda	723.0	578.2	482.0	363.5	272.0	217.0	135.6	103.1	82.6	68.6	59.7	47.4	40.2	21.1
1.65WCelda	773.1	610.1	509.9	375.7	276.3	222.7	138.5	107.0	85.1	70.2	60.8	48.4	41.0	21.4
1.60WCelda	809.8	641.7	533.4	393.8	286.4	229.4	142.5	109.8	87.3	72.0	61.9	49.0	41.4	21.5

www.fulibattery.co

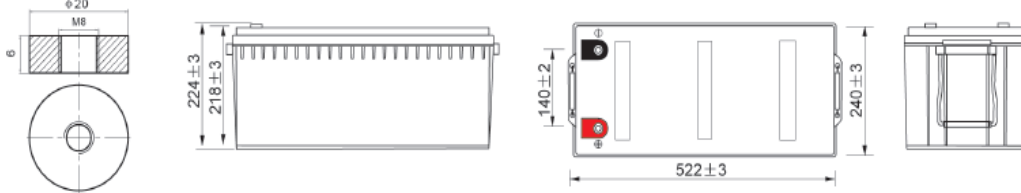


BATERIA SELLADA 12V-200AH REF. FL122000GS

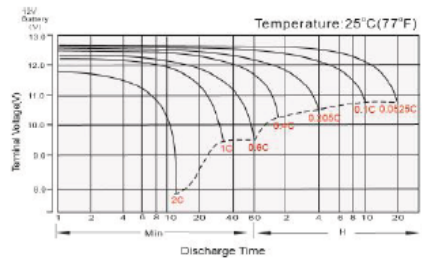


Dimensiones (mm)

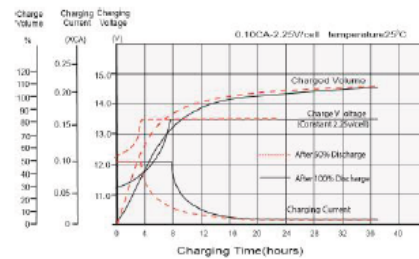
• Terminal



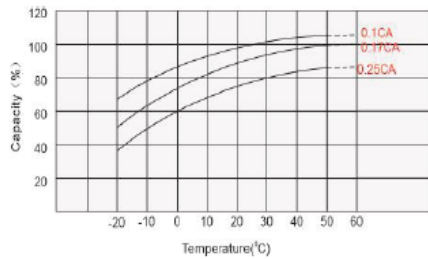
Características de Descarga



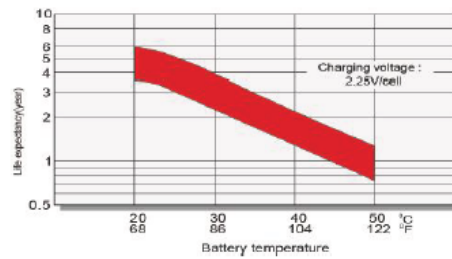
Características de Carga en flotación



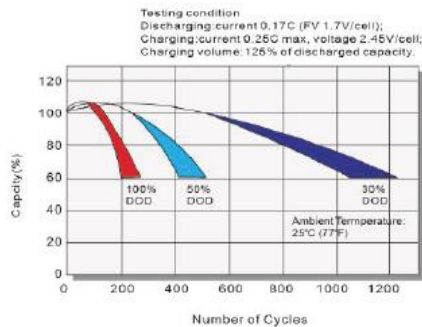
Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



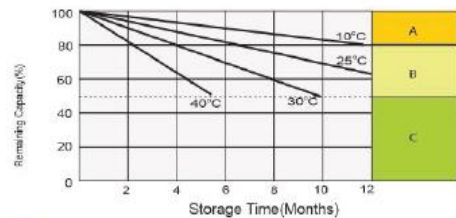
Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga



Características de Auto-descarga



- A** No requiere carga suplementaria (Realizar la carga suplementaria antes de usar si se requiere el 100% capacidad).
- B** Se requiere carga suplementaria antes usar. Opciones de Carga:
 1. Carga durante 3 días con una corriente constante 0.25CA y un Voltaje constante 2.25V / celda.
 2. Carga durante 20 horas con una corriente constante 0.25CA y un Voltaje constante 2.25V / celda.
 3. Carga durante 8-10 horas con una corriente limitada 0.05CA.
- C** Después de realizar cargas suplementarias es difícil recuperar la capacidad de la batería. La batería no debe almacenarse por periodos prolongados de tiempo.



Anexo D: Ficha técnica del conductor eléctrico de cobre AWG THHN/THHN-2 seleccionado.

disensa.com
disensa

CONDUCTORES DE COBRE

THHN

Conductor de cobre para 0.6 kV aislado con policloruro de vinilo (PVC) 90 °C, y chaqueta de poliamida (nylon), resistente a la humedad, calor elevado, aceite y gasolina.

CONSTRUCCIÓN

Los conductores tipo THHN o THWN-2 pueden ser sólidos o cableados y están contruídos con cobre de temple suave, están además aislados con una capa uniforme de material termoplástico policloruro de vinilo (PVC) resistente a la humedad y al calor elevado, sobre la cual se aplica una cubierta protectora de nylon o poliamida. Pueden ser suministrados en coloresvariados según su calibre y con distintas formas de embalaje.

APLICACIONES

Los conductores de cobre tipo THHN o THWN-2 son utilizados para circuitos de fuerza y alumbrado en edificaciones industriales, comerciales y residenciales, son especialmente aptos para instalaciones especiales por ductos difíciles y para usarse en zonas abrasivas o contaminadas con aceites, grasas, gasolinas, etc. y otras sustancias químicas corrosivas como pinturas, solventes, etc., tal como se especifica en el National Electrical Code. Este tipo de conductor, cuando es utilizado como THHN puede ser usado en lugares secos con temperatura máxima de operación de 90 °C, pero si es utilizado como THWN-2 puede ser usado en lugares secos y húmedos con temperatura máxima de operación de 90 °C, así mismo cuando están expuestos a aceites, grasas, pinturas, solventes químicos, etc. En cuanto a su tensión de servicio, para todas las aplicaciones, es de 0.6 kV.

ESPECIFICACIONES

Los conductores de cobre tipo THHN o THWN-2 fabricados por ELECTROCABLES C.A., cumplen con las siguientes especificaciones y normas:

- **ASTM B3:** Alambres de cobre recocido o suave.
- **ASTM B8:** Conductores trenzados de cobre en capas concéntricas.
- **ASTM B787:** Conductores trenzados de cobre de 19 hilos, formación unilay para ser aislados posteriormente.
- **UL 83:** Alambres y cables aislados con material termoplástico.
- **ANSI/NEMA WC-70** : Cables de potencia nominal 2 kV o menos, para distribución de energía eléctrica.
ICEA S-95-658
- **NTE INEN 2 345:** Conductores y alambres aislados con material termoplástico.



disensa.com



CONDUCTORES DE COBRE

THHN

Conductor de cobre para 0.6 kV aislado con policloruro de vinilo (PVC) 90 °C, y chaqueta de poliamida (nylon), resistente a la humedad, calor elevado, aceite y gasolina.

CONDUCTOR			Espesor de Aislamiento (mm)	Espesor de Chaqueta (mm)	Diámetro Externo Aprox. (mm)	Peso total Aprox. (kg / km)	*Capacidad de Corriente (A)
CALIBRE (AWG o kcmil)	Sección Transversal (mm ²)	No. Hilos					
FORMACIÓN SÓLIDO Y CABLEADO CONCÉNTRICO							
14	2,08	1	0,38	0,10	2,59	22,56	25
12	3,31	1	0,38	0,10	3,01	34,32	30
10	5,261	1	0,51	0,10	3,81	54,74	40
8	8,367	1	0,76	0,13	5,04	89,55	55
8	8,367	7	0,76	0,13	5,48	94,93	55
6	13,3	7	0,76	0,13	6,44	144,57	75
4	21,15	7	1,02	0,15	8,22	231,68	95
FORMACIÓN UNILAY							
14	2,08	19	0,38	0,1	2,76	23,58	25
12	3,31	19	0,38	0,1	3,26	35,93	30
10	5,261	19	0,51	0,1	4,11	55,95	40
8	8,367	19	0,76	0,13	5,40	93,62	55
6	13,3	19	0,76	0,13	6,34	142,58	75
4	21,15	19	1,02	0,15	8,09	228,51	95
2	33,62	19	1,02	0,15	9,59	350,90	130
1	42,4	19	1,27	0,18	11,04	437,08	145
1/0	53,49	19	1,27	0,18	12,05	560,77	170
2/0	67,44	19	1,27	0,18	13,17	697,21	195
3/0	85,02	19	1,27	0,18	14,43	868,29	225
4/0	107,2	19	1,27	0,18	15,85	1083,04	260
FORMACIÓN CABLEADO CONCÉNTRICO							
250	126,7	37	1,52	0,2	18,06	1289,56	290
300	152	37	1,52	0,2	19,44	1533,75	320
350	177	37	1,52	0,2	20,74	1774,71	350
400	203	37	1,52	0,2	21,93	2023,85	380
500	253	37	1,52	0,2	24,10	2502,47	430
600	304	61	1,78	0,23	26,70	3015,86	475
750	380	61	1,78	0,23	29,37	3740,80	535
1000	507	61	1,78	0,23	33,28	4947,40	615

*Capacidad máxima de corriente, para no más de 3 conductores en tensión en ducto, cable o tierra (directamente enterrados), para temperatura ambiente de 30 °C. Ref NEC [Edición 2020] (Tabla 310.16)

• Los valores indicados en esta tabla pueden variar según las tolerancias permitidas en las normas de fabricación del conductor.





Anexo E: Ficha técnica del conductor eléctrico de cobre flexible 2 x 18 SPT seleccionado.

FICHA TÉCNICA **SPT 2 x 18**



- Voltaje de Servicio:** 300 V
- Temperatura de Trabajo:** 60 °C
- Corriente Máxima:** 10 Amperios*

PARÁMETRO	ESPECIFICACIÓN
Recubrimiento	Aislamiento: Material: PVC. Espesor promedio: 0,76 mm.
Material Principal	Cobre de Temple Suave. La materia prima principal con la que se fabrican estos conductores es cobre electrolítico, con un 99.995% de pureza.
Resistencia	Resistividad máxima de hilos: 0,017241 $\Omega \times \text{mm}^2/\text{m}$. Resistencia eléctrica nominal en c.c del conductor a 20°C : 21,4 Ω/km .
Formación de Hilos	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div> Tipo de Formación: FLEXIBLE. Diámetro del Conductor: 1,19 mm. Área de Sección Transversal: 0,823 mm². </div> </div> <p>*Vista frontal del conductor</p>
Colores	Con una raya guía de color rojo.
Embalaje	Rollos de 100 metros o cortes específicos según el requerimiento del cliente.
Normativas	UL 62 NTE INEN 2 305

* Capacidad de corriente, para temperatura ambiente 30 °C Ref NEC (TABLA 400.5 A)

MATRIZ:
 PARQUE INDUSTRIAL "EL SAUCE", KM. 11 1/2 VIA DAULE. GUAYAQUIL - ECUADOR
 TELÉFONOS:
 GUAYAQUIL: (593-4) 370 5460 - QUITO: (593-2) 282 9111 - CUENCA: (593-7) 280 3251
www.electrocable.com



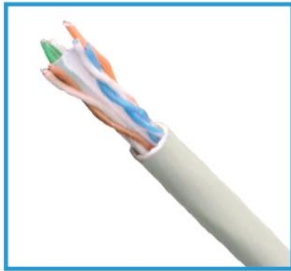


Anexo F: Ficha Técnica del conductor UTP Cat.6 seleccionado para la transmisión de datos.

Cable sólido U/UTP Categoría 6

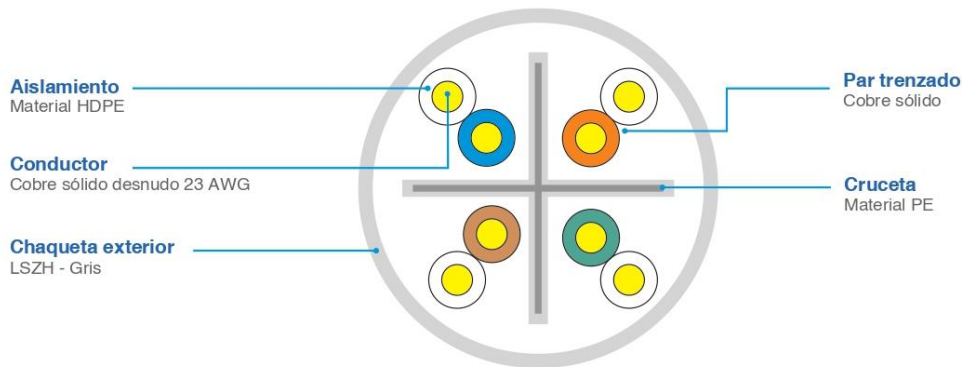
4 pares - 23 AWG - 250 MHz - LSZH

Hoja Técnica 1/2
Ref. 0212022111



El cable sólido U/UTP SATRA Categoría 6 LSZH, resistente a la propagación del fuego, baja emisión de gases tóxicos y bajo humo contaminante, de 4 pares trenzados aislados, está diseñado para la red horizontal transmitiendo datos, voz y video en un sistema de cableado estructurado. Frecuencia de operación de 250 MHz y velocidad máxima de 1 Gigabit por segundo.

Cada caja contiene un caja con 305 m (1000 pies) de cable.



Aplicaciones Soportadas

- 1000 BASE-T (1000 Megabits Ethernet a 100 m)
- 100 BASE-T (100 Megabits Ethernet a 100 m)
- 10 BASE-T (10 Megabits Ethernet a 100 m)
- IEEE 802.3 af / at / bt - PoE (Power Over Ethernet)

Estándares Compatibles

- ANSI/TIA-568-C.2, 568.D-2
- ISO/IEC 11801
- IEC 60332-1-1 / IEC 60332-1-2
- IEC 60754-2
- IEC 61034-1 / IEC 61034-2





Cable sólido U/UTP Categoría 6

4 pares - 23 AWG - 250 MHz - LSZH

Hoja Técnica 2/2
Ref. 0212022111

Propiedades eléctricas	
Resistencia del conductor	9.5 Ω /100 m a 20 °C Máx
Desbalance de resistencia DC	5%
Diferencia de retardo de propagación (Delay Skew)	≤ 45 (ns / 100 m)
Impedancia característica	100Ω±/ 15% (de 1 a 250 MHz)
Voltaje AC o DC	80 V DC

Características Técnicas	
Comportamiento al fuego	IEC 60332-1/IEC 60754/IEC 61034
Temperatura de operación	- 30 °C / + 60 °C
Temperatura de instalación	- 20 °C / + 80 °C
Temperatura de almacenamiento	- 20 °C / + 80 °C
Tensión máxima	≤ 110 (N)
Radio mínimo de curvatura	4 veces el diámetro del cable
Velocidad Nominal de Propagación (NVP)	69%

Performance de transmisión

Medida (Mhz)	Atenuación (dB/100m)		NEXT (dB/100m)		PS NEXT (dB/100m)		ELFLEX (dB/100m)		PSELFEXT (dB/100m)		RETURN LOSS (dB/100m)	
	Estándar	SATRA	Estándar	SATRA	Estándar	SATRA	Estándar	SATRA	Estándar	SATRA	Estándar	SATRA
1	3.8	2.03	66.3	74.3	63.3	72.3	55.8	67.8	52.8	64.8	23	20.0
4	6.0	3.78	60.3	65.3	57.3	63.3	47.8	55.8	44.5	52.8	25	23.0
8	7.6	5.32	57.2	60.8	54.2	58.8	43.7	49.7	40.7	46.7	25	24.5
10	10.7	5.95	52.9	59.3	49.9	57.3	37.9	47.8	34.9	44.8	23	25.0
16	15.5	7.55	48.4	56.2	45.4	54.2	31.9	43.7	29.1	40.7	21.6	25.0
20	19.9	8.47	45.3	54.8	42.3	52.8	27.8	41.8	24.8	38.8	20.1	25.0
25	29.1	9.51	40.8	53.3	37.8	51.3	21.8	39.8	18.8	36.8	18	24.3
31	33.0	10.67	39.3	51.9	36.3	49.9	19.8	37.9	16.8	34.9	17.3	23.6

Condiciones de orden

Ítem N°	0212022111
Pares	4
[X] x AWG	23
Diámetro externo (OD)	6.1 mm
Embalaje	Caja de 305 m





Anexo G: Ficha técnica del interruptor termomagnético DC de 16A y 32A seleccionado para circuito de protección.

DC Circuit Supplementary Protectors for Photovoltaic Installations

JB Type



IEC 60947-2, EN60947-2, GB 14048.2

The JB is a DC circuit breaker dedicated to multi string photovoltaic installations. This circuit breaker is designed to protect the cables located between each string of photovoltaic modules and the photovoltaic inverter against overloads and short circuits (see application diagram).

Combined with a switch, the JB will be installed in a string PV protection enclosure at the end of each string of photovoltaic modules.

It can be locked (by a padlocking device) in OFF position as a safety measure for removal of the PV inverter. Since a fault current can flow in the reverse direction to the operating current, the JB can detect and protect against any bidirectional current.

To ensure the safety of the installation, it is necessary, depending on the various types of application, to combine the JB with:

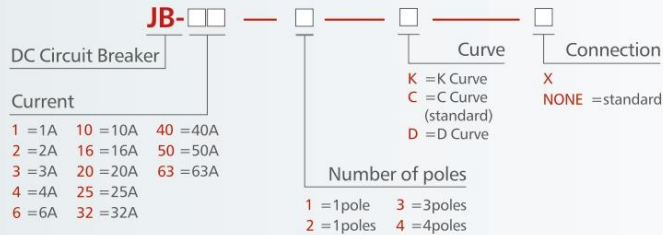
- a residual current device at the AC end,
- a fault passage detector (insulation monitoring device) at the DC end
- an earth protection circuit breaker at the DC end

In all cases, fast action on site will be required to clear the fault (protection not ensured in the event of a double fault).

JB is not polarity sensitive: (+) and (-) wires can be inverted without any risk.

The JB is delivered with three inter-pole barrier to provide increased isolation distance between two adjacent connectors.

Meaning and Classification Models



Main Characteristics

Operating voltage (Ue)	1P=250 V DC, 2P=500 V DC 3P=750 V DC, 4P=1000 V DC
Rated insulation voltage (Ui)	1,000 V DC
Breaking capacity (Icu)	10 kA
Impulse voltage (Uimp)	10 kV
Electrical connection	By the bottom for In and Out
Number of poles	1P, 2P, 3P, 4P
Standards	IEC 60947-2 EN 60947-2

Instantaneous Trip

B Curve

These MCBs are suitable for cable protection.
Rating: 1-63A (30°C)
Instantaneous trip: (3-5)In

C Curve

Suitable Domestic and residential applications and electromagnetic starting loads with medium starting currents.
Rating: 1-63A (30°C)
Instantaneous trip: (7-10)In

D Curve

Suitable for inductive and motor loads with high starting currents.
Rating: 1-63A (30°C)
Instantaneous trip: (10-14)In

K Curve

Suitable for inductive and motor loads with high inrush currents.
Rating: 1-63A (30°C)
Instantaneous trip: (14-18)In



JB Type



Technical Data

- Position contact indication-suitability for isolation according to IEC/EN 60947-2 standard.
- The presence of the green strip guarantees physical opening of the contacts and allows operations to be performed on the downstream circuit in complete safety.
- Increased product service life thanks to fast closing independent of the speed of actuation of the toggle.
- Pre-wired product: Input / Output on the same side.

Main Characteristics		
Rated service breaking capacity (Ics)		100% of the Icu
Endurance (O-C)	Electrical	1,500 cycles (where L/ R=2 ms)
	Mechanical	20,000 cycles
Mechanical		20,000 cycles
Degree of pollution		2
Category		A (no delay in accordance with IEC / EN 60947-2 standards)
Degree of protection (IEC 60529)	Device in modular enclosure	IP40
Tropicalisation		Relative humidity: 95% at 55°C in accordance with IEC 60068-2 and GB 14048.2 standards
Temperature	Operating	-25°C to 70°C (Reference temperature 30°C, ref. table 1)
	Storage	-40°C to 85°C

Additional Characteristics (@T _a =1P 60VDC)			
Rating (A)	Voltage drop (mV)	Impedance (mΩ)	Power loss (W)
1	1230	1230	1.230
2	536	238	1.072
3	439	146.3	1.317
4	381	95.3	1.524
6	158	26.3	0.948
10	147	14.7	1.470
16	125	7.8	2.000
20	93	4.7	1.860
25	76	3	1.900
32	91	2.8	2.912
40	68	1.7	2.720
50	70	1.4	3.500
63	68	1.1	4.284

Temperature Derating (Table 1)

JB Rating	Ambient temperature (°C)											
	-35°C	-30°C	-20°C	-10°C	0°C	10°C	20°C	30°C	40°C	50°C	60°C	70°C
1A	1.30	1.26	1.23	1.19	1.15	1.11	1.05	1.00	0.96	0.93	0.88	0.83
2A	2.60	2.52	2.46	2.38	2.28	2.20	2.08	2.00	1.92	1.86	1.76	1.66
3A	3.90	3.78	3.69	3.57	3.42	3.30	3.12	3.00	2.88	2.79	2.64	2.49
4A	5.20	5.04	4.92	4.76	4.56	4.40	4.16	4.00	3.84	3.76	3.52	3.32
6A	7.80	7.56	7.38	7.14	6.84	6.60	6.24	6.00	5.76	5.64	5.28	4.98
10A	13.20	12.76	12.50	12.00	11.50	11.10	10.60	10.00	9.60	9.30	8.90	8.40
16A	21.12	20.48	20.00	19.20	18.40	17.76	16.96	16.00	15.36	14.88	14.24	13.44
20A	26.40	25.60	25.00	24.00	23.00	22.20	21.20	20.00	19.20	18.60	17.80	16.80
25A	33.00	32.00	31.25	30.00	28.75	27.75	26.50	25.00	24.00	23.25	22.25	21.00
32A	42.56	41.28	40.00	38.72	38.12	35.52	33.92	32.00	30.72	29.76	28.16	26.88
40A	53.20	51.20	50.00	48.00	46.40	44.80	42.40	40.00	38.40	37.20	35.60	33.60
50A	67.00	65.50	63.00	60.50	58.00	56.00	53.00	50.00	48.00	46.50	44.00	41.50
63A	83.79	81.90	80.01	76.86	73.71	70.56	66.78	63.00	60.48	58.90	55.44	52.29



Anexo H: Ficha técnica del interruptor diferencial DC de 16A 2 polos Type B.

CHZFGOLD



Promotion!

Promotion! Promotion!

6A 10A 16A 20A 25A 32A 40A 50A 63A
10MA/30MA/100MA/300MA

B Type RCCB RCD

Function scope

1. Electric vehicle charging pile
2. inverter
3. photovoltaic
4. solar energy
5. Residual current circuit breaker Type A AC

ELECTROMAGNETIC

Technical Data

Electrical features/Technical parameters	CHZFGOLD RCCB
Model	Electronic / Magnetic type
Pole No	2P 4P
Rated voltage	110V 220V 230V AC / DC
Rated frequency	50/60Hz
Rated current	6A 10A 16A 20A 25A 32A 40A 50A 63A 80A 100A
Residual Current characteristic	AC / A / B
connect	2Pn+L1 4Pn+L3
size	2P36*82*72 4P72*82*72
weight	2p193g 4P296g
Tripping duration	Instantaneous tripping ≤0.1s
Rated conditional residual short-circuit current I _{Δc} :	6kA



Short-circuit current Inc=hc	10000A
Rated sensitivity I ^Δ n	0.03A 0.1A 0.3A
installation	35mm DIN rail mounting Panel mounting
Mounting	On DIN rail FN 60715 (35mm) by means of fast clip device
Rated residual operating current ^Δ (A):	0.01
Rated residual non operating current ^Δ no:	0.5 ^Δ n
Rated making and breaking capacity	500(In = 25-40A) 630(【n=63A)
Electro-mechanical endurance	≥50000 cycles
Ambient temperature(with daily averageW35°C)	-60~ +85°C
Storage temperature	-60 + 85°C
Rated impulse withstand voltage(1.2/50)Uimp	6000V
Protection Class	IP20
Connection terminal	Screw terminal Pillar terminal with clamp
Terminal size top/bottom for cable	35mm' 18-3
Connection	From top and bottom
position Overvoltage category	id wire max.1X2. 50r 2X1.5/with sleeve max 1X2.5 (AWG 12) 82X18X78mm
Certificate & standard	CE,IEC60898.1



Anexo I: Código de Arduino IDE utilizado para simular el encendido y la activación de textos en

las señales luminosas a través de sensores.

```

1  #include <MD_Parola.h> //Libreria para controlar texto en matrices LED con scroll y efectos
2  #include <MD_MAX72xx.h> //Libreria para manejar matrices LED con el chip MAX7219
3  #include <SPI.h> //Libreria para comunicacion SPI, necesaria para los modulos LED
4
5  #define HARDWARE_TYPE MD_MAX72XX::FC16_HW //Define el tipo de modulo LED, un modelo en especifico
6
7  // Configuración de los Modulos LED
8  #define MAX_DEVICES_1 2 // Primer módulo LED Señal Limites de Velocidad con 2 matrices LED de 8x8
9  #define MAX_DEVICES_2 4 // Segundo módulo LED Señal Mensaje Variable con 4 matrices LED de 8x8
10
11 //Pines del Primer Modulo LED: Señal Limites de velocidad
12 #define CS_PIN_1 11
13 #define DATA_PIN_1 12
14 #define CLK_PIN_1 10
15
16 //Pines del Segundo Modulo LED: Señal Mensaje Variable
17 #define CS_PIN_2 8
18 #define DATA_PIN_2 9
19 #define CLK_PIN_2 7
20
21 // Pines de los sensores
22 #define SENSOR_LUZ_PIN A0 //Sensor de luz BH1750
23 #define SENSOR_LLUVIA_PIN 2 //Sensor de lluvia YL-83
24
25 // Umbrales para la detección de condiciones
26 #define UMBRAL_NOCHE 20
27 #define UMBRAL_NEBLINA_EXTERIOR 500
28
29 // Creacion de objetos para manejar las pantallas LED
30 MD_Parola display1 = MD_Parola(HARDWARE_TYPE, DATA_PIN_1, CLK_PIN_1, CS_PIN_1, MAX_DEVICES_1); //Señal luminosa limites de velocidad
31 MD_Parola display2 = MD_Parola(HARDWARE_TYPE, DATA_PIN_2, CLK_PIN_2, CS_PIN_2, MAX_DEVICES_2); //Señal luminosa mensaje variable
32
33 //Funcion de la configuracion Inicial
34 void setup() {
35   Serial.begin(9600);
36   display1.begin(); //Inicia el display Señal Limites de Velocidad
37   display2.begin(); //Inicia el display Señal Mensajes Variables
38   display1.setIntensity(5); //Define brillo del display1 (0 a 15)
39   display2.setIntensity(5); //Define brillo del display2 (0 a 15)
40   display1.displayClear(); //Limpia display1
41   display2.displayClear(); //Limpia display2
42   pinMode(SENSOR_LLUVIA_PIN, INPUT); //Definicion del pin sensor lluvia como entrada digital
43 }
44 //Funcion para mostrar los mensajes
45 void mostrarMensaje(MD_Parola &display, const char mensaje[], bool desplazar) {
46   display.displayClear(); //Limpia el display antes de mostrar el nuevo mensaje
47   if (desplazar) {
48     display.displayScroll(mensaje, PA_CENTER, PA_SCROLL_LEFT, 50); //Muestra el mensaje con desplazamiento horizontal
49   } else {
50     display.displayText(mensaje, PA_CENTER, 0, 0, PA_PRINT); //Muestra mensaje estático
51   }
52   while (!display.displayAnimate()) {} //Espera hasta que el mensaje acabe de mostrarse
53 }
54 //Bucle principal de ejecución
55 void loop() {
56   int valorSensorLuz = analogRead(SENSOR_LUZ_PIN); //Lee el valor analogico del sensor BH1750
57   bool lluviaDetectada = digitalRead(SENSOR_LLUVIA_PIN) == HIGH; //Lee el sensor de lluvia (true si detecta lluvia)

```



```

58
59 Serial.print("Valor del Sensor de Luz: ");
60 Serial.println(valorSensorLuz);
61 Serial.print("Lluvia detectada: ");
62 Serial.println(lluviaDetectada ? "Sí" : "No");
63
64 // Control del primer módulo LED (display1) Señal Limites de Velocidad
65 if (lluviaDetectada && valorSensorLuz < UMBRAL_NEBLINA_EXTERIOR) {
66 | mostrarMensaje(display1, "50", false); //Lluvia + neblina = limite 50Km
67 } else if (lluviaDetectada) {
68 | mostrarMensaje(display1, "70", false); //Lluvia = limite 70Km
69 } else if (valorSensorLuz < UMBRAL_NOCHE) {
70 | mostrarMensaje(display1, "80", false); //Noche = limite 80Km
71 } else if (valorSensorLuz < UMBRAL_NEBLINA_EXTERIOR) {
72 | mostrarMensaje(display1, "60", false); //Neblina = limite 60Km
73 } else {
74 | display1.displayClear(); //Condiciones ambientales buenas = no muestra nada
75 }
76
77 // Control del segundo módulo LED (display2) Señal Mensaje Variable
78 if (lluviaDetectada && valorSensorLuz < UMBRAL_NEBLINA_EXTERIOR) {
79 | mostrarMensaje(display2, "Conduzca con Precaucion", true); //Lluvia + neblina = mensaje "conduzca con precaucion"
80 } else if (lluviaDetectada) {
81 | mostrarMensaje(display2, "Precaucion Lluvia", true); //Lluvia = mensaje "Precaucion Lluvia"
82 } else if (valorSensorLuz < UMBRAL_NEBLINA_EXTERIOR && valorSensorLuz >= UMBRAL_NOCHE) {
83 | mostrarMensaje(display2, "Precaucion Neblina", true); //Neblina = mensaje "Precaucion Neblina"
84 } else {
85 | display2.displayClear(); //Condiciones ambientales buenas = no muestra nada
86 }
87 }
88

```