

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA



Tesis

“Diseño, Implementación y Análisis de un Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Conectado a Red Eléctrica, para Mejorar los Indicadores de Calidad del Servicio Eléctrico en Reservorio de Coishco”

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista.

Elaborado Por:

Christian Julian Mezarina Vidal

 [0009-0000-3733-6315](https://orcid.org/0009-0000-3733-6315)

Asesor

Dr. Bernabe Alberto Tarazona Bermudez

 [0000-0002-0960-448X](https://orcid.org/0000-0002-0960-448X)

Lima – Perú

2025

Citar/How to cite	Mezarina Vidal [1]
Referencia/Reference	[1] C. Mezarina Vidal, " <i>Diseño, Implementación y Análisis de un Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Conectado a Red Eléctrica, para Mejorar los Indicadores de Calidad del Servicio Eléctrico en Reservoirio de Coishco</i> " [Tesis]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Mezarina, 2025)
Referencia/Reference	Mezarina,C. (2025). " <i>Diseño, Implementación y Análisis de un Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Conectado a Red Eléctrica, para Mejorar los Indicadores de Calidad del Servicio Eléctrico en Reservoirio de Coishco</i> ". [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

A mi madre,

por ser el ejemplo constante de fortaleza, entrega y amor incondicional. Tus valores han guiado cada uno de mis pasos, y tu presencia ha sido el refugio en cada momento difícil.

A mi esposa,

por tu amor, paciencia y apoyo incansable durante todo este proceso. Eres compañera, guía y aliento en los días en que más lo necesito. Esta tesis también es tuya.

Christian Mezarina Vidal

Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me acompañaron en el camino que hoy culmina con esta tesis.

A mi familia, especialmente a mi madre y a mis hermanos Dany, Katty y Juan, por su apoyo incondicional, sus palabras de aliento y por estar siempre presentes, incluso en los momentos más difíciles.

A mi esposa, por ser más que una compañera en esta etapa: por su paciencia, por motivarme en los momentos de duda y por su valiosa colaboración como investigadora durante el desarrollo de este trabajo. Su entrega y compromiso fueron fundamentales para alcanzar esta meta.

A mi asesor, por dedicar su tiempo, guía y conocimientos a este proceso. Agradezco profundamente su disposición y sus observaciones, que enriquecieron el trabajo y me permitieron crecer académicamente.

Al jurado, por el tiempo brindado, así como por sus aportes y sugerencias, que contribuyeron a mejorar y consolidar esta tesis.

Y a mi alma mater, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), por la formación académica y humana recibida a lo largo de estos años. Las enseñanzas adquiridas no solo fueron clave en el desarrollo de esta investigación, sino que también me han permitido afrontar con mayor seguridad los desafíos del entorno profesional.

A todos, gracias por ser parte de este logro.

Lista de contenidos

RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN.....	XV
CAPÍTULO I Generalidades	1
1.1 Antecedentes investigativos.....	1
1.2 Identificación y Descripción del Problema de Estudio	8
1.3 Formulación del Problema	11
1.3.1 Problema Principal.....	11
1.3.2 Problema Específicos	11
1.4 Justificación e Importancia.....	12
1.5 Objetivos.....	13
1.5.1 Objetivos General.....	13
1.5.2 Objetivos Específicos	13
1.6 Hipótesis.....	14
1.6.1 Hipótesis General	14
1.6.2 Hipótesis Específicas.....	14
1.7 Variables y Operacionalización de variables	15
1.7.1 Variables	15
1.7.2 Operacionalización de variables	15
1.8 Metodología de investigación.....	15

1.8.1	Unidad de Análisis	15
1.8.2	Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación.....	16
1.8.3	Diseño de Investigación.....	17
1.8.4	Fuente de Información.....	17
1.8.5	Población y Muestra	17
1.8.6	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	17
1.8.7	Análisis y Procesamiento de Datos.....	18
CAPÍTULO II Marco Teórico y Marco Conceptual		19
2.1	Bases teóricas	19
2.1.1	Indicadores de calidad de servicio eléctrico.....	19
2.1.2	Energía Solar.....	21
2.1.3	Energía Solar Fotovoltaico.....	22
2.1.4	Sistema Solar Fotovoltaico	23
2.1.5	EMPRESA B.....	29
2.1.6	Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)	29
2.2	Marco Conceptual.....	31
2.2.1	Relación de la Calidad del Servicio Eléctrico:	31
2.2.2	Relación entre Energía Solar y Sistemas Fotovoltaicos:.....	31
CAPÍTULO III Desarrollo del Trabajo de Investigación		33
3.1	Determinación de ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos. .	33
3.1.1	Datos meteorológicos	34

3.2	Diseño y Cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido	35
3.2.1	Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido	35
3.2.2	Análisis energético solar en la ubicación del proyecto.	37
3.2.3	Demanda de energía eléctrica a cubrir.	43
3.3	Dimensionamiento y selección de equipos.....	44
3.3.1	Consideraciones preliminares.....	44
3.3.2	Cantidad de módulos fotovoltaicos.	44
3.3.3	Arreglo de módulos fotovoltaicos.	48
3.3.4	Inversor.	49
3.3.5	Dimensionamiento de Banco de baterías.	55
3.3.6	Dimensionamiento de Backup Box	59
3.3.7	Resumen de Equipos principales.....	60
3.4	Implementación del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido.....	60
3.4.1	Obras civiles.....	60
3.4.2	Instalación y conexión de sistema solar fotovoltaico híbrido.	64
3.5	Análisis económico del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido	68
3.5.1	Lista y costo de equipos suministrados.....	68
3.5.2	Servicio previos y ejecución.....	68
3.5.3	VAN y TIR	69
CAPÍTULO IV Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión Resultados		72
4.1	Resultados.....	72

4.2 Contratación de la Hipótesis.....	79
4.3 Discusión de Resultados.....	80
CONCLUSIONES	83
RECOMENDACIONES.....	85
REFERENCIAS	86
ANEXOS.....	89

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.	Cortes de energía eléctrica de la red	10
Tabla 2.	Registro de caída de tensión 2022	10
Tabla 3.	Ubicación del sistema solar fotovoltaico híbrido.....	33
Tabla 4.	Datos Meteorológicos en meses.....	34
Tabla 5.	Demanda energética	36
Tabla 6.	Cuadro de carga	36
Tabla 7	Irradiancia promedio (kWh/m ²)	40
Tabla 8	Temperatura máxima y mínima	41
Tabla 9	Parámetros principales del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido	42
Tabla 10.	Producción eléctrica fotovoltaica específica del Sistema Solar Fotovoltaico (KWh/kWp)	43
Tabla 11.	Cuadro de carga	43
Tabla 12.	Deficiencias del sistema solar fotovoltaico más baterías	45
Tabla 13.	Cálculo del número de módulos fotovoltaicos	46
Tabla 14.	Data eléctrica de panel STC* Canadian Solar 445MS	46
Tabla 15.	Data mecánica panel Canadian Solar 445MS.....	47
Tabla 16.	Data eléctrica panel NMOT* Canadian Solar 445MS.....	47
Tabla 17.	Características de temperatura Canadian Solar 445MS	47
Tabla 18.	Data inversor HUAWEI SUN2000TL monofásico de 5kW.....	54
Tabla 19.	Diseño del arreglo fotovoltaico (por inversor - 2 strings)	55
Tabla 20.	Demanda de energía solar	55
Tabla 21.	Generación solar de junio en un día	57
Tabla 22.	Resumen de Generación y Demanda de junio.....	58
Tabla 23.	Equipamiento principal del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido	60

Tabla 24.	Costo de los componentes principales	68
Tabla 25.	Costo de materiales y/o equipos complementarios	68
Tabla 26.	Resumen de gastos por servicios	69
Tabla 27.	Resumen de costo, envejecimiento y demanda de energía.....	69
Tabla 28.	VAN y TIR del sistema.....	70
Tabla 29.	Costo promedio de energía eléctrica al mes	75
Tabla 30.	Cortes de energía eléctrica de la red y operación del Backup Box, 2023-2024	78
Tabla 31.	Registro de caída de tensión y funcionamiento del inversor 2023-2024.....	79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Área del reservorio de Coishco	8
Figura 2.	Distribución de postes con luminarias	9
Figura 3.	Sistema solar fotovoltaico	23
Figura 4.	Tipos de paneles solares	25
Figura 5.	Regulador o Controlador de carga	26
Figura 6.	Baterías solares	27
Figura 7.	Inversor de corriente continua	28
Figura 8.	Sistema fotovoltaico híbrido	29
Figura 9.	Localización del sistema solar fotovoltaico híbrido	33
Figura 10.	Área designada al montaje de paneles solares	34
Figura 11.	Solar Cartesiano del sitio	38
Figura 12.	Duración Solar Cartesiano del sitio	39
Figura 13	Diagrama de la irradiancia (kWh/m ²)	41
Figura 14	Arreglo de módulos fotovoltaicos	49
Figura 15.	Autoconsumo de energía solar.....	56
Figura 16.	Diagrama de generación y demanda del peor mes del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido.....	58
Figura 17.	Compactación y nivelación de terreno.....	61
Figura 18.	Dados de concreto	61
Figura 19.	Instalación de tubería pesada de PVC 2"	62
Figura 20.	Relleno e Instalación de Cajas de Pase 0.40 x 0.40m.....	62
Figura 21.	Base de gabinete de concreto F'C=210 kg/cm ²	63
Figura 22.	Estructura de paneles	63
Figura 23.	Montaje de paneles solares.....	64

Figura 24. Montaje de cableado de tubería	65
Figura 25. Montaje de gabinete.....	66
Figura 26. Montaje de Inversores SUN2000-5KTL-L1 y baterías Luna2000.....	67
Figura 27. Sistema solar fotovoltaico hibrido puesta en marcha.....	67
Figura 28. App de Huawei (Fusión Solar).....	72
Figura 29. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido.....	73
Figura 30. Histórico de consumo reservorio Coishco	74
Figura 31. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido ante una interrupción de suministro eléctrico.	75
Figura 32. Consumo de la energía eléctrica de la red, durante una interrupción de suministro eléctrico.	76
Figura 33. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido ante reposición de suministro eléctrico.	76
Figura 34. Consumo de la energía eléctrica de la red, durante reposición de suministro eléctrico.	77
Figura 35. Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido ante una caída de tensión menor a 190V.....	78

RESUMEN

Frente al contexto actual de búsqueda de sostenibilidad y eficiencia energética, la presente investigación aborda los desafíos que enfrenta un reservorio de agua en Coishco, Áncash, que opera bajo un suministro eléctrico con interrupciones frecuentes. Esta situación afecta la operación de la empresa siderúrgica asociada.

Para enfrentar esta problemática, se llevó a cabo el diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a la red eléctrica, con el objetivo de mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico en el reservorio. La investigación se centró en la determinación de la ubicación para la instalación, la selección de equipos adecuados y el diseño del sistema, evaluando su impacto en la calidad del suministro eléctrico.

La implementación de este sistema solar fotovoltaico híbrido, contribuyó significativamente a la mejora de la calidad del servicio, disminuyendo el número total de interrupciones y la duración total ponderada de interrupciones, cabe mencionar que, ante variaciones de tensión menores a 190 V, el sistema activa de forma preventiva la desconexión de los contactores del Backup Box y del inversor. En estas condiciones, el inversor deja de alimentar las cargas, las cuales pasan a ser abastecidas directamente por la red eléctrica. Este comportamiento, diseñado para preservar la integridad del sistema y evitar la interrupción del suministro, contribuye a una operación más segura y sostenible, evidenciando mejoras parciales en los indicadores de calidad del servicio eléctrico.

ABSTRACT

In the current context of pursuing sustainability and energy efficiency, this research addresses the challenges faced by a water reservoir in Coishco, Áncash, which operates under an electrical supply with frequent interruptions. This situation impacts the operations of the associated steel company.

To tackle this issue, the design and implementation of a hybrid photovoltaic solar system connected to the electrical grid were carried out, with the goal of improving the quality indicators of the electrical service at the reservoir. The research focused on identifying the location for installation, selecting appropriate equipment, and designing the system, while evaluating its impact on the quality of the electrical supply.

The implementation of this hybrid photovoltaic solar system significantly contributed to improving service quality, reducing the total number of interruptions and the total weighted duration of interruptions. It is worth noting that, in the event of voltage fluctuations below 190 V, the system preemptively disconnects the contactors of the Backup Box and the inverter. Under these conditions, the inverter stops supplying the loads, which are then supplied directly by the electrical grid. This behavior, designed to preserve system integrity and avoid interruptions in supply, contributes to a safer and more sustainable operation, demonstrating partial improvements in the indicators of electrical service quality.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes energéticamente es un reto crucial para las empresas, especialmente en sectores industriales como el siderúrgico. Esta investigación se enfoca en el reservorio de agua de una empresa del rubro siderúrgico en Coishco, Áncash, que depende de un suministro eléctrico proporcionado por la distribuidora Hidrandina. La calidad del servicio eléctrico de este suministro, caracterizado por cortes repentinos y caídas de tensión, compromete la operatividad del reservorio.

Con un área de 37,934.25 m², el reservorio enfrenta desafíos adicionales, como la vulnerabilidad a intrusiones y la dificultad de acceso para la Policía Nacional del Perú, lo que aumenta el riesgo de robos y daños a los equipos esenciales para el control del agua utilizada en la producción.

La investigación se propone abordar la problemática a través del diseño, implementación y análisis de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a la red eléctrica. Este sistema busca mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico y fomentar el uso de energía sostenible y eficiente.

En este contexto, se plantean las siguientes preguntas de investigación: ¿En qué medida el diseño e implementación de un sistema solar fotovoltaico híbrido puede mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico en el reservorio de agua de Coishco? A través de un enfoque integral, se explorarán aspectos como la ubicación para la instalación de los equipos, las características necesarias de los mismos y la viabilidad del diseño y la implementación del sistema.

A continuación, en el Capítulo I se aborda las generalidades del estudio, incluyendo los antecedentes, la formulación del problema, la justificación, los objetivos, las hipótesis, las variables y la metodología de investigación empleada. En el Capítulo II se desarrolla el marco teórico y el marco conceptual que sustentan el estudio. El Capítulo III está dedicado al desarrollo del trabajo de investigación, detallando los procedimientos y actividades realizadas. En el Capítulo IV se presentan los resultados obtenidos, la contrastación de la hipótesis y la discusión correspondiente. Finalmente, se incluyen las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos que complementan la presente investigación.

CAPÍTULO I Generalidades

1.1 Antecedentes investigativos

La tesis se basa en los conceptos, definiciones, conclusiones y experimentos realizados por distintos autores en los últimos 13 años, que han logrado aportar al desarrollo de esta rama de la ingeniería. A continuación, se detallará aquellos documentos que sirvieron como fuente de información:

Díaz Rodríguez et al. (2012)¹ presentan el diseño e implementación de un sistema híbrido de energía que combina generación fotovoltaica con respaldo de red eléctrica, con el objetivo de garantizar un suministro estable, eficiente y de mejor calidad en entornos con acceso limitado o variable a la energía. A diferencia de otros enfoques centrados únicamente en la capacidad de generación o el almacenamiento, este estudio pone especial énfasis en la mejora de la calidad de la energía entregada, abordando particularmente la problemática de la distorsión armónica total (THD), generada comúnmente por inversores convencionales. En este sentido, la principal contribución del trabajo radica en la incorporación de una topología de inversor multinivel que permite reducir de forma significativa el contenido armónico de la señal, optimizando así la calidad del suministro eléctrico.

La propuesta se desarrolló en cuatro fases técnicas. Inicialmente, se dimensionó un sistema fotovoltaico de 2 000 W para condiciones de baja radiación en la región andina colombiana, empleando 18 paneles solares dispuestos en una configuración de 2 por 9 módulos, adaptados a una tensión nominal de 48 V. Posteriormente, se diseñó un banco de baterías de 350 Ah, compuesto por 24 celdas tipo 5 OPzS 350, con capacidad para

¹ Díaz Rodríguez, J., Pabón Fernández, L., & Pardo García, A. (2012). Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. *Lámpsakos*, (7), 69-77. Fundación Universitaria Luis Amigó. Colombia.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613965334005E1>.

garantizar entre 8 y 10 horas de autonomía bajo carga máxima. En la tercera etapa se implementó un sistema de control de carga utilizando un convertidor reductor tipo Buck, controlado mediante un microcontrolador (PIC16F876) que regula el proceso mediante modulación por ancho de pulso (PWM) y técnica de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Esta etapa incluyó también un sistema de conmutación automática que prioriza el uso de la energía solar frente a la red convencional, mejorando así la eficiencia del sistema. Finalmente, se diseñó un inversor multinivel de 81 escalones basado en una topología en cascada tipo puente H asimétrico, utilizando una única fuente de corriente continua (el banco de baterías) y transformadores con distintas relaciones de transformación, lo que permite sintetizar una onda de salida prácticamente sinusoidal.

Como resultado, el sistema logró una mejora significativa en la calidad de la energía, especialmente en lo referente a la reducción de armónicos de bajo orden. Si bien el artículo no proporciona cifras exactas sobre los niveles de distorsión alcanzados, se destaca que el uso del inversor multinivel permitió una entrega mucho más estable y limpia de energía en comparación con tecnologías tradicionales. Además, se evidenció que la gestión inteligente del proceso de carga no solo incrementó la eficiencia energética general, sino que también contribuyó a extender la vida útil de las baterías, identificadas como el componente más crítico del sistema.

En conclusión, esta investigación aporta un modelo integral y técnicamente viable para la implementación de sistemas híbridos solares conectados a la red, destacando la importancia del diseño del inversor como elemento clave para asegurar no solo la continuidad del servicio eléctrico, sino también su calidad. Su propuesta representa una contribución relevante en el contexto de la transición energética hacia fuentes renovables, particularmente en regiones con alta radiación solar, donde la optimización de la calidad de la energía y la reducción de la dependencia de la red convencional resultan fundamentales.

En línea con esta preocupación por ofrecer soluciones viables en contextos aislados Him Díaz, M. (2013)² presenta el procedimiento aplicado para el diseño de un sistema híbrido de generación eléctrica y como objetivo principal proporcionar una solución energética viable para una zona rural aislada sin acceso a la red convencional, mediante la implementación de una instalación en el centro básico escolar de la comunidad. La contribución sustantiva de esta investigación radica en presentar una alternativa técnica y económica de electrificación rural a partir de fuentes renovables, abordando un problema relevante de desigualdad en el acceso a la electricidad en zonas remotas. La metodología empleada consistió en un enfoque de sistema híbrido eólico-fotovoltaico: primero se estimó la carga eléctrica del centro educativo (≈ 2 kWh/día); luego se evaluaron los recursos renovables disponibles, determinando un promedio de 4,54 horas pico de radiación solar y una generación eólica estimada en 87,88 kWh/mes (~ 3 kWh/día); posteriormente se dimensionaron los componentes del sistema —incluyendo la instalación de un banco de baterías con una capacidad de almacenamiento de 12 000 Wh— para asegurar una autonomía de aproximadamente seis días y garantizar el suministro aun en condiciones adversas. Entre los resultados clave, destaca la implementación técnica de un sistema híbrido con capacidad de 2,17 kW, capaz de cubrir la demanda estimada del centro escolar y disponer de almacenamiento suficiente para múltiples jornadas sin generación, lo cual evidencia la factibilidad de la solución. En conclusión, el proyecto demuestra que los sistemas híbridos renovables pueden constituir una opción eficaz para la electrificación de comunidades aisladas, no sólo al facilitar el acceso a la electricidad sino también al aumentar el desarrollo educativo y social; además, subraya la importancia del seguimiento operativo y formación de la comunidad para asegurar el éxito sostenible del sistema.

² Him Díaz, M. (2013). Diseño de un sistema híbrido de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía. *Prisma Tecnológico*, 4(1), 47–50. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/512>.

Por su parte, Pareja Aparicio, M. (2015)³ aborda el tema desde una perspectiva formativa y profesional, al ofrecer una guía técnica completa orientada al diseño y cálculo de sistemas solares fotovoltaicos aislados, es decir, no conectados a la red eléctrica. La obra tiene como propósito proporcionar una metodología clara, aplicable tanto a nivel formativo como profesional, que facilite el dimensionamiento de los distintos componentes de un sistema autónomo. La principal contribución del autor consiste en estructurar un procedimiento técnico que permite calcular desde la captación de energía solar hasta su conversión y almacenamiento, considerando variables clave como el consumo eléctrico, las condiciones solares del lugar, y los parámetros eléctricos de los equipos, todo ello bajo criterios de eficiencia y seguridad.

La metodología se desarrolla de forma secuencial, iniciando con la estimación de la demanda energética del usuario y las Horas de Pico Solar (HPS) disponibles en la zona. A partir de ello, se dimensionan los módulos fotovoltaicos, el banco de baterías, el regulador de carga y el inversor, incorporando métodos como el de amperios-hora (Ah) y el IDAE, así como el uso de dispositivos con seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). También se abordan aspectos físicos y de instalación, tales como la inclinación óptima de los paneles, el efecto de sombras, pérdidas por conducción, cálculo del cableado y selección de protecciones eléctricas.

En cuanto a los resultados técnicos, el autor presenta ejemplos de dimensionamiento realistas. Por ejemplo, un sistema compuesto por 10 módulos con una corriente total de 8,7 A y una radiación diaria de 4,5 HPS genera aproximadamente 39,15 Ah por día, considerando una eficiencia de conversión del 90 %. Este tipo de análisis

³ Pareja Aparicio, M. (2015). *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada* (3.ª ed.). Marcombo.

permite proyectar con precisión la energía útil disponible y la capacidad de almacenamiento necesaria para asegurar la autonomía del sistema en días sin sol.

El aporte de esta publicación es relevante para el desarrollo de soluciones energéticas descentralizadas, especialmente en contextos rurales o zonas donde no existe cobertura de red. Su enfoque práctico y detallado lo convierte en una herramienta de referencia útil para ingenieros, técnicos e instituciones que trabajan en proyectos de electrificación mediante energías renovables, asegurando el correcto funcionamiento, durabilidad y seguridad de los sistemas diseñados.

Complementando esta línea práctica, García Martín, P. (2022)⁴, presenta una obra técnica con enfoque práctico cuyo objetivo principal es facilitar el acceso al conocimiento sobre diseño, instalación y uso de sistemas de energía solar fotovoltaica, orientado tanto a profesionales como a usuarios sin formación especializada. Su aporte central consiste en simplificar la ingeniería fotovoltaica y hacerla accesible, abordando tanto sistemas aislados como conectados a red, con un énfasis constante en la eficiencia energética y la correcta implementación técnica.

El enfoque metodológico se basa en la exposición de conceptos fundamentales acompañados de 54 casos prácticos progresivos, que permiten al lector aplicar los conocimientos en contextos reales, desde instalaciones básicas hasta sistemas complejos. Se describen de forma detallada los componentes clave de una instalación (paneles, reguladores, baterías, inversores), así como las variables geométricas y eléctricas necesarias para su diseño. Asimismo, se introduce el uso de la aplicación Android SOLARPE PRO, que permite automatizar el dimensionamiento, verificar datos de irradiación (vía bases como las de la NASA) y facilitar la selección de equipos mediante una interfaz intuitiva.

⁴ García Martín, P. (2022). *Energía solar fotovoltaica para todos* (2ª ed.). Marcombo.

Entre los resultados más relevantes, se incluyen los métodos para determinar la orientación e inclinación óptimas de los paneles, calcular la distancia mínima entre filas para evitar sombras, y dimensionar adecuadamente los sistemas en función del tipo de instalación. Se destaca el tratamiento diferenciado de los sistemas autónomos (donde se calcula el almacenamiento en baterías) y los conectados a red (con análisis de potencia inyectada y compensación energética), aportando herramientas específicas para cada configuración.

La importancia de esta obra radica en su capacidad para vincular la teoría con la aplicación práctica, reduciendo la complejidad técnica mediante ejemplos concretos y herramientas digitales de apoyo. Esta aproximación no solo fortalece la formación técnica en energías renovables, sino que también empodera a los usuarios para desarrollar proyectos eficientes de autoconsumo, aportando significativamente a la transición energética desde una perspectiva accesible y profesional.

Finalmente, Perpiñan Lamigueiro, O. (2023)⁵ ofrece una visión más analítica y académica del diseño de sistemas fotovoltaicos, integrando aspectos energéticos, matemáticos y ambientales. Su propósito central fue establecer un marco teórico y práctico que abarcara tanto los fundamentos físicos de la energía solar como su implementación en sistemas fotovoltaicos conectados a red, autónomos y de bombeo. La contribución principal radica en integrar el diseño técnico con criterios de sostenibilidad energética, mediante indicadores como el Tiempo de Retorno Energético (EPBT), lo que permite evaluar la viabilidad de diferentes configuraciones según su rendimiento y su impacto ambiental.

⁵ Perpiñan Lamigueiro, O. (2023). *Energía Solar Fotovoltaica*. Ed: Madrid, España– Creative Commons. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>.

La metodología se fundamenta en la modelización matemática y la simulación numérica, utilizando el paquete solaR de software libre. Se aborda inicialmente la geometría solar para calcular la radiación incidente, aplicando modelos anisotrópicos como el de Hay y McKay, y descomponiendo la radiación global en sus componentes directa, difusa y reflejada. El comportamiento eléctrico del generador se modela a través de curvas I-V, incluyendo algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia (MPP) en el caso de sistemas conectados a red. Para los sistemas autónomos, se aplica el criterio de Pérdida de Carga (LLP) para medir su fiabilidad. Además, se evalúa el ciclo de vida energético de los sistemas mediante análisis de sostenibilidad.

Los resultados indican que los sistemas con seguimiento a doble eje pueden incrementar la radiación útil entre un 10 % y un 50 % respecto a sistemas fijos. El ángulo de inclinación óptimo de los módulos se estima como función de la latitud, y el análisis de sostenibilidad revela que la fabricación de los módulos representa el 75 % del consumo energético total. Se determinó que el EPBT en Europa varía entre 2 y 5 años, siendo más favorable en sistemas con seguimiento (2.6 años en doble eje frente a 3.2 años en sistemas estáticos), lo cual demuestra un retorno energético entre 6 y 15 veces durante su vida útil.

La importancia de este trabajo radica en su enfoque integral, que combina precisión técnica con criterios de sostenibilidad. Ofrece herramientas útiles para comparar distintas configuraciones, justificando técnicamente la preferencia por tecnologías de seguimiento en regiones de alta irradiación. Asimismo, evidencia las limitaciones de predicción en sistemas autónomos y subraya la necesidad de balancear confiabilidad energética y costos, aportando conocimientos clave para el diseño estratégico de instalaciones fotovoltaicas eficientes y sostenibles.

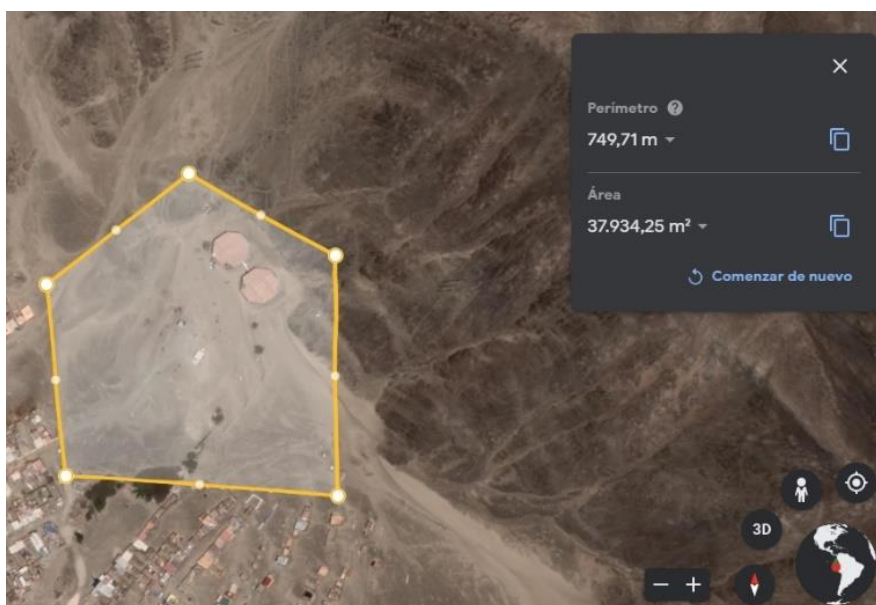
1.2 Identificación y Descripción del Problema de Estudio

El Reservorio de agua para la producción de una empresa del rubro siderúrgico, ubicado en el distrito de Coishco, provincia del Santa, departamento de Áncash, cuenta con energía eléctrica del distribuidor Hidrandina (monofásico 220 V), la cual no nos proporciona un certificado de consumo de energía renovable, además el consumo actual de energía eléctrica no mantiene el enfoque de EMPRESA B, certificación otorgada por B lab (organización internacional sin fines de lucro) por cumplir con estrictos estándares verificados de desempeño social y ambiental, transparencia y responsabilidad, el cual es un objetivo de la empresa siderúrgica.

El terreno total tiene un área de 37'934.25 m² (ver Figura 1), y cuenta con vigilancia las 24 horas. Durante el turno noche se dispone de un solo vigilante y se mantiene el alumbrado eléctrico del reservorio, conformado por 11 luminarias de 110 W distribuidas en el centro del terreno (ver Figura 2).

Figura 1

Área del reservorio de Coishco



Nota: Imagen satelital captada con Google Earth.

Figura 2

Distribución de postes con luminarias



Nota: Imagen satelital captada con Google Earth

En la situación actual, la zona se ve afectada por cortes repentinos de energía eléctrica, los cuales ocurren con una frecuencia mínima de una vez al mes (ver Tabla 1), con una duración variable dentro del mes y con caída de tensión variable (ver Tabla 2), estos son reportados por el vigilante. Por lo tanto, los siguientes indicadores de calidad del servicio eléctrico (Ministerio de Energía y Minas, 2011):

a) Calidad de producto

○ Tensión

▪ Indicador de calidad

- Todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de la tensión nominal.

b) Calidad de Suministro

○ Interrupciones

- Tolerancias
 - Número total de interrupciones por cliente
 - Duración total ponderada de interrupciones

Muestran resultados insatisfactorios, dificultando el trabajo de vigilancia dentro del terreno el cual es muy extenso.

Tabla 1

Cortes de energía eléctrica de la red

AÑO	MES	DÍA	INICIO	FIN	DURACIÓN HORAS (interrupción mayor a 3 min)	N° INTERRUPCIONES AL MES, duración mayor a 3 min	N° DE INTERRUPCIONES TOTALES AL MES (incluyendo menor a 3 min)
2022	ene	13	4:53	5:29	00:36:00	1	2
2022	feb	17	20:02	21:01	00:59:00	1	3
2022	mar	05	19:35	19:56	00:21:00	1	1
2022	abr	22	15:25	16:18	00:53:00	1	2
2022	may	08	12:48	13:23	00:35:00	1	2
2022	jun	11	4:01	13:00	08:59:00	1	3
2022	jul	02	18:14	21:45	03:31:00	1	2
2022	ago	13	17:28	18:03	00:35:00	1	2
2022	sep	27	9:53	9:57	00:04:00	2	4
2022	sep	30	7:02	7:44	00:42:00	1	2
2022	oct	14	7:01	7:52	00:51:00	1	3
2022	nov	18	10:53	11:06	00:13:00	1	3
2022	dic	15	18:08	19:18	01:10:00	1	3
TOTAL					19:29	13	29

Nota: registros del Reservorio.

Tabla 2

Registro de caída de tensión 2022

AÑO	MES	DÍA	INICIO	Voltaje en el punto de entrega (V_k)	FIN	Voltaje de la tensión Nominal (V_N)	DURACIÓN HORAS	CAÍDA DE TENSIÓN %
2022	ene	15	18:45	202.4	19:30	220	00:45:00	8
2022	feb	13	20:00	198.0	20:30	220	00:30:00	10
2022	mar	10	19:30	187.0	20:30	220	01:00:00	15

2022	abr	25	7:15	193.6	7:45	220	00:30:00	12
2022	may	07	6:45	191.4	7:30	220	00:45:00	13
2022	jun	28	6:00	198.0	6:15	220	00:15:00	10
2022	jul	05	18:15	202.4	19:30	220	00:45:00	8
2022	ago	15	18:45	198.0	20:00	220	01:15:00	10
2022	sep	18	6:45	193.6	8:00	220	01:15:00	12
2022	sep	26	7:00	195.8	7:45	220	00:45:00	11
2022	oct	19	7:00	198.0	7:15	220	00:15:00	10
2022	nov	13	18:45	195.8	19:30	220	00:45:00	11
2022	dic	22	18:30	202.4	19:45	220	00:15:00	8

Nota: Registros del Reservorio.

Actualmente los alrededores del terreno del reservorio están siendo invadidos, aumentando la posibilidad de ingreso de personas no autorizadas, además por la ubicación del reservorio el ingreso de la Policía Nacional del Perú al terreno es dificultoso. Poniendo en riesgo la propiedad privada, exponiéndose a robos y desmanes, con posibilidad de daños a equipos que son importantes para el control de agua que se utiliza en el proceso de producción.

1.3 Formulación del Problema

1.3.1 Problema Principal

¿En qué medida el diseño, implementación y análisis de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, mejora los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco?

1.3.2 Problema Especificos

- ¿Cómo determinar la ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos?
- ¿En qué medida es posible seleccionar los equipos a utilizar en el sistema solar fotovoltaico híbrido?

- ¿En qué medida es posible realizar el diseño del sistema solar fotovoltaico híbrido?
- ¿En qué medida es posible implementar el sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco?

1.4 Justificación e Importancia.

La justificación e importancia de esta investigación se basa en los siguientes puntos:

- a. Necesidad Energética y la mitigación de interrupciones: La mejora en los indicadores de calidad del servicio eléctrico es crucial para el funcionamiento óptimo del reservorio, que es fundamental en los procesos de la empresa, ya que suministra agua para proceso de enfriamiento de las palanquillas y barras corrugadas que produce la empresa siderúrgica. Las interrupciones en el suministro eléctrico pueden afectar negativamente las operaciones del reservorio y los procesos relacionados. Un sistema solar fotovoltaico híbrido con respaldo energético contribuirá a reducir la vulnerabilidad ante cortes de energía, lo que mejorará la confiabilidad de las operaciones y minimizará las pérdidas económicas potenciales. Este proyecto de investigación se enfoca en satisfacer una necesidad crítica de la empresa siderúrgica, mejorando los indicadores de calidad del servicio eléctrico.
- b. Sostenibilidad: La implementación de un sistema solar fotovoltaico híbrido permitirá aprovechar la energía solar fotovoltaica, una fuente renovable, contribuyendo a la sostenibilidad, a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, la reducción de costos a largo plazo y la disminución de

la dependencia de fuentes de energía no renovable. Estas características impactan positivamente en el desempeño económico y en la responsabilidad ambiental de la empresa.

- c. Contribución a la Innovación Tecnológica: La implementación exitosa de un sistema solar fotovoltaico híbrido para mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico en un entorno industrial, no solo resolverá un problema específico, sino que también demostrará la viabilidad, diversificación de fuentes energéticas y uso de nuevas tecnologías. Esto podría inspirar la adopción de tecnologías similares en otras empresas y sectores.

En resumen, la importancia de la investigación radica en su capacidad para resolver desafíos energéticos específicos, promover la sostenibilidad, fomentar la innovación y generar conocimiento útil. Los resultados de esta investigación pueden tener un impacto positivo tanto a nivel empresarial como en la comunidad más amplia interesada en soluciones energéticas avanzadas y responsables.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivos General

Diseñar, implementar y analizar un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos.
- Seleccionar los equipos a utilizar en el sistema solar fotovoltaico híbrido.
- Diseñar el sistema solar fotovoltaico híbrido.

- Implementar el sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis General

El diseño, implementación y análisis de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, mejora los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco.

1.6.2 Hipótesis Específicas

- La ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos puede determinarse considerando parámetros técnicos como irradiación solar, orientación, área disponible y condiciones del entorno.
- La selección de los equipos para el sistema solar fotovoltaico híbrido puede realizarse en función de criterios técnicos que aseguren cubrir la demanda energética y confiabilidad del sistema.
- El sistema solar fotovoltaico híbrido puede diseñarse tomando en cuenta las condiciones del sitio, la demanda energética y su integración con la red eléctrica.
- Implementar el sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, permite mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco.

1.7 Variables y Operacionalización de variables

1.7.1 Variables

Variable independiente:

- Sistema solar fotovoltaico híbrido.

Variable dependiente:

- Calidad del servicio eléctrico

Dimensiones:

- Calidad del producto
- Calidad del suministro

Ver Anexo A: Matriz de Consistencia

1.7.2 Operacionalización de variables

Para ver a detalle las dimensiones, indicadores y operacionalización de variables ver Anexo B: Operacionalización de Variables.

1.8 Metodología de investigación

1.8.1 Unidad de Análisis

La unidad de análisis de la presente investigación es proponer el uso de un sistema solar fotovoltaico híbrido para satisfacer la necesidad de energía eléctrica en el reservorio Coishco.

Para lograr esta investigación de acuerdo al análisis de la información disponible del reservorio en Coishco: Cuadro de cargas eléctricas, contrato de servicio eléctrico actual, irradiancia dentro del área del terreno durante el año. Se realizarán los siguientes pasos:

- Determinar la ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos.
- Seleccionarlos equipos a utilizar para el sistema solar fotovoltaico híbrido, según necesidad de la empresa.
- Luego diseñar el sistema solar fotovoltaico híbrido con los datos recolectados.
- Por último, la implementación el sistema solar fotovoltaico híbrido con equipos seleccionados, para mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico dentro del reservorio de Coishco.

1.8.2 Tipo, enfoque, nivel y diseño de Investigación

A. Tipo de Investigación

El presente trabajo contiene un tipo de investigación aplicada.

B. Enfoque de la Investigación

El presente trabajo contiene un tipo de investigación enfoque cuantitativa, debido a que se recolectan datos numéricos sobre el consumo eléctrico actual de todos los equipos dentro del reservorio. Además, una vez implementado el sistema solar fotovoltaico híbrido, se utilizarán datos cuantitativos para analizar la producción y el consumo de energía eléctrica del mismo como la generación de energía solar a lo largo del día y el rendimiento de las baterías.

C. Nivel de Investigación

Esta investigación tiene un nivel de estudio descriptivo y explicativo.

- Descriptivo porque se realizará una descripción de los procesos que se desarrollarán para implementar el sistema solar fotovoltaico híbrido.
- Explicativo dado que se explicará del comportamiento de la generación de energía solar, el funcionamiento de las baterías y el servicio eléctrico

mediante el análisis de los resultados una vez implementado el sistema solar fotovoltaico híbrido en el reservorio.

Este enfoque de investigación mixta combina los niveles descriptivo y explicativo, esto permitirá no solo describir los procesos utilizados, sino también explicar los resultados.

1.8.3 Diseño de Investigación

El presente trabajo contiene un diseño de investigación cuasi experimental.

1.8.4 Fuente de Información

La información utilizada en este trabajo se obtiene por parte:

- a) Administración del reservorio de agua ubicado en Coishco.
- b) Página web POWER DATA ACCESS VIEWER (NASA, s.f.).
- c) Software Solargis (2023).
- d) Página web HUAWEI FUSION.

1.8.5 Población y Muestra

- a) Población: Registros de medición del servicio eléctrico del reservorio.
- b) Muestra:

Registros de medición del servicio eléctrico del reservorio en el intervalo de 12 meses antes y 12 meses después de la puesta en marcha.

1.8.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos se realizó mediante la técnica de observación y el análisis de registros obtenidos a través de instrumentos de medición eléctrica. Para ello, se emplearon un analizador de redes, una pinza amperimétrica y un voltímetro, los cuales permitieron registrar variables clave del servicio eléctrico, tales como tensión y corriente eléctrica.

1.8.7 Análisis y Procesamiento de Datos

Tabulación de resultados, organizadores visuales y herramientas de procesamiento de datos: Microsoft Excel, Power BI, Solargis (2023).

CAPÍTULO II Marco Teórico y Marco Conceptual

2.1 Bases teóricas

En esta sección se establecen los conceptos teóricos necesarios, para poder llevar a cabo el diseño de un sistema solar fotovoltaico híbrido.

2.1.1 Indicadores de calidad de servicio eléctrico

2.1.1.1 Calidad de producto

La calidad del producto que se entrega al cliente se determina a partir de las transgresiones de las tolerancias en los niveles de tensión, frecuencia y perturbaciones en los puntos de entrega. El control de la calidad se realiza mensualmente, en lo que se conoce como "Períodos de Control". Según lo establecido en cada caso, se llevan a cabo mediciones independientes de cada parámetro de calidad utilizando equipos de uso múltiple o individual. El tiempo mínimo para medir un parámetro es de siete días calendario consecutivos, excepto en el caso de la frecuencia, que se mide de forma continua durante el Período de Control. Estos intervalos se denominan "Períodos de Medición" (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

2.1.1.1.1 Tensión

2.1.1.1.1.1 Indicador de calidad

El indicador utilizado para evaluar la tensión de entrega en un intervalo de medición de quince minutos (k) se define como la diferencia (ΔV_k) entre la media de los valores eficaces (RMS) instantáneos registrados en el punto de entrega (V_k) y el valor de la tensión nominal (V_N) correspondiente a ese mismo punto. Este indicador se presenta como un porcentaje de la tensión nominal, de la siguiente manera:

$$\Delta V_k (\%) = (V_k - V_N) / V_N * 100\% \quad (1)$$

Tolerancias:

Las tolerancias admitidas sobre las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía, en todas las Etapas y en todos los niveles de tensión, es de hasta el $\pm 5.0\%$ de las tensiones nominales de tales puntos (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

En la presente tesis en adelante se nombrará como indicador de calidad de tensión.

2.1.1.2 Calidad de Suministro

2.1.1.2.1 Interrupciones

La calidad del suministro se mide en función de la continuidad del servicio eléctrico a los clientes, es decir, según las interrupciones que ocurren. Para evaluar esta calidad, se consideran indicadores que registran el número de interrupciones, su duración y la energía no suministrada debido a estas. El período de control para las interrupciones es de seis meses calendario.

Se define una interrupción como cualquier falta de suministro eléctrico en un punto de entrega. Estas interrupciones pueden ser provocadas por diversas razones, como fallas en equipos del proveedor o de instalaciones que lo alimentan, y pueden deberse a mantenimiento, maniobras, ampliaciones, entre otros. También pueden ocurrir de manera aleatoria debido a mal funcionamiento. La norma específica que no se cuentan las interrupciones totales de suministro que duren menos de tres minutos ni aquellas atribuibles a casos de fuerza mayor que estén debidamente comprobados y clasificados por la autoridad competente (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

2.1.1.2.1.1 Número Total de Interrupciones por Cliente (N')

Se refiere al total de interrupciones en el suministro a cada cliente durante un período de control de seis meses:

Tolerancias

- Clientes en muy alta y alta tensión: 2 Interrupciones/semestre

- Clientes en media tensión: 4 Interrupciones/semestre
- Clientes en baja tensión: 6 Interrupciones/semestre (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

2.1.1.2.1.2 Duración total ponderada de Interrupciones por cliente (D')

Es la sumatoria de las duraciones individuales ponderadas de todas las interrupciones en el suministro eléctrico al cliente durante un período de control de un semestre:

Tolerancias

- Clientes en muy alta y alta Tensión: 4 horas/semestre
- Clientes en media tensión: 7 horas/semestre
- Clientes en baja tensión: 10 horas/semestre (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

2.1.2 Energía Solar

La energía solar resulta del proceso de fusión nuclear que tiene lugar en el sol, que viajan en el espacio y las que llegan a la Tierra en paquetes de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestres.

Esta energía es el motor que mueve nuestro medio ambiente, siendo la energía solar que llega a la superficie terrestre 10 000 veces mayor que la energía consumida actualmente por toda la humanidad (Orbegozo, C. 2010).

2.1.2.1 Tipos de radiación.

Es la energía solar que viaja por el espacio en forma de ondas electromagnéticas. La radiación solar llega a nuestro planeta de tres formas distintas (Siancha, J. 2013):

- Radiación Directa: Es la radiación que nos llega directamente del sol sin haber sido dispersada por la atmosfera.

- Radiación Difusa: Es la radiación que nos llega después de haber sido cambiada por la dispersión de la atmósfera.
- Radiación Reflejada: La cual procede del reflejo de la radiación directa en los elementos del entorno (como el mar o la nieve).
- Radiación Global: Sumatoria de la radiación directa y radiación difusa.

2.1.2.2 Irradiancia (W/m^2)

Es una cantidad instantánea que describe el flujo de radiación solar en una superficie. Se encuentra en unidades de kW/m^2 . Se puede asumir que en buenas condiciones de irradiancia el valor es superior a los $1000 W/m^2$ en la superficie terrestre (Siancha, J. 2013).

2.1.2.3 Las horas de sol pico (HSP)

Es la radiación solar medida en horas dentro de un punto específico en la tierra, representa el cociente de los datos promedios de radiación brindados por las fuentes meteorológicas internacionales (W/m^2) con un valor referencial de $1\ 000 W/m^2$ (Pareja Aparicio, M. 2015) como se muestra a continuación en la ecuación 2.

$$HSP = \frac{\text{radiación solar recopilada (kWh/m}^2\text{/día)}}{1\ 000 (W/m^2)} \quad (2)$$

2.1.3 Energía Solar Fotovoltaico

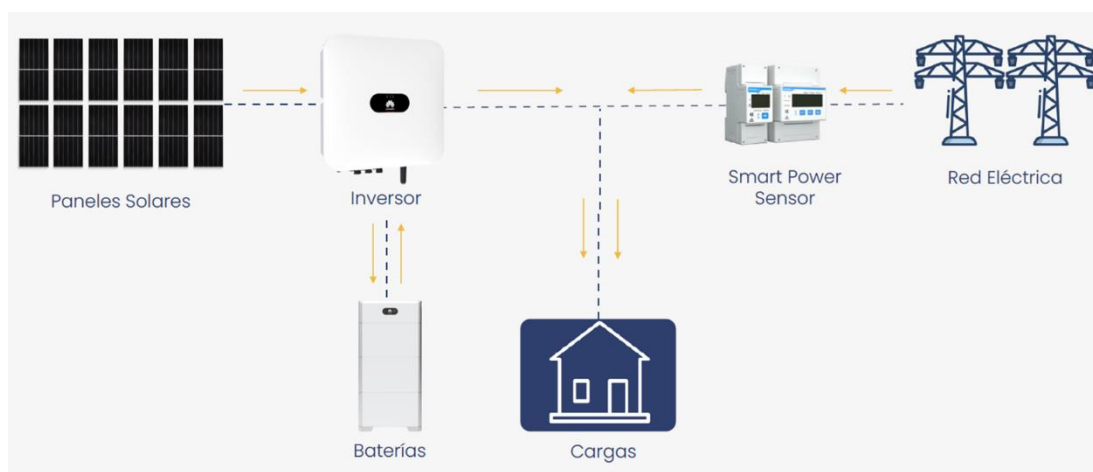
Esta forma de energía se basa en el aprovechamiento de la luz solar, la cual incide directamente sobre un panel solar. Este panel está compuesto por células fotovoltaicas que, al recibir la radiación solar, generan energía eléctrica. La célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico que permite convertir la luz solar en electricidad de manera directa. Está fabricada con materiales semiconductores, principalmente silicio, y al ser impactada por los fotones provenientes del sol, produce una corriente eléctrica como resultado del efecto fotovoltaico. (Figueroa, et al 2014).

2.1.4 Sistema Solar Fotovoltaico

Es el conjunto de elementos y componentes diseñados para transformar la energía solar en energía eléctrica, que puede ser utilizada de forma directa o almacenada (Ledesma et al., 2021, p. 19). Estos sistemas integran diversos componentes (ver Figura 3), como paneles solares (módulos fotovoltaicos), inversores, estructuras de soporte, cableado y, en muchos casos, baterías para almacenamiento, trabajando en conjunto para captar la luz solar y convertirla en electricidad utilizable.

Figura 3

Sistema solar fotovoltaico



Nota: elaboración propia, adaptación de imágenes de Huawei <https://solar.huawei.com/es/residential/>.

2.1.4.1 Sistema Solar Fotovoltaico On Grid

Es un sistema que requiere estar conectado (a la vez) a la red eléctrica del distribuidor de la zona (Perpiñán, O. 2023).

2.1.4.2 Sistema Solar Fotovoltaico Off Grid

Es un sistema que funciona sin conexión de la red eléctrica del distribuidor de la zona, se requiere un banco de baterías para el almacenamiento de energía eléctrica cuyo consumo se realiza en periodos donde los módulos fotovoltaicos no estén produciendo

energía eléctrica, es decir cuando los rayos del sol no alcancen a los módulos fotovoltaicos (Perpiñán, O. 2023).

2.1.4.3 Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

Es un sistema el cual requiere estar conectado a dos o más fuentes de energía diferentes uno del otro y que interactúan entre sí, para cumplir una determinada función. En el presente trabajo las fuentes de energía son la red eléctrica del distribuidor de la zona, arreglo de módulos fotovoltaicos y a la vez a un banco de baterías. Esto con el objetivo de aprovechar la irradiancia del sol las 24 horas y tener la energía de la red eléctrica como reemplazo por falla, o mantenimiento del sistema fotovoltaico (Perpiñán, O. 2023).

2.1.4.4 Módulo Fotovoltaico

Se forman por un conjunto de celdas fotovoltaicas interconectadas. Estas celdas fotovoltaicas o también conocidas como células fotovoltaicas se encapsulan en una resina, y se colocan entre dos láminas para formar los módulos fotovoltaicos. La lámina exterior es de vidrio y la posterior puede ser de plástico opaco o de vidrio (Perpiñan, O. 2023).

2.1.4.4.1 Tipos de Módulos Fotovoltaicos

Existen diversos tipos de módulos solares (ver Figura 4), que están químicamente constituidos de forma diferente, lo cual da a lugar a una determinada ventaja en términos de eficiencia.

El silicio es el material por excelencia, en la construcción de células solares, lo cual da origen a la construcción de los paneles solares; sin embargo, no todos los paneles, presentan la misma cantidad de silicio en su composición, por lo que se puede clasificar de la siguiente manera (Eniplenitude 2023).

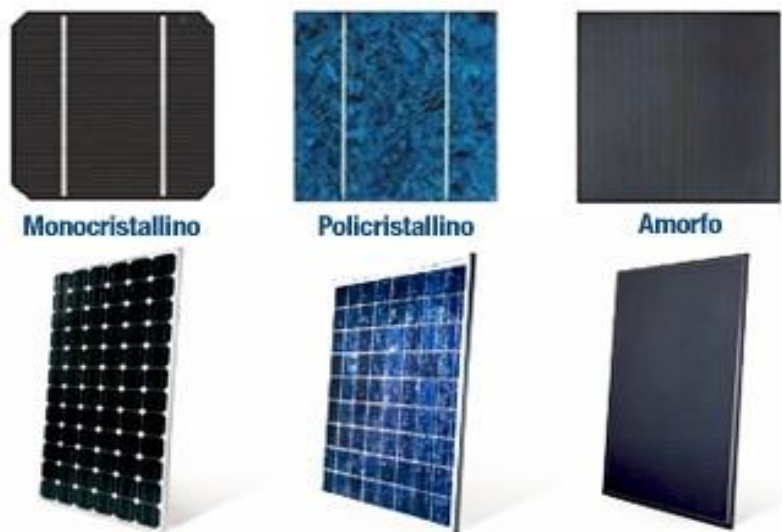
- El silicio monocristalino: son los más oscuros y tienen los bordes redondeados. Están formados por la solidificación de un único cristal del silicio puro. Ofrecen un

mayor rendimiento (de 18% a 23%), mejor funcionamiento en condiciones meteorológicas adversas y necesitan menos espacio para su instalación.

- El silicio policristalino: Se caracterizan por su color azul brillante. Están formados por multitud de cristales de silicio puro y requieren una inversión más reducida que los monocristalinos. En cambio, necesitan más espacio para su instalación, ofrecen un rendimiento más bajo (de 14% a 17%) y, cuando las condiciones meteorológicas no son favorables, su rendimiento no es tan alto como en los paneles monocristalinos.
- Silicio amorfo: generados a través de la solidificación de silicio puro, son más económicos, flexibles y ligeros que los monocristalinos y los policristalinos. Sin embargo, no es una opción que se contemple para el autoconsumo, debido a su bajo rendimiento (de 8% a 12%), a su poca resistencia y a que necesitan un espacio mucho mayor para su instalación.

Figura 4

Tipos de paneles solares



Nota: Obtenido de Enersave (<http://enersave.es/medicion-neta/energia-solar>).

2.1.4.5 String Fotovoltaico

Un string es un conjunto de módulos fotovoltaicos que están conectados en serie (Autosolar, s.f.).

2.1.4.6 Arreglo Fotovoltaico

Un arreglo fotovoltaico es el conjunto de módulos fotovoltaicos en serie y/o paralelos, esto es para producir cada vez mayores cantidades de voltajes y/o corrientes, y por ende mayores potencias eléctricas. El arreglo fotovoltaico es lo que necesitamos cuando nuestro proyecto intenta abastecer el consumo eléctrico de un hogar u oficina (Solar Fotovoltaico, s.f.).

2.1.4.7 Controlador de Carga

Los paneles solares producen energía que es almacenada en baterías, no obstante, si no se gestiona adecuadamente, puede provocar una sobrecarga, reduciendo la vida útil de las baterías o incluso ocasionando incidentes indeseados. Para evitar estos problemas, se utilizan los reguladores de carga (ver Figura 5), los cuales regulan y controlan el flujo de energía entre el módulo fotovoltaico y la batería (Duffy, B., 2011).

Figura 5

Regulador o Controlador de carga



Nota: Imagen obtenida de Huawei Fusión.

2.1.4.8 Baterías

Su función es captar y almacenar la energía eléctrica generada por el sol (ver Figura 6) para suministrarla cuando los paneles solares dejan de producir electricidad, como durante la noche o en días con poca radiación solar (Duffy, B., 2011).

- Baterías Solares de Gel
- Baterías Solares de Litio
- Baterías Solares Secas
- Baterías Solares de Ciclo Profundo AGM
- Baterías Solares 12V
- Baterías Solares 48V

Figura 6

Baterías solares



Nota: Imagen obtenida de Huawei Fusión.

2.1.4.9 Inversor

Transforma la energía (ver Figura 7) recibida del generador fotovoltaico (en forma de corriente continua) y la adapta a las condiciones requeridas según el tipo de carga, normalmente en corriente alterna y el posterior suministro a la red (en algunos casos). Vienen caracterizados principalmente por la tensión de entrada, que se debe adaptar al generador, la potencia máxima que puede proporcionar y la eficiencia. Esta última se

define como la relación entre la potencia eléctrica que el inversor entrega a la utilización (potencia de salida en corriente alterna) y la potencia eléctrica que extrae del generador (potencia de entrada en corriente continua).

Aspectos importantes que habrán de cumplir los inversores (Díaz Rodríguez et al. ,2012).

- Deberán tener una eficiencia alta, pues en caso contrario se habrá de aumentar innecesariamente el número de paneles para alimentar la carga.
- Estar adecuadamente protegidos contra cortocircuitos y sobrecargas.
- Incorporar rearme y desconexión automáticos.
- Admitir demandas instantáneas de potencia mayores del 150% de su potencia máxima.
- Cumplir con los requisitos, que establece el Reglamento de Baja Tensión.
- Baja distorsión armónica.
- Bajo consumo.
- Aislamiento galvánico.
- Sistema de medidas y monitorización.

Figura 7

Inversor de corriente continua



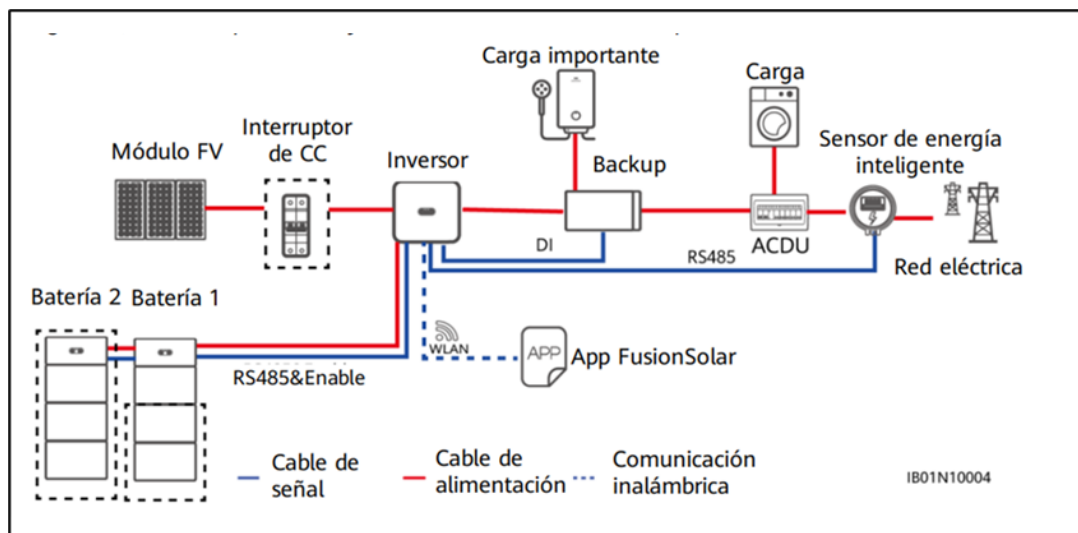
Nota: Imagen obtenida de Huawei Fusion.

2.1.4.10 BACKUP BOX

El Backup Box se utiliza en un sistema residencial de planta Fotovoltaica (ver Figura 8) para azotea con el objetivo de controlar el estado de conexión o falta de conexión a la red eléctrica del inversor. Cuando la red eléctrica falla, el inversor se desconecta de la red eléctrica y suministra alimentación a las cargas sin conexión a la red eléctrica en modo de respaldo. Cuando la red se recupera, el inversor vuelve a conectarse a la red eléctrica (Huawei, 2023).

Figura 8

Sistema fotovoltaico híbrido



Nota: Imagen obtenida de Huawei Fusion.

2.1.5 EMPRESA B

Certificación otorgada por B lab por cumplir con estrictos estándares verificados de desempeño social y ambiental, transparencia y responsabilidad (Sistemab, 2012).

2.1.6 Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE)

El propósito de esta norma, publicada en el Decreto Supremo N° 020-97-EM, es establecer los niveles mínimos de calidad para los servicios eléctricos, incluido el

alumbrado público, así como las responsabilidades de las empresas de electricidad y de los clientes que operan bajo la Ley de Concesiones Eléctricas, Decreto Ley N° 25844. Esta norma define los aspectos, parámetros e indicadores utilizados para evaluar la calidad del servicio eléctrico. También se especifican la cantidad mínima de puntos y las condiciones de medición, se establecen las tolerancias y las respectivas compensaciones o multas por incumplimiento. Además, se determinan las obligaciones de las entidades involucradas, ya sea de manera directa o indirecta, en la prestación y uso de este servicio en relación al control de la calidad.

2.1.6.1 Código Nacional de Electricidad (CNE) utilización

El CNE (Código Nacional de Electricidad) utilización, tiene como objetivo establecer las reglas preventivas para salvaguardar las condiciones de seguridad de las personas, de la vida animal y vegetal, y de la propiedad, frente a los peligros derivados del uso de la electricidad; así como la preservación del ambiente y la protección del Patrimonio Cultural de la Nación.

El Código también contempla las medidas de prevención contra choques eléctricos e incendios, así como las medidas apropiadas para la instalación, operación y mantenimiento de instalaciones eléctricas (Ministerio de Energía y Minas, 2007).

Sistema AWG (American Wire Gauge)

El AWG (American Wire Gauge), es un índice de clasificación de diámetros, medidas y resistencia de cables eléctricos (Indeco, 2010).

Además de las siguientes normas:

- Norma Técnica Peruana NTP 370.301.
- IEC 60287 "Calculation of the electrical cables. Calculation of the current rating".

- IEC 60364-5-523 “Electrical installations of building. Part 5: Selection and erection of electrical equipment”.
- Código Nacional de Electricidad Suministro 2011 Sección 003.
- IEC 60364: Low-voltage electrical installations, Part 7-712.
- IEC 61730-1:2016.
- UL 4703: Norma para conductor unipolar aislado con o sin cubierta para sistemas de energía fotovoltaicos de 600, 1000 o 2000 V.

2.2 Marco Conceptual

2.2.1 Relación de la Calidad del Servicio Eléctrico:

Calidad de suministro y producto: La calidad del suministro eléctrico se define no solo por la ininterrupción del servicio eléctrico a los clientes, sino también por la calidad de la energía entregada. La interrupción es un evento crítico que afecta la operatividad de los sistemas que dependen de la energía eléctrica, afectando no solo a la empresa, sino también la seguridad del área circundante (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

La calidad de producto implica que tanto la tensión como la frecuencia deben estar dentro de los rangos aceptables para asegurar el correcto funcionamiento de los equipos (Ministerio de Energía y Minas, 2011).

2.2.2 Relación entre Energía Solar y Sistemas Fotovoltaicos:

La energía solar se presenta como una alternativa viable para mejorar la calidad del servicio eléctrico en contextos donde las interrupciones son frecuentes. La implementación de sistemas solares fotovoltaicos híbridos puede contribuir a reducir la dependencia de la red eléctrica.

Interacciones entre componentes: El diseño de un sistema solar fotovoltaico híbrido implica una interacción compleja entre los módulos, controladores, baterías e inversores. Comprender cómo cada componente se integra es esencial para optimizar el rendimiento del sistema y mejorar los indicadores de calidad del suministro eléctrico.

Perspectiva Sostenible: La integración de sistemas solares fotovoltaicos no solo mejora la calidad del servicio, sino que también alinea la operación con estándares de sostenibilidad, como los requeridos para la certificación de EMPRESA B. Esto implica un compromiso con prácticas que minimizan el impacto ambiental y promueven el uso de energía renovable.

CAPÍTULO III Desarrollo del Trabajo de Investigación

3.1 Determinación de ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos.

La ubicación para instalar el sistema solar fotovoltaico híbrido, monofásico, se determinó evaluando el lugar más cercano al tablero general (eléctrico), una zona nivelada y sin sombras alrededor. La Tabla 3 muestra las coordenadas del sistema solar fotovoltaico híbrido y la Figura 9 muestra su localización por vista satelital.

La Figura 10 muestra el lugar seleccionado para el sistema solar fotovoltaico híbrido.

Tabla 3

Ubicación del sistema solar fotovoltaico híbrido

Nombre del Sistema	Coordenadas Estándar UTM			Coordenadas Grados Decimales		Ubicación
	Norte	Este	Zona	Latitud	Longitud	
Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Coishco	9002272	763507	17 S	-9.018194°	-78.60315°	Coishco, Santa, Áncash, Perú

Nota: elaboración propia.

Figura 9

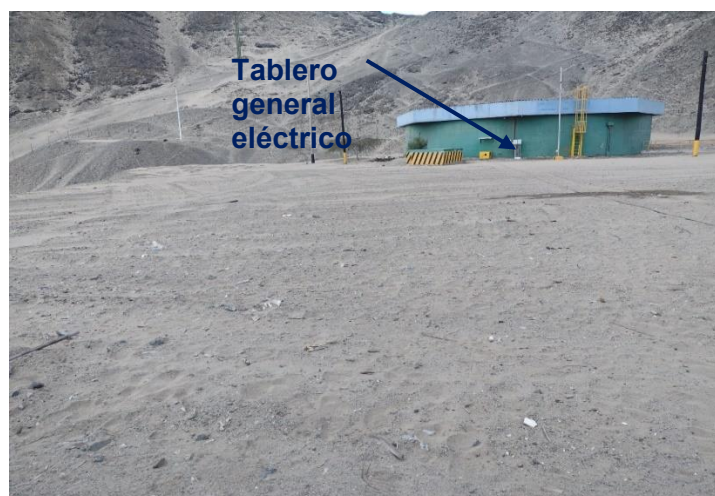
Localización del sistema solar fotovoltaico híbrido



Nota. Imagen satelital, obtenida de Google Earth.

Figura 10

Área designada al montaje de paneles solares



Nota. Fotografía del reservorio del proyecto, Coishco.

3.1.1 Datos meteorológicos

Se utilizó la base de datos: Meteonorm 8.2 (2016-2021) con una cobertura satelital al 100% (Ver Tabla 4), para obtener los datos promedio de cada mes, como la temperatura, velocidad del viento y humedad relativa del área del reservorio.

Tabla 4

Datos Meteorológicos en meses

Mes	Temperatura (°C)	Velocidad del Viento (m/s)	Humedad Relativa (%)
Enero	22.3	3.5	79.8
Febrero	23.2	3.3	80.3
Marzo	23	3.4	80.9
Abril	21	3.6	83.3
Mayo	20.3	3.69	81.1
Junio	19.3	3.5	82.5
Julio	19	3.49	80.7
Agosto	18.5	3.6	80.4
Setiembre	18.1	3.9	81.7
Octubre	18.6	3.9	80
Noviembre	19.1	3.71	80.8
Diciembre	20.7	3.6	79.9
Total	20.3	3.6	81

Nota: Meteonorm 8.2 (2016-2021) con una cobertura satelital al 100%.

Se observa que la temperatura promedio anual de 20.3°C es ideal para la operación de paneles solares, ya que minimiza la pérdida de eficiencia por sobrecalentamiento.

La velocidad del viento promedio (3.6 m/s) es suficiente para favorecer la ventilación natural de los módulos solares.

Los valores de humedad relativa durante el año oscilan entre 79.8% y 83.3%. Estos valores son relativamente altos, lo que indica que la zona presenta una atmósfera con una alta carga de humedad durante la mayor parte del año.

3.2 Diseño y Cálculo del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

3.2.1 Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

El dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido para cubrir la demanda de los equipos se consideró los siguientes puntos:

- Análisis energético solar con respecto a la ubicación geográfica del proyecto.
- Demanda de energía eléctrica a cubrir.
- Dimensionamiento de banco de baterías más las pérdidas por carga y descarga.
- Curva de generación solar definida.
- Arreglo de paneles.
- Dimensionamiento de inversor.

Para iniciar el dimensionamiento se determinó la energía disponible en la zona del proyecto, para ello, se tomó como referencia el mes con la menor radiación horaria, con la finalidad de asegurar que el dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido tenga la capacidad de cubrir la demanda eléctrica en todos los meses del año. Luego, se definió la demanda eléctrica a cubrir a partir de la información obtenida de los recibos de servicio

de energía eléctrica, proporcionados por Hidrandina. Esto permitió calcular la demanda de energía diaria a ser cubierta por el sistema propuesto.

Las normas en que se basó la metodología de dimensionamiento son las siguientes:

- CNE Utilización 2011
- IEC 60364-7-712

En la Tabla 5 se resume la demanda de energía eléctrica a cubrir para el sistema.

Tabla 5

Demanda energética

Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia	Potencia total (W)	Horas/día	Energía (Wh/día)
1	Focos LED-interior	1	10	10	12	120
2	Televisor	1	100	100	8	800
3	Focos LED-exterior	11	120	1320	12	15840
4	Cargador de celular	1	10	10	3	30
5	Motor de 1HP	1	750	562.5	0.5	281.25
Potencia instalada (W)				2002.5		
Energía requerida por día (Wh/día)						17071.25

Nota: elaboración propia.

En la Tabla 6 se muestra el cuadro de carga por horas durante el día.

Tabla 6

Cuadro de carga

horas\artefactos	Focos LED-interior	TV	Focos LED-exterior	Cargador de celular	Motor 1HP	Consumo en hora (W)
0	10	100	1320	0	0	1430
1	10	100	1320	0	0	1430
2	10	100	1320	0	0	1430
3	10	100	1320	0	0	1430
4	10	100	1320	0	0	1430
5	10	100	1320	0	0	1430
6	10	100	660	0	0	770
7	0	100	0	0	0	100
8	0	100	0	0	0	100
9	0	0	0	30	0	30
10	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0
12	0	100	0	0	0	100
13	0	100	0	30	750	880
14	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0

17	0	0	0	0	0	0
18	10	0	0	30	0	40
19	10	100	1320	0	0	1430
20	10	100	1320	0	0	1430
21	10	100	1320	0	0	1430
22	10	100	1320	0	0	1430
23	10	100	1320	0	0	1430
					Máximo (W)	1430

Nota: elaboración propia.

3.2.2 Análisis energético solar en la ubicación del proyecto.

Se seleccionó una curva de generación idónea para el dimensionamiento de un sistema solar, con la cual se estimó la cantidad promedio de energía solar generada en un día. Esta permitió conocer qué parte de la demanda fue cubierta directamente por el sol (autoconsumo) y cuanto exceso de energía se debió generar para cargar un sistema de almacenamiento que permita cubrir la demanda por las noches.

Para determinar la curva de generación estándar fue necesario comparar cada una de las generaciones específicas horarias y anuales de la ubicación elegida y seleccionar la de menor generación diaria. De este modo se aseguró el correcto funcionamiento del sistema a lo largo de año.

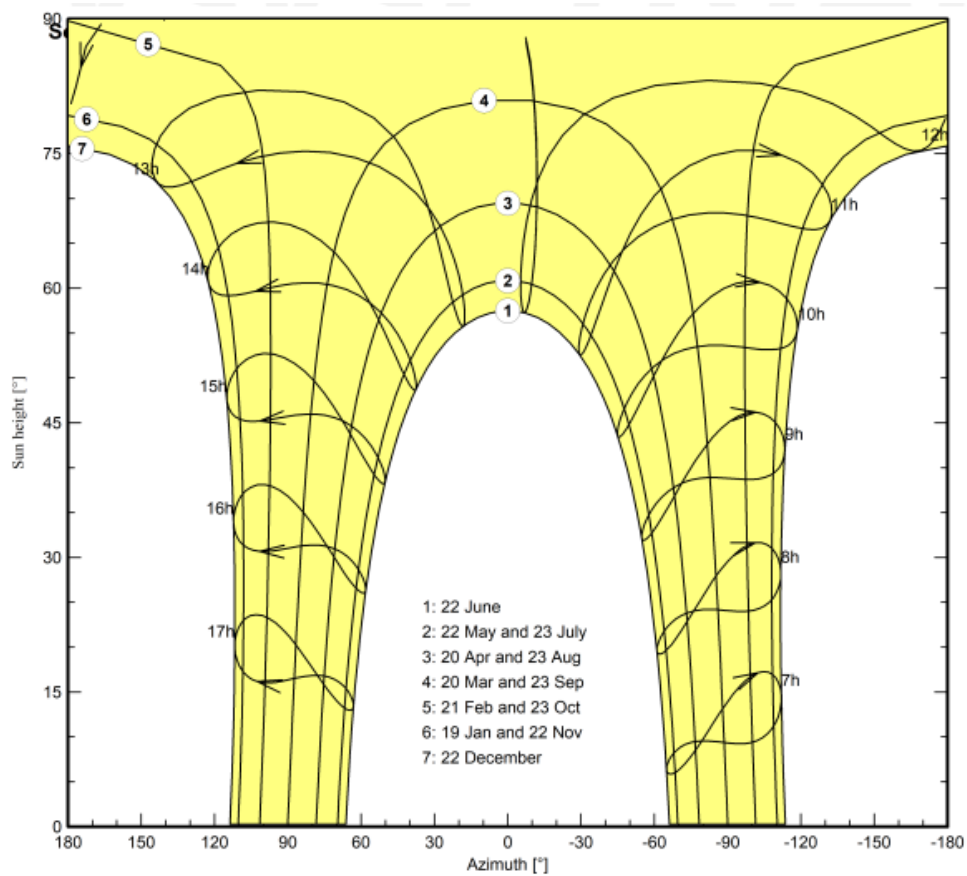
3.2.2.1 Estudio solar

Se utilizó el software PVsyst (2023) para obtener información respecto a la radiación en la zona del reservorio. Al visualizar la Figura 11 se determina que para la zona horaria GMT-5 del sitio, el análisis del recorrido solar revela que durante el solsticio de verano (22 de diciembre), el sol alcanza una altura máxima aproximada de 75°, lo que garantiza una alta disponibilidad de radiación solar directa y condiciones óptimas para la captación energética. Esta posición elevada favorecerá la eficiencia del sistema solar fotovoltaico híbrido y minimiza las pérdidas por incidencia angular.

Además, durante el solsticio de invierno (22 de junio), la altura máxima del sol disminuye a aproximadamente 55° , lo cual se puede ajustar con la inclinación de los módulos solares para maximizar la captación de energía durante esta temporada. Aunque la duración del día es menor y la trayectoria solar más baja, las condiciones siguen siendo técnicamente viables para garantizar una generación consistente de energía solar, especialmente con ajustes adecuados en el diseño del sistema. La Figura 12 muestra la duración solar en horas durante 24 horas según la ubicación geográfica en el mundo.

Figura 11

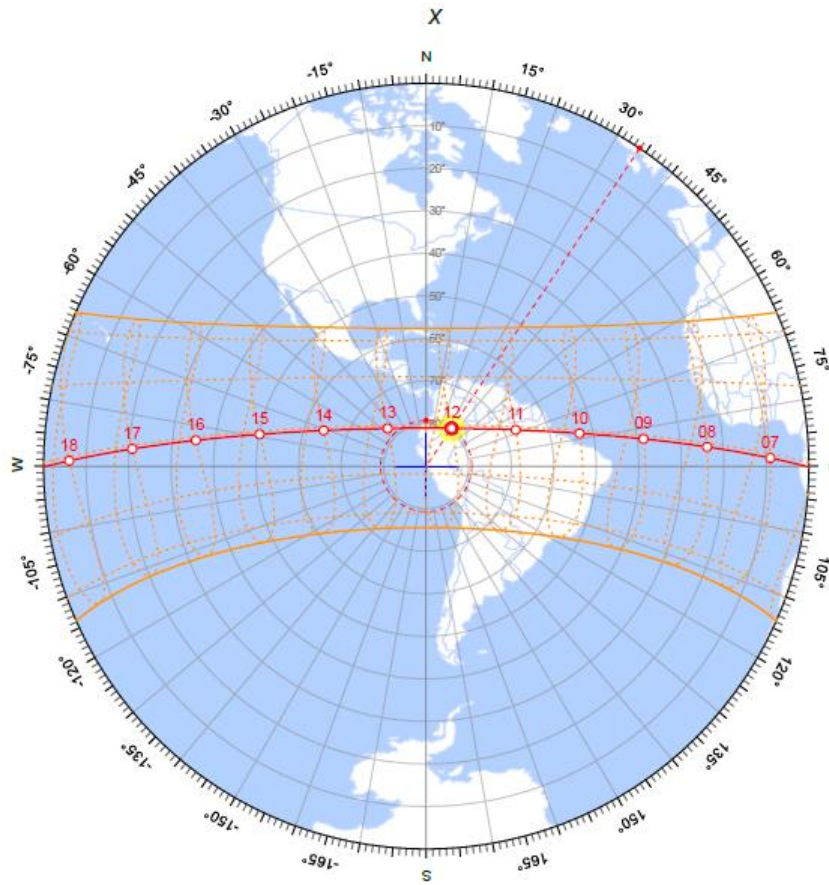
Solar Cartesiano del sitio



Nota: Elaborado con el software PVsyst.

Figura 12

Duración Solar Cartesiano del sitio



Nota: NASA Prediction of Worldwide Energy.

3.2.2.2 Ángulo fotovoltaico de elevación óptimo

Para el cálculo, se utilizó la ecuación 3.1 (Lorenzo, 2006), la cual fue evaluada con una latitud $\varphi = -9.01$, correspondiente a la ubicación geográfica del sitio. La ecuación es la siguiente:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0.69|\varphi| \quad (3.1)$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0.69|-9.1| = 10.12^\circ$$

Cuando el ángulo de inclinación es inferior a 15°, se recomienda utilizar un valor de 15° para asegurar un rendimiento adecuado (Autosolar, s.f.). Por lo tanto, en el presente diseño se fija el ángulo de inclinación en:

$$\beta = 15^\circ$$

Esta inclinación permite evitar la acumulación de suciedad y agua sobre los módulos fotovoltaicos, lo que contribuye a mantener un nivel óptimo de captación de radiación solar.

3.2.2.3 Oferta energética

Evaluando la demanda energética en el punto de instalación de los paneles solares con un ángulo de inclinación de 15° (todos los cálculos se realizarán asumiendo este ángulo) y usando la fuente PVGIS-NSRDB (Joint Research Centre, s.f.) se obtiene la irradiancia (kWh/m²) en los últimos 5 años la cual se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

Irradiancia promedio (kWh/m²)

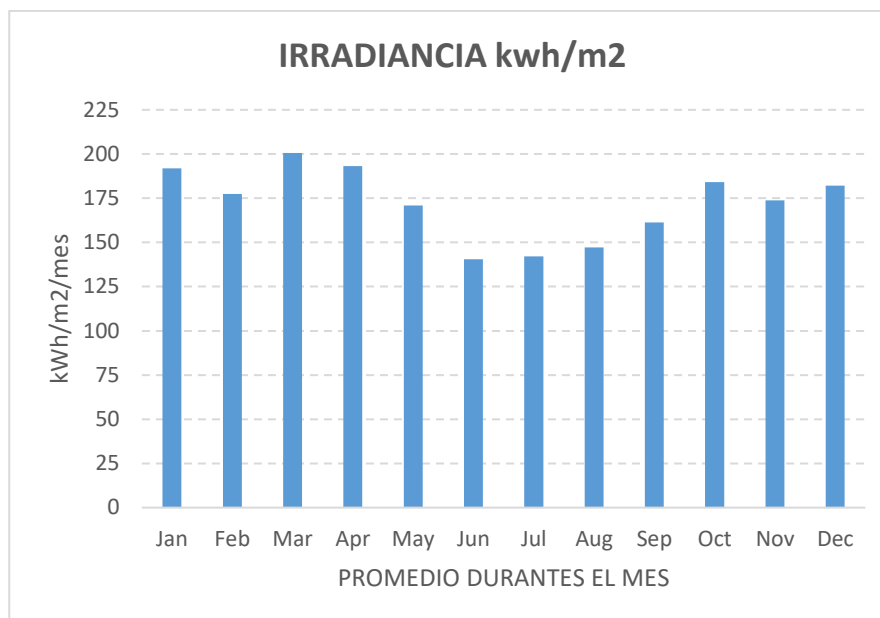
MES/AÑO	AÑO 1	AÑO 2	AÑO 3	AÑO 4	AÑO 5	PROMEDIO
Jan	191.26	192.47	195.15	183.26	197.1	191.848
Feb	167.29	193.45	175.1	177.43	174.1	177.474
Mar	201.03	210.48	192.2	196.82	202.73	200.652
Apr	196.1	192.5	196.24	182.78	197.97	193.118
May	180.2	186.36	177.25	143.99	166.67	170.894
Jun	139.5	158	131.5	129.06	143.88	140.388
Jul	124.42	151.86	134.58	155.31	143.93	142.02
Aug	131.89	149.1	150.57	156.23	147.94	147.146
Sep	169.93	97.35	174.24	183.81	181.07	161.28
Oct	182.42	184.21	183.24	185.4	185.7	184.194
Nov	180.87	182.99	160.96	171.96	172.36	173.828
Dec	181.32	182.34	195	181.52	170.1	182.056
ANUAL	2046.23	2081.11	2066.03	2047.57	2083.55	2064.898

Nota: elaboración propia, data obtenida de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

De la Tabla 7 se realiza la Figura 13, la cual muestra la irradiancia (kWh/m²) promedio en los últimos años.

Figura 13

Diagrama de la irradiancia (kWh/m²)



Nota: elaboración propia, data obtenida de https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html#PVP

Los datos de temperatura máxima y mínima son obtenidos de Power Data Access Viewer (NASA, s.f.), lo cual se muestra, en la Tabla 8.

Tabla 8

Temperatura máxima y mínima

Temperatura/Mes	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Temperatura max (°C)	24.01	24.5	24.86	25.08	25.13	24.98	24.82	25.07	24.76	23.98	23.48	23.76
Temperatura min(°C)	16	16	15	15	14	13	13	13	14	15	15	16
Dia nublados/ semana	1.57	2.11	1.67	2.33	3.47	3.85	2.51	3.58	2.83	2.55	1.82	2.32

Nota: elaboración propia, data obtenida de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

3.2.2.4 Cálculo de hora solar pico (HSP)

La hora solar pico (HSP) representa la cantidad de horas diarias en las que la irradiación alcanza o supera el valor necesario, lo que permite que el sistema reciba la energía requerida según las condiciones estándar establecidas por los fabricantes de los

componentes. Se analizó la HSP considerando un nivel de radiación estándar de 1000 W/m² (Pérez Martínez et al., 2017).

De la Tabla 7 se tiene el promedio de la irradiancia en los últimos 5 años de cada mes, estos al dividirlos en entre la cantidad de días que hay en el mes se obtuvo la HSP (ecuación 3.2).

$$HSP = \frac{G_{dm}}{N^{\circ} \text{ días del mes} * G_{SCT}} \quad (3.2)$$

$$HSP = \frac{140.4 \text{ kWh/m}^2}{30 * 1000 \text{ W/m}^2} = 4.68 \text{ horas}$$

Para esta evaluación se tomó la HSP con menor valor (4.68) que corresponde al mes de junio.

La Tabla 9 muestra las coordenadas estándar UTM, temperatura mínima y máxima (°C), la inclinación (ángulo fotovoltaico) y la hora solar pico mínima en el reservorio de Coishco.

Tabla 9

Parámetros principales del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

Nombre del Sistema	Coordenadas Estándar UTM			Temperatura Mínima (°C)	Temperatura Máxima (°C)	Inclinación (°)	HSP
	Norte	Este	Zona				
Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Coischo	9002272	763507	17 S	13	27	15	4.68

Nota: elaboración propia.

En la Tabla 10, se muestra el perfil de generación de energía del campo fotovoltaico. La data generada por el software Solargis (2023), muestra la generación fotovoltaica del sistema, en donde ya se consideran todos los rendimientos del sistema

solar fotovoltaico híbrido, seguidamente se incluye el rendimiento por el sistema de baterías que se utilizó, dado que el software Solargis (2023), no considera estas pérdidas.

Tabla 10

Producción eléctrica fotovoltaica específica del Sistema Solar Fotovoltaico (KWh/kWp)

Hora	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
01:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
02:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
03:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
04:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
05:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
06:00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.04
07:00	0.14	0.12	0.12	0.12	0.10	0.06	0.07	0.09	0.11	0.15	0.16	0.15
08:00	0.30	0.29	0.30	0.31	0.24	0.18	0.19	0.18	0.20	0.25	0.28	0.3
09:00	0.46	0.46	0.48	0.48	0.36	0.24	0.22	0.21	0.27	0.37	0.41	0.44
10:00	0.60	0.60	0.62	0.62	0.48	0.32	0.29	0.29	0.40	0.53	0.55	0.57
11:00	0.69	0.69	0.71	0.70	0.57	0.41	0.39	0.42	0.54	0.66	0.66	0.65
12:00	0.72	0.71	0.73	0.72	0.63	0.47	0.47	0.53	0.64	0.72	0.71	0.70
13:00	0.68	0.68	0.70	0.67	0.60	0.49	0.50	0.57	0.65	0.68	0.67	0.64
14:00	0.58	0.58	0.59	0.57	0.52	0.45	0.47	0.53	0.56	0.58	0.56	0.55
15:00	0.44	0.44	0.43	0.42	0.39	0.35	0.37	0.42	0.42	0.41	0.41	0.41
16:00	0.26	0.27	0.26	0.24	0.21	0.20	0.23	0.25	0.24	0.22	0.22	0.23
17:00	0.11	0.11	0.09	0.07	0.04	0.03	0.05	0.07	0.07	0.05	0.06	0.08
18:00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
21:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
23:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota. Software de datos: Solargis (2023).

3.2.3 Demanda de energía eléctrica a cubrir.

La demanda de energía a cubrir se definió a partir de la información del consumo de las cargas, ver Tabla 5 y Tabla 6. Como se puede observar en la Tabla 11, se consideró una demanda eléctrica en AC (corriente alterna) de 2,000 W durante 24 horas para alimentar las cargas del reservorio ubicado en el distrito de Coischo. Esto con el objetivo de poder aumentar las cargas a futuro.

Tabla 11

Cuadro de carga

Equipo	Cantidad	Potencia (W)	Factor Simultaneidad	Tiempo (h)	Energía Max (Wh/día)
Reservorio	1	2000	1	24	48,000

Nota: elaboración propia.

3.3 Dimensionamiento y selección de equipos.

3.3.1 Consideraciones preliminares

Se seleccionó inversores y baterías de la marca Huawei debido a:

- Servicio de garantía.
- Facilidad de instalación.
- Durabilidad.
- Facilidad de monitoreo, gestión con su propio aplicativo y sincronización con más equipos de la marca Huawei.

Con respecto a los paneles fotovoltaicos, se utilizaron los paneles más comerciales que en este caso tienen una capacidad de 445 kWp en la marca CANADIAN.

3.3.2 Cantidad de módulos fotovoltaicos.

La potencia óptima para este sistema se definió de acuerdo con la energía que se requiere generar por la demanda de las cargas y un factor de seguridad que permita asegurar el abastecimiento de la energía consumida diariamente por las cargas. Se utilizó la siguiente ecuación (Perpiñán, O. 2023) para definir el número de módulos fotovoltaicos requeridos.

$$\text{Número de módulos} = \frac{D_c \times F_s}{\text{Potencia de módulo} \times HSP_{Mi} \times FP} \quad (3.3)$$

Donde:

D_c : Demanda de energía diaria de las cargas (Wh)

F_s : Factor de seguridad de energización del sistema solar fotovoltaico.

HSP_{Mi} : Hora solar pico mínimo en cada ubicación.

FP: Factor de pérdidas definida por el software Solargis (2023), además se consideran las pérdidas por las baterías.

El factor de seguridad seleccionado para esta aplicación es de 1.45, debido a que el proyecto se encuentra situado en una zona con alto contenido de polvo, en donde, la suciedad acumulada en los módulos fotovoltaicos es considerable. También se consideró que debido a que no hay otra fuente de energía, el campo fotovoltaico debe tener la dimensión apropiada para que pueda cargar adecuadamente a las baterías, incluso en días nublados.

El factor de pérdidas calculado es 69.94%, este factor de pérdidas hace referencia al rendimiento del sistema solar fotovoltaico híbrido del peor mes (junio) según el software Solargis (2023) más el rendimiento de las baterías de litio. La Tabla 12 muestra los rendimientos incluidos por el software Solargis (2023), se agregó el rendimiento de carga y descarga de las baterías de litio. Se puede asumir un 70% de factor de pérdidas, por otro lado, se debe enfatizar que la conversión de radiación solar a corriente directa es afectada por la temperatura del ambiente, así que puede cambiar ligeramente a lo largo del año.

Tabla 12

Deficiencias del sistema solar fotovoltaico más baterías

Deficiencia	Valor (%)	
Pérdidas Solares	Suciedad, polvo, tierra	95.5
	Reflectividad angular	97.3
	Corrección espectral	100.4
	Conversión de radiación solar a corriente DC en los módulos	90
Pérdidas eléctricas del sistema	Desajuste y cableado DC	98.2
	Inversor	95
	Cableado AC	99.8
	Sistema de carga y descarga de baterías de litio	99
Disponibilidad técnica	99.5	
Total	70	

Nota: Adaptación del software Solargis (2023).

Reemplazando valores en la ecuación 3.3:

$$\text{Número de módulos} = \frac{(2000 \times 24) \times (1.45)}{445 \times 4.68 \times 0.70} = 47.74$$

Bajo estas consideraciones, la Tabla 13 muestra el número de módulos requeridos para el sistema solar fotovoltaico híbrido.

Tabla 13

Cálculo del número de módulos fotovoltaicos

Nombre del Sistema	Coordenadas Estándar UTM			HSP mínimo	Número de módulos calculado	Número de módulos a utilizar
	Norte	Este	Zona			
Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido Coischo	9002272	763507	17 L	4.36	47.7	48

Nota: elaboración propia.

En la Tabla 13 se puede observar que se requieren aproximadamente 47.74 módulos fotovoltaicos para que el sistema pueda cubrir la demanda de la carga del reservorio. Sin embargo, se seleccionó 48 paneles de 445W Canadian Solar CS3W-445MS, cuyas especificaciones se muestran en Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16 y Tabla 17, esto con el objetivo de uniformizar los strings de módulos y cumplir con los requisitos mínimos de acuerdo con los cálculos.

Tabla 14

Data eléctrica de panel STC Canadian Solar 445MS*

CS3W	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS
Potencia máxima nominal (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W	455 W
Voltaje óptimo de operación (Vmp)	40.3 V	40.5 V	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V
Corriente óptima de operación (Imp)	10.68 A	10.75 A	10.82 A	10.89 A	10.96 A	11.02 A
Voltaje en circuito abierto (Voc)	48.3 V	48.5 V	48.7 V	48.9 V	49.1 V	49.3 V
Corriente en cortocircuito (Isc)	11.37 A	11.42 A	11.48 A	11.54 A	11.60 A	11.66 A
Eficiencia del módulo	19.5%	19.7%	19.9%	20.1%	20.4%	20.6%
Temperatura de operación	-40 °C ~ +85 °C					
Voltaje máximo del sistema	1500 V (IEC/UL) o 1000 V (IEC/UL)					
Desempeño de fuego del módulo	Tipo 1 (UL 1703) o clase C (IEC 61730)					
Calificación máxima del fusible en serie	20 A					
Clasificación de aplicación	Clase A					
Tolerancia de potencia	0 ~ +10 W					

Nota: Adaptado de CanadianSolar (2020). PV Module Product Datasheet V5.59_EN. Disponible en: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_EN.pdf * Bajo condiciones de prueba estándar (STC) de irradiancia de 1000 W/m², espectro AM 1,5 y temperatura de celda de 25°C.

Tabla 15**Data mecánica panel Canadian Solar 445MS**

Especificación	Datos
Tipo de célula	Monocristalino
Disposición celular	144 [2 X (12 X 6)]
Dimensiones	2108 X 1048 X 40 mm (83,0 X 41,3 X 1,57 pulgadas)
Peso	24,9 kg (54,9 libras)
Portada	Vidrio templado de 3,2 mm
Marco	Aleación de aluminio anodizado, barra transversal mejorada
Caja de conexiones	IP68, 3 diodos de derivación
Cable	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Longitud del cable (incluido el conector)	Vertical: 500 mm (19,7 pulg.) (+) / 350 mm (13,8 pulg.) (-); horizontal: 1400 mm (55,1 pulg.); conexión de salto: 1670 mm (65,7 pulg.)*
Conector	Serie T4 o H4 UTX o MC4-EVO2

Nota: Adaptado de CanadianSolar (2020). PV Module Product Datasheet V5.59_EN. Disponible en: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_EN.pdf

Tabla 16**Data eléctrica panel NMOT* Canadian Solar 445MS**

CS3W	430MS	435MS	440MS	445MS	450MS	455MS
Potencia nominal máxima (Pmax)	321 W	325 W	328 W	332 W	336 W	339 W
Voltaje de operación opcional (Vmp)	37,6 V	37,8 V	37,9 V	38,1 V	38,3 V	38,5 V
Corriente de operación opcional (Imp)	8.54 A	8.59 A	8,65 A	8.71 A	8,76 A	8.82 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	45,4 V	45,6 V	45,8 V	46,0 V	46,2 V	46,4 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9.17 A	9.21 A	9.26 A	9.31 A	9.36 A	9.41 A

Nota: Adaptado de CanadianSolar (2020). PV Module Product Datasheet V5.59_EN. Disponible en: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_EN.pdf * A temperatura nominal de funcionamiento del módulo (NMOT), irradiancia de 800 W/m², espectro AM 1,5, temperatura ambiente de 20 °C, velocidad del viento de 1 m/s.

Tabla 17**Características de temperatura Canadian Solar 445MS**

Especificación	Datos
Coeficiente de temperatura (Pmax)	-0,35 % / °C
Coeficiente de temperatura (Voc)	-0,27 % / °C
Coeficiente de temperatura (Isc)	0,05 % / °C
Temperatura nominal de funcionamiento del módulo	42 ± 3 °C

Nota: Adaptado de CanadianSolar (2020). PV Module Product Datasheet V5.59_EN. Disponible en: https://www.canadiansolar.com/wp-content/uploads/2019/12/Canadian_Solar-Datasheet-HiKu_CS3W-MS_EN.pdf

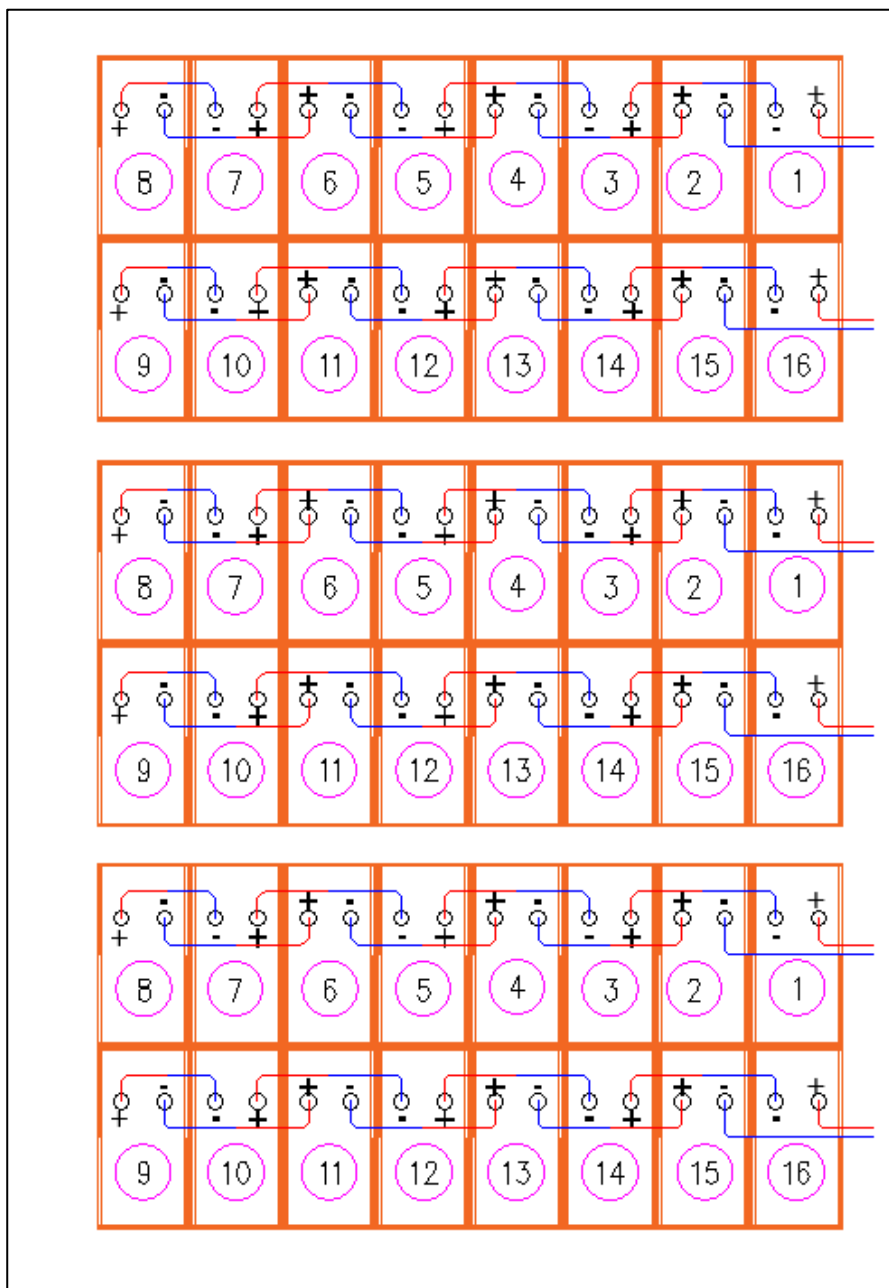
3.3.3 Arreglo de módulos fotovoltaicos.

La disposición de los módulos fue configurada para minimizar la corriente del sistema, asegurando que el voltaje y la potencia se mantuvieran dentro de los límites establecidos por el inversor. Se elaboró un arreglo fotovoltaico global compuesto por 6 strings de 8 módulos en serie por string.

Se distribuyeron los strings en una configuración de 3 arreglos, de dos string enlazados en paralelo, estos arreglos se conectan directamente a un inversor, como se ilustra en la Figura 14.

Figura 14

Arreglo de módulos fotovoltaicos



Nota: elaboración propia.

3.3.4 Inversor.

Para el arreglo fotovoltaico, se seleccionaron inversores Huawei, los cuales tienen incorporados controladores de carga MPPT.

Cálculo de la potencia pico del generador fotovoltaico (P_g), para el sistema se calculó con la ecuación 3.4 (Perpiñán, O. 2023).

$$P_g = CA \times \frac{D_c}{HSP_{Mi} \times FP} \quad (3.4)$$

D_c : Demanda de energía diaria de las cargas (Wh).

CA : Coeficiente de capacidad del generador, valor de 1.1.

HSP_{Mi} : Hora solar pico mínimo en cada ubicación.

FP : Factor de pérdidas definida por el software Solargis (2023) y además se le añade las pérdidas de las baterías.

$$P_g = 1.1 \times \frac{48000 \text{ (Wh)}}{4.68 \text{ h} \times 0.7} = 16.12 \text{ kW}$$

Selección del inversor (P_{inv}) de la marca Huawei adecuado para el sistema se calculó con la ecuación 3.5 (Perpiñán, O. 2023).

$$P_{inv} = 0.8 \times P_g \quad (3.5)$$

$$P_{inv} = 0.8 \times 16.12 = 12.89 \text{ kW}$$

3.3.4.1 Cálculo de corriente de cortocircuito (I_{sc}) y tensión de circuito abierto (V_{oc})

Para ajustar la I_{sc} y V_{oc} a diferentes condiciones de operación (irradiancia y temperatura), se emplean las siguientes relaciones:

- **Temperatura de la célula (T_c):** La temperatura real de la célula (T_c) es crucial y se calcula a partir de la temperatura ambiente (T_a) y la irradiancia efectiva (G_{ef}) utilizando la Ecuación (3.6) (Perpiñán, O. 2023):

$$T_c = T_a + G_{ef} \times \frac{NOCT-20}{800} \quad (3.6)$$

- **Corriente de cortocircuito (I_{sc}) ajustada:** La I_{sc} es aproximadamente proporcional a la irradiancia y tiene una pequeña dependencia de la temperatura utilizando la ecuación (3.7) (Perpiñán, O. 2023):

$$I_{SC} = I_{SC_STC} \times \left(\frac{G_{ef}}{G_{STC}} \right) \times \left(1 + \frac{\alpha_{I_{SC}}}{100} \times (T_c - T_{STC}) \right) \quad (3.7)$$

- **Tensión de circuito abierto (V_{oc}) ajustada:** La V_{oc} es principalmente dependiente de la temperatura y, en menor medida, de la irradiancia (aunque esta última es a menudo simplificada en cálculos directos con coeficientes de temperatura), utilizaremos la ecuación (3.8) (Perpiñán, O. 2023):

$$V_{OC} = V_{OC_STC} \times \left(1 + \frac{\beta_{V_{OC}}}{100} \times (T_c - T_{STC}) \right) \quad (3.8)$$

Donde:

- ✓ $G_{STC} = 1000 \text{ W/m}^2$ (Irradiancia en condiciones STC), ver Tabla 14.
- ✓ $T_{STC} = 25 \text{ °C}$ (Temperatura de célula en condiciones STC), ver Tabla 14.
- ✓ V_{oc_STC} (Tensión de circuito abierto) = 48.9 V, ver Tabla 14.
- ✓ I_{sc_STC} (Corriente de cortocircuito) = 11.54 A, ver Tabla 14.
- ✓ $\beta_{V_{oc}}$ (Coeficiente de temperatura de V_{oc}) = -0.27 % / °C, ver Tabla 17.
- ✓ $\alpha_{I_{sc}}$ (Coeficiente de temperatura de I_{sc}) = 0.05 % / °C, ver Tabla 17.
- ✓ NOCT (Temperatura nominal de operación de la célula) = 42 °C (Se utiliza el valor central del rango $42 \pm 3 \text{ °C}$), ver Tabla 17.
- ✓ Temperatura Mínima Ambiental (T_{a_min}) = 13 °C, ver Tabla 9.
- ✓ Temperatura Máxima Ambiental (T_{a_max}) = 27 °C, ver Tabla 9.

Para verificar la adecuación del inversor y la configuración del generador, es importante considerar dos escenarios extremos (Perpiñán, O. 2023):

Escenario A: Máxima Tensión del Generador (Baja Temperatura, Baja Irradiancia)

Este escenario es crítico para asegurar que la tensión máxima del generador (V_{oc} del string) no exceda la tensión máxima de entrada del inversor (V_{max}). Para este cálculo, se recomienda usar una irradiancia de 200 W/m^2 ($G=G_{ef}$) la temperatura ambiente más baja posible. Y utilizaremos la $T_{a_min} = 13 \text{ }^\circ\text{C}$ (Perpiñán, O. 2023).

- Cálculo de T_c para V_{oc_max} , utilizando la ecuación (3.6):

$$T_c = T_{a_min} + G \times \frac{NOCT - 20}{800} = 13^\circ\text{C} + \left(200 \times \frac{42 - 20}{800}\right) = 18.5^\circ\text{C}$$

- Cálculo de V_{oc} ajustada por módulo, utilizando la ecuación (3.8):

$$V_{oc_STC_m\acute{a}x} = V_{oc_STC} \times \left(1 + \frac{\beta_{V_{oc}}}{100} \times (T_c - T_{STC})\right)$$

$$V_{oc_STC_m\acute{a}x} = 48.9 \text{ V} \times \left(1 + \frac{-0.27}{100} \times (18.5^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})\right) = 49.76 \text{ V}$$

- Cálculo de I_{sc} ajustada por módulo, utilizando la ecuación (3.7):

$$I_{sc} = I_{sc_STC} \times \left(\frac{G}{G_{STC}}\right) \times \left(1 + \frac{\alpha_{I_{sc}}}{100} \times (T_c - T_{STC})\right)$$

$$I_{sc} = 11.54 \text{ A} \times \left(\frac{200}{1000}\right) \times \left(1 + \frac{0.05}{100} \times (18.5^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})\right) = 2.30 \text{ A}$$

Escenario B: Mínima Tensión y Máxima Corriente del Generador (Alta Temperatura, Alta Irradiancia)

Este escenario es crítico para asegurar que la tensión de máxima potencia del generador (V_{mpp} del string) permanezca dentro de la ventana de seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) del inversor, y que la corriente máxima no exceda la corriente de entrada máxima del inversor. Utilizaremos la T_{a_max} ($27 \text{ }^\circ\text{C}$) y una irradiancia de 1000 W/m^2 ($G=G_{STC}$), que es la referencia para la corriente máxima (Perpiñán, O. 2023).

- Cálculo de T_c para I_{sc_max} y V_{oc_min} , utilizando la ecuación (3.6):

$$T_c = T_{a_max} + G \times \frac{NOCT - 20}{800} = 27^\circ C + \left(1000 \times \frac{42 - 20}{800} \right) = 54.5^\circ C$$

- Cálculo de V_{oc} ajustada por módulo, utilizando la ecuación (3.8):

$$V_{oc_STC_min} = V_{oc_STC} \times \left(1 + \frac{\beta \cdot V_{oc}}{100} \times (T_c - T_{STC}) \right)$$

$$V_{oc_STC_min} = 48.9 V \times \left(1 + \frac{-0.27}{100} \times (54.5^\circ C - 25^\circ C) \right) = 45.00 V$$

- Cálculo de I_{sc} ajustada por módulo, utilizando la ecuación (3.7):

$$I_{sc_STC_max} = I_{sc_STC} \times \left(\frac{G_{ef}}{G_{STC}} \right) \times \left(1 + \frac{\alpha \cdot I_{sc}}{100} \times (T_c - T_{STC}) \right)$$

$$I_{sc_STC_max} = 11.54 A \times \left(\frac{1000}{1000} \right) \times \left(1 + \frac{0.05}{100} \times (54.5^\circ C - 25^\circ C) \right) = 11.71 A$$

Verificación de la Configuración del Generador con el Inversor

Del arreglo inicial de una configuración de 8 módulos por string, ver capítulo 3.3.3, comprobaremos estos valores ajustados con las especificaciones del inversor Huawei SUN2000-5KTL-M1, inversor seleccionado monofásico de 5 kW, ver Tabla 18:

- ✓ Rango de tensión de entrada fotovoltaica (MPPT) = 90 - 560 V
- ✓ Máxima corriente de entrada por MPPT = 12.5 A

3.3.4.2 Tensión de Circuito Abierto Máxima del String

($V_{oc_string_max}$):

Se produce en el escenario de baja temperatura e irradiancia (Escenario A).

$$V_{oc_string_max} = 8 \frac{\text{módulos}}{\text{string}} \times \left(49.76 \frac{V}{\text{módulo}} \right) = 398.08 V$$

Este valor (398.08 V) es inferior a la tensión máxima de entrada del inversor (560 V). Por lo tanto, la configuración es segura para el inversor en condiciones de baja temperatura.

3.3.4.3 Corriente de Cortocircuito Máxima del String (Isc_string_max):

Se produce en el escenario de alta temperatura e irradiancia (Escenario B).

$$I_{SC_string_max} = 1 \text{ string} \times \left(11.71 \frac{A}{\text{string}} \right) = 11.71 A$$

Este valor (11.71 A) es inferior a la máxima corriente de entrada por MPPT del inversor (12.5 A). Por lo tanto, la configuración de la corriente es adecuada.

Luego de comprobar las máximas tensiones de circuito abierto y corrientes de corto circuito con las características del inversor con los arreglos propuestos. Se puede indicar que la selección de inversor Huawei SUN2000-5KTL-M1 cumple con las características de sistema solar fotovoltaico híbrido.

Tabla 18

Data inversor HUAWEI SUN2000TL monofásico de 5kW

Inversor HUAWEI SUN2000TL monofásico de 5kW

Parámetro	Unidad	Valor
Máxima potencia de entrada fotovoltaica	Wp	7500
Rango de tensión de entrada fotovoltaica	V	90-560
Tensión de entrada fotovoltaica óptima	V	360
Máxima corriente de entrada por MPPT	A	12.5
Corriente de carga máxima a grupos de baterías	A	18
Factor de simultaneidad	-	0.8
Número de entradas MPPT	und.	2
Máxima cantidad de baterías en paralelo	und.	6 (30kWh)

Nota: Adaptación de Ficha técnica de Huawei.

En la Tabla 19 se muestra los valores de los parámetros del arreglo fotovoltaico por string y los valores, por ficha técnica, que nos proporciona el fabricante del inversor Huawei SUN2000-5KTL-M1.

Tabla 19

Diseño del arreglo fotovoltaico (por inversor - 2 strings)

Parámetro	Arreglo FV	Inversor
Voc (V)	398.08	90-560
Imp (A)	11.71	12.5
P2strings (Wp)	7,120	7,500
N° Strings	2	-
Módulos por string	8	-

Nota: Elaboración propia.

De la ecuación 3.5, se obtuvo el valor de la potencia del inversor, 12.89 kW , y cada inversor Huawei SUN2000-5KTL-M1 produce como máxima capacidad 5 kW. Por lo tanto, se requiere 3 inversores, Huawei SUN2000-5KTL-M1, para cubrir la potencia requerida dentro de la capacidad necesaria para producir los 12.89 kW.

3.3.5 Dimensionamiento de Banco de baterías.

La Tabla 20 muestra los valores de energía eléctrica estimados para la carga de autoconsumo y energía consumida desde las baterías.

Tabla 20

Demanda de energía solar

Mes	Demanda Total kWh	Energía kWh con solar	Energía cubierta con baterías kWh	% de autoconsumo solar
Ene	1,488.00	701.09	786.91	100%
Feb	1,344.00	629.21	714.79	100%
Mar	1,488.00	687.78	800.22	100%
Abr	1,440.00	648.65	791.35	100%
May	1,488.00	651.82	836.18	100%
Jun	1,440.00	599.81	840.19	100%
Jul	1,488.00	636.88	851.12	100%

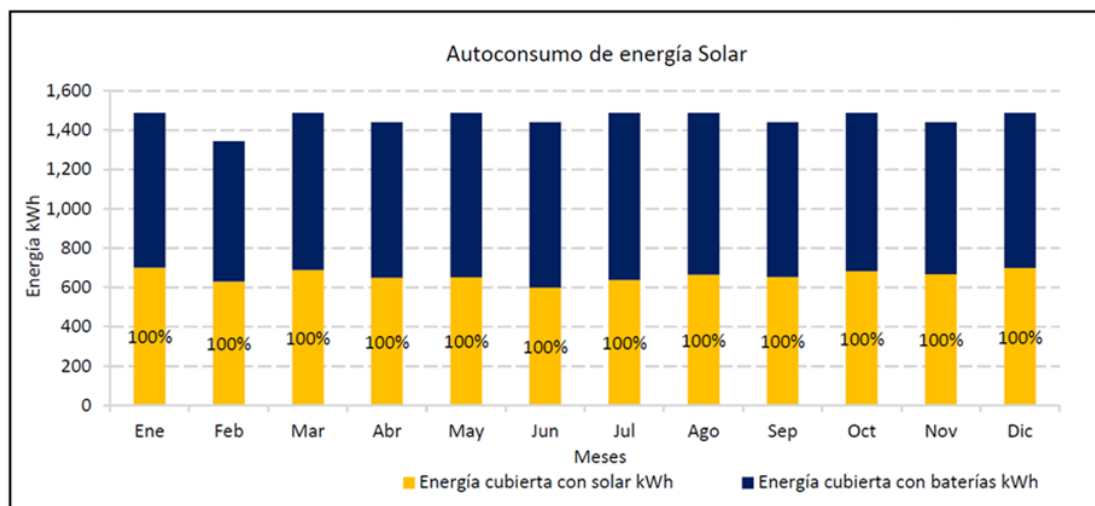
Ago	1,488.00	664.40	823.60	100%
Sep	1,440.00	652.20	787.80	100%
Oct	1,488.00	682.42	805.58	100%
Nov	1,440.00	667.40	772.60	100%
Dic	1,488.00	698.57	789.43	100%
Total	17,520.00	7,920.24	9,599.76	100%

Nota: Elaboración propia.

De la tabla anterior se puede realizar la siguiente gráfica.

Figura 15

Autoconsumo de energía solar



Nota: Elaboración propia.

Teniendo los datos calculados de módulos fotovoltaicos, con el software Solargis (2023) se procedió a simular el funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido para analizar la demanda y generación solar de cada mes, de acuerdo con el análisis previo el peor mes de generación es el mes de junio el cual se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21*Generación solar de junio en un día*

Hora	Demanda Total	Generación Solar (kW)	Exceso Solar
0:00	2.00	-	-
1:00	2.00	-	-
2:00	2.00	-	-
3:00	2.00	-	-
4:00	2.00	-	-
5:00	2.00	-	-
6:00	2.00	0.10	-
7:00	2.00	1.35	-
8:00	2.00	3.69	1.69
9:00	2.00	4.93	2.93
10:00	2.00	6.61	4.61
11:00	2.00	8.45	6.45
12:00	2.00	9.88	7.88
13:00	2.00	10.25	8.25
14:00	2.00	9.31	7.31
15:00	2.00	7.22	5.22
16:00	2.00	4.15	2.15
17:00	2.00	0.54	-
18:00	2.00	-	-
19:00	2.00	-	-
20:00	2.00	-	-
21:00	2.00	-	-
22:00	2.00	-	-
23:00	2.00	-	-
Energía kWh	48.00	66.47	46.48

Nota: Adaptación del software Solargis (2023).

La Tabla 22 muestra la generación solar y sus excedentes con respecto al peor mes de radiación solar. En esta tabla, se puede observar que el arreglo fotovoltaico tiene una mayor producción que lo requerido por la carga, sin embargo, como se detalló anteriormente, se dimensionó el campo fotovoltaico para que el factor de seguridad pueda cubrir circunstancias desfavorables en la ubicación del proyecto.

Tabla 22

Resumen de Generación y Demanda de junio

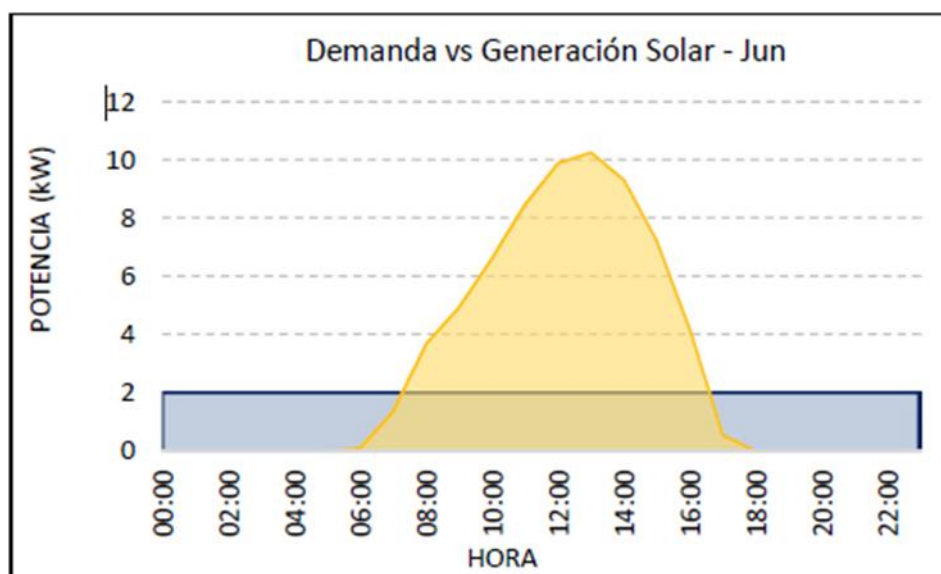
Potencia solar instalada	21.36	kWp
Energía solar total junio	66.47	kWh
Energía solar autoconsumida (durante las horas de sol)	19.99	kWh
Energía solar utilizada para cargar las baterías	46.48	kWh
Demanda total de energía	48	kWh
Demanda cubierta (durante las horas de sol)	19.99	kWh
Demanda no cubierta (durante las horas donde no hay sol - baterías)	28.01	kWh

Nota. Adaptación del software Solargis (2023).

La Figura 16 representa el diagrama de generación y demanda del peor mes del sistema solar fotovoltaico híbrido.

Figura 16

Diagrama de generación y demanda del peor mes del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido



Nota: Línea azul representa la demanda (futuro), la curva amarilla es la generación solar de junio. Adaptación del software Solargis (2023).

3.3.5.1 Selección de batería Huawei

El dimensionamiento del banco de baterías se estableció de tal manera que cubra la máxima demanda que consume el reservorio durante la noche. Se definió la energía

máxima requerida diariamente por la carga, la cual sería de 48 kWh. Por ello, el dimensionamiento del banco de baterías se estableció con este valor menos la energía que suministra directamente el sistema solar fotovoltaico híbrido a las cargas durante las horas del día. A la par se consideró tanto la profundidad de descarga de las baterías como su factor de eficiencia.

La demanda total de energía sin tener en cuenta la energía suministrada directamente por el sistema solar fotovoltaico híbrido durante las horas del día, en el peor de los meses (junio), no incluye pérdidas por profundidad de descarga y eficiencia, ver

Tabla 22.

- Demanda total de energía: 28.01 kWh
- Profundidad de descarga: 90%
- Factor de eficiencia: 90%

Para este proyecto se utilizó un banco de baterías de litio, el cual refleja dentro de sus características nominal, una profundidad de descarga de 90%, la cual permite un ciclo de vida mayor a 15 años, y un factor de eficiencia de 90% para el dimensionamiento del banco.

Por lo tanto, dividiendo la demanda total de energía entre estos factores se obtuvo la capacidad necesaria del sistema de almacenamiento, la cual fue de 34.58 kWh. Esto equivale a 7 módulos de baterías, modelo Luna2000 de 5 kWh de la marca Huawei, las cuales se utilizaron en este proyecto (en total 35 kWh).

3.3.6 Dimensionamiento de Backup Box

El sistema solar fotovoltaico híbrido es monofásico y la carga máxima actual no supera 2kW, motivo por el cual se seleccionó el Backup Box monofásico de 5kW (según catálogo Huawei) el cual se encuentra dentro del rango para cubrir las cargas.

3.3.7 Resumen de Equipos principales

Finalmente, la Tabla 23 muestra el equipamiento principal del sistema solar fotovoltaico híbrido.

Tabla 23

Equipamiento principal del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad
1	Módulo fotovoltaico Canadian Solar CS3W-445MS	Und.	48
2	Inversor Huawei SUN2000-5ktl-L1	Und.	3
3	Batería Huawei Luna2000-15-S0	Und.	7
4	Backup Box monofásico de 5kW	Und.	1

Nota: elaboración propia.

3.4 Implementación del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

3.4.1 Obras civiles.

- Relleno y compactado con material de préstamo (afirmado), ver Figura 17.
- Realización de 20 dados de concreto con una resistencia de $F'C=210$ Kg/cm², ver Figura 18.
- Suministro e instalación de tubería pesada de 2" PVC y cajas de paso, ver Figura 19 y Figura 20.
- Base de gabinete de concreto $F'C=210$ kg/cm², ver Figura 21.
- Instalación de estructura metálica para módulos solares, ver Figura 22.

Figura 17

Compactación y nivelación de terreno



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 18

Dados de concreto



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 19

Instalación de tubería pesada de PVC 2"



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 20

Relleno e Instalación de Cajas de Pase 0.40 x 0.40m



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 21

Base de gabinete de concreto F'C=210 kg/cm²



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 22

Estructura de paneles



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

3.4.2 Instalación y conexión de sistema solar fotovoltaico híbrido.

- Montaje de paneles solares, ver Figura 23.
- Montaje de cableado de tubería, ver Figura 24.
- Montaje de gabinete, ver Figura 25.
- Montaje de Inversores SUN2000-5KTL-L1 y baterías Luna2000, ver Figura 26.
- Sistema solar fotovoltaico híbrido, fecha de puesta en marcha 23 de agosto del 2023, ver Figura 27.

Figura 23

Montaje de paneles solares⁶



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

⁶ Ver **Figura 14**

Arreglo de módulos fotovoltaicos

Figura 24

Montaje de cableado de tubería



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 25

Montaje de gabinete⁷



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

⁷ Ver Anexo G Vistas principales del gabinete

Figura 26

Montaje de Inversores SUN2000-5KTL-L1 y baterías Luna2000⁸



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

Figura 27

Sistema solar fotovoltaico híbrido puesta en marcha⁹



Nota: Fotografía del proyecto, Coishco.

⁸ Ver Anexo E Diagrama unifilar del sistema híbrido

⁹ Ver Anexo I Ubicación de paneles solares

3.5 Análisis económico del Sistema Solar Fotovoltaico Híbrido

3.5.1 Lista y costo de equipos suministrados

En la Tabla 24 y Tabla 25 se muestran la lista y costo en dólares de los equipos necesarios para el sistema solar fotovoltaico híbrido.

Tabla 24

Costo de los componentes principales

EQUIPOS	USD (\$)	Cantidad	TOTAL (\$)
Módulo fotovoltaico	\$ 129.97	54	\$ 7,018.38
Regulador	\$ 2,400.00	3	\$ 7,200.00
Baterías	\$ 765.00	7	\$ 5,355.00
Inversor	\$ 1,018.64	3	\$ 3,055.92
TOTAL			\$ 22,629.30

Nota: elaboración propia.

Tabla 25

Costo de materiales y/o equipos complementarios

EQUIPOS	IGV (USD)	Cantidad	TOTAL (USD)
Accesorios y conectores	\$ 168.32	2	\$ 336.64
Caja de 18 polos	\$ 240.00	1	\$ 240.00
Cables	\$ 115.00	2	\$ 230.00
Gabinete + traslado	\$ 5,000.00	1	\$ 5,000.00
Estructura de hierro galvanizado	\$ 29.63	54	\$ 1,600.02
Puesta a tierra (menor a 5 ohm)	\$ 2,500.00	1	\$ 2,500.00
TOTAL			\$ 9,906.66

Nota: elaboración propia.

3.5.2 Servicio previos y ejecución

En la Tabla 26 se muestran los servicios con costo en dólares asociados al sistema solar fotovoltaico híbrido.

Tabla 26*Resumen de gastos por servicios*

Descripción	Gastos (USD)
S.V. de obras civiles	\$ 7,100.79
S.V. Puesta en marcha	\$ 3,500.00
Total	\$ 10,600.79

Nota: S.V. (servicios). Elaboración propia.

3.5.3 VAN y TIR

Para analizar el VAN (valor neto actual) y el TIR (tasa de interés de retorno), se analizaron los valores mostrados y obtenidos previamente.

El precio de la energía (USD/kWh) del suministrador se obtuvo del Anexo I. Recibo de energía eléctrica hidrandina, setiembre 2023. Teniendo el precio de 0.7705 S./kWh durante el mes de setiembre del 2023, cambiando la moneda a dólares (tipo de cambio 3.75 S./USD) se obtuvo un valor de 0.205 USD/kWh.

En la Tabla 27 se muestra el resumen del costo total del sistema solar fotovoltaico híbrido, porcentaje de envejecimiento, costo de mantenimiento anual, costo de energía del suministrador y a la demanda de la energía.

Tabla 27*Resumen de costo, envejecimiento y demanda de energía.*

DESCRIPCIÓN	VALOR	UNIDAD
Costo total del sistema	43,136.75	USD
Envejecimiento año 1	0.5	%
Envejecimiento a partir del año 2	0.10	%
Envejecimiento al año 25	3	%
Costo de mantenimiento	120	USD/año
Tasa de descuento	10	%
Costo de energía eléctrica - BT5B	0.205	USD/kWh
Cargo fijo mensual	0.939	USD/mes

Demanda de energía	48.00	kWh/día
Producción de energía al año 1	17520.00	kWh/año

Nota: elaboración propia.

De la Tabla 27 se calculó el VAN y TIR con proyección a 25 años, usando las funciones de Microsoft Excel, ver Tabla 28, columna FLUJO DE CAJA ECONÓMICO (USD):

- ✓ VAN: (año "0") +VNA (0.1; año "1":año "25")
- ✓ TIR: TIR (año "0": año "25")

Tabla 28

VAN y TIR del sistema.

AÑO	INGRESOS (energía kWh)	ENERGÍA GENERADA - kWh/año	EGRESOS	FLUJO DE CAJA ECONÓMICO (USD)	FLUJO DE CAJA ACUMULADO (USD)
0	-	-	43,136.75	- 43,136.75	- 43,136.75
1	3,683.04	17,520.00	120.00	3,563.04	- 39,573.71
2	3,679.37	17,502.48	120.00	3,559.37	- 36,014.34
3	3,675.70	17,484.98	120.00	3,555.70	- 32,458.63
4	3,672.04	17,467.49	120.00	3,552.04	- 28,906.60
5	3,668.38	17,450.03	120.00	3,548.38	- 25,358.22
6	3,664.72	17,432.58	120.00	3,544.72	- 21,813.50
7	3,661.07	17,415.14	120.00	3,541.07	- 18,272.43
8	3,657.42	17,397.73	120.00	3,537.42	- 14,735.02
9	3,653.77	17,380.33	120.00	3,533.77	- 11,201.25
10	3,650.13	17,362.95	120.00	3,530.13	- 7,671.12
11	3,646.49	17,345.59	120.00	3,526.49	- 4,144.63
12	3,642.85	17,328.24	120.00	3,522.85	- 621.77
13	3,639.22	17,310.91	120.00	3,519.22	2,897.45
14	3,635.59	17,293.60	120.00	3,515.59	6,413.04
15	3,631.97	17,276.31	120.00	3,511.97	9,925.01
16	3,628.35	17,259.03	120.00	3,508.35	13,433.36
17	3,624.73	17,241.77	120.00	3,504.73	16,938.10
18	3,621.12	17,224.53	120.00	3,501.12	20,439.21
19	3,617.51	17,207.31	120.00	3,497.51	23,936.72
20	3,613.90	17,190.10	120.00	3,493.90	27,430.63

21	3,610.30	17,172.91	120.00	3,490.30	30,920.93
22	3,606.70	17,155.74	120.00	3,486.70	34,407.63
23	3,603.11	17,138.58	120.00	3,483.11	37,890.73
24	3,599.51	17,121.44	120.00	3,479.51	41,370.25
25	3,595.93	17,104.32	120.00	3,475.93	44,846.17
VAN				\$ -11,041.98	
TIR				6%	

Nota: elaboración propia.

De la Tabla 28, se obtiene la energía generada (kWh/25años) y los egresos (USD/25años), al dividir la suma de estos valores (en los próximos 25 años), da como resultado el precio la energía del sistema solar fotovoltaico híbrido el cual es 0.107 USD/kWh.

CAPÍTULO IV Resultados, Contrastación de Hipótesis y Discusión

Resultados

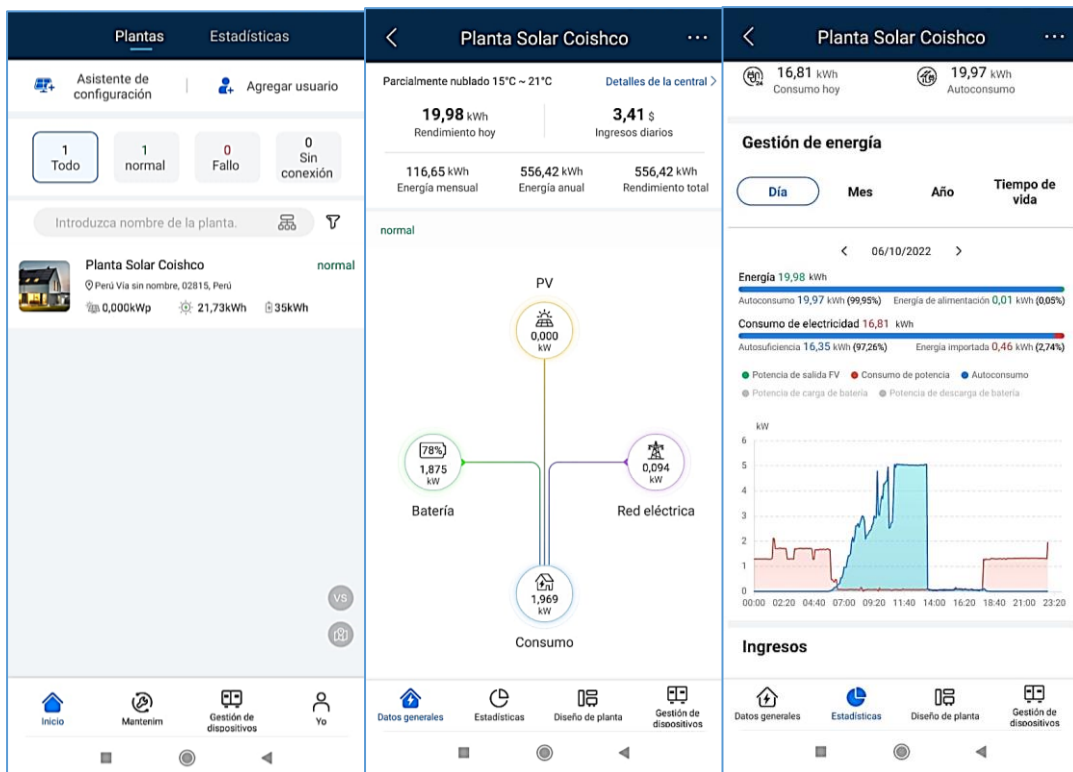
En este capítulo se presenta un análisis detallado de los resultados obtenidos del sistema solar fotovoltaico híbrido implementado con el objetivo de mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico en el reservorio de agua de Coishco. Se obtuvieron los siguientes resultados.

4.1 Resultados

Se puede llevar el control de la generación y consumo eléctrico en el reservorio Coishco por medio la App de Huawei (Fusión Solar) así como su página Web, ver Figura 28.

Figura 28

App de Huawei (Fusión Solar)



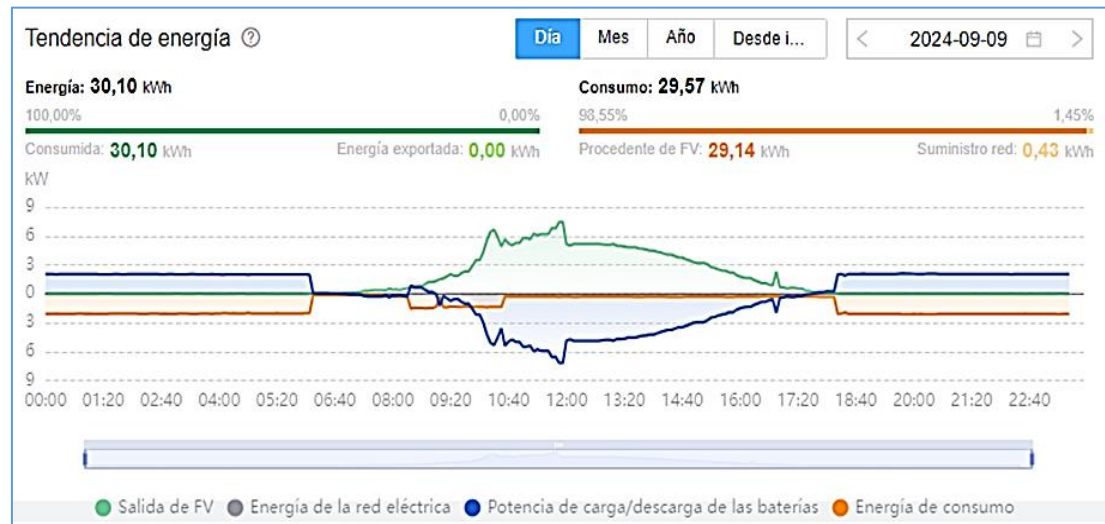
Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, imágenes obtenidas de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>

- En la Figura 29 se muestra el consumo (kWh) del sistema solar fotovoltaico híbrido con fecha del 09/09/2024 en el periodo de un día (24 horas). Se observa la generación de energía eléctrica (obtenida por la energía solar), así como la carga y descarga de las baterías.

Se observa un mayor consumo en el horario de 6:30 p.m. a 6:15 a.m. aproximadamente.

Figura 29

Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido



Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, con fecha del 25/11/2024, gráfica obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>

Como se aprecia en la Figura 29, en la parte superior derecha se indica el consumo de energía donde el 1.45% del consumo de las cargas es suministrado por parte de la red eléctrica (Hidrandina), es decir las cargas no son alimentadas al 100% por energía renovable.

Se observó que el inversor tiene la siguiente configuración de prioridad de alimentación, las cargas deben ser alimentadas en el siguiente orden: Por la energía generada directamente de los paneles y por la energía eléctrica almacenada en las

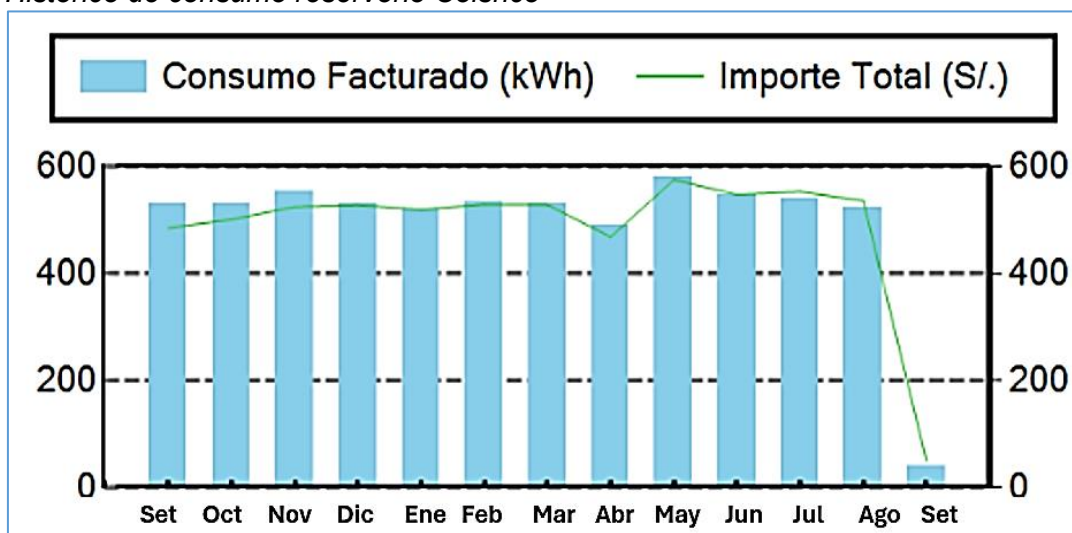
baterías. Además, muestra la continuidad del consumo eléctrico dentro del reservorio de Coishco.

Esta tendencia se presenta constante desde la puesta en marcha del sistema solar fotovoltaico híbrido. Ver Anexo H. Gráfica de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido, el cual muestra las gráficas de otros meses en un día aleatorio.

- Se evidencia en la facturación del mes de setiembre del 2023, que el consumo disminuye de 535kWh/mes a 39 kWh/mes dando una facturación de S/ 49.20 soles y una reducción de hasta 480 kWh/mes. Ver Anexo I. Recibo de energía eléctrica hidrandina, setiembre 2023.

Figura 30

Histórico de consumo reservorio Coishco



Nota: Obtenido de Hidrandina.

- Con una proyección a máxima carga, para lo cual fue diseñado el sistema solar fotovoltaico híbrido, con los datos obtenidos en el tercer capítulo (ver sección 3.5), se tendría el siguiente retorno de inversión, ver Tabla 29.

Tabla 29

Costo promedio de energía eléctrica al mes

Medio	USD/MWh	MWh/mes	USD
Hidrandina	205.47	1.46	299.98
Sistema Híbrido	106.60	1.46	155.64

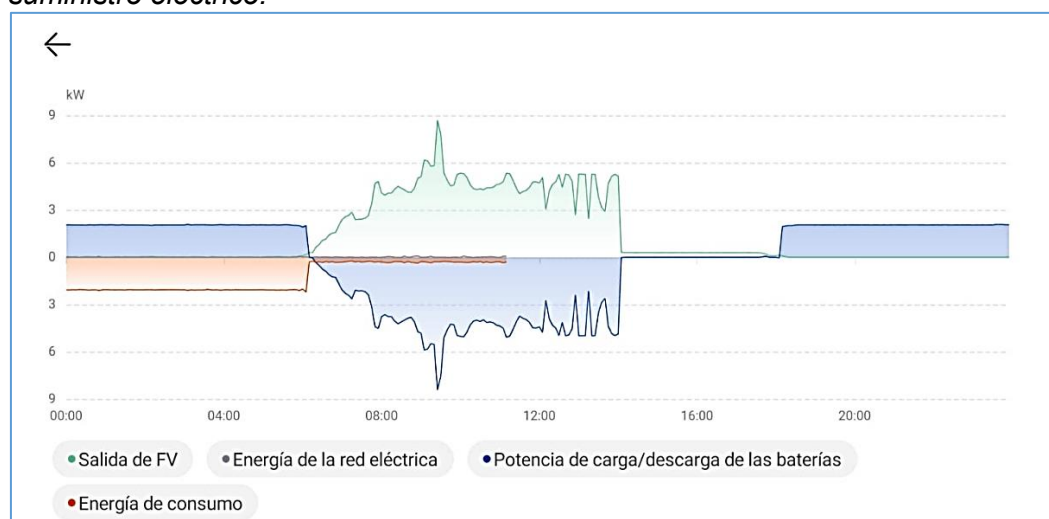
Nota: elaboración propia.

De acuerdo a lo obtenido en la Tabla 29 se tendría un ahorro mensual de 144.34 US\$ (diferencia de Red Hidrandina y sistema solar fotovoltaico híbrido), un ahorro anual de 1,732.06 US\$, el cual daría un tiempo de retorno de 12 años aproximadamente, ver Tabla 28.

- Luego de la instalación del sistema solar fotovoltaico híbrido, ante cortes externos (por hidrandina) las cargas del reservorio de Coishco se mantienen en operación. El sistema de banco de baterías fue el que suministro la energía eléctrica al 100% hasta el restablecimiento de la red de hidrandina. Ver Figura 31, Figura 32, Figura 33, Figura 34 y Tabla 30.

Figura 31

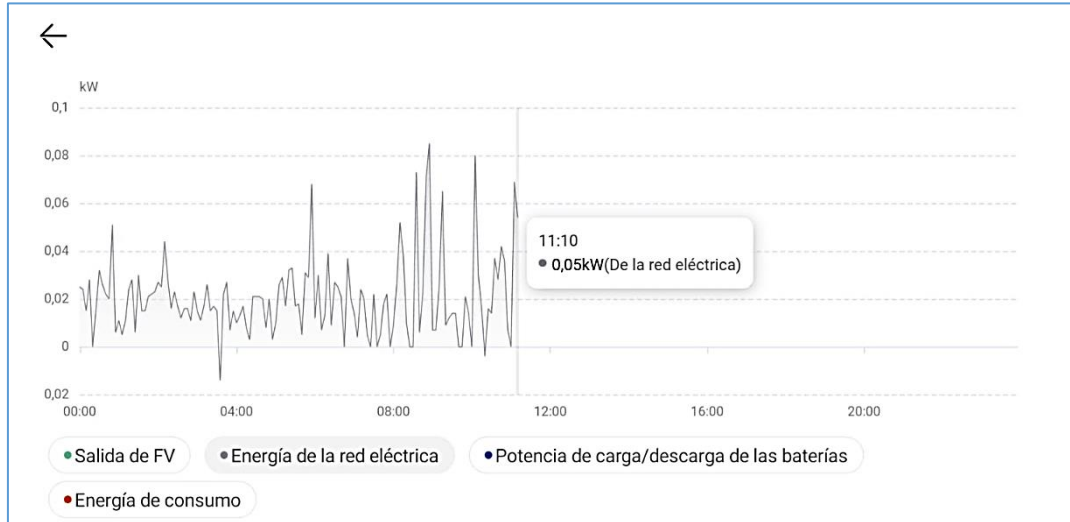
Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido ante una interrupción de suministro eléctrico.



Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, con fecha del 25/11/2024, gráfica obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>

Figura 32

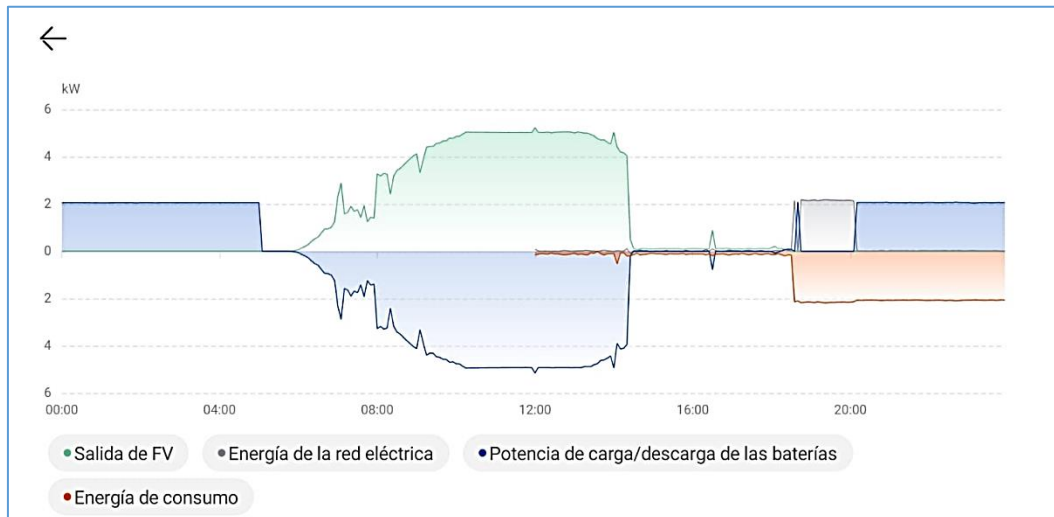
Consumo de la energía eléctrica de la red, durante una interrupción de suministro eléctrico.



Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, con fecha del 25/11/2024, gráfica obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>

Figura 33

Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido ante reposición de suministro eléctrico.



Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, con fecha del 28/11/2024, gráfica obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>.

Figura 34

Consumo de la energía eléctrica de la red, durante reposición de suministro eléctrico.

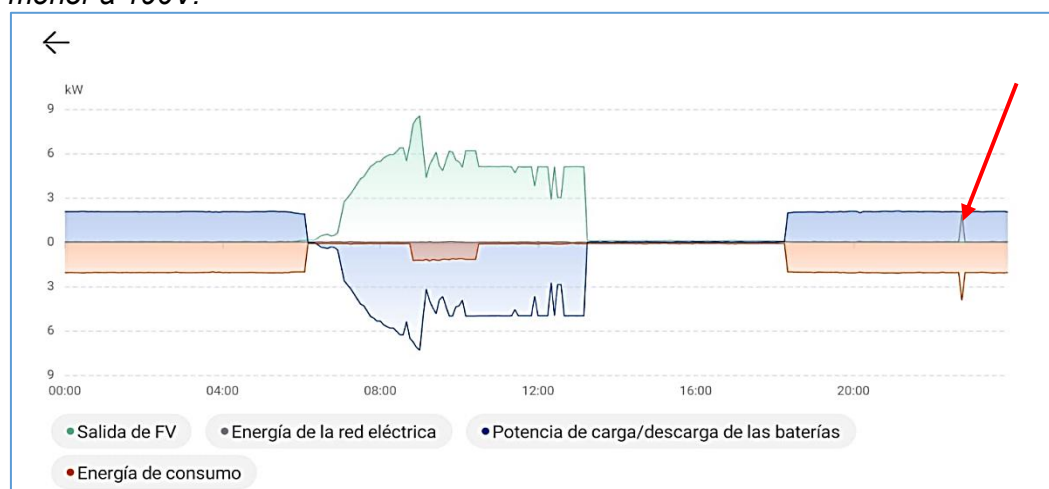


Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, con fecha del 28/11/2024, gráfica obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>.

- Se observó que, ante una caída de tensión menor a 190 V, se produce una desconexión de los contactores del Backup Box y del inversor Huawei, de manera preventiva el inversor deja de alimentar a las cargas, las cuales pasan a ser alimentadas directamente al 100% por la red eléctrica de Hidrandina, ver Tabla 31. Además, en la Figura 35 se puede apreciar que el sistema solar fotovoltaico híbrido no regula o estabiliza la tensión.

Figura 35

Funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido ante una caída de tensión menor a 190V.



Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, con fecha del 11/11/2024, gráfica obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>.

Tabla 30

Cortes de energía eléctrica de la red y operación del Backup Box, 2023-2024

AÑO	MES	DÍA	Hora de INICIO, de interrupción de energía	Hora de FIN de interrupción de energía	DURACIÓN HORAS (interrupción mayor a 3 min)	Nº INTERRUPTIONES AL MES, duración mayor a 3 min	Nº DE INTERRUPTIONES TOTALES AL MES (incluyendo menor a 3 min)	ENERGÍA ELÉCTRICA CUBIERTA POR LAS BATERÍAS
2023	oct	12	12:37	13:19	00:42:00	1	3	SI
2023	nov	19	14:12	21:01	06:49:00	1	3	SI
2023	dic	12	8:30	17:00	08:30:00	2	3	SI
2024	ene	08	11:20	11:35	00:15:00	1	1	SI
2024	feb	15	9:18	10:23	01:05:00	1	1	SI
2024	mar	05	7:45	13:00	05:15:00	1	2	SI
2024	mar	21	8:14	10:45	02:31:00	1	1	SI
2024	Abri	13	17:08	17:33	00:25:00	1	2	SI
2024	may	03	8:53	8:57	00:04:00	1	1	SI
2024	jun	14	7:12	7:34	00:22:00	1	3	SI
2024	jul	16	9:01	9:42	00:41:00	1	3	SI
2024	sep	15	11:33	11:46	00:13:00	1	2	SI
TOTAL					26:52:00	13	25	

Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>.

Tabla 31*Registro de caída de tensión y funcionamiento del inversor 2023-2024*

AÑO	MES	DÍA	INICIO	Voltaje en el punto de entrega (V _k)	FIN	Voltaje de la tensión Nominal (V _N)	DURACIÓN HORAS	CAÍDA DE TENSIÓN %	Se desactiva el sistema del INVERSOR
2023	oct	10	17:45	202.4	18:00	220	00:15	8	NO
2023	nov	16	18:15	198.0	18:30	220	00:15	10	NO
2023	dic	15	18:45	187.0	19:30	220	00:45	15	SI
2024	ene	13	18:45	193.6	19:15	220	00:30	12	NO
2024	feb	22	18:30	191.4	19:00	220	00:30	13	NO
2024	mar	28	6:00	198.0	6:30	220	00:30	10	NO
2024	mar	05	18:15	184.8	19:30	220	01:15	16	SI
2024	Abri	22	18:30	198.0	19:00	220	00:30	10	NO
2024	may	28	6:00	193.6	6:15	220	00:15	12	NO
2024	jun	25	7:15	195.8	7:30	220	00:15	11	NO
2024	jul	07	6:45	198.0	7:00	220	00:15	10	NO
2024	sep	13	18:45	187.0	19:30	220	00:45	15	SI

Nota: Datos de monitoreo de la Planta Solar Coishco, obtenida de <https://la5.fusionsolar.huawei.com/unisso/login.action?service=%2Funisess%2Fv1%2Fauth%3Fservice%3D%252Fnetecowebext%252Fhome%252Findex.html#/LOGIN>.

4.2 Contratación de la Hipótesis

Dada la hipótesis de investigación (H_i): Es posible diseñar implementar y analizar un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica para mejorar los indicadores de calidad de servicio, en reservorio de agua ubicado en Coishco, Áncash.

Y la hipótesis nula (H₀): No es posible diseñar implementar y analizar un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica para mejorar los indicadores de calidad de servicio, en reservorio de agua ubicado en Coishco, Áncash.

Luego del diseño, implementación y análisis del sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica. Se compararon los valores de los indicadores de calidad tensión, número total de interrupciones por cliente (N') y duración total ponderada de interrupciones por cliente (D') en el periodo de octubre del 2023 a setiembre del 2024

contra los valores obtenidos antes de la implementación del sistema solar fotovoltaico híbrido, enero del 2022 a diciembre del 2022. Y se observó una mejora significativa en:

a) Número total de interrupciones por cliente (N'):

Hubo una cantidad mayor a 6 interrupciones/semestre (en el periodo de octubre del 2023 a marzo 2024, ver Tabla 30), sin embargo, el reservorio no se vio afectado debido a que el banco de baterías alimentó las cargas. Es decir, nuestro indicador interno N' fue de 0 interrupciones/semestre.

b) Duración total ponderada de interrupciones por cliente (D'):

Hubo una cantidad mayor a 10 horas interrupciones/semestre (en el periodo de octubre del 2023 a marzo 2024, ver Tabla 30), sin embargo, el reservorio no se vio afectado debido a que el banco de baterías alimentó las cargas. Es decir, nuestro indicador interno D' fue de 0 horas interrupciones/semestre.

No obstante, el indicador de calidad de tensión muestra un resultado distinto:

c) Calidad tensión: Usando la ecuación (1) y la Tabla 31, se puede apreciar que el sistema solar fotovoltaico híbrido no regula la tensión para caída de tensiones menores a 190 V. Es decir, no se logró mejorar la calidad de tensión dentro del reservorio de Coishco.

Decisión, dado que la implementación del sistema solar fotovoltaico híbrido mejora los indicadores de número total de interrupciones por cliente (N') y duración total ponderada de interrupciones por cliente (D'). Se confirma la (H_i) hipótesis de investigación, se rechaza la (H_o) hipótesis nula.

4.3 Discusión de Resultados

Los resultados obtenidos tras la implementación del sistema solar fotovoltaico híbrido en el reservorio de agua de Coishco mostraron mejoras significativas en los

indicadores de calidad del servicio eléctrico, aunque también revelaron áreas que requieren optimización. Esta discusión se centra en analizar las similitudes y discrepancias con estudios previos, así como la relación con las bases teóricas planteadas en esta investigación.

El sistema solar fotovoltaico híbrido implementado logró eliminar las interrupciones prolongadas del suministro eléctrico, logrando que el indicador de número total de interrupciones por cliente (N') se redujera a 0 interrupciones/semestre. Además, la duración total ponderada de interrupciones por cliente (D') mostró mejoras significativas, ya que el banco de baterías proporcionó respaldo continuo durante cortes de energía. Estos resultados coinciden con las conclusiones de Díaz Rodríguez et al. (2012), quien demostró que los sistemas híbridos con inversores adecuados son soluciones efectivas para garantizar un suministro confiable de energía eléctrica.

Por otra parte, el estudio de Him Díaz, M. (2013), aplicado a la comunidad de Boca de Lurá, también reporta mejoras similares en eliminación de interrupciones del suministro eléctrico en comunidades aisladas mediante el uso de sistemas híbridos eólico-solares. Las coincidencias entre ambos estudios y los resultados de esta investigación reafirman la capacidad de los sistemas híbridos para proporcionar una fuente de energía confiable en entornos con problemas de suministro.

Limitaciones en la regulación de la tensión

Un área crítica identificada fue la ineficiencia del sistema para estabilizar la tensión en condiciones de caídas por debajo de 190 V. Aunque el sistema redujo las interrupciones, no logró abordar las fluctuaciones de tensión de manera efectiva. Este resultado difiere de los hallazgos de Díaz Rodríguez et al. (2012), quien destaca el uso de inversores multinivel para mejorar la calidad de la energía eléctrica al reducir las distorsiones armónicas (THD).

Esta discrepancia sugiere que el diseño del inversor en este proyecto no fue completamente adecuado para regular la tensión en condiciones extremas.

El marco teórico de esta investigación establece que los sistemas solares fotovoltaicos híbridos pueden mejorar dos indicadores clave de calidad: la continuidad del suministro y la estabilidad de la tensión. Los resultados obtenidos validan parcialmente estas bases. La mejora en la continuidad del suministro confirma la viabilidad del sistema para reducir interrupciones, mientras que las limitaciones en la regulación de tensión resaltaron áreas de oportunidad para futuros desarrollos tecnológicos.

En comparación con otros estudios, como el de Him Díaz, M. (2013), que logró una autonomía de seis días en el suministro eléctrico mediante un banco de baterías optimizado, el sistema implementado en Coishco demostró un desempeño similar en cuanto a la eliminación de interrupciones, pero no abordó completamente los retos asociados con la calidad de la tensión. Esta limitación podría deberse a diferencias en la selección de los equipos o en el dimensionamiento del sistema.

CONCLUSIONES

1. Se determinó con éxito la ubicación para la instalación del sistema solar fotovoltaico híbrido, considerando factores como:

- a. Área sin sombras, para aprovechamiento de niveles de irradiación solar.
- b. Área amplia y cerca al tablero de distribución eléctrica, para minimizar costos de cableado eléctrico.
- c. Área del suelo no presenta desniveles notorios.
- d. Temperatura promedio anual de la zona, ideal para la operación de paneles solares y una velocidad del viento favorable para la ventilación natural de los módulos.

Esto permitió maximizar la captación de energía solar y optimizar la eficiencia del sistema.

2. La selección de equipos, como paneles solares, inversores y bancos de baterías, se realizó siguiendo criterios técnicos. Los equipos seleccionados demostraron ser adecuados para satisfacer la demanda energética del reservorio, la cual actualmente presenta mayor consumo durante la noche, garantizando la mejora de calidad de suministro.

3. Se diseñó un sistema solar fotovoltaico híbrido con características técnicas óptimas para cubrir la demanda energética del reservorio incluso en condiciones adversas, como los meses de menor irradiación solar. El diseño incluyó cálculos detallados de dimensionamiento, arreglo de módulos y configuración del sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a la red eléctrica de hidrandina, además de garantizar la operatividad ante interrupciones externas.

4. La implementación del sistema solar fotovoltaico híbrido se llevó a cabo de forma exitosa, integrando correctamente las fuentes de energía renovable y convencional.
5. Los resultados mostraron una mejora significativa en los indicadores de calidad del servicio eléctrico, como la eliminación de interrupciones dentro del reservorio de Coishco, gracias a la operación del grupo de baterías y al Backup Box. Ante una interrupción de la red de hidrandina, el Backup Box actúa dando una señal al inversor, el cual opera en modo isla (ver manual de inversor de red Huawei SUN200-5KTL-L1) suministrando la energía eléctrica de acuerdo al orden de prioridad de suministro a las cargas descritas en los resultados.
6. Respecto al indicador de calidad de tensión no se obtuvo una mejora ante caídas de tensión menores a 190 V debido a que el inversor tiene un sistema de prevención.
7. Como se describió en los resultados, las cargas no son alimentadas al 100% por los paneles solares o las baterías, existe un porcentaje del consumo de las cargas que es alimentado por la red eléctrica del suministrador (Hidrandina). Esto se observa solo cuando no hay interrupción de la red eléctrica.

RECOMENDACIONES

1. Para la implementación de un sistema solar fotovoltaico híbrido se recomienda el uso de baterías de litio para poder realizar una mayor descarga de energía, así como lograr un mayor tiempo de vida (duración).
2. Por el sistema de alarmas del inversor Huawei, se evidencia frecuente caída de tensión, se recomienda ajustar los parámetros de alarma del inversor a la tensión de su suministro eléctrico actual, de este modo se obtendrá alarmas con menor frecuencia y además el inversor tendrá una mejor sincronización (balance) entre la tensión del suministro y la tensión de salida del inversor.
3. Ante caídas de tensión constantes generadas por la red del suministro eléctrico, para los sistemas solares fotovoltaicos híbridos que cuenten con una cantidad de paneles solares, inversores, baterías y Backup Box para un consumo máximo de su potencia instalada durante 24 horas, se recomienda desconectar el suministro de energía eléctrica de modo que el sistema de Backup box y baterías actúen como si fuera una falla externa (desconexión). Con el fin de estabilizar la tensión y mejorar el indicador de calidad (tensión).
4. Si se requiere aumentar la carga de consumo durante la noche, se recomienda aumentar la cantidad de baterías y un Backup Box adicional. Para este caso se tendría dos opciones: El Backup Box y baterías adicionales, se pueden destinar a ciertas cargas en específico sin estar conectados directamente a las otras cargas del Backup Box y baterías iniciales. El Backup Box y baterías adicionales, se pueden conectar en paralelo con el diseño inicial, para ello se debería realizar un análisis de la tensión y frecuencia de salida de cada inversor para lograr la sincronización de ambos inversores.

REFERENCIAS

- Autosolar. (s.f.). Guía de instalación de paneles solares. <https://www.autosolar.es/>.
- Electrotec. (s.f.). AWG (*American Wire Gauge*). <https://electrotec.pe/blog/CAWG>
- Díaz Rodríguez, J., Pabón Fernández, L., & Pardo García, A. (2012). Sistema híbrido de energía utilizando energía solar y red eléctrica. *Lámpsakos*, (7), 69-77. Fundación Universitaria Luis Amigó. Colombia. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613965334005E1>.
- Duffy, B. (2011). Off – grid photovoltaic system design project. Estados Unidos.
- National Geographic Society. (s.f.). *El sol*. <https://www.nationalgeographic.es/espacio/el-sol-0>
- Eniplenitude (2023). Disponible en: <https://eniplenitude.es/blog/autoconsumo/tipos-placas-solares/>.
- Figueroa Márquez, C. F., Parra Luna, N. A., & Rodríguez Méndez, C. H. (2014). *Evaluación de la factibilidad técnica y económica de la instalación de paneles solares fotovoltaicos en hogares de familias de escasos recursos de la comuna de San Nicolás* [Tesis de licenciatura, Universidad del Bío-Bío, Chillán, Chile]. Repositorio Universidad del Bío-Bío. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1038/1/Figueroa%20Marquez%2C%20Catalina%20Francisca.pdf>.
- García Martín, P. (2022). *Energía solar fotovoltaica para todos* (2ª ed.). Marcombo.
- Him Díaz, M. (2013). Diseño de un sistema híbrido de generación eléctrica a partir de fuentes renovables de energía. *Prisma Tecnológico*, 4(1), 47–50. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/512>

- Huawei. (2023). *Manual de usuario del inversor Huawei SUN2000-5KTL-L1*. Huawei Technologies Co., Ltd. <https://solar.huawei.com>.
- Huawei. (2023). *Manual de usuario del Huawei Backup Box-B0*. Huawei Technologies Co., Ltd. <https://solar.huawei.com>.
- Joint Research Centre. (s.f.). *PVGIS-NSRDB*. Comisión Europea. <https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/>.
- Ledesma, S. M., Brey, D., Lumbreras, J., & Lumbreras, M. L. (2021). *Sistemas fotovoltaicos*. Ra-Ma. España.
- Lorenzo, P. E. (2006). *Radiación solar y dispositivos fotovoltaicos*. PROGENSA. España.
- Ministerio de Energía y Minas. (2011). *Norma técnica de calidad de los servicios eléctricos* (Decreto Supremo N.º 020-97-EM). Gobierno del Perú.
- NASA. (s.f.). *Power Data Access Viewer*. NASA. <https://power.larc.nasa.gov>.
- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía solar fotovoltaica: manual técnico para instalaciones domiciliarias*. Green Energy Consultoría y Servicios SRL. Perú.
- Pareja Aparicio, M. (2015). *Energía solar fotovoltaica: cálculo de una instalación aislada* (3.ª ed.). Marcombo
- Perpiñán Lamigueiro, O. (2023). *Energía Solar Fotovoltaica*. Ed: Madrid, España– Creative Commons. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>.
- Siancha, J. (2013). *Ahorro de energía: Uso eficiente de la energía*. España.
- Sistemab (2012). Disponible en: <https://www.sistemab.org/>.

Solar Fotovoltaico. (s.f.). *Definiciones: celda, módulo, panel, arreglo fotovoltaico.*

<https://solar-fotovoltaico.com/componentes/panel-solar/definiciones-celda-modulo-panel-arreglo-fotovoltaico/#un-ejemplo-práctico-de-construcción-de-paneles-solares>.

Solargis (2023). Solargis (Versión 2.1) [Software]. <https://www.solargis.com>.

ANEXOS

Anexo A: Matriz de Consistencia	1
Anexo B: Operacionalización de Variables	3
ANEXO C: Diagrama de Gantt.....	4
ANEXO D: Presupuesto.....	5
Anexo E. Diagrama unifilar del sistema solar fotovoltaico híbrido	6
Anexo F. Vistas principales del gabinete.....	7
Anexo G. Ubicación de paneles solares, con proyección a ampliación	8
Anexo H. Gráfica de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido.....	9
Anexo I. Recibo de energía eléctrica hidrandina, setiembre 2023.....	14

Anexo A: Matriz de Consistencia

Título: Diseño, implementación y análisis de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad del servicio eléctrico en reservorio de agua ubicado en Coishco, Áncash

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general: ¿En qué medida el diseño, implementación y análisis de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, mejora los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco?	Objetivo General Diseñar implementar y analizar un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco.	Hipótesis General El diseño, implementación y análisis de un sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, mejora los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco.	Variable independiente Sistema solar fotovoltaico híbrido.	Tipo de investigación: Aplicada de enfoque Cuantitativa. Nivel de investigación: Descriptivo y Explicativo. Método: Observación. Diseño: Cuasi experimental.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicas	Variable dependiente	Población:
a) ¿Cómo determinar la ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos?	a) Determinar la ubicación para la	a) La ubicación para la instalación de los equipos fotovoltaicos puede determinarse considerando	Calidad del servicio eléctrico. Dimensiones:	Registros de medición del servicio eléctrico del reservorio. Muestra:

<p>b) ¿En qué medida es posible seleccionar los equipos a utilizar en el sistema solar fotovoltaico híbrido?</p>	<p>instalación de los equipos fotovoltaicos.</p> <p>b) Seleccionar los equipos a utilizar en el sistema solar fotovoltaico híbrido.</p>	<p>parámetros técnicos como irradiación solar, orientación, área disponible y condiciones del entorno.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Calidad del producto. • Calidad del suministro. 	<p>Registros de medición del servicio eléctrico del reservorio en el intervalo de 12 meses antes y 12 meses después de la puesta en marcha.</p>
<p>c) ¿En qué medida es posible realizar el diseño del sistema solar fotovoltaico híbrido?</p>	<p>c) Diseñar el sistema solar fotovoltaico híbrido.</p>	<p>b) La selección de los equipos para el sistema solar fotovoltaico híbrido puede realizarse en función de criterios técnicos que aseguren cubrir la demanda energética y confiabilidad del sistema.</p>		<hr/> <p>Técnicas e instrumentos de recolección de datos:</p> <p>Observación.</p> <p>Análisis de registros de medición del servicio eléctrico</p>
<p>d) ¿En qué medida es posible implementar el sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico en reservorio ubicado en Coishco?</p>	<p>d) Implementar el sistema solar fotovoltaico híbrido conectado a red eléctrica, para mejorar los indicadores de calidad de servicio eléctrico, en reservorio ubicado en Coishco.</p>	<p>c) El sistema solar fotovoltaico híbrido puede diseñarse tomando en cuenta las condiciones del sitio, la demanda energética y su integración con la red eléctrica.</p>		<hr/> <p>Técnicas e instrumentos de análisis y procesamiento de datos:</p> <p>Tabulación de resultados.</p> <p>Organizadores visuales.</p> <p>Herramientas de procesamiento de datos: Microsoft Excel, Power BI, Solargis (2023).</p>

Anexo B: Operacionalización de Variables

	Definición Conceptual	Definición Operacional	Operacionalización		Escala de medición
			Dimensiones	Indicadores	
VI: Sistema solar fotovoltaica híbrido.	Es un sistema el cual requiere estar conectado a dos o más fuentes de energía diferentes uno del otro y que interactúan entre sí, una de ellas es la energía solar la cual se transforma en energía eléctrica.	La cantidad de energía eléctrica producida por el sistema solar fotovoltaico híbrido en un período determinado, generalmente expresada en kilowatts (kW).	Potencia de la energía generada por el sistema solar fotovoltaico híbrido.	Energía generada por el sistema fotovoltaico > energía consumida en el reservorio de Coishco.	kW/24h
VD1: Calidad del servicio eléctrico	Es la cantidad mínima de puntos y condiciones de medición. Se fijan las tolerancias y las respectivas compensaciones y/o multas por incumplimiento. Asimismo, se establecen las obligaciones de las entidades involucradas directa o indirectamente en la prestación y uso de este servicio en lo que se refiere al control de la calidad.	<p>1.- $\Delta V_k (\%) = \frac{(V_k - V_N)}{V_N} \times 100$ k = intervalo de medición de quince minutos V_k = Tensión eficaz (RMS) en punto de entrega V_N = Tensión nominal en el mismo punto.</p> <p>2.- $N' = \frac{6 \text{ interrupciones}}{\text{semestre}}$ Interrupción: cualquier falta de suministro eléctrico en un punto de entrega > 3 minutos.</p> <p>3.- $D' = \frac{10 \text{ horas}}{\text{semestre}}$</p>	<p>1.- Calidad del producto: Calidad de Tensión:</p> <p>2.-Calidad del suministro: Número total de interrupciones por cliente baja tensión (N').</p> <p>3.- Calidad del suministro: Duración total ponderada de interrupciones por cliente baja tensión (D').</p>	<p>1.- Caída de tensión <= 5%</p> <p>2.- N' ≥ 6 interrupciones por semestre.</p> <p>3.- D' ≥ 10 horas por semestre.</p>	<p>Razón</p> <p>Razón</p> <p>Razón</p>

ANEXO C: Diagrama de Gantt

N°	Actividad	Fecha Final	May-22	Jun-22	Jul-22	Ago-22	Set-22	Oct-22	Nov-22	Dic-22	Ene-23	Feb-23	Mar-23	Abr-23	May-23	Set-23	Oct-23	Set-24
1	Elaboración estudio de factibilidad	1-May-22	X															
2	Análisis de alternativas de Energías Renovables	15-Jul-22		X	X													
3	Elaboración de Memoria descriptiva para alcance del servicio	27-Ago-22				X												
4	Visita de proveedores y atención de suministros	30-Set-22					X											
5	Compra de equipos del sistema solar fotovoltaico híbrido	15-Oct-22						X										
6	Transporte de equipos	15-Feb-23							X	X	X	X						
7	Obras civiles: Zanjas y estructuras de paneles solares	15-Mar-23											X	X				
8	Licitación de Instalación de sistema solar fotovoltaico híbrido	16-May-23													X			
8	Instalación de sistema solar fotovoltaico híbrido	09-Set-23														X		
9	Pruebas de equipos	1-Oct-23															X	
10	Evaluación de resultados	09-Set-24																X

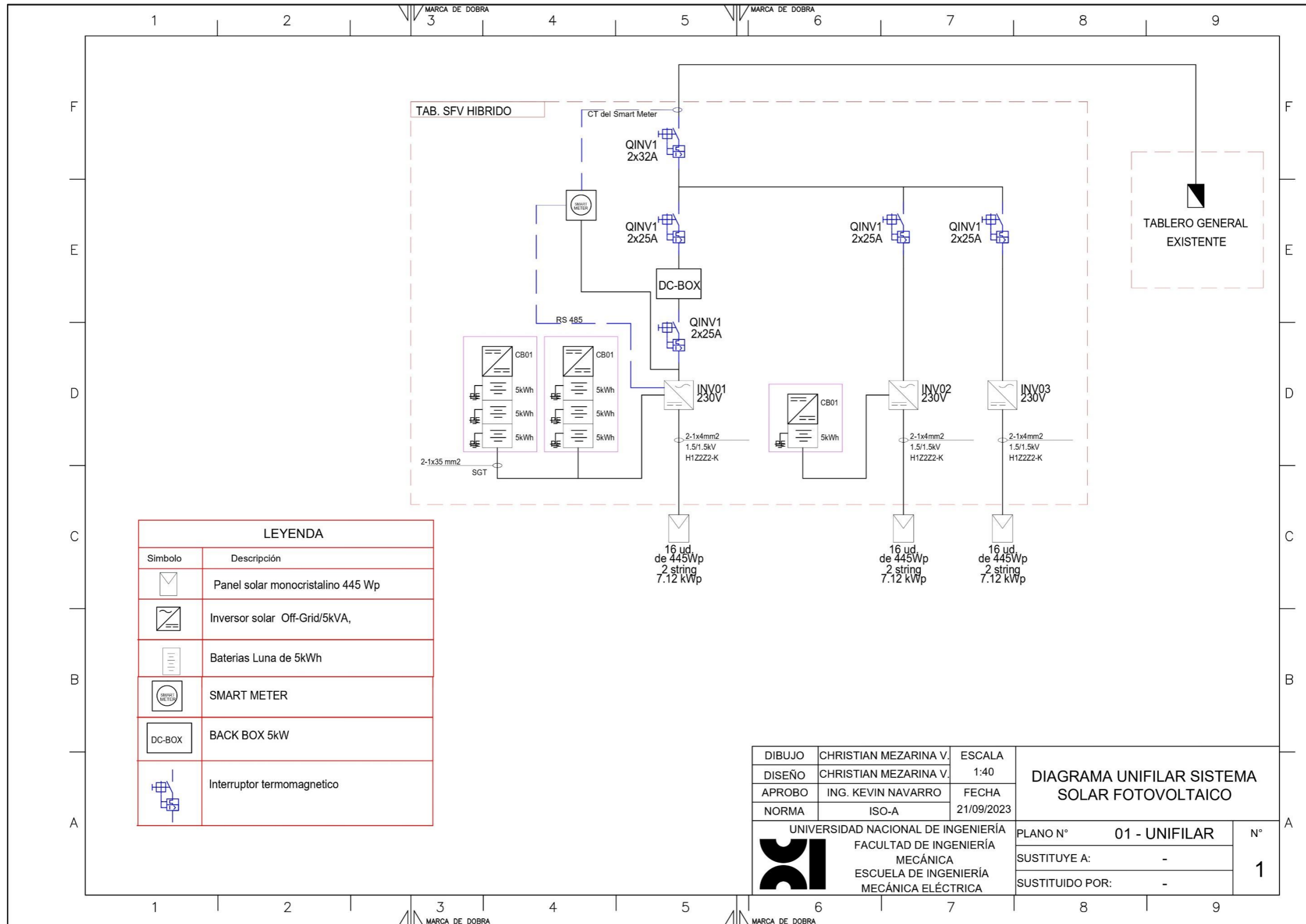
ANEXO D: Presupuesto

COSTO DE LOS COMPONENTES			
EQUIPOS	USD (\$)	Cantidad	TOTAL (USD)
PANEL SOLAR	\$ 129.97	54	\$ 7,018.38
REGULADOR	\$ 2,400.00	3	\$ 7,200.00
BATERIAS	\$ 765.00	7	\$ 5,355.00
INVERSOR	\$ 1,018.64	3	\$ 3,055.92
TOTAL			\$ 22,629.30

COSTO DE MATERIALES COMPLEMENTARIOS			
EQUIPOS	IGV (USD)	Cantidad	TOTAL (USD)
Accesorios y conectores	\$ 168.32	2	\$ 336.64
Caja 18 polos	\$ 240.00	1	\$ 240.00
Cableados	\$ 115.00	2	\$ 230.00
Gabinete + traslado	\$ 5,000.00	1	\$ 5,000.00
Estructura hierro galvanizado	\$ 29.63	54	\$ 1,600.02
Puesta a tierra (menor a 5 ohm)	\$ 2,500.00	1	\$ 2,500.00
TOTAL			\$ 9,906.66

COSTO DE SERVICIO	
Descripción	Gastos (USD)
S.V. de obras civiles	\$ 7,100.79
S.V. Puesta en marcha	\$ 3,500.00
Total	\$ 10,600.79

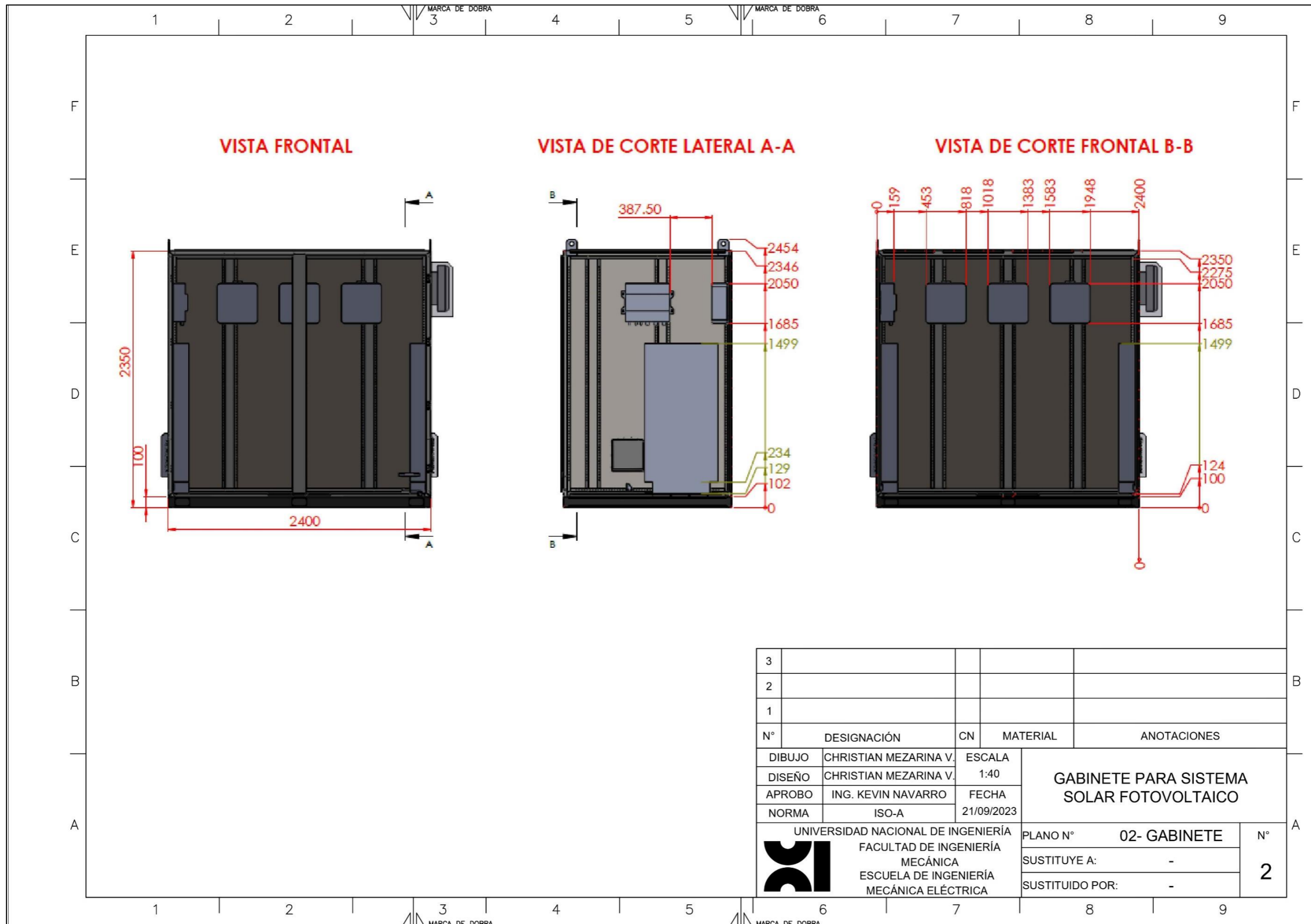
Anexo E. Diagrama unifilar del sistema solar fotovoltaico híbrido



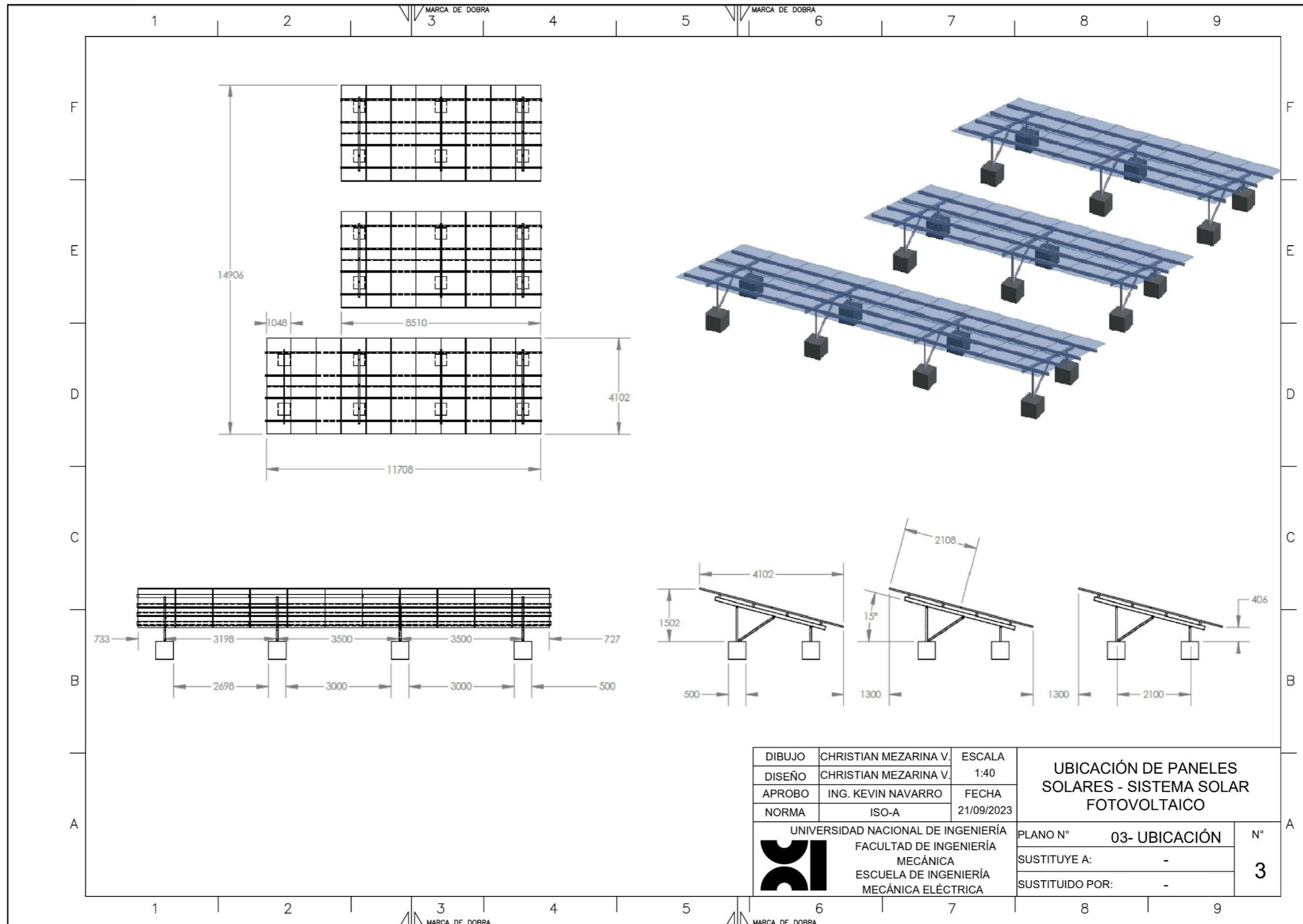
LEYENDA	
Simbolo	Descripción
	Panel solar monocristalino 445 Wp
	Inversor solar Off-Grid/5kVA,
	Baterias Luna de 5kWh
	SMART METER
	BACK BOX 5kW
	Interruptor termomagnetico

DIBUJO	CHRISTIAN MEZARINA V.	ESCALA	DIAGRAMA UNIFILAR SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
DISEÑO	CHRISTIAN MEZARINA V.	1:40	
APROBO	ING. KEVIN NAVARRO	FECHA	
NORMA	ISO-A	21/09/2023	
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA			PLANO N° 01 - UNIFILAR SUSTITUYE A: - SUSTITUIDO POR: -
			N° 1

Anexo F. Vistas principales del gabinete

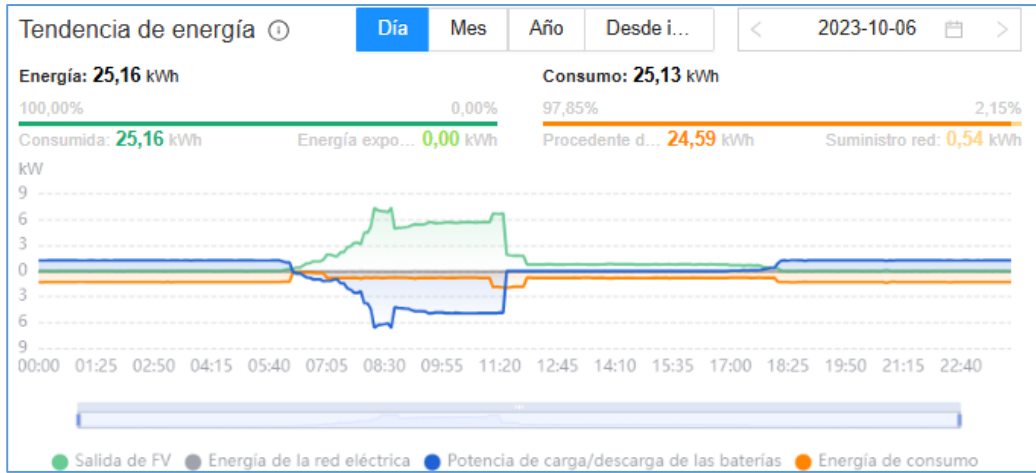


Anexo G. Ubicación de paneles solares, con proyección a ampliación

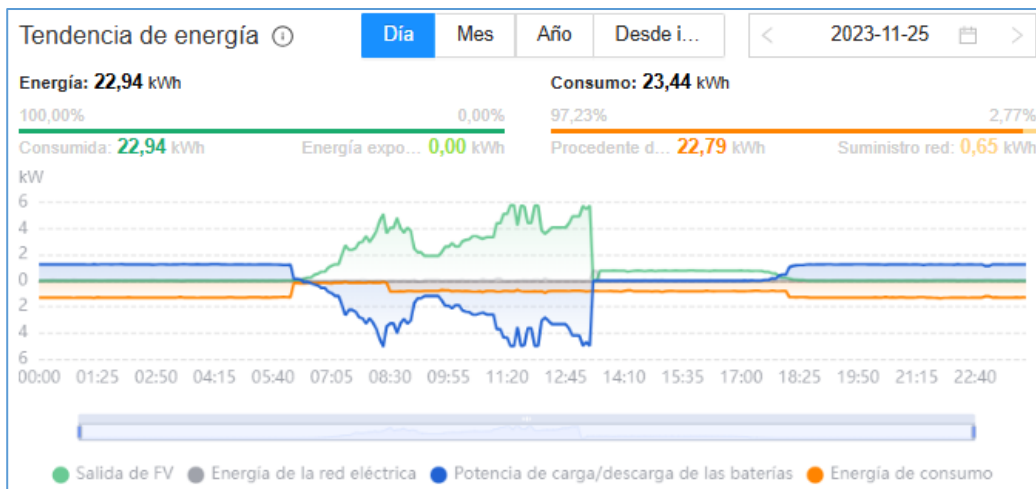


Anexo H. Gráfica de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico híbrido

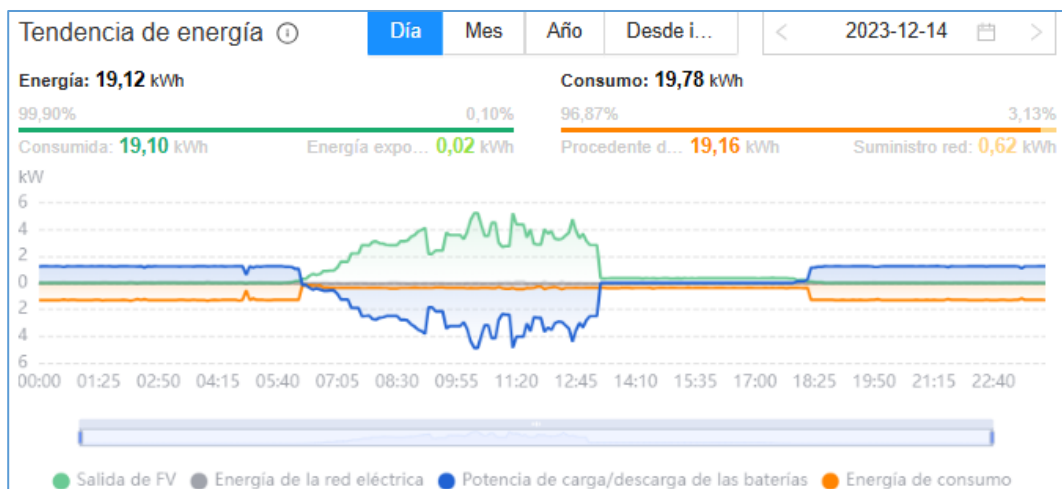
06 de octubre del 2023



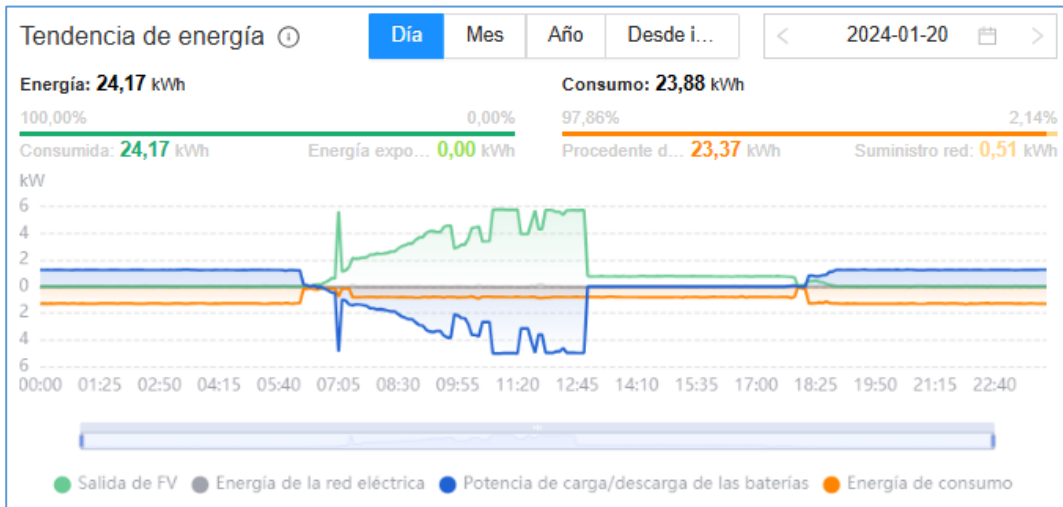
25 de noviembre del 2023



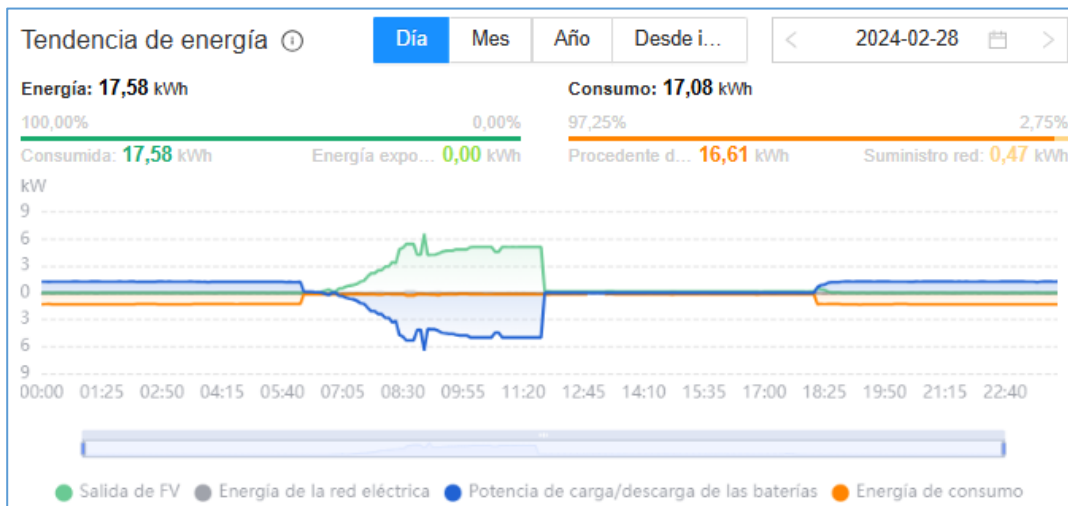
14 de diciembre del 2023



20 de enero del 2024



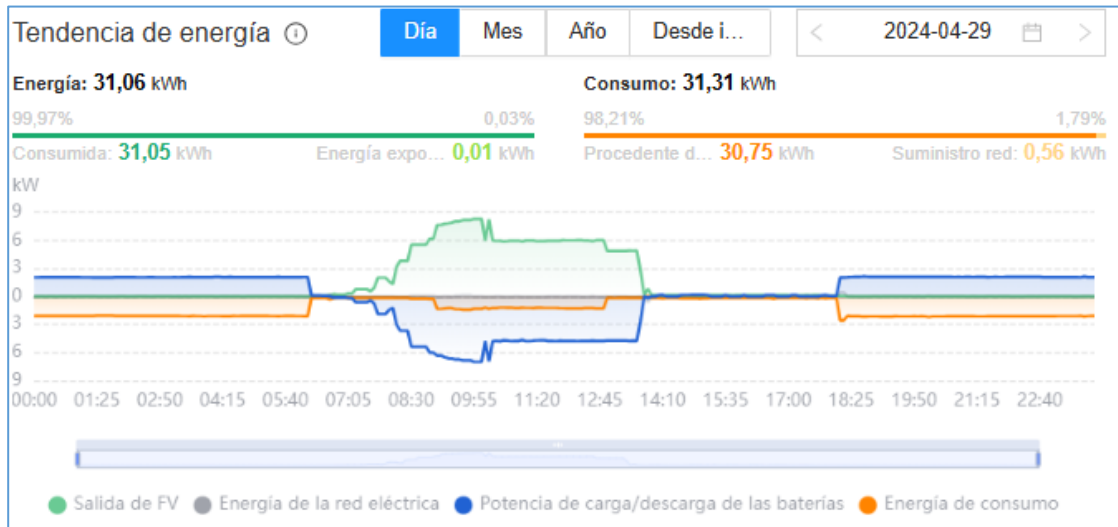
28 de febrero del 2024



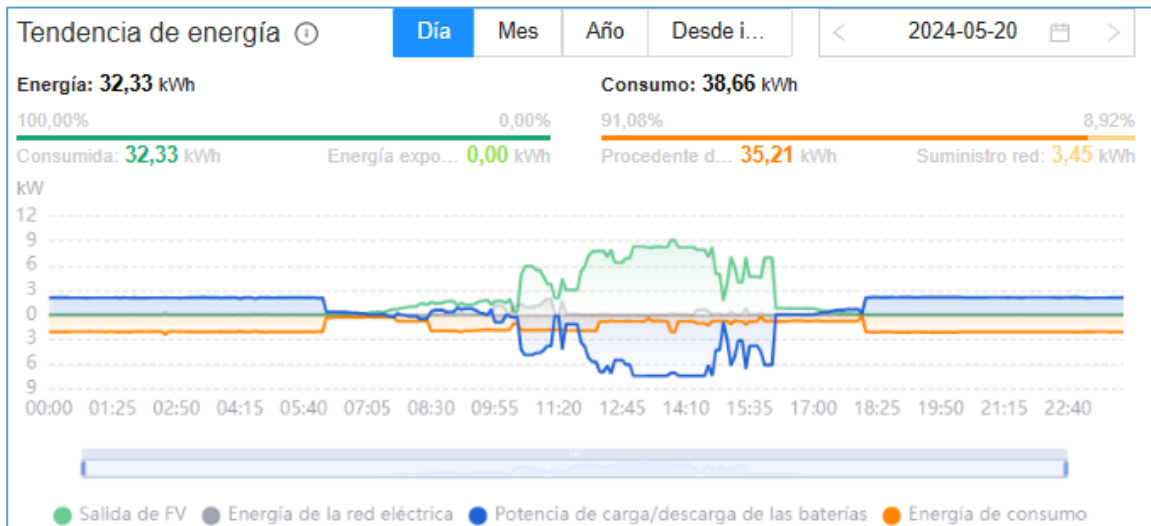
03 de marzo del 2024



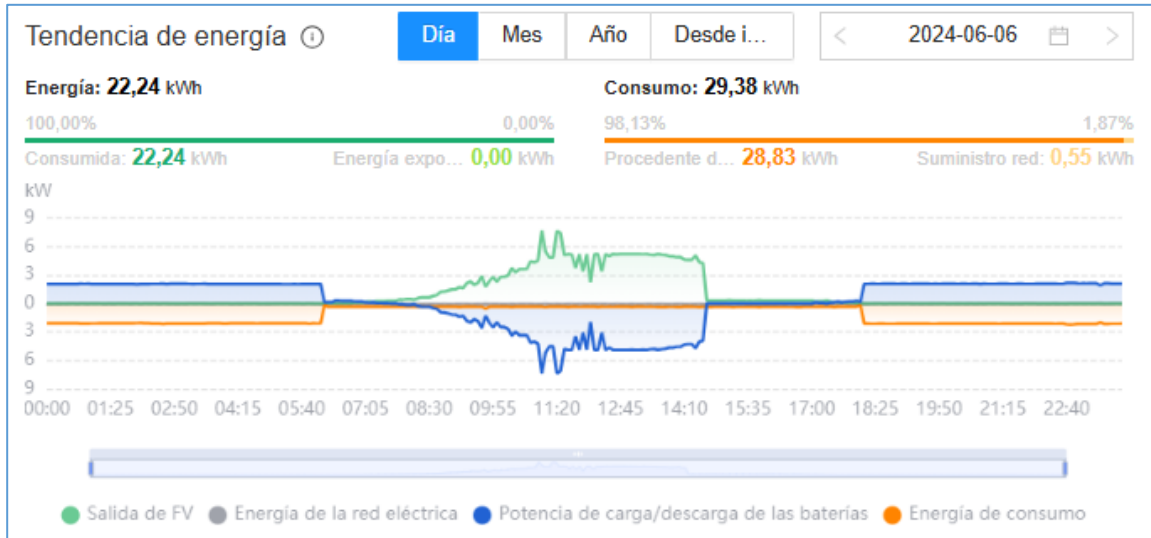
29 de abril del 2024



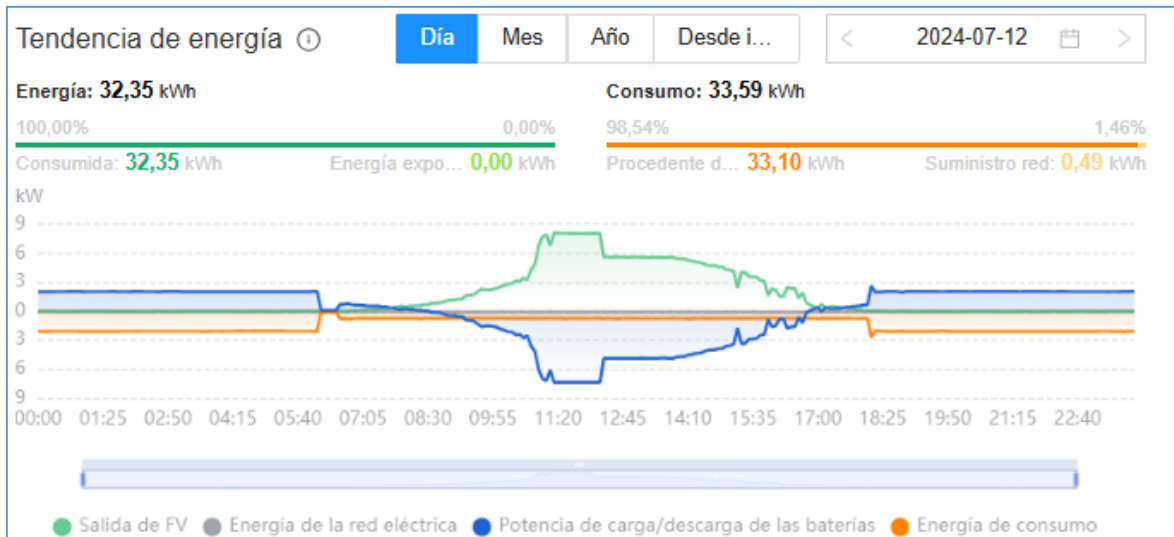
20 de mayo del 2024



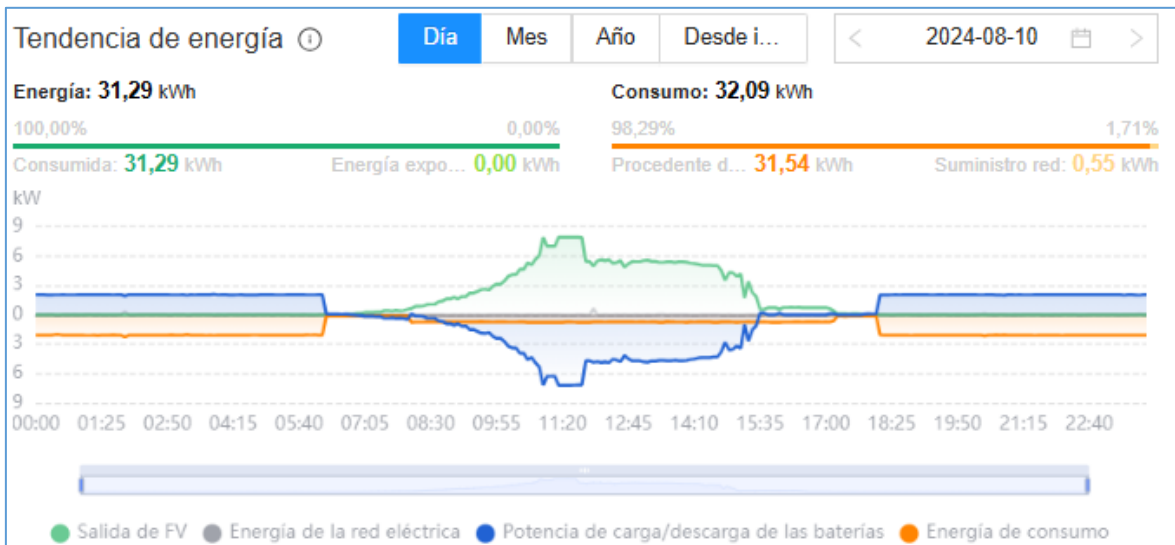
06 de junio del 2024



12 de julio del 2024



10 de agosto del 2024



Anexo I. Recibo de energía eléctrica hidrandina, setiembre 2023

Coishco / Santa / Ancash/

Para Consultas, su código es: [REDACTED]

Hacienda La Huaca N° Coishco Sector Alto Reservorio Aqua Etapa
20132023540

Hidrandina

RUC: 20132023540

Enviar Postal UU.NN. Chimbote - Dejar recibo en Mesa de partes de Siderperú

DATOS DEL SUMINISTRO DE CONSUMO		IMPORTES FACTURADOS	
Tensión y SED	220 V - BT / D-343283	Recibo por Consumo del	01/09/2023 al 29/09/2023
Sist. Eléctrico	SE3119 Santa (ST2)	Cargo Fijo	4.30
Tipo de Conexión	Monofásica-Aérea(C1.2)	Cargo por Reposición y Mantenimiento de la	1.35
Opción Tarifaria	BT5B - No Residencial	Energía Activa(S/ 0.7705 x 39.0000 Kwh)	30.05
Medidor N°	000000607564809 - Electrón.	Alumbrado Público (Alicuota : S/ 0.6157)	4.31
Hilos	2	Interés Compensatorio	1.29
Lectura Anterior	30,929.00 30/08/2023	Ajuste Tarifario	0.10
Lectura Actual	30,968.00 29/09/2023	SUB TOTAL	41.40
Diferencia de	39.00	Imp. Gral. e las Ventas	7.45
Factor	1.0000	Interés Moratorio	0.05
Consumo	39.00 kWh	Saldo por redondeo	-0.04
Cons. Prom.(6)	535.50 kWh	Redondeo	-0.02
Potencia	4.00 kW.	Aporte Ley Nro. 28749 0.0092	0.36
Inicio Contrato	07/04/2017	TOTAL RECIBO DE SETIEMBRE 2023	49.20
Término Contrato	06/04/2023	Deuda Anterior (1 Mes.)	536.40
Fecha Emisión	04/08/2022	Aporte FOSE(Ley N°27510) S/ 1.60	

GRUPO PALERMO S.R.L. RUC: 20314908717

Consumo Facturado (kWh) Importe Total (S/.)

Mes	Consumo Facturado (kWh)	Importe Total (S/.)
Set	~500	~450
Oct	~500	~450
Nov	~500	~450
Dic	~500	~450
Ene	~500	~450
Feb	~500	~450
Mar	~500	~450
Abr	~500	~450
May	~500	~450
Jun	~500	~450
Jul	~500	~450
Ago	~500	~450
Set	~500	~550