

**SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE
MONITORIZACIÓN CONTINUA** 1

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE
MONITORIZACIÓN CONTINUA DE LA SALUD ESTRUCTURAL EN PUENTES DE
CONCRETO DE GRANDES LUCES

CIRO ALEXANDER MENESES VEGA
WILLIAM STIVEN RINCON ACEROS

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2022

**SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE
MONITORIZACIÓN CONTINUA** 2

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE
MONITORIZACIÓN CONTINUA DE LA SALUD ESTRUCTURAL EN PUENTES DE
CONCRETO DE GRANDES LUCES

CIRO ALEXANDER MENESES VEGA
WILLIAM STIVEN RINCON ACEROS

Trabajo de grado: proyecto de investigación, para optar al título de ingeniero electricista

DIRECTORA:
MARÍA ALEJANDRA MANTILLA VILLALOBOS
DOCTORA EN INGENIERÍA (Ing. Eléctrica, Electrónica y Gestión & Desarrollo)

CODIRECTOR
ALVARO VIVIESCAS JAIMES
DOCTOR EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
BUCARAMANGA
2022

DEDICATORIA

Ciro y William:

Queremos dedicar este proyecto de grado al padre supremo por guiarnos con su luz celestial, y darnos la fuerza para poder lograr uno de nuestros sueños, a nuestros padres, la señora Blanca Rosa Aceros Ortíz, la señora Graciela Vega Moreno, el señor Pedro Elías Rincón Pico y el señor Ciro Meneses Porras, por su gran apoyo, paciencia, compañía, amor, confianza y colaboración durante nuestra carrera.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero y profundo agradecimiento:

A nuestra directora, la Dra María Alejandra Mantilla Villalobos por brindarnos su tiempo, en la dirección y aporte en el desarrollo de este trabajo.

A nuestro codirector, Dr Álvaro Viviescas Jaimes por su apoyo e interes en la culminación de este trabajo de grado.

A todos aquellos que nos ayudaron, confiaron, apoyaron y siempre creyeron en nosotros.

Contenido

RESUMEN	12
ABSTRACT	14
INTRODUCCIÓN.....	16
JUSTIFICACIÓN	17
1. OBJETIVOS	19
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA SOBRE SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN EN DC AISLADOS A BASE DE ENERGÍAS RENOVABLES PARA PROTOTIPOS ELECTRÓNICOS DE BAJA POTENCIA.....	19
2.1 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA ILUMINACIÓN PÚBLICA	20
2.2 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA SEMÁFOROS.....	21
2.3 SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA DRONES	22
3. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	22
3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	23
3.2 ENERGÍA EÓLICA.....	24
3.3 ENERGÍA MECÁNICA.....	24
4. GENERALIDADES DEL PROYECTO DE GRADO	24
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PROYECTO	25
4.2 DATOS METEOROLÓGICOS DEL PUENTE EL TABLAZO.....	25
4.2.1 <i>Nasa Power Larc</i>	26
4.2.2 <i>Atlas Ideam</i>	27
5. ESPECIFICACIONES DE SUMINISTRO DE ENERGÍA DEL PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN. . .	28

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA 5

6. INSTALACIÓN DEL PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN EN EL PUENTE EL TABLAZO	32
6.1 DESCRIPCIÓN DEL PUENTE EL TABLAZO	32
6.2 VOLADIZO DEL PUENTE.....	33
6.3 ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LOS COMPONENTES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN	34
7. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN PARA EL PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN	35
7.1 METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DEL DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN	37
8. DISEÑO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	38
8.1 ESTABLECER EL CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	40
8.2 DETERMINAR EL NÚMERO TEÓRICO DE PANELES FOTOVOLTAICOS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	40
8.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR DE CARGA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	42
8.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	43
8.5 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR, PROTECCIONES Y REGULADOR DE TENSIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	44
8.6 DETERMINAR EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	46
8.7 DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA (EFECTO JOULE Y SOMBRAS), EN EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	47
8.8 DETERMINAR LAS POTENCIAS GENERADAS, EFICIENCIA E INDICADOR PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	52
8.9 VERIFICACIÓN DE LAS POTENCIAS DEL SISTEMA EN EL SOFTWARE PVSYSY PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	54
9. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	55

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA

6

9.1 ESTABLECER EL CONSUMO ENERGÉTICO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	58
9.2 DETERMINAR EL NÚMERO TEÓRICO DE PANELES FOTOVOLTAICOS Y SELECCIÓN DE PANEL IMPLEMENTADO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	58
9.3 DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR DE CARGA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	59
9.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	60
9.5 SELECCIÓN DEL CONDUCTOR, PROTECCIONES Y REGULADOR DE TENSIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	61
9.6 DETERMINAR EL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL PANEL FOTOVOLTAICO PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	63
9.7 DETERMINAR LAS PÉRDIDAS DE POTENCIA ELÉCTRICA EN EL SISTEMA (EFECTO JOULE Y SOMBRAS) PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	64
9.8 DETERMINAR LAS POTENCIAS GENERADAS, EFICIENCIA E INDICADOR PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	66
9.9 VERIFICACIÓN DE LAS POTENCIAS DEL SISTEMA EN EL SOFTWARE PVSYST PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	67
10. VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO EN EL LABORATORIO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DISEÑADO	68
11. CONCLUSIONES	78
BIBLIOGRAFÍA	80

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL PUENTE EL TABLAZO BETULIA SANTANDER25

FIGURA 2 ESQUEMA DE LOS SISTEMAS QUE CONFORMAN EL PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN28

FIGURA 3 ESQUEMA DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN ..28

FIGURA 4 POTENCIA TOTAL HORA CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN29

FIGURA 5 POTENCIA TOTAL MENSUAL CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN30

FIGURA 6 ESQUEMA DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN30

FIGURA 7 POTENCIA TOTAL HORA CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN31

FIGURA 8 POTENCIA TOTAL MENSUAL CONSUMIDA POR EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN32

FIGURA 9 PANORÁMICA DEL PUENTE EL TABLAZO, VISTA AÉREA Y LATERAL33

FIGURA 10 VOLADIZO DEL PUENTE EL TABLAZO, VISTA LATERAL34

FIGURA 11 ESTRUCTURA DE SOPORTE DE LOS ELEMENTOS DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN.....35

FIGURA 12 DISEÑOS PLANTEADOS PARA EL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN36

FIGURA 13 COMPONENTES PROPUESTOS PARA LOS SISTEMAS DE ALIMENTACIÓN36

FIGURA 14 DIAGRAMA DE DESARROLLO PARA EL DISEÑO Y DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN37

FIGURA 15 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN QUE SE INSTALARAN A LO LARGO DEL PUENTE EL TABLAZO38

FIGURA 16 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN.39

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA 8

FIGURA 17 ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN CON SUS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.....	39
FIGURA 18 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESPECTO AL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	46
FIGURA 19 PÉRDIDAS ENERGÉTICAS MENSUALES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	48
FIGURA 20 TRAYECTORIA SOLAR EN EL PUENTE EL TABLAZO BETULIA- SANTANDER	49
FIGURA 21 CÁLCULO DE PÉRDIDAS POR SOMBRAS	50
FIGURA 22 SIMULACIÓN PVSYS. ENERGÍAS SUMINISTRADAS AL USUARIO DEL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	55
FIGURA 23 UBICACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN QUE SE INSTALARÁ EN EL VOLADIZO DEL PUENTE.	56
FIGURA 24 DIAGRAMA O ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIONES.....	57
FIGURA 25 DIAGRAMA O ESQUEMA ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIONES. CON SUS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.	57
FIGURA 26 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA RESPECTO AL ÁNGULO DE INCLINACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.	64
FIGURA 27 PÉRDIDAS ENERGÉTICAS MENSUALES DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	65
FIGURA 28 SIMULACIÓN EN PVSYS. ENERGÍAS SUMINISTRADAS AL USUARIO, SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	67
FIGURA 29 TRIMMER PARA CONFIGURAR EL REGULADOR DE CARGA MPPT.....	69
FIGURA 30 VERIFICACIÓN DEL REGULADOR DE CARGA. TENSIÓN DE ENTRADA Y SALIDA	71

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA 9

FIGURA 31 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN EN LABORATORIO	72
FIGURA 32 CONDICIONES DE VMP E IMP DEL PANEL FOTOVOLTAICO	72
FIGURA 33 TENSIÓN DE SALIDA SUMINISTRADA A LA BATERÍA EN EL LABORATORIO	73
FIGURA 34 POTENCIA SUMINISTRADA A LA BATERÍA	73
FIGURA 35 TENSIÓN SUMINISTRADA A LA CARGA (LDO)	74
FIGURA 36 SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN IMPLEMENTADO EN EL LABORATORIO	75
FIGURA 37 ENTRADAS DEL REGULADOR ML2440	75
FIGURA 38 TENSIÓN DE PANEL FOTOVOLTAICO DETECTADA POR EL REGULADOR DE CARGA EN EL LABORATORIO.....	77
FIGURA 39 TENSIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DETECTADA POR EL REGULADOR DE CARGA	77
FIGURA 40 TENSIÓN SUMINISTRADA AL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	78

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA 10

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS	26
TABLA 2 CONDICIONES AMBIENTALES	27
TABLA 3 POTENCIAS QUE CONSUMEN LOS DISPOSITIVOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	29
TABLA 4 POTENCIAS QUE CONSUMEN LOS DISPOSITIVOS QUE CONFORMAN EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	31
TABLA 5 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL PANEL FOTOVOLTAICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	40
TABLA 6 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA BATERÍA DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE MONITORIZACIÓN	44
TABLA 7 CARACTERÍSTICAS DEL CONDUCTOR FOTOVOLTAICO AWG #12	44
TABLA 8 PORCENTAJE DE PÉRDIDAS POR EFECTOS DE SOMBRAS.	51
TABLA 9 VALORES DE LA POTENCIA QUE SE PUEDE GENERAR PARA EL PANEL DE 30W PARA CADA MES DEL AÑO TENIENDO EN CUENTA LAS PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE, Y PÉRDIDAS POR SOMBRA	54
TABLA 10 PARÁMETROS TÉCNICOS Y ELÉCTRICOS DEL PANEL FOTOVOLTAICO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	58
TABLA 11 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DEL REGULADOR DE CARGA, SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.....	60
TABLA 12 CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA BATERÍA SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA EL SISTEMA DE COMUNICACIÓN	61

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA 11

TABLA 13 VALORES DE POTENCIA QUE SE PUEDE GENERAR PARA EL PANEL DE 405W PARA CADA MES DEL AÑO TENIENDO EN CUENTA LAS PÉRDIDAS POR EFECTO JOULE, Y PÉRDIDAS POR SOMBRA66

INDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....83
ANEXO B.....85
ANEXO C.....98

Resumen

TITULO: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN PARA UN PROTOTIPO PILOTO DE MONITORIZACIÓN CONTINUA DE LA SALUD ESTRUCTURAL DE PUENTES DE CONCRETO DE GRANDES LUCES*.

AUTORES: CIRO ALEXANDER MENESES VEGA

WILLIAM STIVEN RINCÓN ACEROS**.

PALABRAS CLAVE: Sistemas fotovoltaicos, reguladores de tensión, controlador de carga, baterías, protecciones eléctricas de corriente continua, sensores, fuentes de generación de energía renovables, piezoeléctricos, aerogeneradores.

DESCRIPCIÓN

En este trabajo de grado, se describe el diseño de un sistema de alimentación aislado que emplea fuentes de generación renovables, junto con un sistema de baterías, para abastecer al prototipo piloto de monitorización continua, que se instalará en el puente El Tablazo. Para realizar el dimensionamiento del sistema se hace necesario tener en cuenta factores como: la potencia que demanda el prototipo de monitorización, las pérdidas por sombras, pérdidas en los conductores por efecto joule, y las protecciones necesarias que se deben instalar para la seguridad del sistema.

La potencia que entrega el sistema de alimentación se analizó con el software PVsyst, que permite ingresar parámetros técnicos de los componentes del sistema de alimentación aislado.

Definiendo la potencia demandada por el prototipo piloto de monitorización continua, se determina la potencia fotovoltaica necesaria a instalar, considerando las pérdidas por sombra y

joule. Posterior se procede a elegir los reguladores de carga que más se adapten a los sistemas fotovoltaicos y al sistema de baterías.

Las pérdidas por sombras fueron analizadas a partir del software PVsyst, que utiliza una interfaz avanzada para el cálculo, basado en datos climatológicos, para evaluar y analizar el desempeño del sistema de alimentación cuando se instale en la zona de interés. Se determinaron las pérdidas por sombras, las pérdidas por efecto joule y se especificaron las tensiones y corrientes del sistema para seleccionar las protecciones eléctricas de corriente continua.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingenierías Eléctrica Electrónica y de Telecomunicaciones.
Director: María Alejandra Mantilla Villalobos. Doctora en Ingeniería. Codirector: Álvaro Viviescas Jaimes. Doctor en Ingeniería de la Construcción.

Abstract

TITLE: FEEDING SYSTEM FOR A CONTINUOUS STRUCTURAL INTEGRITY MONITORING PILOT PROTOTYPE OF LARGE CONCRETE BRIDGES*.

AUTHORS: CIRO ALEXANDER MENESES VEGA

WILLIAM STIVEN RINCÓN ACEROS**.

KEY WORDS: Photovoltaic systems, voltage regulators, charge controller, batteries, direct current electrical protections, sensors, renewable energy generation sources, piezoelectrics, wind turbines.

DESCRIPTION

In this work, the design of an isolated power system that uses renewable generation sources along with a battery system to supply a continuous monitoring pilot prototype is described. This system will be installed in “El Tablazo” bridge. The work considered different aspects, such as: the power required by the monitoring prototype, shading losses, joule effect losses in the conductors, and the necessary protections that must be installed to ensure the safety of the system.

The power delivered by the power system was analyzed with the PVsyst software, which allows entering technical parameters of the components of the isolated power system.

Defining the power demanded by the continuous monitoring pilot prototype, the necessary photovoltaic power to be installed is determined, considering the losses due to shade and joule. Subsequently, the charge regulators that best suit the photovoltaic systems and the battery system are chosen.

Shading losses were also analyzed using PVsyst software, which uses an advanced computing interface based on climatological data in order to evaluate and analyze the performance of the feeding system in the area of interest. Once the losses due to shading and joule effect were determined, the system currents and voltages are specified to select the direct current electrical protections.

*Degree Work

** Faculty of Physical and Mechanical Engineering. School of Electrical Engineering, Electronics and Telecommunications. Director: María Alejandra Mantilla Villalobos. Doctorate in Engineering. Co-Director: Álvaro Viviescas Jaimes. Doctorate in Engineering of the construction.

Introducción

En el territorio nacional de Colombia, se encuentran zonas inestables y de alto riesgo geológico que causan fenómenos repentinos, de manera que se puede dar la probabilidad de que se presenten movimientos telúricos o sismos, producidos por el choque de las placas tectónicas en esos lugares. Por esta razón en los últimos años en el campo de la ingeniería civil, se le ha dado importancia a la construcción de puentes de concreto de grandes luces, y al estudio relacionado a la protección de la infraestructura vial, con el fin de evaluar la condición estructural, y determinar la vida útil remanente para proteger la inversión y tomar las medidas necesarias después de estos eventos, que causan deterioro a estas construcciones. Por tanto, se han desarrollado herramientas que utilizan tecnología de sensores para medición y control de la salud estructural de los puentes para obtener, procesar y analizar la información a partir de las vibraciones, con el propósito de identificar la presencia de daños en la estructura.

El sistema de monitorización continuo se fundamenta en el sensado, y el sistema de comunicación se fundamenta en el envío y recepción de los datos, basado en sistemas electrónicos, conformados por ordenadores, y dispositivos que emiten y captan señales digitales. Las tecnologías de la información y comunicación (TIC), tienen la función de integrar estos sistemas para que se pueda acceder, almacenar, transmitir y manipular la información que está relacionada con la salud estructural de los puentes de concreto de grandes luces, de una manera más precisa y confiable. Estos sistemas son instalados a lo largo de los puentes de concreto, en donde el suministro de energía eléctrica puede ser un inconveniente principalmente en zonas aisladas. Partiendo de lo anterior, este trabajo de grado plantea el diseño de un sistema de alimentación aislado para suplir la energía que demanda un prototipo piloto de monitorización continua para su correcto funcionamiento, empleando fuentes de energías renovables.

Las fuentes de energía renovable son aquellas que utilizan recursos de la naturaleza y la transforman en energía eléctrica, y se caracterizan por no utilizar combustibles fósiles, teniendo un impacto ambiental mínimo al reducir la emisión de gases de efecto invernadero, lo cual mejoran los aspectos de sostenibilidad y calidad de vida, garantizando el consumo eléctrico autosuficiente, de acuerdo con el potencial energético de la zona de interés.

Actualmente, los grupos de investigación INME (Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras de Construcción) y GISEL (Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica) de la Universidad Industrial de Santander, están construyendo un prototipo piloto de monitorización de la salud estructural de puentes de concreto de grandes luces (caso de estudio puente El Tablazo), y el sistema de comunicación para el sensado y envío de los datos, para estudiar y analizar la información. En este sentido, el presente proyecto de grado plantea el diseño e implementación de un sistema de alimentación aislado basado en energía solar fotovoltaica, que alimentará al prototipo piloto de monitorización continua, garantizando su buen funcionamiento, supliendo la energía demandada las veinticuatro horas del día de los siete días de la semana. Además, el sistema se diseña para reducir los niveles de contaminación siendo amigable con el medio ambiente, fomentando la industrialización inclusiva y sostenible, y la innovación con nuevas tecnologías que empleen fuentes de energías renovables.

Justificación

Colombia se encuentra en zonas de alta complejidad geológica favoreciendo fenómenos naturales y sísmicos, por tal motivo surge la necesidad de evaluar las condiciones estructurales de puentes de grandes luces. A partir de lo anterior surge el diseño del sistema de monitorización de

la salud estructural que permita evaluar las condiciones del puente después de eventos extremos y detectar variaciones y comportamientos inadecuados.

El instituto nacional de vías- INVIAS implementó en 1996 el sistema de administración de puentes de Colombia-SIPUCOL como una herramienta para la administración técnica actualizada y confiable mediante inspección visual según (E. Muñoz, 2005). Si bien es cierto que la implementación de SIPUCOL dio el primer paso para el monitorización de puentes, éste puede debe ser mejorado y actualizado aprovechando la tecnología más reciente teniendo en cuenta que existen daños que no pueden ser detectados con inspecciones visuales.

Una alternativa, especialmente enfocada a puentes de grandes luces por la importancia estratégica que representan, es desarrollar e implementar planes, estrategias, y metodologías para el monitorización de salud estructural de puentes basado en vibraciones mediante el cual se pueda obtener, procesar y analizar la información de cada uno de los puentes instrumentados. Por tanto, es importante desarrollar un sistema piloto de monitorización continuo para la adquisición y procesamiento de datos, que tenga la capacidad de generar esquemas de actuación para distintos periodos de tiempo identificando tendencias y eventos inusuales de los parámetros estructurales instrumentados en el puente según (TRUJANO, 2016).

Partiendo de lo anterior, los grupos de investigación INME (Grupo de Investigación en Materiales y Estructuras de Construcción) y GISEL (Grupo de Investigación en Sistemas de Energía Eléctrica) de la UIS, se encuentran desarrollando un sistema piloto de monitorización continuo para la adquisición y procesamiento de datos. Para ello se propone que fuentes de energía renovables que satisfagan la demanda del prototipo piloto de monitorización continua que será instalado en el puente El Tablazo que hace parte de las vías sustitutivas del proyecto hidroeléctrico Sogamoso, construido en la vía Bucaramanga-San Vicente de Chucuri, Santander.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Implementar un sistema de alimentación aislado empleando fuentes de generación renovables para un prototipo piloto de monitorización continua de la salud estructural en puentes de concreto de grandes luces.

1.2 Objetivos Específicos

- Realizar una revisión bibliográfica sobre sistemas de alimentación en DC aislados a base de energías renovables para prototipos electrónicos de baja potencia.
- Establecer las especificaciones de suministro de energía requeridas para alimentar el prototipo piloto de monitorización continua de la salud estructural en puentes de concreto de grandes luces.
- Diseñar el sistema de alimentación empleando fuentes de generación renovables y sistemas de almacenamiento de energía para el prototipo piloto de monitorización.
- Verificar el funcionamiento y ajustar el sistema de alimentación diseñado mediante un prototipo piloto implementado en laboratorio.

2. Referencias Bibliografía sobre Sistemas de Alimentación en DC Aislados a Base de Energías Renovables para Prototipos Electrónicos de Baja Potencia

Para llevar a cabo el proceso de revisión bibliográfica, se indagó en documentos de tesis de grado referidos a la aplicación de sistemas de alimentación en DC para prototipos electrónicos de baja potencia.

En los documentos revisados se implementan los sistemas fotovoltaicos, como la mejor opción para alimentar a la carga analizada, según los parámetros y condiciones establecidas.

La revisión bibliográfica está enfocada en investigaciones y se divide en documentos de referencia a sistemas de alimentación para iluminación, sistemas de alimentación para semáforos y sistemas de alimentación para drones.

2.1 Sistemas de alimentación para iluminación pública

El proyecto denominado DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE ILUMINACIÓN AUTOSUSTENTABLE FOTOVOLTAICO PARA UNA PARADA DE BUSES Y SU VALLA INFORMATIVA DEL SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE DE CUENCA de la Universidad Politécnica Saleciana, describe el diseño de sistema de iluminación, selección de luminarias, simulación del sistema lumínico en Dialux, dimensionamiento del sistema fotovoltaico, selección del panel fotovoltaico, evaluación de generación del panel fotovoltaico mediante herramientas computacionales y finalmente pruebas y análisis del sistema (Guanín, 2015).

Adicional se revisaron los documentos “ESTUDIO TÉCNICO DE APLICACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO CON PV A LA ZONA DEPORTIVA DEL BARRIOVERBENAL SUR” (Gómez Pedraza, 2019), “ILUMINACION PÚBLICA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA LA CIUDAD DE MANAGUA, NICARAGUA” (Br. Martínez Carrillo, Br. Moreno Castillo, 2016), “IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO CON PANELES SOLARES EN EL MUNICIPIO DE EL PEÑOL”,(Echavarría Arango, Rojas Herrera,2019), “IMPLEMENTACIÓN DE ALUMBRADO PUBLICO ALIMENTADO CON ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN LA ENTRADA DEL MUNICIPIO DE SANTA ANA MAGDALENA PRIMER KILOMETRO (1 KM) DE LA VIA SANTA ANA – PUEBLITO”,(Limas Bohórquez, Rodríguez Salazar,2020) que en general realizan la descripción y aplicaciones

de los sistemas fotovoltaico para alimentar las cargas DC de baja potencia, adicional realizan una investigación del lugar de interés y realizan el dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

2.2 Sistemas de alimentación para semáforos

El SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE EMERGENCIA PARA SEMÁFOROS es un proyecto de la facultad de ingeniería de la Universidad de los Andes de Mérida Venezuela. En el proyecto se presentan varias alternativas de alimentación de emergencia para semáforos, los cuales tendrán la función de mantener el sistema operando en caso de un corte del servicio de energía eléctrica. Se describen tres propuestas que permiten mantener al semáforo en funcionamiento, como son energía fotovoltaica, sistema de alimentación ininterrumpida (UPS) y baterías recargables. Para los tres tipos de sistemas se calculan los componentes que conforman cada uno de ellos. (Chávez P, 2010).

La PROPUESTA DE UN SISTEMA RENOVABLE BASADO EN PANELES SOLARES PARA LA ALIMENTACIÓN DE LA SEMAFORIZACIÓN VEHICULAR Y PEATONAL, CASO DE ESTUDIO LOCALIDAD DE CHAPINERO, es un proyecto de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Piloto De Colombia en Bogotá. El proyecto presenta un estudio que tiene como objetivo realizar una propuesta de un sistema renovable basado en paneles solares para la alimentación de la semaforización vehicular y peatonal en la localidad de Chapinero, Bogotá. Se trata de una investigación documental combinado con diseño tecnológico donde se estudia el sector para definir las características, de la semaforización vehicular y peatonal y así elaborar un modelo de semaforización moderno, con alimentación a base de paneles solares que permita reducir los costos de consumo de energía y el impacto ambiental. (Muñoz Ulloa, 2020)

El DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA ALTERNATIVO DE SEMAFORIZACIÓN CON PANELES SOLARES EN EL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ es un

proyecto de la facultad de ingeniería de telecomunicaciones de la Universidad Santo Tomás de Bogotá. El proyecto está orientado a realizar un diseño, planificación e instalación de paneles solares para la red de semaforización de la ciudad de Zipaquirá, en el cual se definen los elementos necesarios para el adecuado seguimiento y control del proyecto, se realiza el estudio geográfico en Zipaquirá, se definen las especificaciones funcionales, modelo lógico de los paneles solares, semáforos y baterías para la puesta en producción y finalmente se realizan pruebas *on-line* que verifican el funcionamiento correcto del sistema que se instaló (ALTHVIZ BERNAL, MONSALVE LÓPEZ, RINCÓN CANTE, & ALFONSO ALVARADO, 2017).

2.3 Sistemas de alimentación para drones

EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE ENERGÍA SOLAR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA AUTONOMÍA DE UN DRONE, es un proyecto de la facultad de ingeniería escuela de ingeniería mecánica de la Universidad del valle de Santiago de Cali. El DRONE es un dispositivo DC de baja potencia, alimentado por sistemas fotovoltaicos, que fue el sistema más eficaz y que afecta menos el medio ambiente, además como los paneles fotovoltaicos son livianos, brindan estabilidad al DRONE cuando esté en operación. También cuenta con un sistema de almacenamiento de baterías para que opere en días nublados y en la noche, los paneles fotovoltaicos fueron implementados por su tecnología, aplicación y eficiencia para suministrar la energía demandada por el DRONE. (CORREA CASTILLO, 2018).

3. Generación de Energía Eléctrica

La generación de energía eléctrica tiene varios procesos para transformar diferentes tipos de energía, como la mecánica, eólica y solar, en energía eléctrica. Se evaluó y analizó el potencial energético de la zona de estudio con ayuda del software (PVsyst), para determinar la fuente de

generación de energía renovable a utilizar para suplir al sistema de monitorización, y al sistema de comunicación del prototipo. Se consideraron los siguientes parámetros meteorológicos: Masas de aire, el comportamiento del viento y la radiación solar para instalar aerogeneradores y sistemas fotovoltaicos. También se analizó otro método de generación de energía con sistemas que utilizan materiales piezoeléctricos.

3.1 Energía Solar Fotovoltaica

La tecnología solar fotovoltaica aprovecha la energía que proviene del sol, por medio de la aplicación del efecto fotovoltaico, mediante el cual se puede transformar esa energía solar en energía eléctrica. Esa transformación se logra con los paneles fotovoltaicos; la radiación solar excita los electrones de un material semiconductor que genera una diferencia de potencial.

Su principio de funcionamiento se fundamenta en semiconductores, principalmente el silicio. Este material es tetravalente por lo tanto no es un buen conductor porque sus electrones están fuertemente unidos a los átomos de silicio vecinos, así que se necesita de un proceso de dopado tipo p y uno tipo n. El dopaje tipo n se logra inyectando un material que tenga cinco electrones de valencia (pentavalente), por lo general se utiliza generalmente el fosforo, dejando a un electrón libre de moverse cuando este reciba la energía suficiente. El dopaje tipo p se logra inyectando un material que tenga tres electrones de valencia (trivalente), por lo general se utiliza aluminio y boro dejando un hueco para que puedan ser llenados. Con esto se garantiza que la zona dopada con fosforo, al recibir energía del sol, los electrones que están libres puedan moverse a la zona dopada con aluminio o boro y llenen los huecos creando una diferencia de potencial en la región de agotamiento, y por tanto una corriente eléctrica de tipo continua (APARICIO, 2015).

3.2 Energía eólica

La energía eólica es aquella que aprovecha la energía cinética del aire y la transforma en energía mecánica, la cual es capaz de producir electricidad. Esto se realiza, a través de aerogeneradores, que son dispositivos que funcionan a partir de una turbina que es movida por la energía cinética del viento.

A partir de los aerogeneradores se aprovecha la energía cinética que se produce cuando las corrientes de aire mueven las aspas. Ese movimiento hace girar el rotor del aerogenerador, lo que permite transformar la energía cinética en energía eléctrica (LÓPEZ, 2012).

3.3 Energía mecánica

La energía mecánica se obtiene de la suma de la energía cinética y la energía potencial ya sea elástica o gravitacional de un cuerpo en movimiento, con base en esta definición se puede transformar tensión mecánica en energía eléctrica por medio del efecto piezoeléctrico. La piezoelectricidad es una propiedad que poseen algunos materiales que pueden generar una señal eléctrica cuando se someten a un esfuerzo mecánico (compresión o estiramiento), debido a la capacidad que tienen algunos cristales para generar energía cuando se someten a deformaciones ante una tensión, esa tensión mecánica hace que estos materiales adquieran una polarización eléctrica en su masa, lo que produce una diferencia de potencial y la aparición de cargas eléctricas en la superficie del mismo. Los materiales piezoeléctricos también son capaces de hacer el efecto inverso, al aplicar un campo eléctrico y generar vibraciones mecánicas (TAMAYO ZAPATA & CARDOZO GUTIERREZ).

4. Generalidades del Proyecto de Grado

En este capítulo, se detalla la información del lugar de instalación del proyecto, así como sus condiciones ambientales, irradiancia, velocidad del viento, entre otros.

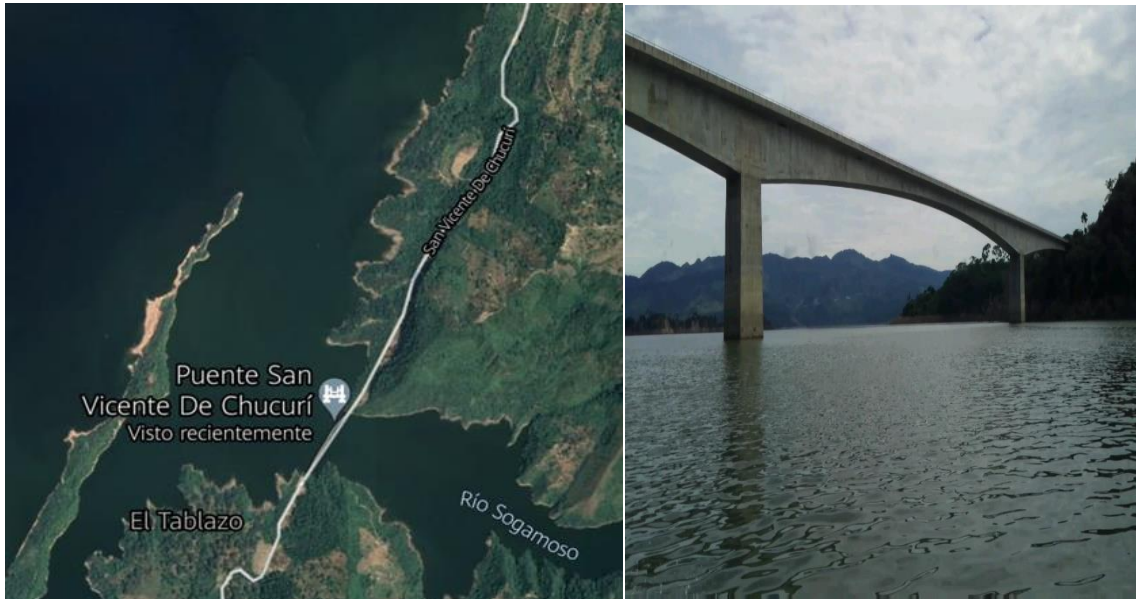
4.1 Ubicación Geográfica Del Proyecto

El proyecto se instalará en el puente El Tablazo que se encuentra situado en las coordenadas de latitud y longitud, 7.0389 y -73.3410 en el municipio de Betulia Santander que hace parte de las vías sustitutivas del proyecto hidroeléctrico Sogamoso.

En la figura 1 se observa una vista satelital del puente El Tablazo y una vista frontal de la perspectiva del puente.

Figura 1

Ubicación Geográfica del Puente El Tablazo Betulia Santander



Nota. Fuente: Google Maps

4.2 Datos Meteorológicos del Puente el Tablazo

Para el avance del proyecto se consultaron bases de datos meteorológicas de sitios web tales como: La Nasa Power Larc y Atlas Ideam.

4.2.1 Nasa Power Larc

La Nasa Power Larc (POWER Data Access Viewer) es un recurso que dispone de una amplia base de datos de parámetros meteorológicos. Ésta permite obtener en su interfaz datos precisos mediante la ubicación de coordenadas geográficas del lugar de interés.

Para el desarrollo y análisis de este proyecto, se investigó en su base de datos, los valores de irradiación, temperatura y velocidad del viento en el puente El Tablazo.

En la siguiente tabla se muestran las condiciones meteorológicas.

Tabla 1

Condiciones Meteorológicas

	Irradiación global horizontal	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Humedad relativa
	kW-hr/m ² /día	kW-hr/m ² /día	°C	m/s	%
Enero	5.29	1.69	20.42	1.24	91.4
Febrero	5.06	1.96	21.19	1.51	96.2
Marzo	5.22	2.20	21.48	1.45	95.3
Abril	4.89	2.32	21.11	1.33	96.8
Mayo	4.93	2.2	20.66	1.27	97.1
Junio	5.08	2.10	20.46	1.35	95.5
Julio	5.49	2.04	20.45	1.73	95.1
Agosto	5.46	2.15	20.67	1.47	96.1
Septiembre	5.22	2.22	20.40	1.36	96.3
Octubre	4.77	2.11	19.85	1.25	96.6
Noviembre	4.67	1.90	19.69	0.98	97.3
Diciembre	4.83	1.73	19.88	1.39	94.4

Nota. Fuente: Nasa Power Larc

4.2.2 Atlas Ideam

El Ideam es el Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales de Colombia, que tiene como función principal, de hacer el seguimiento y el análisis, y recolección de la información ambiental y estado de los recursos naturales que constituyen el patrimonio ambiental del país. Los datos ambientales del lugar de instalación del proyecto se muestran en la tabla 2.

Tabla 2

Condiciones ambientales

Altura sobre el nivel del mar (m)	200
Temperatura (°C)	
Máxima anual	33.89
Mínima anual	20.63
Promedio anual	25.56
Humedad relativa (%)	
Máxima promedio mensual	95.7
Ambiente Tropical	Húmedo
Velocidad promedio [m/s]	
Nivel de contaminación	Medio
Nivel cerámico (Días de tormenta/año)	
	176
Densidad de descargas a tierra	
(Rayos/Km ² año)	5.413
DDT=0,0017(Nc) ^{1.56}	
Precipitación (mm)	
	1500-2000

Nota. Fuente: Atlas Ideam

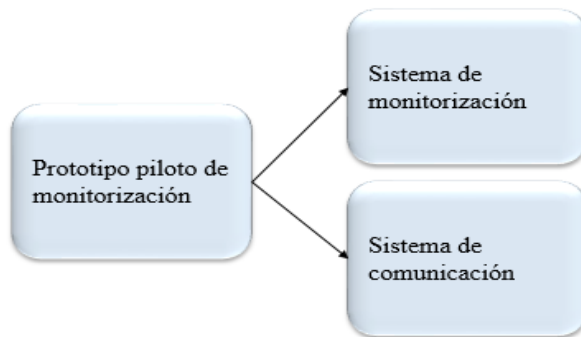
5. Especificaciones de Suministro de Energía del Prototipo Piloto de Monitorización

Para conocer la energía demandada por el prototipo piloto de monitorización se procedió a consultar la ficha técnica de los elementos que lo conforman.

El sistema de alimentación para el prototipo piloto de monitorización, alimentará dos sistemas como se muestra en la Figura 2, el sistema de monitorización y el sistema comunicación.

Figura 2

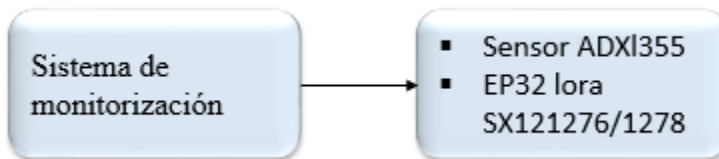
Esquema de los Sistemas que Conforman el Prototipo Piloto de Monitorización



En la siguiente figura se describe los elementos implementados en el sistema de monitorización (Sensor ADXL355 y modulo lora ESP32)

Figura 3

Esquema de los Elementos que conforman el sistema de monitorización



A continuación, en la tabla 3 se detallan los parámetros eléctricos de cada dispositivo del sistema de monitorización.

Tabla 3

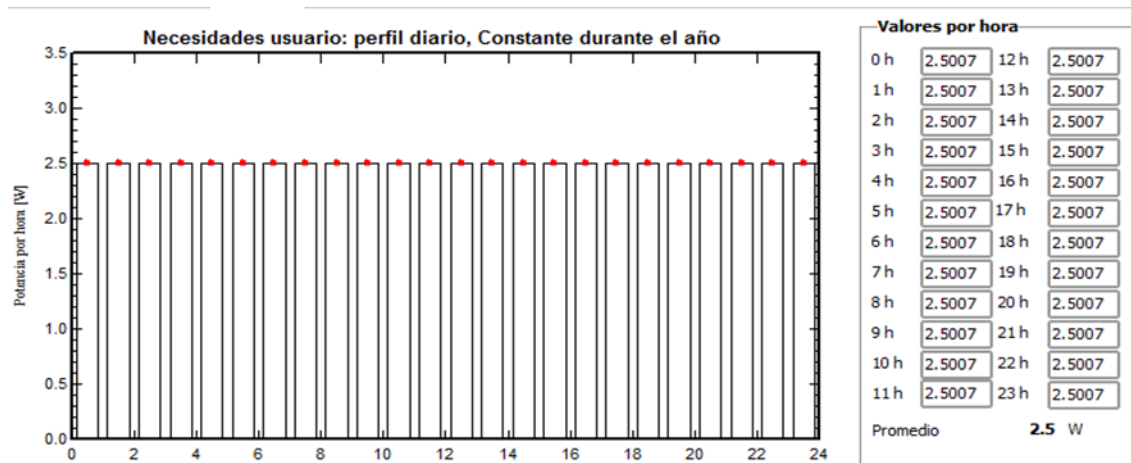
Potencias que Consumen los Dispositivos que Conforman el Sistema de Monitorización

	Tensión(V)	Corriente(mA)	Potencia(W)
Sensor ADXL355	3.3	0.2	0,0007
EP32 lora SX1276/1278	5	500	2.5

En la figura 4 se presenta la potencia total hora del sistema de monitorización que tiene un consumo de 2.5007 W durante las 24 horas, constante durante el año y en la figura 5 se presenta el perfil mensual del consumo de la potencia del sistema de monitorización, que anualmente tiene un consumo 21.98 kWh y un promedio mensual de 1.75 kWh/Mes.

Figura 4

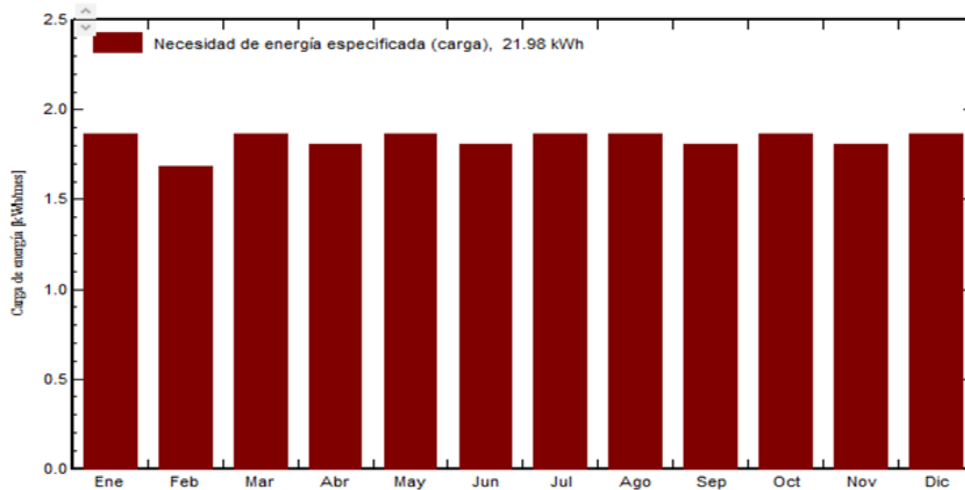
Potencia Total Hora Consumida por el Sistema de Monitorización



Nota. Fuente: PVsyst

Figura 5

Potencia Total Mensual Consumida por el Sistema de Monitorización

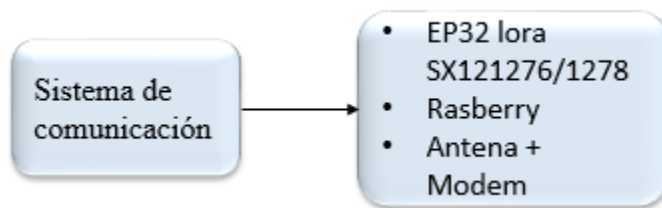


Nota. Fuente: PVsyst

El sistema de comunicación implementado lo conforman los elementos que se indican en la siguiente figura:

Figura 6

Esquema de los Elementos que Conforman el Sistema de Comunicación



A continuación, en la tabla 4 se detallan los parámetros eléctricos de cada dispositivo que conforman el sistema de comunicación.

Tabla 4

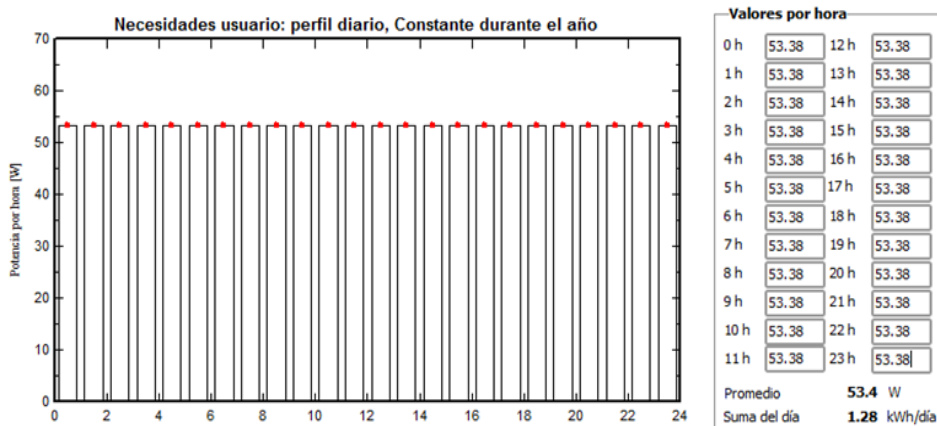
Potencias que Consumen los Dispositivos que Conforman el Sistema de Comunicación

	Variable eléctrica		
	Tensión(V)	Corriente(A)	Potencia(W)
EP32 lora SX121276/1278	5	0.5	2.5
Rasberry	5	3	15
Antena + Modem	12	2.99	35.88

En la figura 7 se presenta la potencia total hora del sistema de comunicación que tiene un consumo de 53.38 W durante las 24 horas, constante durante el año y en la figura 5 se presenta el perfil mensual del consumo de la potencia del sistema de comunicación, que anualmente tiene un consumo 467.8 kWh y con un promedio mensual de 38.97 kWh/Mes.

Figura 7

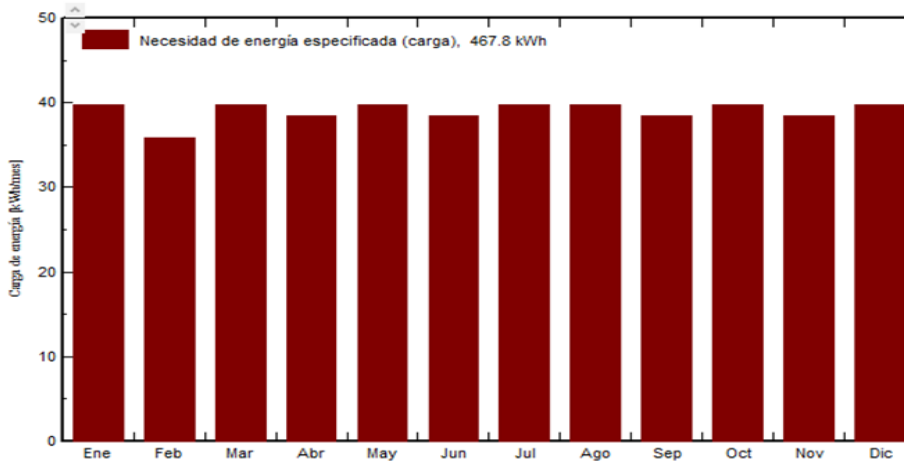
Potencia Total Hora Consumida por el Sistema de comunicación



Nota. Fuente: PVsyst

Figura 8

Potencia Total Mensual Consumida por el Sistema de comunicación



Nota. Fuente: PVsyst

6. Instalación del prototipo piloto de monitorización en el puente el tablazo

En este capítulo se describe el lugar de instalación en el puente el tablazo, del sistema de alimentación que se diseña para el sistema de monitorización y el sistema de comunicación.

6.1 Descripción del puente el tablazo

El puente tiene una longitud total de 498 m, formado por dos vanos de 186 m y dos vanos (correspondientes a los extremos sobre ambas márgenes de cause) de 91.875 m cada uno. La calzada tiene 9 m de ancho, teniendo un carril de circulación por sentido, y una vereda peatonal de 1 m de ancho, totalizando un ancho de 10,55 m. El proyecto original del puente data del año 2012. En el anexo A se describe de manera más detallada el perfil longitudinal del puente. En la siguiente figura se muestra una vista aérea y una vista lateral del puente el tablazo.

Figura 9

Panorámica del Puente el Tablazo, vista Aérea y Lateral



Nota. Fuente: Google Maps

6.2 Voladizo del Puente

La construcción por voladizo consiste en construir el tablero a partir de tramos sucesivos, de manera que cada tramo nuevo se apoye en los tramos ya colocados. Cada tramo es llamado dovela y se une al precedente cuando haya alcanzado suficiente resistencia. Su estabilidad se asegura por medio de cables de presforzado, creando así un tramo autoportante que sirve de arranque para un nuevo avance.

En este tipo de construcción se trata de avanzar simétricamente los voladizos para evitar los momentos de vuelco elevados. Sin embargo, el vaciado o la colocación de dovelas no puede ser del todo simultáneo, por lo que las pilas estarán sometidas a momentos de flexión. (Manrique, 2004).

En la siguiente figura se muestra una vista lateral del voladizo del puente el Tablazo.

Figura 10

Voladizo del Puente el Tablazo, Vista lateral



Nota. Fuente: Grupo INME

6.3 Estructura de Soporte de los Componentes del Sistema de Alimentación para el Prototipo Piloto de Monitorización

La estructura de soporte de los elementos para el sistema de alimentación es muy importante, dado que se trata del componente que proporciona la correcta sujeción a los paneles fotovoltaicos, así como la orientación y el ángulo de inclinación ideal para el panel fotovoltaico, adicional esta estructura deberá tener la capacidad para instalar una caja de protección que sea resistente a las condiciones ambientales para incorporar los elementos como el regulador de carga y baterías.

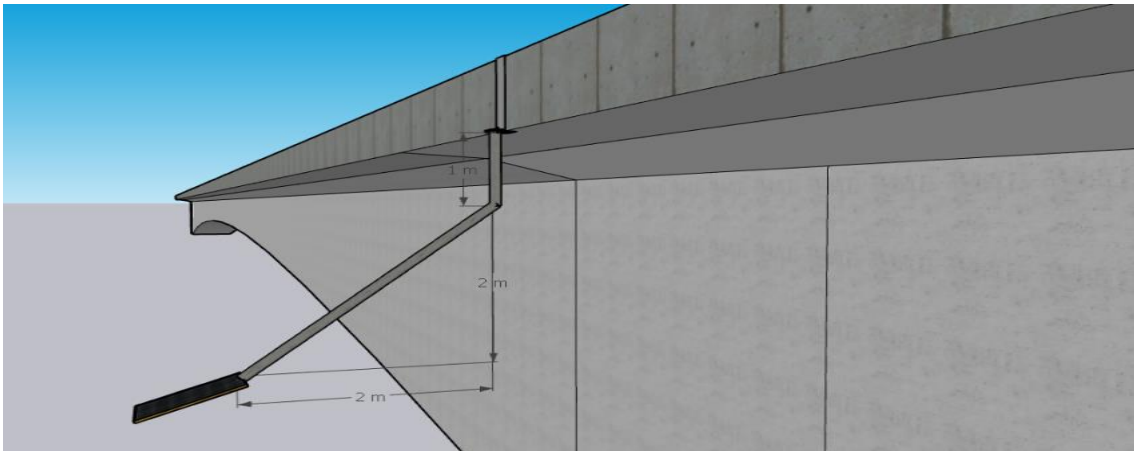
A partir de lo anterior el sistema de alimentación se instalará en el voladizo del puente el tablazo. La estructura propuesta está diseñada para que los elementos de instalación estén ubicados en un punto de acceso difícil al personal no autorizado, debido al índice constante de robo en el lugar; se propone que la estructura de soporte se construya de acero galvanizado o acero inoxidable, material resistente a las condiciones ambientales, mecánicas y principalmente a la

corrosión. La estructura de soporte se plantea con las siguientes dimensiones: 3 metros de alta y 2 metros de ancho.

En la siguiente figura se muestra la estructura propuesta.

Figura 11

Estructura de Soporte de los Elementos del Sistema de Alimentación



Nota. Fuente: SketchUp

7. Diseño de los Sistemas de Alimentación para el Prototipo Piloto de Monitorización

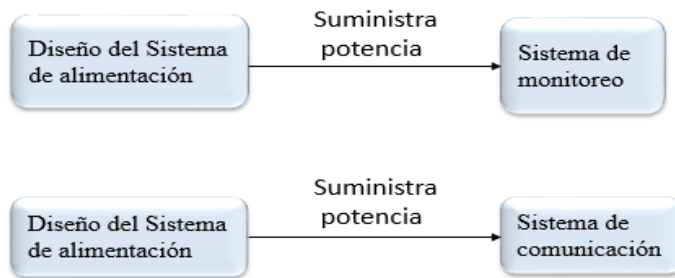
En esta sección se evalúan los elementos que se implementan para los sistemas de alimentación, que suministran la potencia necesaria demandada al prototipo piloto de monitorización.

El prototipo piloto de monitorización, está conformado por dos sistemas: el sistema de monitorización encargado de sensar la salud estructural del puente y enviar la información al sistema central denominado sistema de comunicación (recepción y envío de datos a la nube), que se encarga de procesar la información proporcionada por el sistema de monitorización y enviar la información a una plataforma web.

Con base a lo anterior en este proyecto se diseñó y se realizó el dimensionamiento de los dos sistemas de alimentación, uno para el sistema de monitorización y el otro para el sistema de comunicación. En la siguiente figura se muestran los sistemas de alimentación que se diseñan.

Figura 12

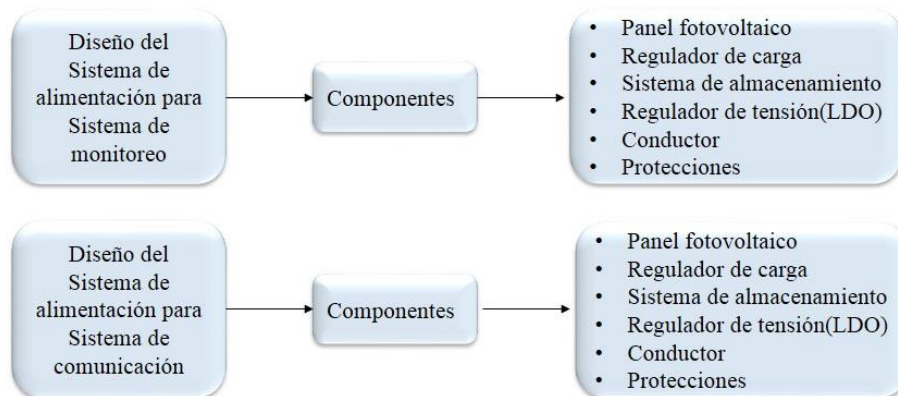
Diseños Planteados para el Sistema de Alimentación



Los elementos propuestos para el diseño y dimensionamiento del sistema de alimentación correspondiente para el sistema de monitorización, y el sistema de comunicación se detallan en la siguiente figura.

Figura 13

Componentes Propuestos para los Sistemas de Alimentación



A partir de lo anterior, el desarrollo de este proyecto se divide en dos apartados importantes: en la primera sección se realiza el proceso de dimensionamiento del sistema de alimentación para

el sistema de monitorización que se describe en el capítulo 8, y en el capítulo 9 se describe el dimensionamiento del sistema de alimentación para el sistema de comunicación.

En concepto general, el diseño de los sistemas de alimentación tiene como énfasis la seguridad de los equipos y el buen funcionamiento de los componentes de la instalación fotovoltaica (paneles solares, reguladores de carga, baterías, conductores, reguladores de tensión y protecciones eléctricas); para el desarrollo del proyecto se consideraron dos diseños de sistemas de alimentación, uno en el cajón interno del puente que finalmente se determinó la inviabilidad de su implementación (véase anexo B), y otro al exterior del puente que se explica en el siguiente capítulo.

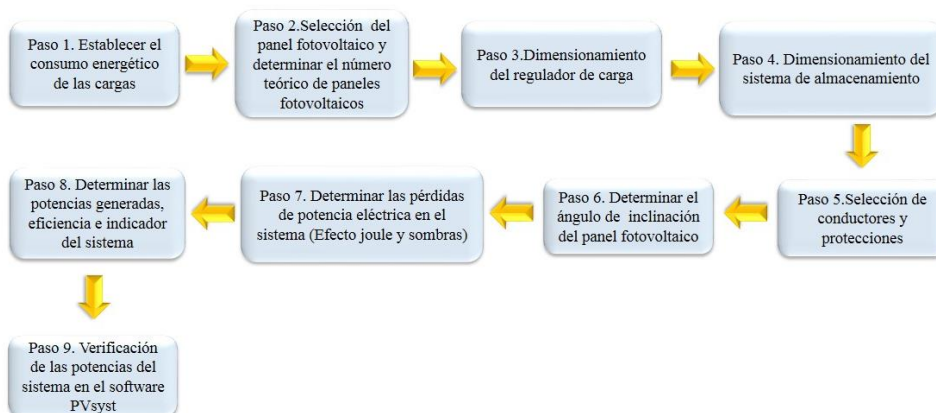
7.1 Metodología para el desarrollo del diseño de los Sistemas de Alimentación

En esta sección se describe el proceso realizado para el dimensionamiento de los sistemas de alimentación y los elementos que lo conforman.

Los pasos que se realizaron para el diseño y dimensionamiento de los sistemas de alimentación se muestra en el siguiente diagrama de desarrollo.

Figura 14

Diagrama de Desarrollo para el Diseño y Dimensionamiento del Sistema de alimentación



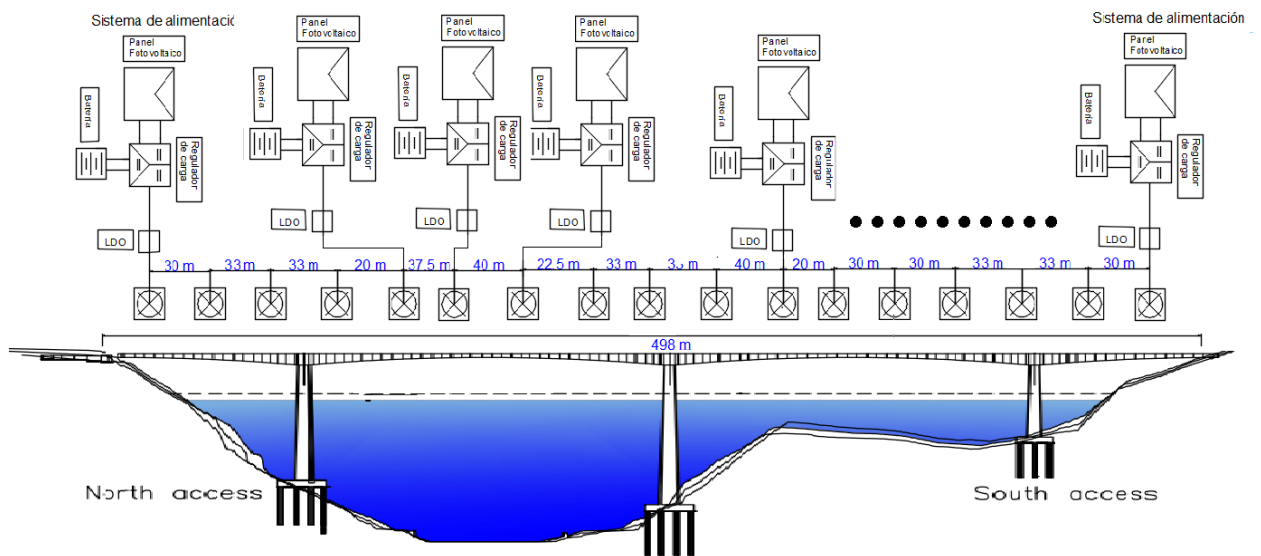
8. Diseño del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización

El sistema de alimentación para el sistema de monitorización se instalará en el voladizo del puente el tablazo como se describió en el capítulo 6.

Con base en lo anterior, este diseño del prototipo de monitorización plantea diez (10) puntos de sensado de la salud estructural del puente el Tablazo, a seleccionarse a partir de los puntos demarcados. Los seis puntos demarcados con su respectivo sistema de alimentación presentados en la figura 15, son fundamentales para la instrumentación y los demás puntos demarcados en la figura son los ideales para su instalación.

Figura 15

Ubicación del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización que se Instalaran a lo Largo del Puente el Tablazo

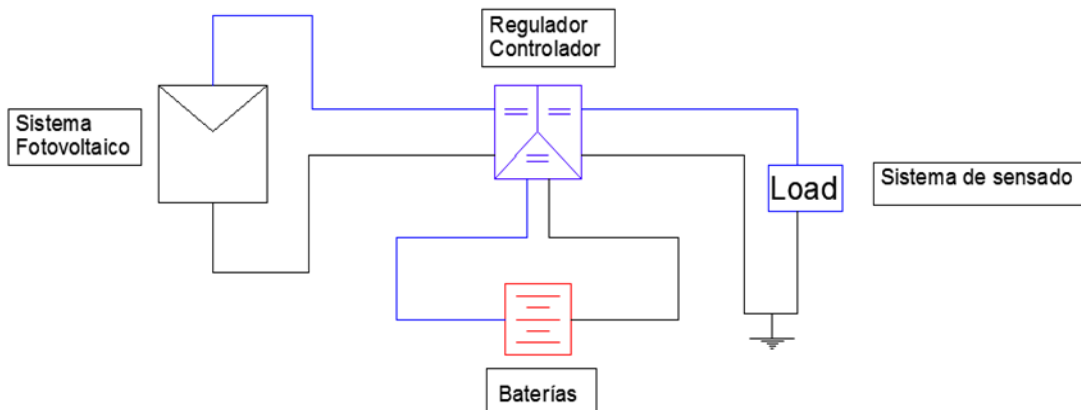


Nota. Fuente: Autores

A continuación, en la figura 16 se presenta el esquema eléctrico del sistema de alimentación para el sistema de monitorización, y en la figura 17 se muestra el esquema eléctrico con los dispositivos de protección.

Figura 16

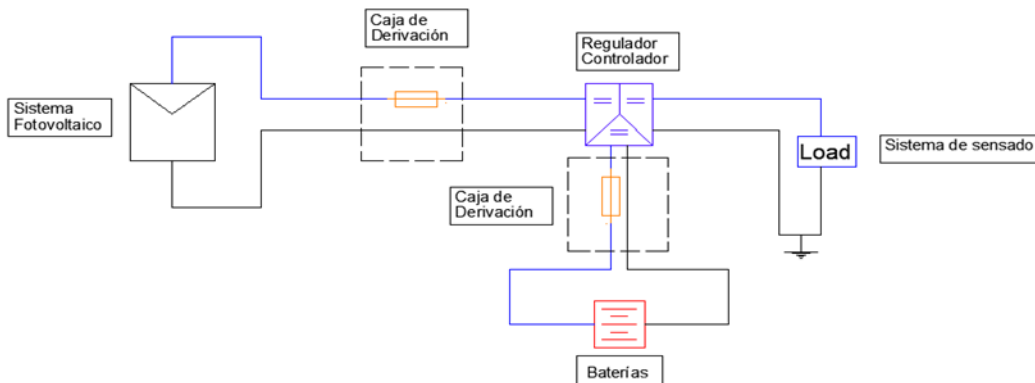
Esquema Eléctrico del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización.



Nota. Fuente: Autores

Figura 17

Esquema Eléctrico del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización con sus Dispositivos de Protección.



Nota. Fuente: Autores

Para el desarrollo del diseño y dimensionamiento del sistema de alimentación para el sistema de monitorización se siguió la metodología propuesta en la figura 14.

8.1 Establecer el Consumo Energético del Sistema de Monitorización

El sistema de monitorización está conformado por el sensor ADXL355 Y el módulo EP32 Lora SX1276/1278 que se describió en el capítulo de especificaciones de suministro de energía del prototipo piloto de monitorización, en el cual se determinó que la potencia que consume el sistema de monitorización es de 2.5007 W.

8.2 Determinar el Número Teórico de Paneles Fotovoltaicos del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización

Para el proyecto se seleccionó el panel fotovoltaico policristalino de 30 W, para el sistema de alimentación del sistema de monitorización. En la tabla 5 se especifican los parámetros técnicos y eléctricos del panel fotovoltaico.

Tabla 5

Características Principales del Panel Fotovoltaico del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Potencia máxima (Pmax)	30 W
Tensión de circuito abierto (Voc)	21.3 V
Corriente de corto circuito (Isc)	1.8 A
Tensión a potencia máxima (Vmp)	18 V
Corriente de potencia máxima (Imp)	1.67 A
Eficiencia del modulo	13.1 %

STC: Irradiancia 1000 W/m², Temperatura de las celdas 25° C, AM1.5

Nota. Fuente: Amerisolar

Para determinar el número teórico de paneles fotovoltaicos se utilizaron las siguientes

Fórmulas:

$$\eta_{\text{syst}} = \eta_{\text{panel fotovoltaico}} * \eta_{\text{regulador de carga}} * \eta_{\text{batería}}$$

η_{syst} : Eficiencia del sistema

$\eta_{\text{panel fotovoltaico}}$: Eficiencia nominal panel fotovoltaico

$\eta_{\text{regulador de carga}}$: Eficiencia regulador de carga

$\eta_{\text{batería}}$: Eficiencia batería

$$E_{\text{gen}} = \frac{E_{\text{carga}}}{\eta_{\text{syst}}} \quad (1.0)$$

Donde:

E_{gen} : Energía generada por el sistema de alimentación [kWh/día]

E_{carga} : Energía consumida por las cargas [kWh/día]

$$N_{pv} = \frac{E_{\text{gen}}}{A_{pv} * HSP} \quad (1.1)$$

Donde:

N_{pv} : Número teórico de paneles fotovoltaicos

A_{pv} : Área del panel fotovoltaico [m²]

HSP : Hora solar pico [kWh/m²/día]

A partir de la energía demanda por el sistema de monitorización y la irradiancia global, difusa, y selección del panel fotovoltaico se aplica la formula (1.1), que determinó el número de paneles fotovoltaicos teóricos necesarios para este proyecto, obteniendo como resultado la implementación de un solo panel fotovoltaico.

8.3 Dimensionamiento del Regulador de Carga del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización

Para la selección del regulador de carga se deben tener las siguientes consideraciones:

- Corriente nominal del regulador de carga
- Potencia nominal del regulador de carga
- Rango de tensión del punto de máxima de potencia

Con base en lo anterior, se determina la corriente de operación del regulador de carga con la siguiente formula

$$IRC = \frac{Npv * Potencia_nominal_del_panel}{Tension_de_operación_de_la_batería} \quad (1.2)$$

A partir de las consideraciones descritas anteriormente y con la fórmula anterior se determina los parámetros eléctricos de operación para seleccionar el regulador de carga que se implementa en el sistema de alimentación para el sistema de monitorización.

Las características principales del regulador de carga seleccionado se presentan a continuación:

Nombre del sistema: 5A buck tensión constante corriente constante MPPT

Propiedades del sistema: Sistema buck no aislado (BUCK)

Tensión de entrada: 6-36V

Tensión de salida: 1.25-32V continuamente ajustable (la salida predeterminada es 5V)

Rango de ajuste de tensión MPPT: 6-36V

Temperatura de funcionamiento: -40 ~ + 85 grados

Frecuencia de operación: 180 KHz

8.4 Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento para el Sistema de Monitorización

Para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento del sistema de monitorización se aplica la siguiente formula:

$$Ca = \frac{Ed * D}{Tn * Pd} \quad (1.3)$$

Donde:

Ca=capacidad de almacenamiento de la batería [Ah]

Ed= Energía demandada por el prototipo de monitorización [Wh/día]

D=Días de autonomía [día]

Tn=Tensión nominal de operación de la batería [V]

Pd=Porcentaje de profundidad de descarga

Para determinar la capacidad de almacenamiento de la batería se consideraron tres días de autonomía del sistema, adicional la tensión seleccionada para la batería es de 12V, y finalmente el porcentaje de profundidad de descarga para la batería es del 70 %, esto debido a que se implementa baterías de la tecnología tipo Gel-acido de plomo.

Con base en lo anterior y aplicando la formula (1.3), se determinó la capacidad de almacenamiento de la batería, teniendo en cuenta que la tensión del sistema es de 12V, para profundidad de descarga del 70%, obteniendo una capacidad de almacenamiento teórico de 21,43Ah.

Para el sistema de almacenamiento de energía eléctrica se seleccionó una batería de la empresa MTEK MT12180HR de tipo Gel con una capacidad de almacenamiento de 20 Ah, con

una tensión nominal de 12 V. A continuación se detallan las características principales de la batería.

Tabla 6

Características Principales de la Batería del Sistema de Alimentación para el Sistema de monitorización

Características principales	
Tensión nominal	12 V
Capacida de carga	20 ampere hour @20°C, 20hour rated (Cut off tensión 1.75V/cell)
Corriente de carga máxima	6 A

Nota. Fuente:MTEK

8.5 Selección del Conductor, Protecciones y Regulador de Tensión del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización

- ✓ Conductor implementado

Para el sistema de alimentación se determinó y seleccionó el conductor fotovoltaico calibre AWG #12 de Procables. En la tabla 7 se muestran las características del conductor.

Tabla 7

Características del Conductor Fotovoltaico AWG #12

Nº Conduc / Sección (mm ²)	Resistencia Ohm/Km	Espesor del aislamiento (mm)	Diámetro exterior aproximado (mm)	Peso aproximado Kg/Km
4	4.950	0.7	6.10	85

Nota. Fuente: Procables

✓ Protecciones eléctricas seleccionadas

Se selecciona la protección con fusibles en el panel fotovoltaico y la batería, de acuerdo con lo mostrado en el esquema eléctrico de la figura 17, para el sistema de alimentación del sistema de monitorización, a continuación, se muestra la protección eléctrica elegida del sistema según el rango de corrientes establecido multiplicado por el 125% o 156% como lo exige la norma¹.

Para el fusible se especifican los siguientes rangos para su selección:

$$I1=1.25(I_{sc}) [A]$$

$$I2=1.56(I_{sc}) [A]$$

$$I3=1.25(I_{mp}) [A]$$

$$I4=1.56(I_{mp}) [A]$$

$$I_{nominal_fusible} = [2.25 - 2.81] [A] \text{ para } I_{sc} \text{ (corriente de cortocircuito)}$$

$$I_{nominal_fusible} = [2.0875-2.6052][A] \text{ para } I_{mp} \text{ (corriente de máximo punto de potencia)}$$

El fusible elegido para proteger el panel y la batería: es de 10X38mm 400V_{DC} a 6 A

✓ Regulador de tensión implementado

Para la selección del regulador de tensión se consideraron los siguientes aspectos:

- Corriente nominal del regulador
- Tensión de entrada y tensión de salida

Con base en lo anterior para el sistema de alimentación se seleccionó el regulador de tensión (LDO) LM7805, que tiene una corriente nominal de un amperio y un rango de tensión de entrada de 7 V a 35 V que regula la tensión de salida constante a 5V, tensión de funcionamiento del sistema de monitorización.

1.Reglamento NTC 2050 ARTICULO 690, RETIE 2013

8.6 Determinar el Ángulo de Inclinación del Panel Fotovoltaico para el Sistema de Alimentación del Sistema de Monitorización

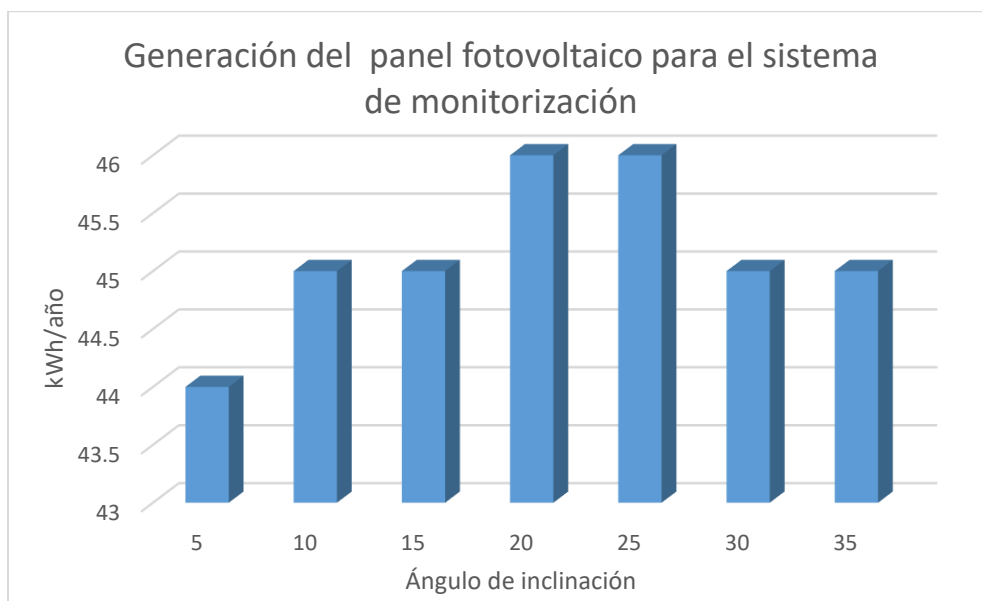
El ángulo de inclinación del panel fotovoltaico es fundamental para una generación más óptima. Una elección errónea del ángulo de inclinación del sistema, ocasiona una disminución en la generación de energía eléctrica.

Para la selección del ángulo de inclinación del panel fotovoltaico para este sistema de alimentación se determinó a partir de simulaciones en el software PVsyst, en donde se varía el ángulo de inclinación en intervalos de $5 \leq \text{grados} \leq 35$ con pasos de 5 grados.

En la siguiente figura se muestra la generación de energía anual del sistema variando el ángulo de inclinación.

Figura 18

Generación de Energía Eléctrica Respecto al Ángulo de Inclinación del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización



A partir de la gráfica anterior se determinó que los ángulos óptimos para implementación del sistema fotovoltaico deben tener una inclinación de 20 grados o 25 grados con respecto a la horizontal donde se instale el panel fotovoltaico.

8.7 Determinar las Pérdidas de Potencia Eléctrica en el Sistema (Efecto joule y sombras), en el Sistema de Alimentación del Sistema de Monitorización

- ✓ Pérdidas por efecto joule

Las pérdidas por efecto joule son aquellas que se producen cuando en un conductor circula una corriente eléctrica.

Para determinar las pérdidas por efecto joule se tienen las siguientes consideraciones.

- Distancia del conductor
- Resistencias del conductor

Para la implementación del sistema de alimentación para el sistema de monitorización se propuso una estructura de soporte de elementos que se menciona en la sección 6.3. De acuerdo con la figura 11 el sistema de alimentación a implementar tiene una distancia aproximada de 3 metros. El conductor implementado para este proyecto se describe en la tabla 7, la cual describe una resistencia de conductor fotovoltaico AWG #12 de 4.950 ohms/ Km. A partir de las anteriores consideraciones se realiza la simulación de las pérdidas por efecto joule en el software PVsyst; a continuación, se muestran los resultados de la simulación en la figura 19.

Figura 19

Pérdidas Energéticas Mensuales del Sistema de Alimentación del Sistema de Monitorización

Pérdidas en el sistema FV	
	OhmLoss kWh
Enero	0.244
Febrero	0.180
Marzo	0.184
Abril	0.151
Mayo	0.148
Junio	0.143
Julio	0.157
Agosto	0.181
Septiembre	0.178
Octubre	0.191
Noviembre	0.193
Diciembre	0.227
Año	2.177

Nota. Fuente: PVsyst

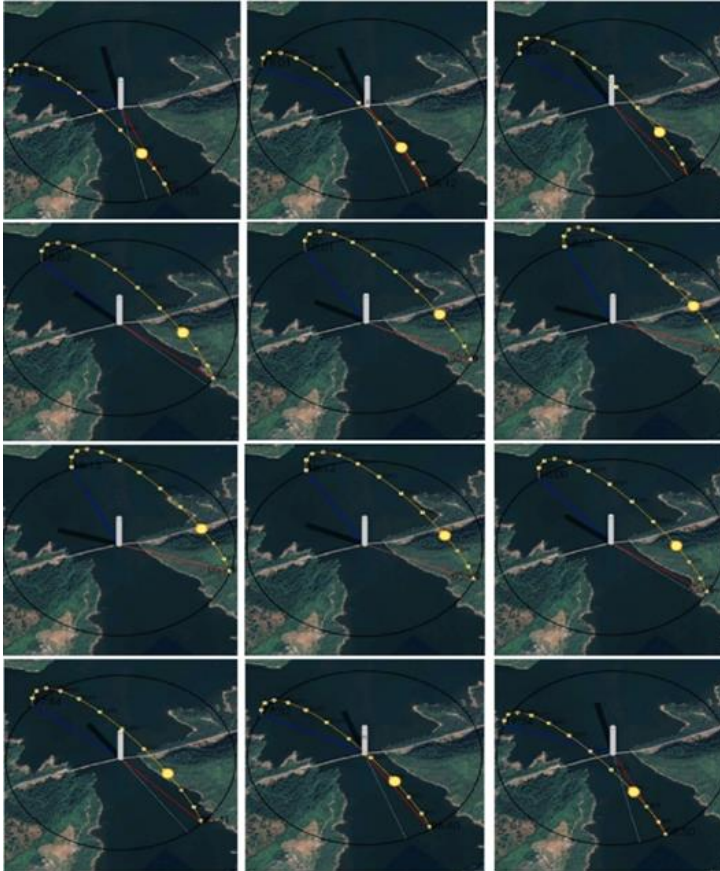
- ✓ Pérdidas por efecto de sombras en el sistema de alimentación del sistema de monitorización

Es necesario estudiar el diagrama de la trayectoria solar en el puente El Tablazo con el fin de precisar la posición del sol en las diferentes horas a lo largo del año, garantizando que los componentes que se instalen funcionen de manera más eficiente, y su estimación sea lo más acorde a las condiciones.

La trayectoria solar es fundamental para determinar el dimensionamiento o afectación de la generación de energía eléctrica debido a las sombras generadas por los obstáculos, que impiden la irradiación directa sobre los paneles fotovoltaicos. Se utilizó la aplicación Sun locator pro² para conocer la trayectoria solar, en la figura 20 se describe el recorrido que realiza el sol durante todo el año iniciando en el mes de enero hasta el mes de diciembre.

Figura 20

Trayectoria Solar en el Puente el Tablazo Betulia- Santander



Nota. Fuente: Sun Locator pro Desarrollador Sun locator

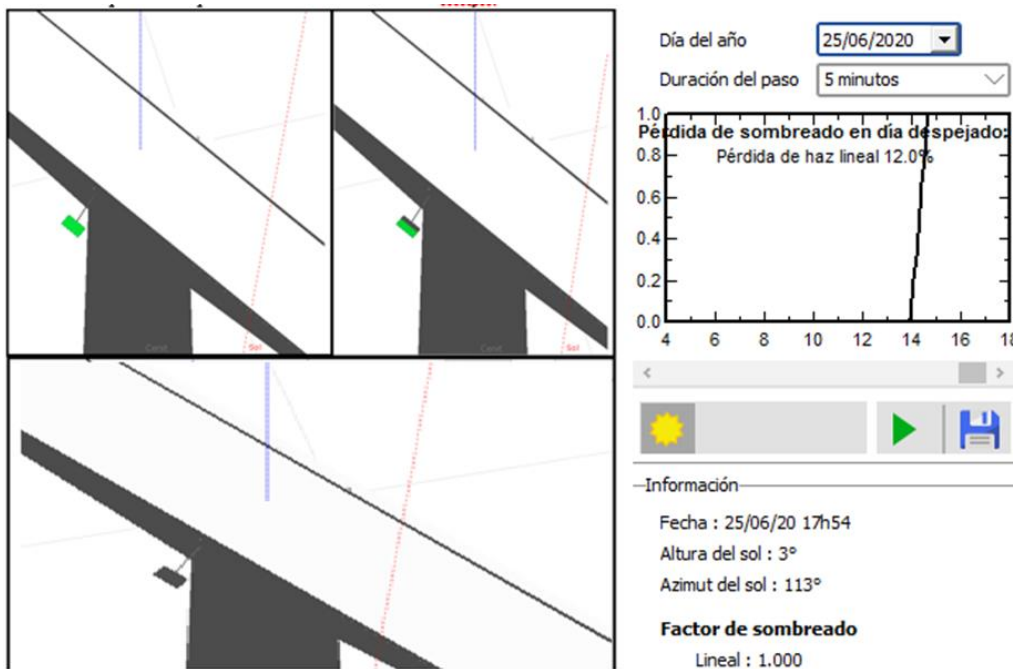
Debido a que el sistema se encuentra fijado en el voladizo del puente, se identificó que las barreras de seguridad instaladas en la estructura, impiden el paso directo de la irradiancia solar sobre el panel fotovoltaico en diferentes franjas horarias, con base a lo anterior el sistema presenta pérdidas energéticas por las sombras en el panel. En consecuencia, a la trayectoria del sol, el sistema de alimentación tiene pérdidas variadas durante todos los meses del año.

2. Para mayor información se puede dirigir a la página web <http://www.sunlocator.com/> o a la app Sun locator pro que puede descargarse en el siguiente link https://play.google.com/store/apps/details?id=com.genewarrior.sunlocator.pro&hl=es_CO&gl=US

Las pérdidas por sombras del panel fotovoltaico se calculan mediante el software PVsyst³, en la siguiente figura se detalla el cálculo particular realizado por PVsyst para el día 25/06/2020, para el cual determina un resultado de pérdidas por sombreado del 12 %.

Figura 21

Cálculo de Pérdidas por Sombras



Nota. Fuente: PVsyst

3. PVsyst. Licencia gratuita de 30 días. Fundadores André Mermoud, Michell Viloz, Software utilizados para diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos. <https://www.pvsyst.com>

A continuación, se precisan las pérdidas de todos los meses del año. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8

Porcentaje de Pérdidas por Efectos de Sombras.

Meses del año	Porcentaje de las pérdidas por sombra
Enero	0.30%
Febrero	1.10%
Marzo	4.20%
Abril	7.00%
Mayo	11.50%
Junio	13.50%
Julio	12.30%
Agosto	8.80%
Septiembre	4.60%
Octubre	2.00%
Noviembre	0.40%
Diciembre	0.10%

Como lo indica la tabla 4, debido a la trayectoria del sol las pérdidas aumentan o decrecen a lo largo del año, por tanto, hay cinco (5) meses críticos en el diseño, los cuales son los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto que presentan pérdidas del 7.00%, 11.50%, 13.50%, 12.30% y 8.80%.

Con base en lo analizado en las simulaciones en PVsyst, el diseño presentará sobre dimensionamiento para los meses de fin e inicio de año debido a su bajo índice de pérdidas, como

resultado el diseño planteado tiene un exceso de energía generada para la atención de la carga; no obstante, el fin del sistema de alimentación es brindar la confiabilidad de atención de la carga durante todo el año.

8.8 Determinar las potencias generadas, eficiencia e indicador para el sistema de alimentación del sistema de monitorización

Para este desarrollo se aplican las siguientes fórmulas para determinar la generación del sistema fotovoltaico, bajo las dos condiciones de pérdidas que se tienen:

$$P1 = N_{pv} * A_{pv} * G_{inc} \quad (1.4)$$

Donde:

P1: potencia generada o entregada por los paneles fotovoltaicos

N_{pv} : Número de paneles requeridos

A_{pv} : Área de cada panel

G_{inc} : Irradiancia (W/m^2)

$$P2 = P1 * \eta_{panel \text{ fotovoltaico}} * (1 + \beta * \Delta T) \quad (1.5)$$

Donde:

P2: potencia de salida considerando la eficiencia del panel y el incremento de la temperatura

$\eta_{panel \text{ fotovoltaico}}$: Eficiencia nominal del panel fotovoltaico

β : Coeficiente de temperatura condición NOCT en porcentaje ($\%/^{\circ}C$)

ΔT : Incremento de la temperatura.

Ahora se utiliza la fórmula (1.5), para conocer la potencia de salida que el sistema fotovoltaico entrega a partir de P1.

$$IDC = \frac{P2}{V_{mpp}} \quad (1.6)$$

Donde:

IDC: corriente del regulador carga [A]

V_{mpp}: Tensión máxima del punto de potencia del panel.[V]

$$P_3 = P_2 - (P_{\text{JouleDC}} = I_{DC}^2 * R_{wDC})$$

Donde:

P₃: Potencia de salida que alimentará el prototipo piloto de la monitorización. [W]

P₂: Potencia de salida considerando la eficiencia del panel y el incremento de la temperatura [W]

P_{JouleDC}: Pérdidas de potencia eléctrica que se transforma en calor[W]

IDC: Corriente eléctrica [A]

R_{wDC}: Resistencia eléctrica del conductor [ohm/km]

Con los resultados de la potencia de salida y la potencia que entrega el sistema de paneles se puede determinar la eficiencia con la siguiente expresión:

$$\eta_{pvs} = \frac{P_3}{P_1} * 100 \quad (1.7)$$

Donde:

η_{pvs} : Eficiencia del sistema fotovoltaico

Conociendo el valor de la eficiencia del sistema fotovoltaico instalado, se puede determinar el indicador que relaciona lo que se pudo generar respecto a la eficiencia nominal del panel, empleando la siguiente formula:

$$PR = \frac{\eta_{pvs}}{\eta_{\text{panel fotovoltaico}}} * 100 \quad (1.8)$$

Aplicando las anteriores ecuaciones se determinan los valores de la potencia generada, eficiencia e indicador del sistema de alimentación para sistema de monitorización, resultado que se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9

Valores de la Potencia que se puede Generar para el Panel de 30W para cada Mes del Año teniendo en cuenta las Pérdidas por efecto Joule, y Pérdidas por sombra

P1_30	P2_30	IDC_P2_30	P3_30	Eficien_30	Indica_30
52.4025	6.6858	0.3714	6.6643	12.7174	97.2883
53.2631	6.7928	0.3774	6.7166	12.6103	96.4684
50.8725	6.4952	0.3608	6.2211	12.2288	93.5503
48.0038	6.1372	0.3410	5.7064	11.8875	90.9392
48.5775	6.2089	0.3449	5.4937	11.3092	86.5155
49.7250	6.3521	0.3529	5.4934	11.0476	84.5145
52.2113	6.6620	0.3701	5.8413	11.1878	85.5864
52.4025	6.6858	0.3714	6.0961	11.6332	88.9940
50.6813	6.4714	0.3595	6.1724	12.1788	93.1681
46.9519	6.0057	0.3336	5.8844	12.5328	95.8759
45.5175	5.8261	0.3237	5.8017	12.7460	97.5072
48.3863	6.1850	0.3436	6.1775	12.7671	97.6686

8.9 Verificación de las potencias del sistema en el software PVsyst para el sistema de alimentación del sistema de monitorización

A partir de los elementos seleccionados para el sistema de alimentación del sistema de monitorización, se procede a ingresar los datos y parámetros eléctricos elegidos de cada componente, y en el software PVsyst se realiza la simulación del diseño, para conocer las energías generadas por el sistema de alimentación y la energía suministrada al sistema de monitorización para cada mes del año.

En la figura 22 se muestran los resultados de la simulación donde se contempla tres apartados importantes para validar el dimensionamiento, uno de ellos es el ítem EUnused (Energía no utilizada) el cual, se menciona la cantidad mensual de energía residual que la carga no contempla. Si se analiza esta casilla para principios y fin de año, la energía restante es considerable, alrededor de 2.508 kWh para el mes de enero, de 2.276 kWh para el mes de diciembre y el mes crítico (Junio) es de 0.790 kWh.

Figura 22

Simulación PVsyst. Energías Suministradas al Usuario del Sistema de Monitorización

	GlobHor kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh
Enero	187.0	4.990	2.508	0.000	2.232	2.232
Febrero	152.9	3.797	1.618	0.000	2.016	2.016
Marzo	168.3	3.855	1.471	0.000	2.232	2.232
Abril	152.7	3.204	0.899	0.000	2.160	2.160
Mayo	161.6	3.171	0.809	0.000	2.232	2.232
Junio	162.0	3.088	0.790	0.000	2.160	2.160
Julio	166.5	3.355	0.994	0.000	2.232	2.232
Agosto	180.2	3.808	1.427	0.000	2.232	2.232
Septiembre	167.2	3.770	1.459	0.000	2.160	2.160
Octubre	166.8	4.005	1.619	0.000	2.232	2.232
Noviembre	158.5	4.028	1.704	0.000	2.160	2.160
Diciembre	172.4	4.663	2.276	0.000	2.232	2.232
Año	1996.1	45.733	17.574	0.000	26.280	26.280

Nota. Fuente: PVsyst

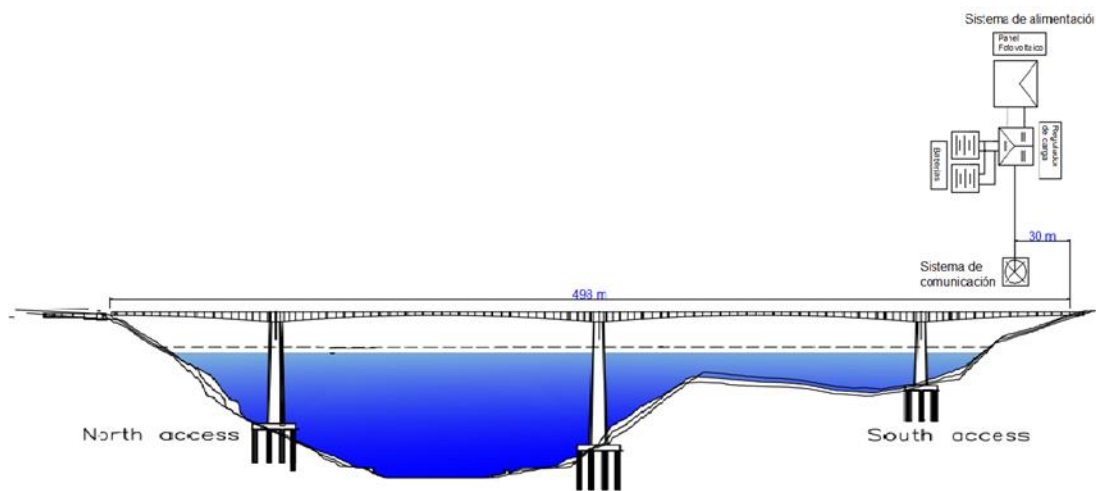
9. Sistema de alimentación para el Sistema de comunicación

El sistema de alimentación para el sistema de comunicación se instalará en el voladizo del puente el Tablazo de acuerdo con lo descrito en el capítulo 6.

Con base en lo anterior este diseño del prototipo de comunicación, plantea un punto de instalación en el voladizo del puente el Tablazo, que se determinó a una distancia alrededor de los 30 metros del cruce del puente, que se detalla en la siguiente figura.

Figura 23

Ubicación del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización que se Instalará en el Voladizo del Puente.

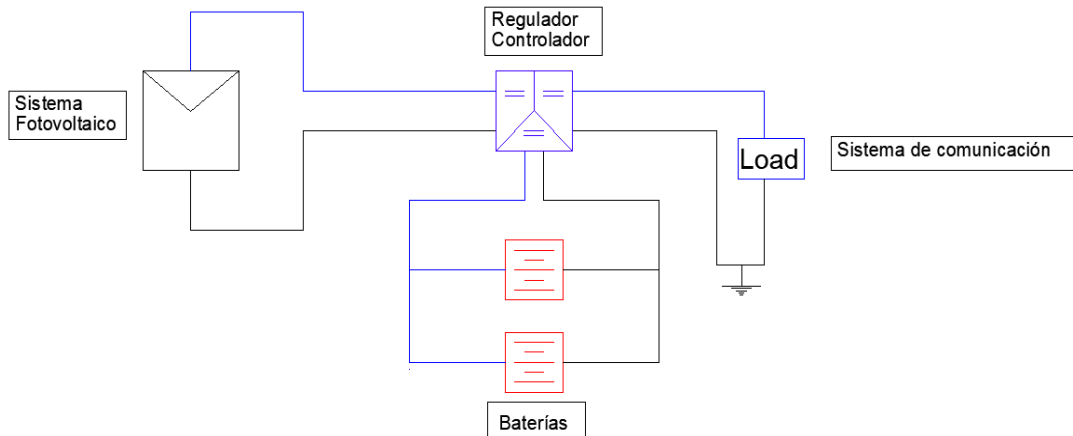


Nota. Fuente: Autores

A continuación, en la figura 24 se presenta el esquema eléctrico del sistema de alimentación para el sistema de comunicación, y en la figura 25 se muestra el esquema eléctrico con los dispositivos de protección.

Figura 24

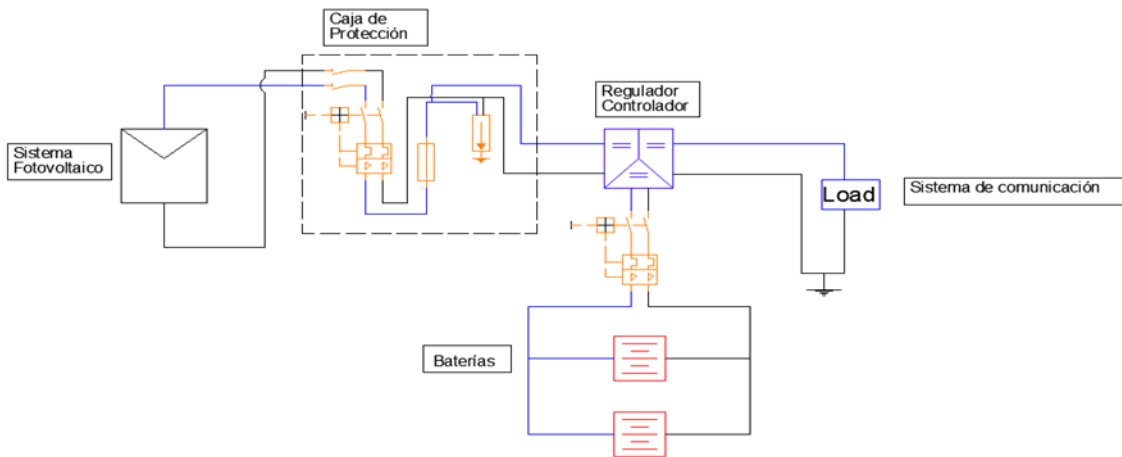
Diagrama o Esquema Eléctrico del Sistema de Alimentación para el sistema de comunicaciones



Nota. Fuente: Autores

Figura 25

Diagrama o Esquema Eléctrico del Sistema de Alimentación para el sistema de comunicaciones. Con sus Dispositivos de Protección.



Nota. Fuente: Autores

Para el desarrollo del diseño y dimensionamiento del sistema de alimentación para el sistema de comunicación se proponen seguir los pasos descritos en el diagrama de desarrollo que se describe en la figura 14.

9.1 Establecer el Consumo Energético del Sistema de Comunicación

El sistema de comunicación está conformado por el sensor ADXL355, el módulo EP32 Lora SX1276/1278 y la antena + modem que se describió en el capítulo de especificaciones de suministro de energía del prototipo piloto de monitorización, en el cual se determinó que la potencia que consume el sistema de comunicación es de 53.58 W.

9.2 Determinar el Número Teórico de Paneles Fotovoltaicos y Selección de Panel

Implementado del Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación

Para el proyecto se seleccionó el panel fotovoltaico policristalino de 405 W, para el sistema de alimentación del sistema de comunicación. En la tabla 10 se especifican los parámetros técnicos y eléctricos del panel fotovoltaico de la marca AMERISOLAR AS-6M-HC.

Tabla 10

Parámetros Técnicos y Eléctricos del Panel Fotovoltaico del Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
Potencia máxima (Pmax)	405 W
Tensión de circuito abierto (Voc)	49.8 V
Corriente de corto circuito (Isc)	10.32 A
Tensión a potencia máxima (Vmp)	41.4 V
Corriente a potencia máxima (Imp)	9.79 A
Eficiencia del modulo	20.13 %

STC: Irradiancia 1000 W/m², Temperatura de las celdas 25° C, AM1.5

Nota. Fuente: Amerisolar

A partir de la energía demanda por el sistema de comunicación y la irradiancia global y difusa del lugar, se aplica la formula (1.1), que determina el número de paneles fotovoltaicos teóricos necesarios para este proyecto, obteniendo como resultado la implementación de un solo panel fotovoltaico.

9.3 Dimensionamiento del Regulador de Carga del Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación

Para la selección del regulador de carga se deben tener las siguientes consideraciones:

- Corriente nominal del regulador de carga
- Potencia nominal del regulador de carga
- Rango de tensión del punto máxima de potencia

Con base en lo anterior, se determina la corriente de operación del regulador de carga aplicando la formula (1.2) y en consecuente con las consideraciones descritas anteriormente se selecciona el regulador de carga para la implementación en el sistema de alimentación para el sistema de comunicación.

En la tabla 11 se especifican las principales características del regulador de carga regulador seleccionado que es de la marca SRNE ML Maximum Power Point Tracking (MPPT) Series ML2440 Solar Charge and Discharge Controller.

Tabla 11

Características Eléctricas del Regulador de Carga, Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación

Parámetros	Valores
Modelo	ML2440
Tensión del sistema	12/24 VAuto
Sin perdidas en la carga	0.7 to 1.2 W
Tensión en la batería	9V to 1.2W
Max. Tensión de entrada	100V(25°C) 90V (25°C)
Max. potencia al Sistema fotovoltaico	520W/12V 1040W/24V
MPPT seguimiento de eficiencia	>99%

Nota. Fuente: SRN

9.4 Dimensionamiento del Sistema de Almacenamiento para el Sistema de Comunicación

Para determinar la capacidad de almacenamiento de la batería se consideraron tres días de autonomía del sistema; la tensión seleccionada para la batería es de 12V, y finalmente el porcentaje de profundidad de descarga para la batería es del 70 %, esto debido a que se implementa baterías de la tecnología tipo Gel-acido de plomo.

Para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento para el sistema de alimentación del sistema de comunicación se aplica la siguiente formula.

Aplicando la formula (1.3) se determina la capacidad de almacenamiento de la batería, teniendo en cuenta que la tensión del sistema es de 12V, para profundidad de descarga del 70%, obteniendo una capacidad de almacenamiento teórico de 457,4Ah. Debido a que la capacidad de almacenamiento es considerable se decidió implementar un sistema de baterías en paralelo; para

el sistema de almacenamiento se seleccionó dos baterías de 200Ah a 12V, que en bancada paralelo tiene una capacidad de almacenamiento 400Ah.

Para el sistema de almacenamiento de energía eléctrica se implementan dos baterías marca KAISE KBG12200 de tipo Gel con una capacidad de almacenamiento de 200 Ah con una tensión nominal de 12 V, en la siguiente tabla, se especifican las características principales de la batería.

Tabla 12

Características Principales de la Batería Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación

Características principales

Tensión nominal	12 V
Numero de celdas	6
Vida estimada	12 años
Capacidad nominal 77°F(25°C)	
10 relación de descarga en amperios por horas(20A, 10.8 V)	200Ah
5 relación de descarga en amperios por horas (35.2A, 10.5V)	175Ah
1 relación de descarga en amperios por horas (124A, 9.6V)	124 Ah

Nota. Fuente: Ficha técnica Kaise

9.5 Selección del Conductor, Protecciones y Regulador de Tensión del Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación

- ✓ Conductor implementado

Para el sistema de alimentación de determinó y seleccionó el conductor fotovoltaico calibre AWG #12 de Procables se muestra en la tabla 7 las características principales del conductor.

- ✓ Protecciones eléctricas seleccionadas

Se selecciona las protecciones eléctricas, con un interruptor termomagnético, un fusible, y un DPS en el panel fotovoltaico (sistema de alimentación), y un interruptor termomagnético en la batería (sistema de almacenamiento), de acuerdo con lo mostrado en el esquema eléctrico de la figura 25, para el sistema de alimentación del sistema de comunicación. A continuación, se muestra las protecciones eléctricas elegidas del sistema según el rango de corrientes establecidos multiplicado por el 125% o 156% como lo exige la norma.

Para el proyecto se seleccionó las siguientes protecciones eléctricas:

Para proteger la parte el sistema de alimentación se seleccionó un interruptor termomagnético: de 125V_{DC} B20 o C20 (La letra hace referencia al tipo de curva).

Para proteger el sistema de almacenamiento se seleccionó un interruptor termomagnético: de 125V_{DC} B50 o C50

El fusible es opcional si se desea instalar: para el sistema de alimentación sería un fusible 10X38mm de 400V_{DC} con corriente nominal de 20A.

Para el fusible se especificó los siguientes rangos para su selección:

$$I1=1.25(I_{sc}) = 1.25(10.59) = 13.2375[A]$$

$$I2=1.56(I_{sc}) = 1.56(10.59) = 16.5204[A]$$

$$I3=1.25(I_{mp}) = 1.25(10.07) = 12.5875[A]$$

$$I4=1.56(I_{mp}) = 1.56(10.07) = 15.7092[A]$$

$$I_{nominal} = [13.2375 - 16.5204] [A] \text{ para } I_{sc}$$

$$I_{nominal} = [12.5875-15.7092][A] \text{ para } I_{mp}$$

El DPS elegido tiene los siguientes parámetros de operación:

Up: 500V_{DC}

Uc:500 A 1000 V

In: 10KA

Imáx:20KA

- ✓ Regulador de tensión implementado

Para la selección del regulador de tensión se consideraron los siguientes aspectos:

- Corriente nominal del regulador
- Tensión de entrada y tensión de salida

Con base en lo anterior para el sistema de alimentación se seleccionó el regulador de tensión (LDO) LM7805, que tiene una corriente nominal de un amperio y un rango de tensión de entrada de 7 V a 35 V que regula la tensión de salida constante a 5V, tensión de funcionamiento del sistema de comunicación.

9.6 Determinar el Ángulo de Inclinación del Panel Fotovoltaico para el Sistema de Alimentación del Sistema de Comunicación

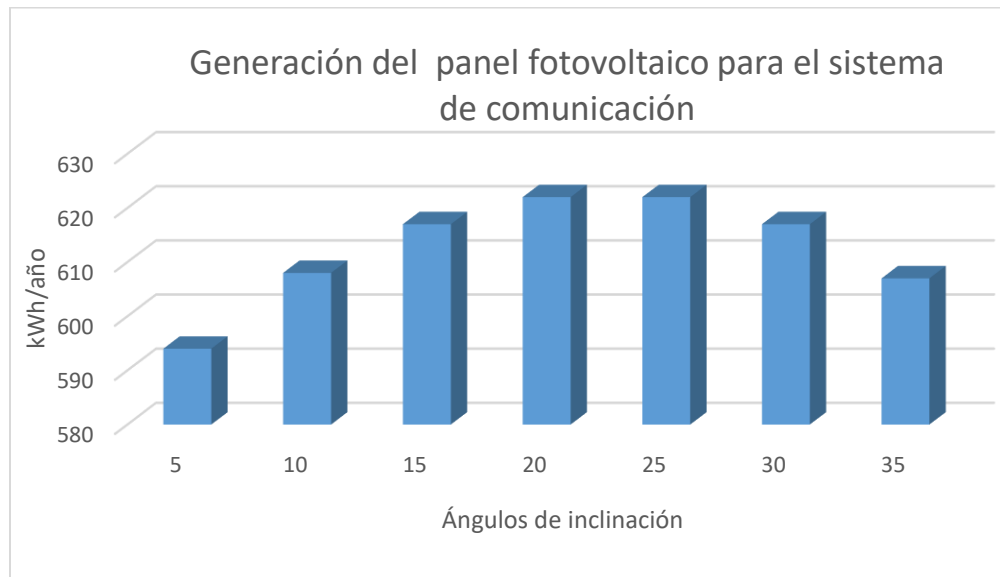
El ángulo de inclinación del panel fotovoltaico es fundamental para una generación óptima. Una elección errónea del ángulo de inclinación del sistema, ocasiona una disminución en la generación de energía eléctrica.

Para la selección del ángulo de inclinación del panel fotovoltaico para este sistema de alimentación se determinó a partir de simulaciones en el software PVsyst, en donde se varía el ángulo de inclinación en intervalos de $5 \leq \text{grados} \leq 35$ con pasos de 5 grados.

En la siguiente figura se muestra la generación de energía anual del sistema variando el ángulo de inclinación.

Figura 26

Generación de Energía Eléctrica Respecto al Ángulo de Inclinación del Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación.



A partir de la gráfica anterior se determinó que los ángulos óptimos para implementación del sistema fotovoltaico deben tener una inclinación de 20 grados o 25 grados con respecto a la horizontal.

9.7 Determinar las Pérdidas de Potencia Eléctrica en el Sistema (Efecto joule y sombras) para el Sistema de Alimentación del Sistema de Comunicación

- ✓ Pérdidas por efecto joule

Para determinar las pérdidas por efecto joule se tienen la siguiente consideración.

- Distancia del conductor
- Resistencias del conductor

Para la implementación del sistema de alimentación para el sistema de comunicación se propuso una estructura de soporte de los elementos que se menciona en la sección 6.3. De acuerdo

con la figura 11 el sistema de alimentación a implementar tiene una distancia aproximada de 3 metros.

El conductor seleccionado para este proyecto se describe en la tabla 7, la cual describe una resistencia de conductor fotovoltaico AWG #12 de 4.950 ohm/ Km.

A partir de las anteriores consideraciones se realiza la simulación de las pérdidas por efecto Joule en el software PVsyst; a continuación, se muestran los resultados de la simulación en la figura 27.

Figura 27

Pérdidas Energéticas Mensuales del Sistema de Alimentación del Sistema de Comunicación

Pérdidas en el sistema FV	
	OhmLoss kWh
Enero	1.559
Febrero	1.148
Marzo	1.173
Abril	0.952
Mayo	0.936
Junio	0.903
Julio	0.991
Agosto	1.147
Septiembre	1.127
Octubre	1.219
Noviembre	1.230
Diciembre	1.441
Año	13.826

Nota. Fuente: PVsyst

✓ **Pérdidas por efecto de sombras**

Debido a que los paneles fotovoltaico que se instalaran en el puente el tablado del sistema de alimentación para el sistema de comunicación tienen la misma estructura y ubicación del sistema de alimentación para el sistema de monitoreo, por lo tanto, se aplica el mismo método de cálculo de pérdidas por sombra que se explica en la sección 8.7.

9.8 Determinar las Potencias Generadas, Eficiencia e Indicador para el Sistema de Alimentación del Sistema de Comunicación

Aplicando las ecuaciones (1.4), (1.5), (1.6), (1.7) y (1.8) se determinan los valores de la potencia generada, eficiencia e indicador del sistema de alimentación para el sistema de comunicación, mostrando los resultados de los cálculos en la siguiente tabla.

Tabla 13

Valores de Potencia que se puede Generar para el Panel de 405W para cada Mes del Año teniendo en cuenta las Pérdidas por efecto Joule, y Pérdidas por sombra

P1_405	P2_405	IDC_P2_405	P3_405	Eficiencia_405	Indicador_405
468.8368	90.2579	2.1801	89.9368	19.1830	97.2552
476.5367	91.7032	2.2151	90.6429	19.0212	96.4351
455.1482	87.6855	2.1180	83.9570	18.4461	93.5194
429.4819	82.8520	2.0013	77.0128	17.9316	90.9107
434.6152	83.8198	2.0246	74.1419	17.0592	86.4881
444.8817	85.7537	2.0713	74.1375	16.6645	84.4872
467.1258	89.9366	2.1724	78.8304	16.8756	85.5573
468.8368	90.2579	2.1801	82.2691	17.5475	88.9637
453.4371	87.3637	2.1102	83.2998	18.3707	93.1374
420.0710	81.0764	1.9584	79.4149	18.9051	95.8466
407.2378	78.6522	1.8998	78.2994	19.2269	97.4783
432.9041	83.4972	2.0168	83.3705	19.2584	97.6379

9.9 Verificación de las Potencias del Sistema en el Software PVsyst para el Sistema de Alimentación del Sistema de Comunicación

A partir de los elementos seleccionados para el sistema de alimentación del sistema de comunicación, se procede a ingresar los datos y parámetros eléctricos elegidos de cada componente, y en el software PVsyst se realiza la simulación del diseño, para conocer las energías generadas por el sistema de alimentación y la energía suministrada al sistema de comunicación para cada mes del año.

En la figura 28 se muestran los resultados de la simulación donde se contempla tres apartados importantes para validar el dimensionamiento, uno de ellos es el ítem EUnused (Energía no utilizada) el cual, menciona la cantidad mensual de energía residual que la carga no contempla. Si se analiza esta casilla para principios y fin de año, la energía restante es considerable, alrededor de 18.92 kWh para el mes de enero, de 18.9 kWh para el mes de diciembre y el mes crítico (Junio) es de 1.03 kWh.

Figura 28

Simulación en PVsyst. Energías Suministradas al Usuario, Sistema de Comunicación

	GlobHor kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh
Enero	187.0	67.83	18.92	0.000	39.43	39.43
Febrero	152.9	52.06	11.53	0.000	35.62	35.62
Marzo	168.3	52.84	7.67	0.000	39.43	39.43
Abril	152.7	44.18	2.94	0.000	38.16	38.16
Mayo	161.6	43.77	1.27	0.000	39.43	39.43
Junio	162.0	42.56	1.03	0.000	38.16	38.16
Julio	166.5	46.20	2.39	0.000	39.43	39.43
Agosto	180.2	52.38	7.96	0.000	39.43	39.43
Septiembre	167.2	51.82	9.26	0.000	38.16	38.16
Octubre	166.8	54.98	10.54	0.000	39.43	39.43
Noviembre	158.5	55.30	11.38	0.000	38.16	38.16
Diciembre	172.4	63.59	18.90	0.000	39.43	39.43
Año	1996.1	627.52	103.79	0.000	464.28	464.28

Nota. Fuente: PVsyst

10. Verificación del Funcionamiento en el Laboratorio del Sistema de Alimentación

Diseñado

En esta sección se describe la verificación del correcto funcionamiento del sistema de alimentación para el prototipo piloto de monitorización. Para el desarrollo de este apartado, fue necesario la implementación de todos los elementos que conforman el prototipo de monitorización en el laboratorio de uso racional de la energía (URE) y energías renovables (ER) de la Universidad Industrial de Santander. La verificación del funcionamiento del prototipo tiene el propósito de corroborar la correcta operación de todos los elementos del sistema alimentación por separado y la verificación del funcionamiento en conjunto del sistema.

El sistema de alimentación para el prototipo que se va a verificar es de acuerdo con el diseño del sistema de alimentación al exterior del puente. El prototipo piloto de monitorización, será revisado en dos componentes, sistema de alimentación para el sistema de monitorización y sistema de alimentación para el sistema de comunicación.

Verificación del Funcionamiento del Sistema de alimentación para el sistema de monitorización.

Para el desarrollo del prototipo se compró una unidad de cada elemento adicional como reserva en caso de fallo.

Para la implementación del sistema de alimentación para el sistema de monitorización se adquirieron once unidades de paneles fotovoltaicos, once reguladores de carga, once unidades de baterías y once unidades de reguladores de tensión (LDO).

A continuación, se describe las configuraciones para el funcionamiento del regulador de carga MPPT 5 A.

En la figura 29 se muestra la conexión de los conductores en los pines de entrada y salida del regulador de carga (Entrada-Input, Salida -Output) en el cual el conductor positivo procedente del panel fotovoltaico se conecta al pin (+) y el conductor negativo al pin (-); también se muestra los potenciómetro (Trimmer) necesarios para la configuración del dispositivo.

Figura 29

Trimmer para Configurar el Regulador de Carga MPPT



Los pasos a seguir para la configuración de regulador de carga son:

Paso 1: Establezca la tensión del máximo punto de potencia del panel fotovoltaico (V_{mp}) en la entrada del regulador de carga (V_2).

Paso 2. Establecer el voltaje de salida: configure el voltaje de salida al voltaje requerido de acuerdo con el valor de voltaje de flotación de la batería que desea cargar, ajuste la posición del voltaje constante con el trimmer de ajuste de la tensión de salida. En dirección de las agujas del reloj se aumenta la tensión y en sentido antihorario decrece la tensión. Este paso se debe realizar sin carga.

Paso 3: Establecer el valor máximo de corriente: después de ajustar el voltaje de salida, realice un cortocircuito a la salida del regulador de carga (Output) con un multímetro de corriente de 20 A; el color del Led indica el estado de configuración del regulador de carga, el color rojo indica que el regulador aún no se ha configurado y el color verde indica que ya se encuentra configurado.

Para establecer el valor de la corriente máxima cuando el led está en color rojo, gire el

potenciómetro de corriente (CC) en sentido horario hasta el valor deseado teniendo en cuenta el valor máximo configurable de corriente de 5 A del dispositivo. Cuando ya esté seleccionado el valor de corriente deseado, gire el potenciómetro denominado ajuste de color del led hasta cuando cambie de color rojo a verde.

Paso 4: Configuración del valor de tensión del MPPT:

Método A: En este método se configura el regulador de carga con una fuente de alimentación de corriente continua; el regulador de carga debe estar configurado con el paso 1 y 2. Ahora se ajusta el potenciómetro MPPT en sentido antihorario hasta que disminuya la tensión de flotación fijado para la batería (tensión de salida V1), cuando esto suceda el regulador ya está configurado.

Método B: En este método se configura el regulador de carga directamente con el panel fotovoltaico; el regulador de carga debe estar configurado con el paso 2. Para el paso 1, se debe bloquear parte de la luz que incide sobre el panel fotovoltaico hasta garantizar la tensión (V_{mp} 18 V), ahora se gira el potenciómetro MPPT en sentido anti-horario hasta que la tensión de salida fijada decrezca.

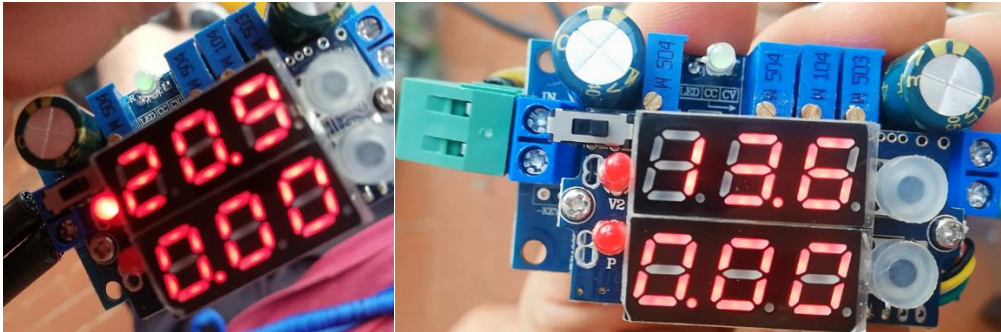
El regulador de carga seleccionado para el sistema alimentación para el sistema de monitorización, se verificó con una fuente de alimentación DC estableciendo un valor de tensión dentro del rango del funcionamiento del regulador para la entrada y la salida. Para la entrada se fijó una tensión de 20.9 V y para la salida se estableció un valor de tensión referida a la de tensión de flotación de la batería (13.6 V).

Estos valores se muestran en la pantalla del regulador en (V2) tensión de entrada del regulador y (V1) tensión de salida del regulador, este proceso se realizó para los once elementos,

dando como resultado el funcionamiento correcto de todos los elementos. En la siguiente figura se observa la tensión de entrada y salida del regulador

Figura 30

Verificación del Regulador de Carga. Tensión de Entrada y Salida



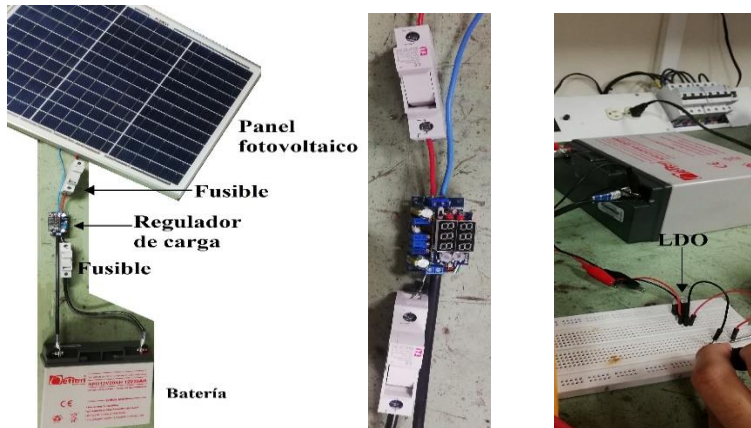
La verificación del funcionamiento en conjunto del prototipo piloto de monitorización consiste en la implementación de todos los elementos del sistema de alimentación. El sistema de alimentación está conformado por el panel fotovoltaico de una potencia de 30 W, regulador de carga MPPT 5 A, batería de gel 20 Ah, 12 V, regulador de tensión (LDO) de salida de 5V constante, y finalmente las protecciones del sistema. En la figura 31 se detalla el sistema de alimentación implementado.

La verificación de funcionamiento del sistema de alimentación para el sistema de monitorización consiste en:

1. Simular condiciones nominales del panel fotovoltaico.
2. Verificar la tensión de flotación de la batería en el regulador de carga.
3. Verificar la potencia suministrada a la batería.
4. Verificar la tensión suministrada al prototipo piloto de monitorización.

Figura 31

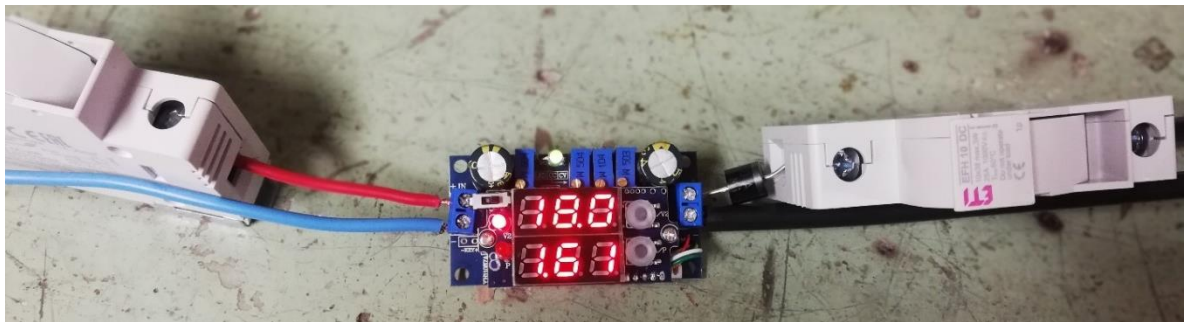
Implementación del Sistema de Alimentación para el Sistema de Monitorización en Laboratorio



La verificación del funcionamiento del sistema de monitorización en el laboratorio; se simulan condiciones cercanas a las nominales del panel fotovoltaico, ajustando una fuente de tensión CC. En la figura 32 se muestra el valor de tensión de potencia máxima (V_{mp} 18 V) y corriente de potencia máxima (I_{mp} 1.67 V).

Figura 32

Condiciones de V_{mp} e I_{mp} del Panel Fotovoltaico



Partiendo de la tensión de entrada al regulador de carga y ajustada al punto de máxima potencia se verifica la tensión de salida del regulador de carga a la tensión de salida que se fijó en la tensión de flotación de baterías que tiene un rango de 13.5 V a 13.8 V, y se verifica la potencia

suministrada a la batería. En la figura 33 se observa la tensión de alimentación a la batería (13,5 V) y en la figura 34 se observa la potencia suministrada a la batería.

Figura 33

Tensión de Salida Suministrada a la Batería en el Laboratorio

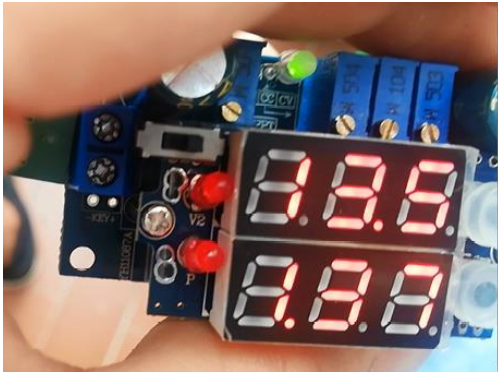


Figura 34

Potencia Suministrada a la Batería



La tensión necesaria para alimentar el sistema de monitorización es de 5 V en la salida, pero las condiciones nominales de la batería son de 12 V. A continuación, en la figura 35 se muestra el LDO LM7805 (Regulador de tensión), que reduce la tensión de 12V a 5V.

Figura 35

Tensión Suministrada a la Carga (LDO)



Verificación del Funcionamiento del Sistema de alimentación para el sistema de comunicación.

El sistema de comunicación implementado en el laboratorio cuenta con los siguientes componentes: Panel fotovoltaico, Regulador de carga, Baterías y protecciones.

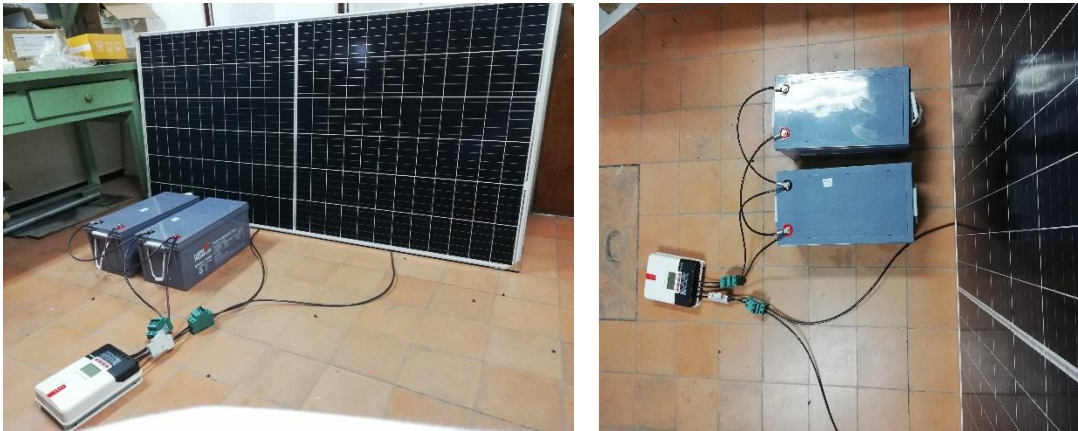
En la figura 36 se muestra el sistema de alimentación para el sistema de comunicación.

La verificación de sistema de alimentación para el sistema de comunicación consiste en:

- 1 Verificar la tensión del panel fotovoltaico detectado por el controlador de carga.
- 2 Verificar la tensión del sistema de almacenamiento detectado por el controlador de carga.
- 3 Verificar la tensión suministrada al sistema de comunicaciones.

Figura 36

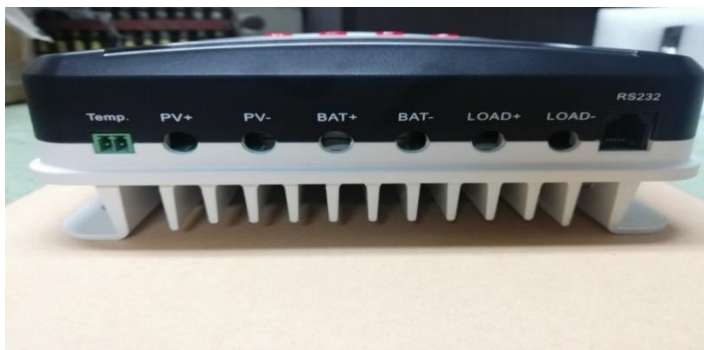
Sistema de Alimentación para el Sistema de Comunicación Implementado en el Laboratorio



A continuación, se describe el ajuste y configuración del Regulador de carga. En la figura 37 se muestra las entradas de conexión para el regulador de carga. Las entradas PV+, PV- son las que permite conectar los paneles fotovoltaicos, los pines BAT+, BAT- son las entradas que permiten la conexión del sistema de almacenamiento (Baterías) y los pines LOAD+, LOAD- son las entradas que permiten conectar la carga. En la entrada pin Temp se conecta el sensor que proporciona la temperatura.

Figura 37

Entradas del Regulador ML2440



Para la configuración del regulador se deben seguir los siguientes pasos:

Paso 1. Se presiona el botón de set por tres o cuatro segundos para poder ingresar a la configuración del sistema.

Paso 2. Se configura el parámetro tipo batería.

Paso 3. Se configura la tensión del sistema, para este caso es de 12V.

Paso 4. Se configura la tensión de ecualización de la batería, para este caso es de 15.5 o 16V por defecto.

Paso 5. Se configura la tensión de absorción, para este caso es de 14 o 15 V por defecto.

Paso 6. Se configura la tensión de flotación para este caso es de 13.6V.

Paso 7. Se configura la tensión de retorno tras descarga máxima. (No se define cual sea esa tensión en la ficha técnica de la batería).

Paso 8. Se configura la tensión de descarga máxima de carga.

Paso 9. Finalmente se presiona el botón set de nuevo quedando configurado los parámetros de la batería.

Para la configuración de modo de carga, se sigue los siguientes pasos:

Paso 1. Se encuentra el modo de depuración del sistema, es fácil de identificar porque se define a partir del número 15 por defecto con el símbolo de un bombillo que representa el estado de la carga.

Paso 2. Se presiona el botón set, para entrar en la configuración y así modificar el modo de la carga, es decir si estará 15 o 24 horas operando.

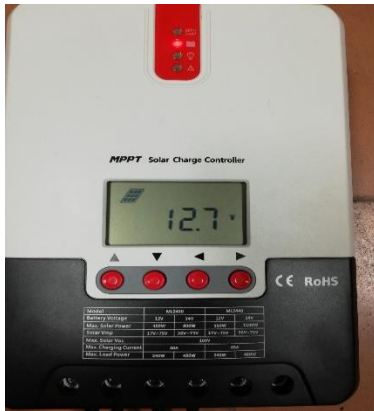
Paso 3. Definido el número de horas del sistema se presiona nuevamente el botón de set, quedando configurado el parámetro del tiempo que el regulador de carga estará en operación verificando si hay errores en la instalación del equipo.

Las pruebas se realizaron en condiciones de iluminación en el laboratorio de URE Y ER.

En la figura 38 se aprecia la tensión del panel fotovoltaico que el regulador detecta en condiciones de laboratorio.

Figura 38

Tensión de Panel Fotovoltaico Detectada por el Regulador de Carga en el Laboratorio



En la figura 39 se muestra la tensión del grupo de baterías que detecta el regulador de carga.

Figura 39

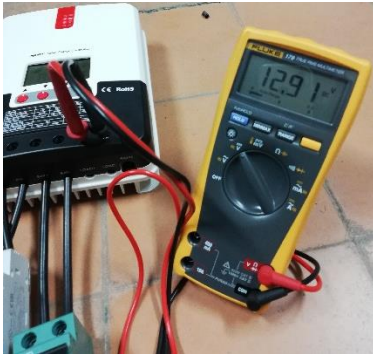
Tensión del Sistema de Almacenamiento Detectada por el Regulador de Carga



En la figura 40 se describe la tensión suministrada al sistema de comunicación.

Figura 40

Tensión Suministrada al Sistema de Comunicación



11. Conclusiones

En los diseños del sistema de alimentación que se consideraron para el desarrollo de este proyecto con base en fuentes de generación de energías renovables, se identificó y seleccionó, la fuente de generación solar fotovoltaica que garantiza el funcionamiento del sistema de monitorización y comunicación durante el día. Para que los sistemas funcionen durante la noche se diseñó el sistema de almacenamiento y sus respectivos parámetros energéticos establecidos para alimentar al sistema de monitorización y al sistema de comunicación utilizando baterías de GEL-acido de plomo de ciclo profundo.

En el presente proyecto se utilizaron 10 paneles fotovoltaicos de 30W, con 10 baterías de 12V a 20Ah para el diseño de los sistemas de alimentación de los sistemas de monitorización, que está compuesto por sensores que detectan las vibraciones del puente ante movimientos telúricos. En el diseño del sistema de alimentación para el sistema de comunicación se utilizó un panel fotovoltaico de 405 W con dos baterías de 12V a 200Ah conectadas en paralelo, garantizando que

el sistema de comunicación para el envío y recepción de datos estará alimentado los veinticuatro horas del día. Ambos diseños cuentan con regulador controlador de carga con el fin de que el sistema fotovoltaico trabaje en condiciones de máximo punto de potencia fijando la tensión de entrada de manera que la corriente aumente en el sistema y se mantenga las condiciones necesarias para una mejor eficiencia de la capacidad de carga de las baterías para las diferentes condiciones de operación que se puedan presentar.

Los elementos y sistemas analizados en este trabajo como: los sistemas piezoeléctricos, los sistemas híbridos, los sistemas eólicos, y los sistemas fotovoltaicos, buscan aliviar los problemas medio ambientales que hay en la actualidad como por ejemplo: las emisiones de CO₂, el efecto invernadero, lluvia ácida (causada por la combinación de compuestos de óxido de nitrógeno o dióxido de azufre) por medio de los gases y sustancias químicas que se acumulan en la atmósfera, y contribuyen a el aumento de la temperatura del planeta. Estos sistemas también brindan una solución parcial o total con respecto a los problemas energéticos porque aprovechan recursos ilimitados de la naturaleza o el movimiento de las propias personas u objetos como es el caso de los elementos piezoeléctricos, satisfaciendo el incremento del consumo eléctrico, la escasez de los recursos por combustibles fósiles, dependencias energéticas del exterior (carencias de redes eléctricas en zonas remotas o aisladas), entre otros.

Bibliografía

E. Muñoz, R. Hernández, E. Valbuena, L. Trujillo, and L. Santacru., *“Rehabilitación de los puentes de la Red de carreteras de Colombia, basados en inspecciones visuales, estudios especializados y estrategias de reparación.”* Rev. Ing. Constr., vol. 20, no. 1, pp. 159–182, 2005.

L. Á. Martínez Trujano et al. (2016). *“Sistema Inteligente y protocolos de actuación para monitorización remoto de puentes,”* Sanfandila.

Vega de Kuyper, Ramírez Morales. *“Fuentes de energía, renovables y no renovables: aplicaciones”*

Tamayo Zapata, D.A, Cardozo Gutiérrez, K. *“El uso de piezoeléctricos para la generación de energía sostenible como proyecto piloto en un perfil vial de Bogotá”.*

Villarrubia López, M (2012) *“Ingeniería de la energía eólica”*. Marcombo- Barcelona

Pareja Aparicio, M (2015) *“Energía solar fotovoltaica”*. Marcombo-Barcelona

Solar power europe “Digitalización y Energía Solar” Edición México

Vergara-Barrios, P.P, Rey-López, J.M, Osma-Pinto, G.A, Ordóñez-Plata, G. *“Evaluación del potencial solar y eólico del campus central de la Universidad Industrial de Santander y la ciudad de Bucaramanga, Colombia”*

Osma-Pinto, G.A, Florez, C, Rojas, W, Florez, F, Ordoñez, G. *Universidad Industrial de Santander “Mejoramiento del desempeño de paneles fotovoltaicos a partir de la irrigación forzada de la superficie superior”*

Luna-Carlosama, C, Jiménez-García, F, Moreno-Chuquen, R, Mulcué-Nieto, L. *Universidad Industrial de Santander “Potencial de irradiación solar para generar electricidad en el departamento del Putumayo de Colombia”*

Osma-Pinto, GA. *Fundamentos de la generación eléctrica , Universidad Industrial de Santander*”

Rodríguez-Rodríguez, J, Rodríguez-Bernal, J.S. *Universidad Industrial de Santander* “*Estudio de la afectación del sombreado en un sistema fotovoltaico ubicado en el municipio de Barrancabermeja*”.

Correa-Castillo, M.A *Universidad del Valle de Santiago de Cali* “*El diseño y construcción de un sistema de aprovechamiento de energía solar para el mejoramiento de la autonomía de un drone*”

Alvarado-Guanín, C.R *Universidad Politécnica Salesiana* “*Diseño y construcción de un sistema de iluminación autosustentable fotovoltaico para una parada de buses y su valla informativa del sistema integrado de transporte de cuenca*”

Gómez Pedraza, S.M, Quintero Ramirez, I.L. *Universidad Distrital Francisco José Caldas* “*Estudio técnico de aplicación de alumbrado público con pv a la zona deportiva del barrioverbenal sur*”

Martínez Carrillo, E.E Moreno Castillo, L.D *Universidad Nacional de Ingeniería recinto Universitario Simon Bolivar facultad de Electrotecnia y Computación.* “*Iluminación pública solar fotovoltaica para la ciudad de managua, nicaragua*”

Echavarria Arango, B.D, Rojas Herrera, H.M *Universidad de Antioquia,* “*Implementación de un sistema de alumbrado público con paneles solares en el municipio de el peñol*”.

Bohorquez, D.L, Rodriguez-Salazar, J.A *Universidad Cooperativa de Colombia*,
“Implementación de alumbrado público alimentado con energía fotovoltaica en la entrada del municipio de santa ana magdalena primer kilometro (1 km) de la via santa ana – pueblito”,

LISS A, Chavéz P, *Universidad de los Andes de Mérida Venezuela* “el sistema de alimentación de emergencia para semáforos”

Muñoz-Ulloa, L.T *Universidad Piloto De Colombia en Bogotá* “propuesta de un sistema renovable basado en paneles solares para la alimentación de la semaforización vehicular y peatonal. caso de estudio localidad de chapinero”

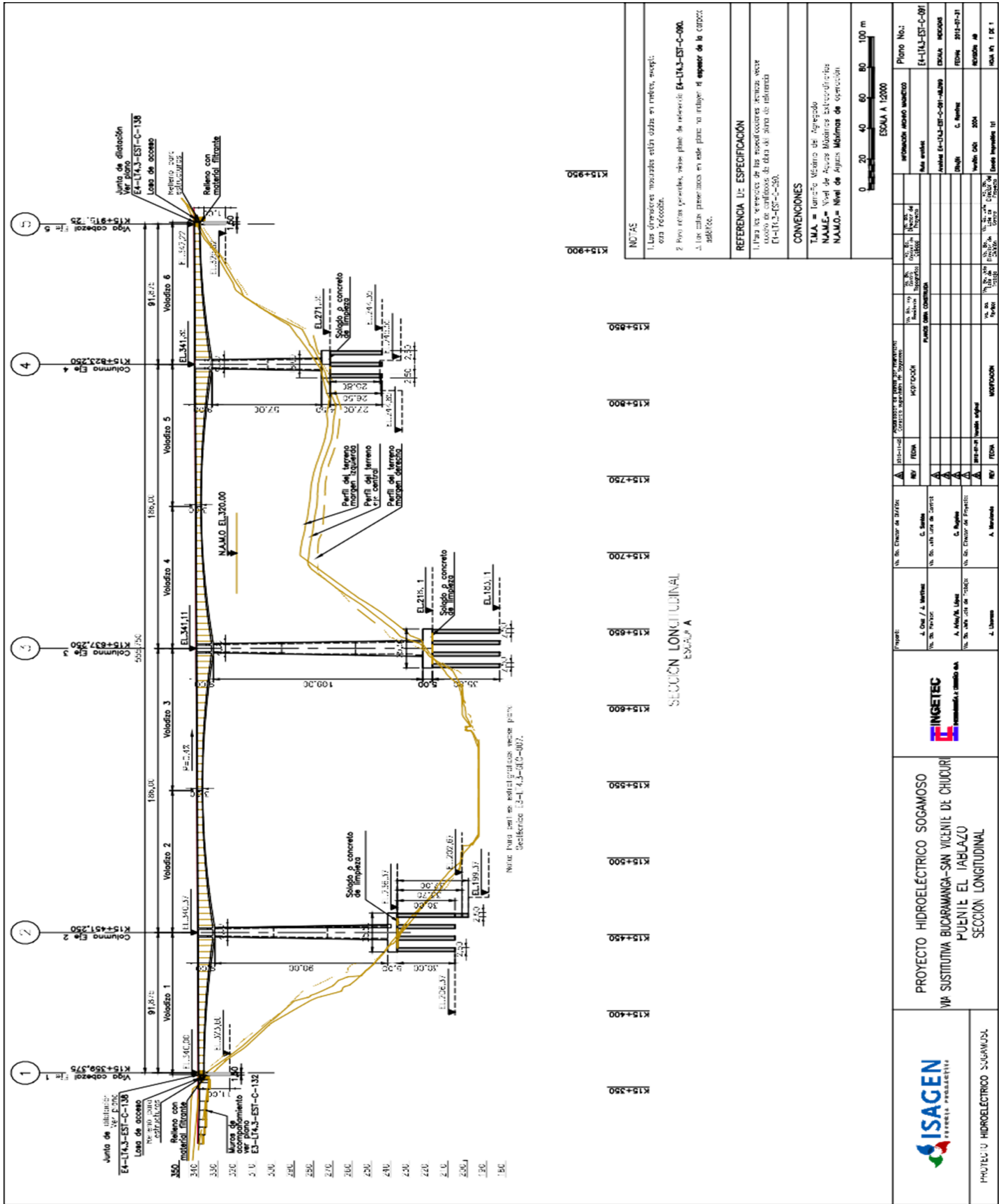
Althviz Bernal, J.S, Monsalve López, D, Rincón Cante, J.I , Alvarado, F.A *Universidad Santo Tomás de Bogotá*. “diseño e implementación del sistema alternativo de semaforización con paneles solares en el municipio de Zipaquirá”

Aquino Vasquez, D.A, Hernandez Aldana, R.M *Universidad de El Salvador*, “Manual de construcción de Puentes de Concreto.”

Seminario Manrique, E (2004). *Universidad de piura* “guía para el diseño de puentes Con vigas y losas”.

ANEXO A

Plano del perfil longitudinal del puente el tablado



Nota: Para perfiles estructurales ver plan. Secciónes 1.3-1.4.3-3(C-007).

SECCIÓN LONGITUDINAL
Escala 1:1000

NOTAS	1. Las dimensiones mostradas están dadas en metros, excepto esta excepción.
	2. Para otros perfiles, véase plan de referencia EA-LVJ-EST-C-000.
	3. En las celdas presentadas en este plan se incluye el espesor de la capa de asfalto.
REFERENCIA DE ESPECIFICACIÓN	
	1. Para los detalles de las especificaciones técnicas véase el libro de condiciones de obra del libro de referencia EA-LVJ-EST-C-50.
CONVENCIONES	
T.M.A.	Taller Mecánico del Agregado
NAME.	Nivel de Ajuste Máximo Autorizado
N.A.M.O.	Nivel de Ajuste Máximo de Operación
ESCALA A 1:2000	0 20 40 60 80 100 m

				PROYECTO HIDROELECTRICO SOGAMOSO VIA SUSTITIVA BUCARAMANGA-SAN VICENTE DE CHUCURI PUENTE EL TABLAZO SECCION LONGITUDINAL		PHUTEU HIDROELECTRICO S.S. S.A.	
Proyecto: 1. Cliente / A. Beneficiario 2. No. Proyecto 3. No. Contrato de Proyecto	No. No. Director de Proyecto 4. Director	No. No. Director de Obra 5. Director de Obra	No. No. Gerente de Proyecto 6. Gerente de Proyecto	No. No. Gerente de Obra 7. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 8. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 9. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 10. Gerente de Obra
No. No. Director de Proyecto 11. Director de Proyecto	No. No. Director de Obra 12. Director de Obra	No. No. Gerente de Proyecto 13. Gerente de Proyecto	No. No. Gerente de Obra 14. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 15. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 16. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 17. Gerente de Obra	No. No. Gerente de Obra 18. Gerente de Obra
PLANOS DE OBRAS 1. Plano de Obra 2. Plano de Obra 3. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 4. Plano de Obra 5. Plano de Obra 6. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 7. Plano de Obra 8. Plano de Obra 9. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 10. Plano de Obra 11. Plano de Obra 12. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 13. Plano de Obra 14. Plano de Obra 15. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 16. Plano de Obra 17. Plano de Obra 18. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 19. Plano de Obra 20. Plano de Obra 21. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 22. Plano de Obra 23. Plano de Obra 24. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 25. Plano de Obra 26. Plano de Obra 27. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 28. Plano de Obra 29. Plano de Obra 30. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 31. Plano de Obra 32. Plano de Obra 33. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 34. Plano de Obra 35. Plano de Obra 36. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 37. Plano de Obra 38. Plano de Obra 39. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 40. Plano de Obra 41. Plano de Obra 42. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 43. Plano de Obra 44. Plano de Obra 45. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 46. Plano de Obra 47. Plano de Obra 48. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 49. Plano de Obra 50. Plano de Obra 51. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 52. Plano de Obra 53. Plano de Obra 54. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 55. Plano de Obra 56. Plano de Obra 57. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 58. Plano de Obra 59. Plano de Obra 60. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 61. Plano de Obra 62. Plano de Obra 63. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 64. Plano de Obra 65. Plano de Obra 66. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 67. Plano de Obra 68. Plano de Obra 69. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 70. Plano de Obra 71. Plano de Obra 72. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 73. Plano de Obra 74. Plano de Obra 75. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 76. Plano de Obra 77. Plano de Obra 78. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 79. Plano de Obra 80. Plano de Obra 81. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 82. Plano de Obra 83. Plano de Obra 84. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 85. Plano de Obra 86. Plano de Obra 87. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 88. Plano de Obra 89. Plano de Obra 90. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 91. Plano de Obra 92. Plano de Obra 93. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 94. Plano de Obra 95. Plano de Obra 96. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 97. Plano de Obra 98. Plano de Obra 99. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 100. Plano de Obra 101. Plano de Obra 102. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 103. Plano de Obra 104. Plano de Obra 105. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 106. Plano de Obra 107. Plano de Obra 108. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 109. Plano de Obra 110. Plano de Obra 111. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 112. Plano de Obra 113. Plano de Obra 114. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 115. Plano de Obra 116. Plano de Obra 117. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 118. Plano de Obra 119. Plano de Obra 120. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 121. Plano de Obra 122. Plano de Obra 123. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 124. Plano de Obra 125. Plano de Obra 126. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 127. Plano de Obra 128. Plano de Obra 129. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 130. Plano de Obra 131. Plano de Obra 132. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 133. Plano de Obra 134. Plano de Obra 135. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 136. Plano de Obra 137. Plano de Obra 138. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 139. Plano de Obra 140. Plano de Obra 141. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 142. Plano de Obra 143. Plano de Obra 144. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 145. Plano de Obra 146. Plano de Obra 147. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 148. Plano de Obra 149. Plano de Obra 150. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 151. Plano de Obra 152. Plano de Obra 153. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 154. Plano de Obra 155. Plano de Obra 156. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 157. Plano de Obra 158. Plano de Obra 159. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 160. Plano de Obra 161. Plano de Obra 162. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 163. Plano de Obra 164. Plano de Obra 165. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 166. Plano de Obra 167. Plano de Obra 168. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 169. Plano de Obra 170. Plano de Obra 171. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 172. Plano de Obra 173. Plano de Obra 174. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 175. Plano de Obra 176. Plano de Obra 177. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 178. Plano de Obra 179. Plano de Obra 180. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 181. Plano de Obra 182. Plano de Obra 183. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 184. Plano de Obra 185. Plano de Obra 186. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 187. Plano de Obra 188. Plano de Obra 189. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 190. Plano de Obra 191. Plano de Obra 192. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 193. Plano de Obra 194. Plano de Obra 195. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 196. Plano de Obra 197. Plano de Obra 198. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 199. Plano de Obra 200. Plano de Obra 201. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 202. Plano de Obra 203. Plano de Obra 204. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 205. Plano de Obra 206. Plano de Obra 207. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 208. Plano de Obra 209. Plano de Obra 210. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 211. Plano de Obra 212. Plano de Obra 213. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 214. Plano de Obra 215. Plano de Obra 216. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 217. Plano de Obra 218. Plano de Obra 219. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 220. Plano de Obra 221. Plano de Obra 222. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 223. Plano de Obra 224. Plano de Obra 225. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 226. Plano de Obra 227. Plano de Obra 228. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 229. Plano de Obra 230. Plano de Obra 231. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 232. Plano de Obra 233. Plano de Obra 234. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 235. Plano de Obra 236. Plano de Obra 237. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 238. Plano de Obra 239. Plano de Obra 240. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 241. Plano de Obra 242. Plano de Obra 243. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 244. Plano de Obra 245. Plano de Obra 246. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 247. Plano de Obra 248. Plano de Obra 249. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 250. Plano de Obra 251. Plano de Obra 252. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 253. Plano de Obra 254. Plano de Obra 255. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 256. Plano de Obra 257. Plano de Obra 258. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 259. Plano de Obra 260. Plano de Obra 261. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 262. Plano de Obra 263. Plano de Obra 264. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 265. Plano de Obra 266. Plano de Obra 267. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 268. Plano de Obra 269. Plano de Obra 270. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 271. Plano de Obra 272. Plano de Obra 273. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 274. Plano de Obra 275. Plano de Obra 276. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 277. Plano de Obra 278. Plano de Obra 279. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 280. Plano de Obra 281. Plano de Obra 282. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 283. Plano de Obra 284. Plano de Obra 285. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 286. Plano de Obra 287. Plano de Obra 288. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 289. Plano de Obra 290. Plano de Obra 291. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 292. Plano de Obra 293. Plano de Obra 294. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 295. Plano de Obra 296. Plano de Obra 297. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 298. Plano de Obra 299. Plano de Obra 300. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 301. Plano de Obra 302. Plano de Obra 303. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 304. Plano de Obra 305. Plano de Obra 306. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 307. Plano de Obra 308. Plano de Obra 309. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 310. Plano de Obra 311. Plano de Obra 312. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 313. Plano de Obra 314. Plano de Obra 315. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 316. Plano de Obra 317. Plano de Obra 318. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 319. Plano de Obra 320. Plano de Obra 321. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 322. Plano de Obra 323. Plano de Obra 324. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 325. Plano de Obra 326. Plano de Obra 327. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 328. Plano de Obra 329. Plano de Obra 330. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 331. Plano de Obra 332. Plano de Obra 333. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 334. Plano de Obra 335. Plano de Obra 336. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 337. Plano de Obra 338. Plano de Obra 339. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 340. Plano de Obra 341. Plano de Obra 342. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 343. Plano de Obra 344. Plano de Obra 345. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 346. Plano de Obra 347. Plano de Obra 348. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 349. Plano de Obra 350. Plano de Obra 351. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 352. Plano de Obra 353. Plano de Obra 354. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 355. Plano de Obra 356. Plano de Obra 357. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 358. Plano de Obra 359. Plano de Obra 360. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 361. Plano de Obra 362. Plano de Obra 363. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 364. Plano de Obra 365. Plano de Obra 366. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 367. Plano de Obra 368. Plano de Obra 369. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 370. Plano de Obra 371. Plano de Obra 372. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 373. Plano de Obra 374. Plano de Obra 375. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 376. Plano de Obra 377. Plano de Obra 378. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 379. Plano de Obra 380. Plano de Obra 381. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 382. Plano de Obra 383. Plano de Obra 384. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 385. Plano de Obra 386. Plano de Obra 387. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 388. Plano de Obra 389. Plano de Obra 390. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 391. Plano de Obra 392. Plano de Obra 393. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 394. Plano de Obra 395. Plano de Obra 396. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 397. Plano de Obra 398. Plano de Obra 399. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 400. Plano de Obra 401. Plano de Obra 402. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 403. Plano de Obra 404. Plano de Obra 405. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 406. Plano de Obra 407. Plano de Obra 408. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 409. Plano de Obra 410. Plano de Obra 411. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 412. Plano de Obra 413. Plano de Obra 414. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 415. Plano de Obra 416. Plano de Obra 417. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 418. Plano de Obra 419. Plano de Obra 420. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 421. Plano de Obra 422. Plano de Obra 423. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 424. Plano de Obra 425. Plano de Obra 426. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 427. Plano de Obra 428. Plano de Obra 429. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 430. Plano de Obra 431. Plano de Obra 432. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 433. Plano de Obra 434. Plano de Obra 435. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 436. Plano de Obra 437. Plano de Obra 438. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 439. Plano de Obra 440. Plano de Obra 441. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 442. Plano de Obra 443. Plano de Obra 444. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 445. Plano de Obra 446. Plano de Obra 447. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 448. Plano de Obra 449. Plano de Obra 450. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 451. Plano de Obra 452. Plano de Obra 453. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 454. Plano de Obra 455. Plano de Obra 456. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 457. Plano de Obra 458. Plano de Obra 459. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 460. Plano de Obra 461. Plano de Obra 462. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 463. Plano de Obra 464. Plano de Obra 465. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 466. Plano de Obra 467. Plano de Obra 468. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 469. Plano de Obra 470. Plano de Obra 471. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 472. Plano de Obra 473. Plano de Obra 474. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 475. Plano de Obra 476. Plano de Obra 477. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 478. Plano de Obra 479. Plano de Obra 480. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 481. Plano de Obra 482. Plano de Obra 483. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 484. Plano de Obra 485. Plano de Obra 486. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 487. Plano de Obra 488. Plano de Obra 489. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 490. Plano de Obra 491. Plano de Obra 492. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 493. Plano de Obra 494. Plano de Obra 495. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 496. Plano de Obra 497. Plano de Obra 498. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 499. Plano de Obra 500. Plano de Obra 501. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 502. Plano de Obra 503. Plano de Obra 504. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 505. Plano de Obra 506. Plano de Obra 507. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 508. Plano de Obra 509. Plano de Obra 510. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 511. Plano de Obra 512. Plano de Obra 513. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 514. Plano de Obra 515. Plano de Obra 516. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 517. Plano de Obra 518. Plano de Obra 519. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 520. Plano de Obra 521. Plano de Obra 522. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 523. Plano de Obra 524. Plano de Obra 525. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 526. Plano de Obra 527. Plano de Obra 528. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 529. Plano de Obra 530. Plano de Obra 531. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 532. Plano de Obra 533. Plano de Obra 534. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 535. Plano de Obra 536. Plano de Obra 537. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 538. Plano de Obra 539. Plano de Obra 540. Plano de Obra	
PLANOS DE OBRAS 541. Plano de Obra 542. Plano de Obra 543. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 544. Plano de Obra 545. Plano de Obra 546. Plano de Obra		PLANOS DE OBRAS 547. Plano de Obra 548. Plano de Obra			

ANEXO B

Diseño del sistema de alimentación en el cajón interno del puente

Diseño del sistema de alimentación en el cajón interno del puente

En este apartado de anexo b se describe y evalúan el diseño del sistema de alimentación considerando la instalación del prototipo piloto de monitorización en el interior del puente. Se analizan y evalúan los elementos que conforman la instalación del sistema de alimentación para entregarle la potencia necesaria demandada al prototipo piloto.

Inicialmente, para el desarrollo de este diseño se planteó un sistema híbrido que combinaba las fuentes de energía solar fotovoltaica y la energía eólica. Adicional se planteó un sistema de generación con elementos piezoeléctricos con el propósito de brindar energía adicional en días de poco potencial solar y eólico.

El sistema híbrido estaría conformado por paneles fotovoltaicos; complementado con los aerogeneradores que están dispuestos en dirección del viento barlovento para generar energía durante el día y la noche, y los elementos piezoeléctricos.

Como punto de partida del diseño del proyecto se consultaron los datos meteorológicos de los valores de velocidad del viento, masa de aire, y humedad relativa en la Nasa Power Larc.

Determinación de la fuente de generación de energía renovable aplicable a este diseño

Partiendo de este planteamiento inicial, se procedió a establecer la fuente de generación de energía renovable aplicable a este proyecto. Como resultado los datos relacionados con el potencial eólico (Tabla 1), como lo son la velocidad del viento que pueden incidir sobre las palas del aerogenerador proporcionaron que la relación potencia-viento, es muy baja, a tal punto que la velocidad del viento máxima del lugar no es suficiente para superar la velocidad de corte inicial del aerogenerador para que pueda generar energía, dado que los fabricantes de aerogeneradores en su diseño especifican que es una tendencia que la velocidad de corte inicial de los mismos sea mínimo de 2 m/s. Por esta razón se descartó el sistema eólico.

Factibilidad de la instalación de elementos piezoeléctricos

El sistema de alimentación basado en elementos piezoeléctricos no se aplicó a este proyecto debido a que, en el lugar de interés, el flujo peatonal y el flujo vehicular es muy bajo. Además, el principal inconveniente es la dificultad que representa la instalación en la estructura, para ello se debe perforar la superficie del puente en donde se van a instalar los elementos garantizando su fijación, causando riesgo invasivo en el puente de concreto de gran luz el Tablazo, acción no recomendada. Esta acción preventiva de los elementos es debido también al alto índice de robo en el lugar. Por tanto, no se siguió con el estudio de los sistemas piezoeléctricos para abastecer de energía al prototipo de monitorización continua quedando definitivamente descartado, dejando como único sistema de generación a los paneles fotovoltaicos.

Factibilidad de la instalación del sistema de alimentación al Interior del Puente

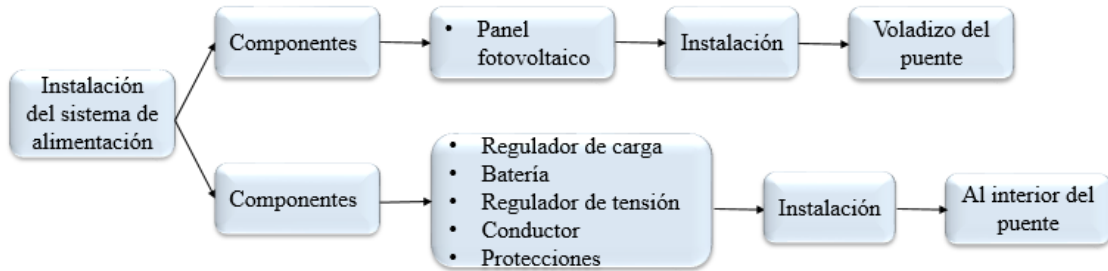
Principalmente se descartó este diseño de instalación dentro del puente debido a la complejidad de la instalación de los elementos dentro de la estructura; éste en su interior presenta condiciones de sanidad bajas debido al excremento por la presencia de animales como los murciélagos. Adicional a este inconveniente se identificó que para extender el conductor a lo largo del puente es difícil, debido a que las columnas del puente son huecas, dificultando el paso del personal para la instalación del conductor de un extremo al otro del puente.

Instalación del prototipo piloto de monitorización en el Interior del Puente

Este diseño plantea que el sistema de alimentación sea instalado al interior del puente, junto con una parte del sistema de alimentación (el regulador de carga, sistema de almacenamiento y reguladores de tensión lineales (LDO)), pero en este diseño los paneles fotovoltaicos serían los únicos componentes a instalarse en la parte exterior del puente, junto con el cableado correspondiente (Figura B1).

Figura B1

Instalación de los Componentes en el puente el Tablazo.



Para la instalación al interior de los elementos en el puente, este dispone de ventanas de inspección (Figura B2).

Figura B2

Ventana de Inspección. Puente el Tablazo



Nota. Fuente: Grupo INME

Este diseño del sistema de alimentación al interior del puente plantea el suministro de energía para el prototipo piloto de monitorización, conformado por el sistema de monitorización y el sistema de comunicación.

El sistema de monitorización encargado del sensado de la salud estructural del puente el tablazo se instalará al interior del puente; este sistema plantea diez (10) puntos de sensado de la

salud estructural del puente el tablazo a seleccionarse a partir de los puntos demarcados, y el sistema de comunicación, encargado de la recepción de información del sistema de monitorización y envío de datos a la nube, será instalado al interior del puente. En la figura B3 se describe la instalación del sistema de alimentación y prototipo piloto de monitorización.

Figura B3

Ubicación del sistema de monitorización y sistema de comunicación. Diseño interno del puente



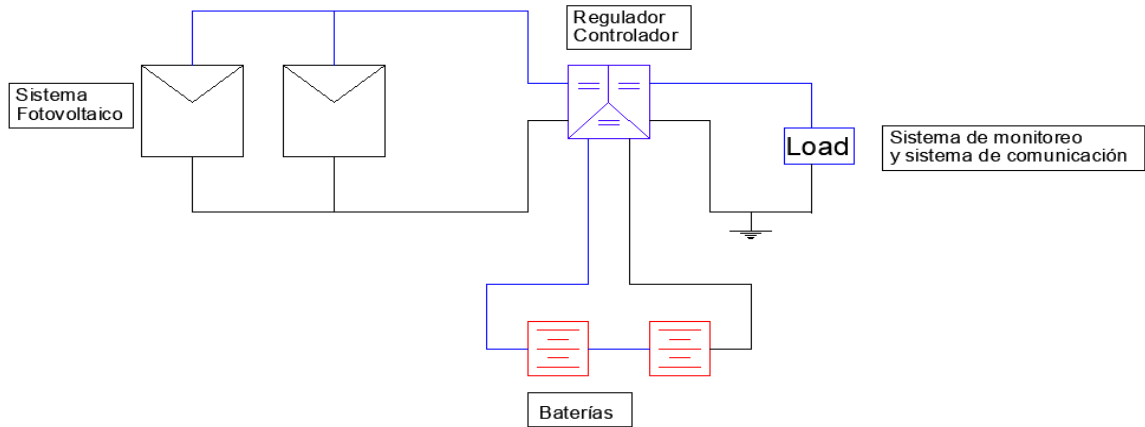
Nota. Fuente: Autores

Esquemas Propuestos para el Diseño del Sistema de Alimentación al Interior del Puente

A continuación, en la figura B4 se muestra el esquema eléctrico propuesto para el diseño en la parte interior del puente El Tablazo, y en la figura B5 se indican las protecciones que debe tener el sistema de alimentación.

Figura B4

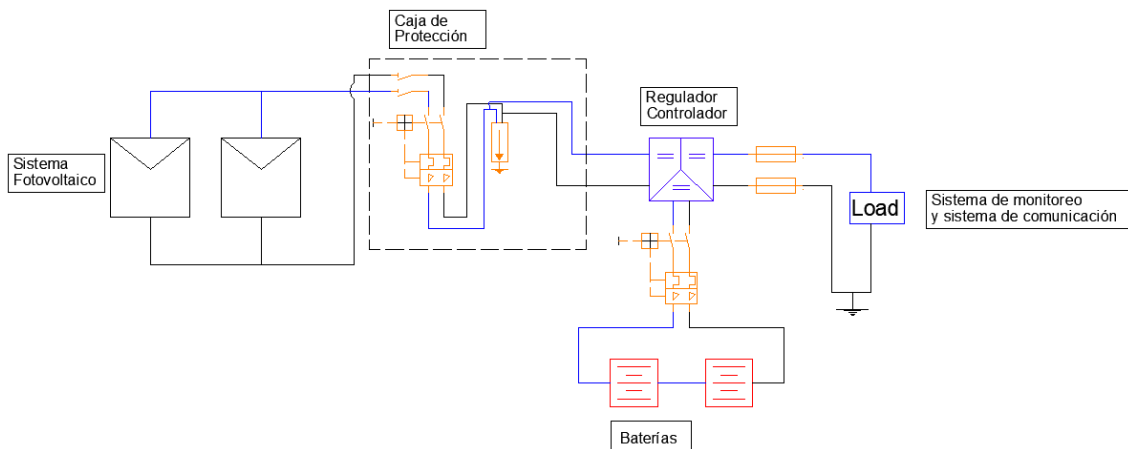
Esquema Eléctrico del Sistema de Alimentación del Diseño en la parte Interior



Nota. Fuente: Autores

Figura B5

Diagrama o Esquema Eléctrico del Sistema de Alimentación del Diseño en la parte Interior, con sus Protecciones Eléctricas



Nota. Fuente: Autores

Especificaciones del consumo de energía eléctrica del prototipo piloto de monitorización

Para conocer la energía demandada por el prototipo piloto de monitorización se procedió a consultar la ficha técnica de los elementos que conforman el prototipo piloto de monitorización.

El sistema de alimentación para el prototipo piloto de monitorización alimentará dos sistemas como se muestra en la Figura B6, el sistema de monitorización y el sistema comunicación.

Figura B6

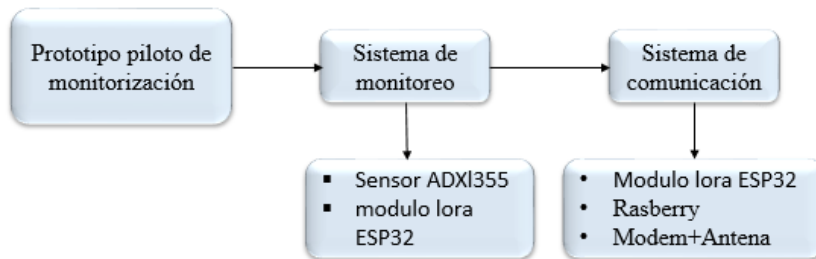
Esquema de los sistemas que Conforman el Prototipo Piloto de Monitorización para el Diseño Interno del Puente



En la siguiente figura se describe los elementos que conforman el prototipo piloto de monitorización.

Figura B7

Esquema de los Elementos que conforman el sistema de monitorización para Diseño Interno del Puente



A continuación, en la tabla B1 se detalla el consumo de energía eléctrica de cada dispositivo del sistema de monitorización.

Tabla B1

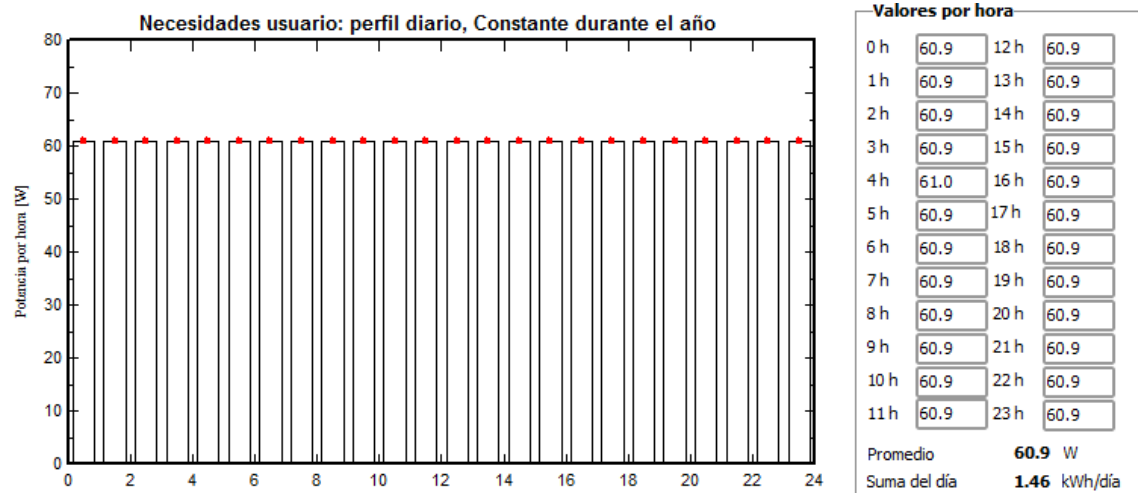
Potencia Consumida por los Dispositivos. Diseño parte interior del puente

Dispositivos	Variable eléctrica				Total (W)
	Tensión(V)	Corriente(A)	Potencia(W)	Cantidad	
Sensores	3.3	0,0002	0,0072	10	0,072
EP32 lora SX1276/1278	5	0.5	2.5	10	25
Modem-síñal internet satelital	12	2.99	35.88	1	35.88

En la figura B8 se presenta la potencia total hora del prototipo piloto que tiene un consumo de 60.9 W durante las 24 horas, constante durante el año y en la figura B9 se presenta el perfil mensual del consumo de la potencia del sistema de monitorización, que anualmente tiene un consumo 533. 5 kWh.

Figura B8

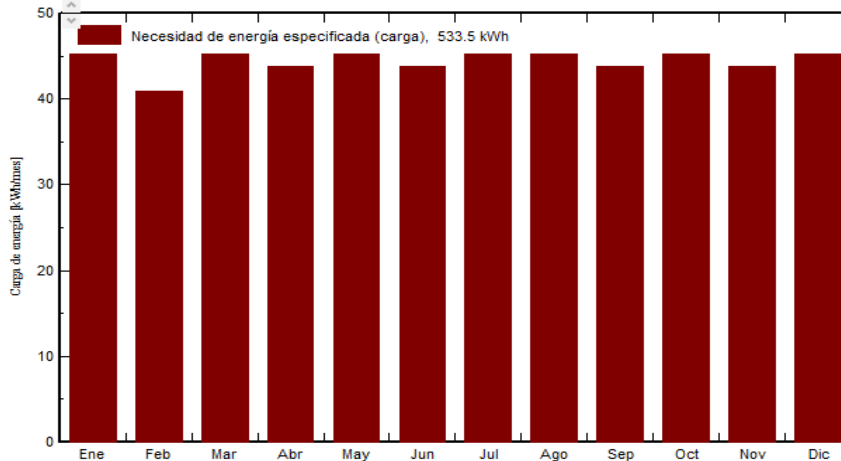
Potencia Total Hora. Diseño Interno



Nota. Fuente: PVsyst

Figura B9

Potencia Total Mensual. Diseño Interno



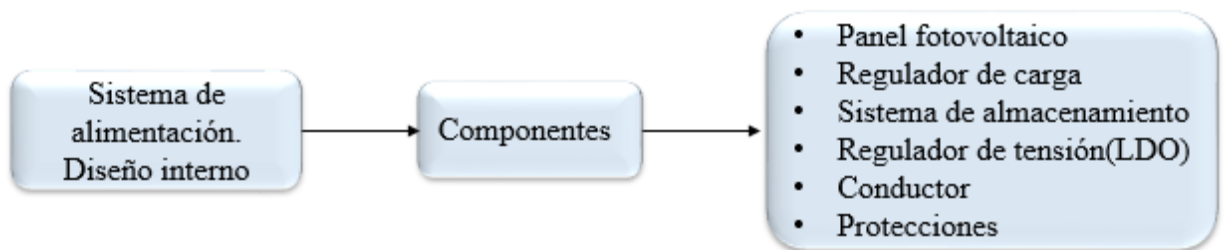
Nota. Fuente: PVsyst

Componentes del sistema de alimentación para el prototipo piloto de monitorización que se dimensionan

Los elementos propuestos a dimensionar para el sistema de alimentación del diseño interior se detallan en la siguiente figura.

Figura B10

Componentes Propuestos para los Sistemas de Alimentación. Diseño Interno



A continuación, se describen los componentes seleccionados para el diseño interior con sus respectivos parámetros eléctricos.

Componentes seleccionados para el sistema de alimentación interno del puente

Panel solar fotovoltaico seleccionado

Para el diseño interno del puente se seleccionaron dos paneles fotovoltaicos que se instalaran en paralelo, de la marca AMERISOLAR con una potencia nominal de 230 W. Los datos técnicos se especifican en la tabla B2 y tabla B3.

Tabla B2

Datos Técnicos del Panel Fotovoltaico del Diseño Interior

Datos técnicos del PV	
Pnom(W)	230
Area(m ²)	1.65
Célula	60
Pcelula(W)	3.83
NOCT(°C)	40
BETA(%/°C)	-0.004
Eficiencia	0.1396

Nota. Datos técnicos condiciones STC

Tabla B3

Datos Nominales del Panel Fotovoltaico del Diseño Interior

Datos nominales del PV	
Voc	34.3
Isc	8.84
Impp	8.37
Vmpp	27.5
FF	0.76

Nota. Datos nominales condiciones STC

Regulador de carga seleccionado

El regulador seleccionado es de marca SRNE ML Maximum Power Point Tracking (MPPT) Series ML2440 Solar Charge and Discharge Controller. En la siguiente tabla se detalla los valores técnicos del regulador de carga.

Tabla B4

Características Eléctricas del Regulador de Carga. Diseño del Sistema de Alimentación

Interno

Parámetros	Valores
Modelo	ML2440
Tensión del sistema	24 VAuto
Sin Perdidas en la carga	0.7 a 1.2 W
Tensión de batería	9V a 1.2W
Max. tensión de entrada	100V(25°C) 90V (25°C)
Maxima potencia de entrada del sistema fotovoltaico	1040W/24V
MPPT seguimiento de eficiencia	>99%

Nota. Fuente: Ficha técnica de SRN

Batería seleccionada

El sistema de almacenamiento de las baterías se dispone en una bancada serie para mantener la tensión del sistema de 24 V. Para determinar el valor de la capacidad de almacenamiento se consideró 3 días de autonomía para el sistema.

Tabla B5

Características Principales de la Batería para el Diseño del Sistema de Alimentación en el Cajón Interno del Puente

Características principales	
Tensión nominal	12 V
Numero de celdas	6
Vida estimada	12 años
Capacidad nominal 77°F(25°C)	
10 relación de descarga en amperios por horas (20A, 10.8 V)	200Ah
5 relación de descarga en amperios por horas (35.2A, 10.5V)	175Ah
1 relación de descarga en amperios por horas (124A, 9.6V)	124 Ah

Nota. Fuente: Batería de gel marca Kaise

Regulador de carga seleccionado

Para este diseño se seleccionó el regulador de tensión (LDO) LM7805, encargado de reducir la tensión que le suministra el regulador de carga de 24 V a 5V tensión al cual funciona el EP32 lora SX121276/1278.

Conductor seleccionado

Para el sistema de alimentación al interior se determinó y selecciono el conductor fotovoltaico calibre AWG #12 de Procables. En la tabla B6 se muestran las características del conductor.

Tabla B6

Características del Conductor Fotovoltaico AWG #12

Nº Conduc / Sección (mm ²)	Resistencia Ohm/Km	Espesor del aislamiento (mm)	Diámetro exterior aproximado (mm)	Peso aproximado Kg/Km
4	4.950	0.7	6.10	85

Nota. Fuente: Procables

Verificación de las Potencias suministradas por sistema de alimentación del diseño Interior del Puente en el software PVsyst

En la figura B11 se muestran los resultados de la simulación en PVsyst de la energía demandada por el prototipo piloto para cada mes del año; respecto a su irradiancia global horizontal (GlobHor), energía solar disponible (E_Avail), energía no utilizada (Batería llena EUnused), energía faltante (Déficit de energía eléctrica E_Miss), energía suministrada al usuario (E_User), necesidad energética del usuario (Carga E_Load).

Figura B11

Simulación PVsyst. Energías Demandadas por el Sistema. Diseño Interior

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh
Enero	187.0	67.91	17.84	0.000	45.38	45.38
Febrero	152.9	49.29	6.28	0.000	40.99	40.99
Marzo	168.3	52.40	4.77	0.000	45.38	45.38
Abril	152.7	48.14	3.14	0.000	43.92	43.92
Mayo	161.6	48.98	1.36	0.000	45.38	45.38
Junio	162.0	48.07	2.40	0.000	43.92	43.92
Julio	166.5	50.79	3.34	0.000	45.38	45.38
Agosto	180.2	55.75	7.78	0.000	45.38	45.38
Septiembre	167.2	53.98	7.73	0.000	43.92	43.92
Octubre	166.8	51.37	4.10	0.000	45.38	45.38
Noviembre	158.5	55.15	8.55	0.000	43.92	43.92
Diciembre	172.4	64.38	16.55	0.000	45.38	45.38
Año	1996.1	646.18	83.83	0.000	534.36	534.36

Nota. Fuente: PVsyst

ANEXO C

Resultados de los Cálculos para el Dimensionamiento Considerando una Turbina Eólica (Aerogenerador)

En este apartado del anexo c, se analiza la posibilidad de instalar una turbina eólica en el puente el tablado a partir del potencial eólico consultado en la Nasa Power Larc, con la finalidad de corroborar las ideas planteadas y mencionadas de los sistemas de alimentación propuestos para el sistema híbrido y verificar desde la perspectiva de la viabilidad de su instalación con base en sus parámetros, y en su capacidad de generación.

Para el diseño interno considerando la implementación de un sistema híbrido se seleccionó un aerogenerador con las siguientes características que muestran en la siguiente tabla.

Tabla C1

Datos Técnicos del Aerogenerador

Datos técnicos aerogenerador				
<i>Área (m²)</i>	<i>Pnom (W)</i>	<i>Vci (m/s)</i>	<i>Vnom (m/s)</i>	<i>Vco (m/s)</i>
0.99	300	2	10	40

Nota. Fuente. Naier, China, Jiangsu

Como punto de partida se consultaron los valores de velocidades de viento mínima (WS_MIN), promedio (WS_P) y máxima (WS_MAX) que se muestran en la tabla C2.

Tabla C2

Valores de la Velocidad del Viento Promedio, Máxima y Mínima para cada Mes del Año

Mes	WS_P	WS_MAX	WS_MIN
Enero	1.68	6.12	0.03
Febrero	1.74	6.55	0.02
Marzo	1.63	5.73	0.01

Abril	1.48	5.68	0.02
Mayo	1.38	5.08	0.01
Junio	1.32	6.07	0
Julio	1.34	4.65	0.01
Agosto	1.38	4.56	0.01
Septiembre	1.4	4.79	0.02
Octubre	1.45	4.99	0.01
Noviembre	1.47	5.05	0.02
Diciembre	1.52	5.46	0.01
Prom_anual	1.48	6.55	0

Nota.Fuente:Nasa Power Larc

Para determina la densidad de la potencia eólica, la potencia límite de BETZ y la potencia real que puede generar el aerogenerador desarrollo de este apartado se aplican las siguientes fórmulas:

$$P_0 = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad (C1.0)$$

Donde:

P_0 : Potencia de la masa de aire que atraviesa a una turbina eólica

ρ : densidad del aire 1.2 (Kg/m³)

A: área de barrido a través de la cual giran las palas del rotor de la turbina eólica.

V: Velocidad del viento

Con este valor se puede calcular la potencia de Betz para conocer el frenado que necesita el aerogenerador, y cuanto disminuye la potencia generada:

$$PBetz = P_0 * C_p \quad (C1.1)$$

Donde:

P_{Betz}: Potencia de Betz

C_p: límite de Betz su valor es de 16/27 aproximadamente 0.59

Con las fórmulas anteriores se determina la densidad de potencia eólica que se podrá aprovechar con el potencial eólico del lugar de interés:

$$WPD = \frac{1}{2} * \rho * V^3 \quad (C1.2)$$

Donde:

WPD: densidad de potencia eólica disponible por metro cuadrado (W/m²)

La potencia generada según la velocidad del viento se determina a partir de la siguiente fórmula definiendo los intervalos de velocidad de corte inicial y final identificando bajo que circunstancia el aerogenerador me podrá generar potencia eléctrica.

$$PWT = \begin{cases} 0 & V < V_{cin} \\ Pr * \left(\frac{V^3 - V_{cin}^3}{V_n^3 - V_{cin}^3} \right) & V_{cin} \leq V < V_n \\ Pr & V_n \leq V < V_{cout} \\ 0 & V > V_{cout} \end{cases} \quad (C1.3)$$

Donde:

PWT: Potencia generada

Pr: Potencia nominal de la turbina

V: Velocidad del viento

V_n: Velocidad nominal de la turbina

V_{cin}: Velocidad de corte inicial

V_{cout}: Velocidad de corte final

Aplicando las fórmulas anteriores se determinan los valores de potencia generada por la masa de aire (P_MAS_AIR), la potencia límite de Betz (P_BETZ), densidad de la potencia eólica (DEN_P_EOL), y la potencia real que puede generar el aerogenerador (P_GEN) en relación a la velocidad del viento promedio, máximo y mínimo adicional se presenta la eficiencia del sistema que se muestra en la tabla C3, C4 Y C5.

✓ Condiciones de la velocidad del viento promedio.

Tabla C3

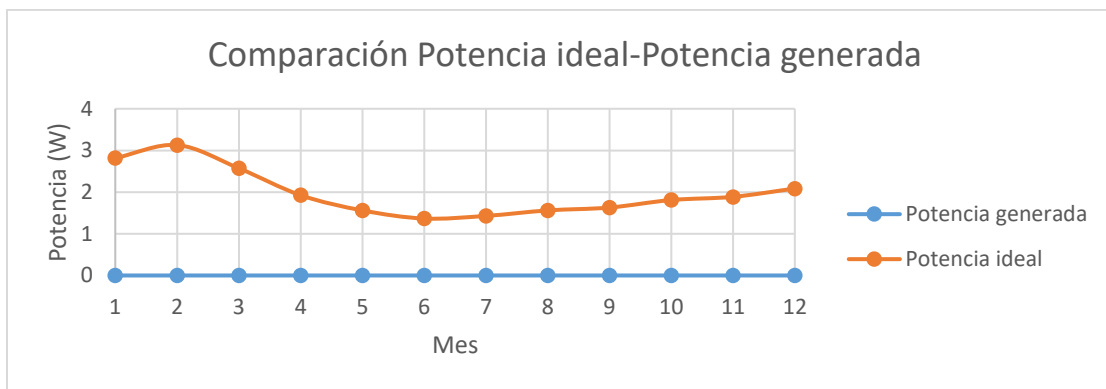
Valores de Potencia Generados por el Aerogenerador en Relación con la Velocidad del Viento Promedio para cada Mes del Año

P_MAS_AIR	P_BETZ	DEN_P_EOL	P_GEN	EFICIENCIA
2.81653	1.6691	2.84498	0	0.00%
3.12921	1.8543	3.16081	0	0.00%
2.57246	1.5244	2.59845	0	0.00%
1.92562	1.1411	1.94508	0	0.00%
1.56107	0.9251	1.57684	0	0.00%
1.36618	0.8096	1.37998	0	0.00%
1.42923	0.8469	1.44366	0	0.00%
1.56107	0.9251	1.57684	0	0.00%
1.62994	0.9659	1.64640	0	0.00%
1.81088	1.0731	1.82918	0	0.00%
1.88685	1.1181	1.90591	0	0.00%
2.08601	1.2362	2.10708	0	0.00%
1.92562	1.1411	1.94508	0	0.00%

En la figura C1 compara la potencia ideal, que debería generar el aerogenerador en condiciones ideales para los valores tomados de la velocidad del viento promedio anual, en relación con el análisis de los valores de potencia generada respecto a sus condiciones nominales de operación de la turbina.

Figura C1

Comparación de Potencia Ideal- Potencia Generada a partir de la Velocidad Promedio del Viento



✓ Condiciones de la velocidad del viento máximas.

Los resultados de la potencia generada que se muestran en la tabla C4, no se tomaron en cuenta para implementar los aerogeneradores en el proyecto, porque no son valores constantes, y representan son mediciones relativas para ciertos periodos de tiempo de cada mes sin seguir un estudio estadístico.

Tabla C4

Valores de Potencia que se puede Generar con la Velocidad del Viento Máxima para

cada Mes del Año

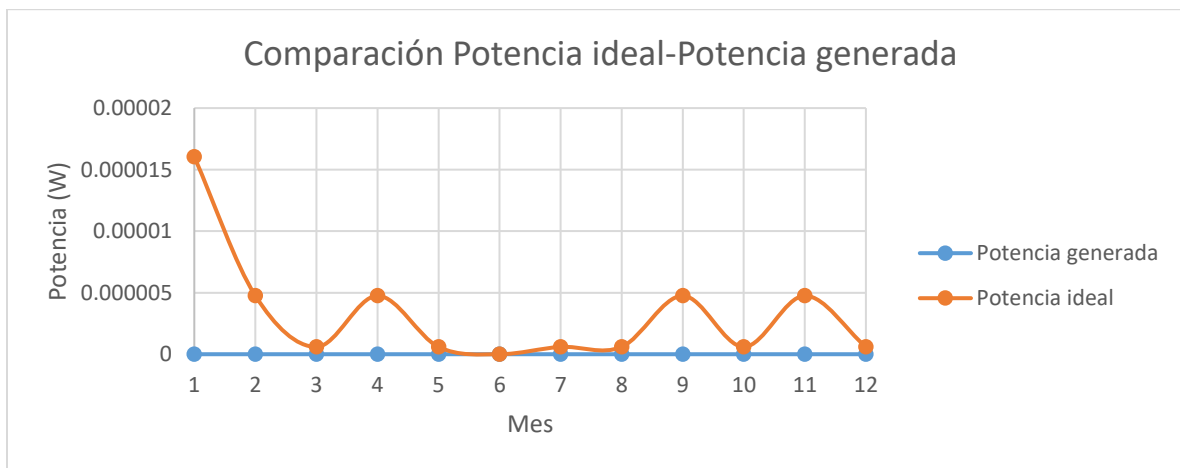
P_MAS_AIR	P_BETZ	DEN_P_EOL	P_GEN	Eficiencia
136.15723	80.6858	137.53256	66.9014903	49.14%
166.92076	98.9160	168.60683	82.5639239	49.46%
111.75072	66.2226	112.87951	54.4755596	48.75%
108.85076	64.5042	109.95026	52.9991226	48.69%
77.87133	46.1460	78.65791	37.2267677	47.81%
132.84723	78.7243	134.18913	65.2162932	49.09%
59.72351	35.3917	60.32678	27.9872858	46.86%
56.32238	33.3762	56.89129	26.2556903	46.62%
65.28193	38.6856	65.94134	30.8172094	47.21%
73.80539	43.7365	74.55090	35.1567033	47.63%
76.49985	45.3332	77.27258	36.5285156	47.75%
96.68617	57.2955	97.66280	46.8058476	48.41%
166.92076	98.9160	168.60683	82.5639239	49.46%

0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%
0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%
0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%
0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%
0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%
0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%
0.00000	0.0000	0.00000	0	0.00%

En la figura C3 se detalla la potencia ideal que se espera de la turbina eólica, los resultados muestran que los valores de la potencia ideal no se mantienen constantes porque los datos de la velocidad del viento mínimo tomados de la Nasa Power Larc son menores a los valores de velocidad de corte inicial, velocidad nominal y velocidad corte final; por lo tanto en estas condiciones de velocidad del viento mínimas no hay potencia generada.

Figura C3

Comparación Potencia Ideal- Potencia Mensual Generada en Condiciones de Velocidad del Viento Mínimo



En la figura C4 se muestra un histograma de la probabilidad de ocurrencia, y la frecuencia del número de ocasiones que se puede medir una determinada velocidad del viento, para un rango específico o intervalo, con el fin de conocer el comportamiento del viento en el puente el Tablazo.

Se analiza el número de veces que se puede medir velocidades del viento menores o iguales a 1m/s, 2m/s, 3m/s, 4m/s y 5m/s, es más frecuente medir velocidades del viento menores o iguales a 1m/s con una frecuencia de 5, y una probabilidad de ocurrencia de 41,67% de las veces para una cantidad de 12,5 días.

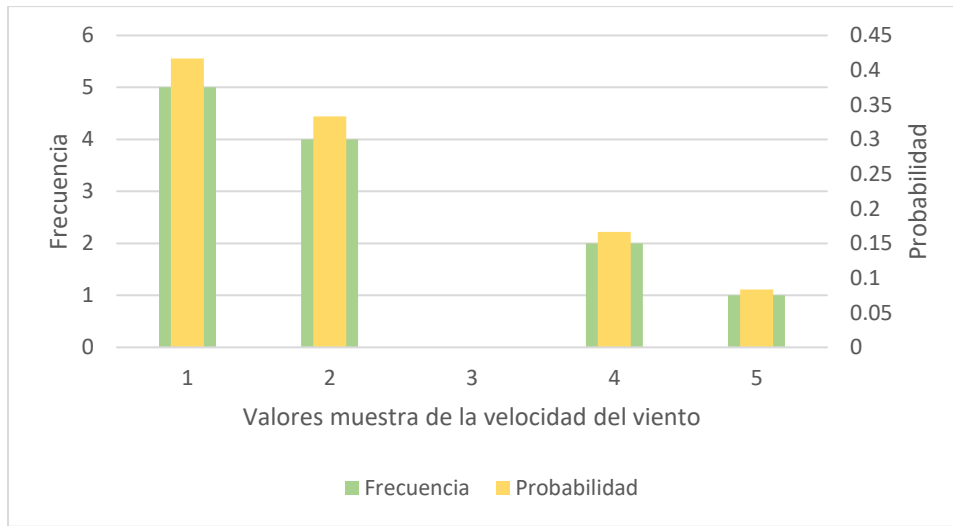
Siguiendo con el análisis de las otras mediciones de la velocidad del viento se tienen los siguientes resultados; para una velocidad del viento menor o igual a 2m/s tenemos una frecuencia de 4 con una probabilidad de ocurrencia de 33,33% para una cantidad de 10 días, la velocidad del viento igual a 3m/s no registra ningún tipo de medición por tanto no tiene frecuencia ni probabilidad de ocurrencia, para velocidades del viento menores o iguales a 4m/s la frecuencia es 2 y la probabilidad de ocurrencia es 16,67%, finalmente para velocidades del viento menores o iguales a 5m/s la frecuencia es 1 y la probabilidad de ocurrencia es 8,33%, por consiguiente estos resultados de la frecuencia y de probabilidad para que esas velocidades del viento puedan ser medidas en el puente de gran luz son muy bajas.

Con base en esas probabilidades de ocurrencia se demuestra que el 100% de las veces el aerogenerador no va a generar energía eléctrica porque la velocidad del viento en el 75% de esas veces será menor a la velocidad de corte inicial del aerogenerador que es 2m/s, y el otro 25% de las veces el sistema eólico no va a generar energía eléctrica porque la velocidad del viento para las mediciones de 4m/s y 5m/s es de una frecuencia y probabilidad muy baja para un total de 720 horas al mes que se puede presentar en 7,5 días sumando un total de tres eventos posibles para que eso ocurra, en donde el aerogenerador se verá estático la mayor parte del tiempo. También se

debe mencionar que la velocidad del viento en el puente nunca alcanzará los valores de la velocidad nominal (10m/s) y la velocidad de corte final (40m/s) del aerogenerador.

Figura C4

Grafica de Probabilidad y Frecuencia de los Sistemas Energéticos

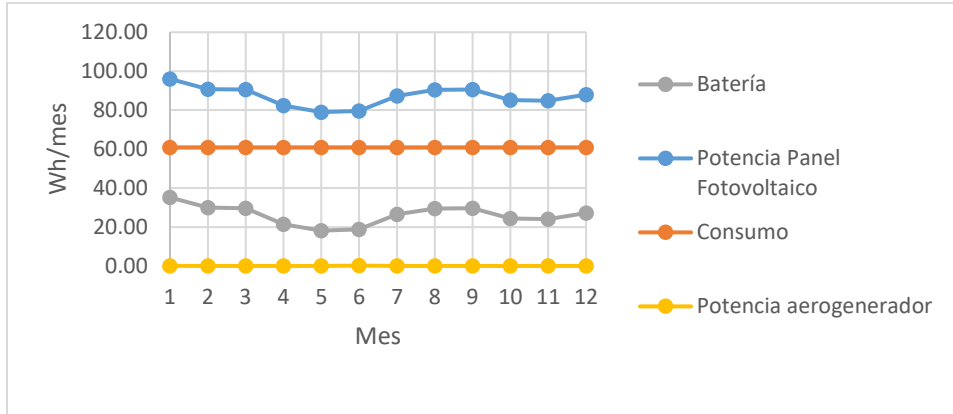


Comparación de la energía suministrada por el sistema fotovoltaico y aerogenerador

En la siguiente grafica se muestra los valores de potencia que genera el sistema híbrido, y la potencia que almacena el sistema de almacenamiento. Para los días de poca irradiancia solar, las baterías representan en promedio 30.1% de la energía necesaria para abastecer las cargas del diseño interno del puente, en los días y meses de poco potencial solar. El aerogenerador como lo indica la figura C5 no aporta energía que demanda la carga.

Figura C5

Potencia Generada Mensual por Sistema Híbrido



De acuerdo con los resultados anteriores de generación de energía la comparación de la energía suministrada por sistema fotovoltaico y aerogenerador y las tablas C3, C4 y C5 el potencial eólico del Tablazo es muy bajo, por lo tanto, no se recomienda la instalación de este elemento de generación, debido a que porque no aporta energía eléctrica al prototipo piloto de monitorización.