Universidad Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Eléctrica

Tesis

Sistema fotovoltaico para mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicada en la región Lima – 2023

Ricardo Enrique Inga Muñoz

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Electricista

Huancayo, 2025

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital

Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

A : Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : Ing. Joel Contreras Nuñez
Asesor de trabajo de investigación
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de trabajo de investigación
FECHA : 29 de abril de 2025

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para informar que, en mi condición de asesor del trabajo de investigación:

Título:
"Sistema Fotovoltaico para Mejorar la Eficiencia Energética en la Generación Eléctrica del Área de Filtración de una Planta Concentradora de 500 ton/día Ubicada en la Región Lima – 2023"

Autores:
1. Ricardo Enrique Inga Muñoz – EAP. Ingeniería Eléctrica

Se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI [ ] NO [X]
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI [X] NO [ ]
  Nº de palabras excluidas **(en caso de elegir "SI")**: 23
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI [ ] NO [X]

En consecuencia, se determina que el trabajo de investigación constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad Continental.

Recae toda responsabilidad del contenido del trabajo de investigación sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI y en la normativa de la Universidad Continental.

Atentamente,

La firma del asesor obra en el archivo original
(No se muestra en este documento por estar expuesto a publicación)

ASESOR

Ing. Joel Contreras Nuñez

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a mis docentes de la facultad quienes me enseñaron las diferentes materias de forma esmerada y me dieron sus recomendaciones dentro del campo de la aplicación.

Agradezco a mi asesor, Ing. Joel Contreras, por ser una guía en el proceso de elaboración de a presente tesis y sus enseñanzas.

DEDICATORIA

A mi madre y mi hermana Nancy, por estar siempre conmigo con su apoyo y concejo constante.

A mi familia que siempre están con su aliento para alcanzar los objetivos.

Tabla de contenido

ÍNDICE DE TABLAS ..... **VIII**
ÍNDICE DE FIGURAS ..... **X**
GLOSARIO ..... **XIII**
RESUMEN **1**
ABSTRAC **2**
INTRODUCCION **3**
CAPÍTULO I **4**
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO **4**

1.1 Planteamiento y formulación del problema *4*
1.1.1 Planteamiento del problema 4
1.1.2 Formulación del problema 4
1.1.2.1 Problema general 4
1.1.2.2 Problemas específicos 5

1.2 Objetivos *5*
1.2.1 Objetivo general 5
1.2.2 Objetivos específicos 5

1.3 Justificación e importancia *5*

1.4 Importancia de la investigación *7*

1.5 Limitaciones de la presente investigación *8*

1.6 Hipótesis *8*
1.6.1 Hipótesis general 8
1.6.2 Hipótesis específicos 8

1.7 Matriz de consistencia *9*

1.8 Operacionalización de variables *9*
CAPÍTULO II **11**
MARCO TEÓRICO **11**

2.1 Antecedentes *11*
2.1.1 Antecedentes nacionales 11
2.1.2 Antecedentes Internacionales 12

2.2 Bases teóricas *14*
2.2.1 Energía solar 14
2.2.1.1 Definición 14
2.2.1.2 Espectro solar 14
2.2.1.3 Tipos de energía solar 15
2.2.1.4 Radiación, Irradiación e irradiancia solar 16
2.2.1.5 Tipos de radiación 16
2.2.1.6 Geometría solar 17
2.2.1.7 Hora solar pico (HSP) 18
2.2.1.8 Movimientos de la Tierra 19
2.2.2 Sistema fotovoltaico 19
2.2.2.1 Términos en sistemas fotovoltaicos 20
2.2.2.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos 21
2.2.3 Componentes del sistema fotovoltaico 23
2.2.3.1 Célula solar 23

2.2.3.2 Panel solar 24
2.2.3.3 Baterías acumuladores 30
2.2.3.4 Inversores 31
2.2.4 Sistema eléctrico peruano 35
2.2.4.1 Matriz eléctrica 35
2.2.4.2 Mercado eléctrico peruano 37
2.2.4.3 Generación RER solar 39
2.2.4.4 Normas de referencia fotovoltaica 42
2.2.5 Eficiencia energética 42
2.2.5.1 Impacto ambiental 43
2.2.5.2 Costos económicos 44
2.2.5.3 Confiabilidad eléctrica 46
2.2.5.4 Procesamiento de minerales y filtración 48
2.3 Definición de términos básicos 52
CAPÍTULO III 54
METODOLOGÍA 54
3.1 Enfoque de investigación 54
3.2 Nivel de la investigación (Alcance de la investigación) 54
3.3 Tipo de investigación 55
3.4 Diseño de la investigación 55
3.5 Población y muestra 55
3.5.1 Población 55
3.5.2 Muestra 56
3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 56
3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos 56
CAPÍTULO IV 57
RESULTADO Y DISCUSION 57
ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO ELECTRICO 57
4.1 Sistema con conexión eléctrica al SEIN LT 33 KV 57
4.1.1 Descripción de la alternativa de conexión al SEIN 57
4.1.2 Ficha técnica 57
4.1.3 Sistema interconectado cercano a la zona 58
4.1.4 Diagrama unifilar 59
4.1.5 Ruta de línea desde el sistema interconectado 60
DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 60
4.2 Análisis de la situación actual del lugar de estudio 60
4.2.1 Ubicación de la planta 60
4.2.2 Suministro eléctrico actual 61
4.2.3 Carga eléctrica total para el procesamiento de minerales 62
4.2.4 Carga eléctrica área de filtración 65
4.2.5 Diagrama unifilar del sistema de filtración 66
4.3 Evaluación del recurso solar en la zona 66
4.3.1 Identificación y validación de la zona 66
4.3.2 Inclinación y orientación del panel fotovoltaico fijo 69
4.3.3 Estudio de la radiación solar en la zona planta 70

4.3.3.1 Irradiación a partir del Atlas solar del Perú 70
4.3.3.2 Irradiancia e irradiación según Powerdata de la NASA 71
4.3.3.3 Irradiación a partir del PVGIS-5.2 74
4.3.4 Cálculo de horas solar pico (HSP) 76

4.4 Cálculo y dimensionamiento del sistema FV 77
4.4.1 Dimensionamiento de paneles solares 77
4.4.1.1 Cálculo de la demanda de energía en el área de filtración 77
4.4.1.2 Opciones de paneles solares y selección 78
4.4.1.3 Rendimiento global de la instalación y la demanda de energía 78
4.4.1.4 Potencia del generador FV: 80
4.4.1.5 Cálculo del número de paneles 81
4.4.1.6 Calculo cantidad de paneles en serie y en paralelo 82
4.4.1.7 Cálculo de la tensión y corriente del sistema 83
4.4.1.8 Cálculo del área requerida por los paneles 84
4.4.2 Disposición de los paneles solares 85
4.4.2.1 Cálculo de distancia de sombra entre paneles 85
4.4.2.2 Dimensionamiento de la estructura soporte 87
4.4.3 Dimensionamiento del sistema de almacenamiento 88
4.4.3.1 Capacidad del sistema de baterías: 88
4.4.3.2 Selección de la batería opciones y características 89
4.4.3.3 Cálculo de cantidad de baterías y conexión 89
4.4.3.4 Dimensionamiento del sistema de gestión de baterías (BMS) 91
4.4.4 Dimensionamiento del inversor-cargador trifásico 93
4.4.4.1 Factores importantes para la selección del inversor hibrido 94
4.4.4.2 Opciones y selección de versores 95
4.4.5 Dimensionamiento de conductores 95
4.4.5.1 Cálculo de secciones de cableado sección continúa 95
4.4.5.2 Cálculo de secciones de cableado sección alterna 97
4.4.6 Dimensionamiento de protecciones eléctricas 98
4.4.6.1 Protecciones eléctricas en CC 98
4.4.6.2 Protecciones eléctricas en CA 106

4.5 Validación del sistema fotovoltaico 107
4.5.1 Configuración del sistema hibrido fotovoltaico-diésel 107
4.5.1.1 Esquema del sistema hibrido 108
4.5.1.2 Diagrama unifilar del sistema FV 108
4.5.1.3 Layout del sistema FV 109
4.5.1.4 Parámetros técnicos del sistema híbrido FV 109
4.5.1.5 Disposición del sistema 110
4.5.2 Validación del sistema fotovoltaico con Simulink Matlab 110
RESULTADOS 114

4.6 Resultados e interpretación 114
4.6.1 Análisis técnico 115
4.6.1.1 Análisis del comportamiento sistema híbrido 115
4.6.2 Indicadores ambientales 116
4.6.2.1 Cálculo de emisiones de dióxido de carbono (CO2) 116
4.6.2.2 Cálculo de emisiones de monóxido de carbono (CO) 116
4.6.2.3 Cálculo de emisiones de óxido de nitrógeno (NOx) 117
4.6.3 Indicadores de confiabilidad y calidad del SFV 119

4.6.3.1 Indicadores de confiabilidad y calidad con grupo electrógeno 119
4.6.3.2 Indicadores de confiabilidad y calidad con el sistema FV 121
4.6.4 Análisis económico de la inversión 121
4.6.4.1 Costos de inversión del sistema FV 121
4.6.4.2 Costos de operación en generación eléctrica 126
4.6.4.3 Producción de energía del sistema fotovoltaico 128
4.6.4.4 Análisis de la inversión 129
4.6.4.5 Análisis económico del retorno de inversión 130
4.7 Prueba de hipótesis 132
4.7.1 Prueba de hipótesis específica 1 132
4.7.2 Prueba de hipótesis específica 2 134
4.7.3 Prueba de hipótesis específica 3 136
CAPÍTULO VI: 139
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 139
5.1 Conclusiones 139
5.2 Recomendaciones 140
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS 141
ANEXOS 143
ANEXO I: TABLAS DE CÁLCULO 143
ANEXO II: PLANOS 145
ANEXO III: FICHAS TECNICAS 150
ANEXO IV: DATOS IRRADIACION PVGIS 155
ANEXO V: SISTEMA FOTOVOLTAICO 156

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Comparativa de energía FV y energía eólica* 7
Tabla 2. *Matriz de consistencia* 9
Tabla 3. *Descripción y operacionalización de variables* 10
Tabla 4. *Tipos de baterías* 31
Tabla 5. *Valores límites de calidad de suministro* 47
Tabla 6. *Desempeño esperado (Anexo 13 Res 590-2007- OS/CD)* 48
Tabla 7. *Procesos de concentración de minerales* 49
Tabla 8. *Especificaciones técnicas opción con conexión al SEIN* 58
Tabla 9. *Características de la línea transmisión 333* 58
Tabla 10. *Cargas de equipos de la planta de procesos – Parte 01* 62
Tabla 11. *Cargas eléctricas del área de filtración* 65
Tabla 12. *Coordenadas del área del terreno* 67
Tabla 13. *Irradiación horaria promedio de 5 años* 72
Tabla 14. *Irradiación promedio diario mensual promedio general* 73
Tabla 15. *Irradiación horario promedio mensual con ángulo 0°* 75
Tabla 16. *Irradiación mensual con ángulo 18°* 75
Tabla 17. *Irradiación mensual con ángulo 11°* 75
Tabla 18. *Cálculo HSP a partir de la irradiación de la zona* 76
Tabla 19. *Cuadro de cargas área de filtración* 77
Tabla 20. *Especificaciones de paneles solares* 78
Tabla 21. *HSP máximo, mínimo y media* 80
Tabla 22. *Cálculo de distancia de sombras* 86
Tabla 23. *Materiales empleados* 87
Tabla 24. *Opciones y especificaciones de baterías* 89
Tabla 25. *Dimensionamiento del sistema de almacenamiento* 90
Tabla 26. *Especificaciones de BMS* 92
Tabla 27. *Especificaciones de inversores* 95
Tabla 28. *Tabla de secciones calculadas CC* 97
Tabla 29. *Tabla de secciones calculadas CA* 98
Tabla 30. *Parámetros técnicos del sistema FV* 109
Tabla 31. *Participación de los generadores* 115

Tabla 32. *Emisiones con el generador diésel sin el sistema FV* 117
Tabla 33. *Emisiones con el generador diésel con el sistema FV* 118
Tabla 34. *Indicadores mensual mes Oct23de grupos electrógenos* 119
Tabla 35. *Resumen de paradas correspondiente al año 2023* 120
Tabla 36. *Costo de equipos principales del sistema fotovoltaico* 122
Tabla 37*. Costos de obras civiles para el SFV* 122
Tabla 38. *Costos de materiales eléctricos para montaje dl SFV* 123
Tabla 39*. Resumen de costo de inversión SFV* 125
Tabla 40*. Inversión en implementación del GE diesel* 126
Tabla 41*. Costos de operación de generación eléctrica* 127
Tabla 42. *Energía FV y radiación solar mensual del sistema fotovoltaico* 128
Tabla 43*. Indicadores principales del generador diésel sin SFV* 129
Tabla 44*. Indicadores principales del sistema hibrido* 129
Tabla 45*. Análisis económico del retorno de la inversión* 130
Tabla 46*. Comparación de emisión de gases contaminantes (en Kg) antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico* 132
Tabla 47. *Estadístico t de la prueba de comparación de medias de la emisión de gases contaminantes antes y después* 133
Tabla 48*. Comparación de Costo total (S/) antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico* 134
Tabla 49. *Estadístico t de la prueba de comparación de medias de los costos económicos antes y después* 135
Tabla 50*. Comparación de número de paradas antes y después de la implementación del sistema híbrido* 136
Tabla 51*. Estadístico t de la prueba de comparación de medias de las paradas mensuales antes y después* 138

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espectro solar 15
Figura 2. Panel solar térmico y fotovoltaico 15
Figura 3: Curva de la eficiencia luminosa espectral relativa de la visión fotópica 16
Figura 4. Radiación directa, difusa y reflejada 17
Figura 5: La situación del sol en un lugar cualquiera 18
Figura 6. Geometría solar para cálculo paneles solares 18
Figura 7. Movimientos de la tierra 19
Figura 8. Sistema fotovoltaico 20
Figura 9. Términos en sistemas fotovoltaicos 21
Figura 10. Esquema de una instalación fotovoltaica aislado 21
Figura 11. Esquema de una instalación fotovoltaica conectado a red 22
Figura 12. Esquema de una instalación hibrida 22
Figura 13. Partes de una célula fotovoltaica 24
Figura 14. Tipos de células fotovoltaicas 25
Figura 15. Composición básica de una modulo fotovoltaica 26
Figura 16. Producción de electricidad 27
Figura 17. Circuito equivalente de una célula FV 28
Figura 18: Curva característica de panel fotovoltaico 28
Figura 19. Conexión serie de un módulo fotovoltaico 29
Figura 20. Esquema de bloques de un inversor fotovoltaico 31
Figura 21. Clasificación de inversores según tipo de carga 32
Figura 22. Circuito básico inversor monofásico y las formas de onda 34
Figura 23. Esquema de un inversor trifásico 35
Figura 24. Generación eléctrica mundial 2019 por fuente de energía [TWh, %] 35
Figura 25. Producción de electricidad en América por fuente 36
Figura 26. Proyección de la generación eléctrica en el Perú 36
Figura 27. Mercado eléctrico 37
Figura 28. Demanda de energía por región-cuarto trimestre 2022 38
Figura 29. Producción de energía y máxima demanda a nivel generación del SEIN 38
Figura 30. Participación para la producción de electricidad a nivel nacional 2021 39
Figura 31. Ventas de energía por actividad económica (MW.h) 39

Figura 32. Producción mundial de electricidad con energía solar 40
Figura 33. Capacidad instalada de energía solar en MW 40
Figura 34. Generación de energía solar en el Perú 41
Figura 35. Flow Shet de la Planta de procesamiento 500 ton/día 50
Figura 36: Vista de área de filtración 51
Figura 37. Localización de la línea L-333 59
Figura 38. Diagrama unifilar de la zona alternativa de conexión 59
Figura 39. Ruta de línea 60
Figura 40: Localización de la planta de procesamiento 61
Figura 41. Casa fuerza de generación eléctrica 61
Figura 42. Casa fuerza de generación de energía eléctrica 62
Figura 43. Vista de equipos del área de filtración 65
Figura 44. Diagrama unifilar del sistema actual de generación para filtración 66
Figura 45: Ubicación geográficas de la planta 67
Figura 46. Ubicación de la zona 68
Figura 47: Emplazamiento instalación 68
Figura 48. Diagrama para determinar la inclinación del panel 69
Figura 49. Valores de ángulo óptimo obtenido en el PVGis 70
Figura 50. Energía solar incidente totales diario departamento de Lima 1975-1990 ... 71
Figura 51. Ubicación del estudio en la Ventana del Powerdata de la NASA 71
Figura 52: Irradiación promedio diario 72
Figura 53. Valores de irradiancia promedio mensual 73
Figura 54. Ingreso a la calculadora PVGIS para la obtención de datos de irradiancia 74
Figura 55. Arreglo fotovoltaico conexión serie paralelo. 83
Figura 56. Detalle de la conexión serie y paralelo 83
Figura 57. Esquema de instalación de paneles fotovoltaicos 85
Figura 58. Resultados del gráfico de trayectoria del sol 86
Figura 59. Esquema de la estructura 87
Figura 60. Bloque de conexión con fuente de alimentación interna 91
Figura 61. Diagrama de conexión del BMS 93
Figura 62. Esquema general del inversor 95
Figura 63. Esquema de conductores de CC 96
Figura 64. Esquema de conductores de CA 98

Figura 65. Diagrama protecciones de la instalación CC 99
Figura 66. Diagrama de protecciones contra cortocircuito de los string 100
Figura 67. Vista del sistema de protección contra cortocircuito en CC 101
Figura 68. Diagrama eléctrico de la posición del sistema de protección contra sobretensiones 102
Figura 69. Imagen del dispositivo descargador de sobretensiones 103
Figura 70. Diagrama eléctrico de la posición del sistema de protección contra 104
Figura 71. Diagrama de ubicación de los interruptores automáticos CC 105
Figura 72. Curva característica NDM3Z-125 106
Figura 73. Diagrama protecciones de la instalación CA 107
Figura 74. Esquema del sistema hibrido fotovoltaico GE 108
Figura 75. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico 108
Figura 76. Layout de la planta fotovoltaico 109
Figura 77. Modelo del sistema fotovoltaico en Matlab Simulink 111
Figura 78. Condiciones de prueba para irradiancia y temperatura 112
Figura 79. Graficas de corriente y potencia en función del voltaje para el módulo FV del sistema 113
Figura 80. Curva de voltaje de fase, corriente de línea y voltaje de línea 114
Figura 81. Pantalla de supervisión HMI de gestión de energías 115
Figura 82. Gráfico de la variación de emisiones contaminantes 119
Figura 83. Gráfico KPI de los grupos electrógenos correspondiente al mes Oct2023 120
Figura 84. Gráfico de paradas GE4 121
Figura 85. Distribución de costos de componentes 125
Figura 86. Costo de operación del GE4 año 2023 127
Figura 87. Producción de energía mensual del sistema FV fijo 128
Figura 88. Flujo de caja anual del sistema fotovoltaico 131
Figura 89. Zona de aceptación y rechazo para la emisión de gases contaminantes 133
Figura 90. Zona de aceptación y rechazo para los costos económicos 136
Figura 91. Zona de aceptación y rechazo para las paradas 138

GLOSARIO

VSI:	Voltaje Supply Inverter
CSI:	Current Supply Inverter
THD:	Distorsión armónica total
SRC:	Condensador resonante en serie
PPE:	Personal Protective equipment
BMS:	Battery Management System - Sistema de gestion de baterías
MBMS:	Multiple Battery Stacks BMS Controller
ESS:	Energy Storage Systems
PCS:	Power Conversion System
MPP:	Maximun Power Point - Punto de máxima potencia
MPPT:	Maximum Power Point Tracker - Seguidor de Punto de Máxima Potencia
PWM:	Pulse width modulation - Modulación de ancho de pulso
DPM:	Dynamic Peak Manager
SPWM:	Sinusoidal pulse width modulation
UPS:	Uninterruptable Power Supply - Sistemas de alimentación ininterrumpida
SPM VFD:	Series of Power Modules Variable frequency drive
USM 3IV:	Universal Module Sensor - Módulo sensor de tensión y corriente
IGBT:	Insulated-gate bipolar transistor - transistor bipolar de puerta aislada
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional.
DIN:	Norma Industrial Alemana
ANSI:	Instituto de estandarización Nacional americano.
IEEE:	Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
ISO:	International Standarization Organization
EIA:	Asociación De Industrias Electrónica
CNE:	Código Nacional de Electricidad
DC:	Corriente continúa
AC:	Corriente alterna
FV:	Fotovoltaico
SAIFI:	System Average Interruption Frecuency Index - Frecuencia Media de Interrupción por usuario en un periodo determinado.
SAIDI:	System Average Interruption Duration Index - Tiempo Promedio de Interrupción por usuario en un periodo determinado.
SPD:	Surge Protection Device - Dispositivo de protección contra sobretensiones
PDC:	Pararrayos con dispositivo de cebado (PDC)
String:	Circuito conformado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie

RESUMEN

La presente tesis tiene como objetivo diseñar un sistema fotovoltaico para el suministro de energía del área de filtración de la planta de procesamiento de minerales que tiene una capacidad de producción de 500 TM/día. La energía generada cubrirá la demanda eléctrica del área de filtración, dicha demanda es de 50KW

La metodología utilizada en la presente investigación es de tipo aplicativa, enfoque cuantitativo, el alcance de la investigación es descriptivo, explicativo y correlacional, el diseño es experimental.

El desarrollo de la ingeniería de detalle se propone el desarrollo del sistema de generación fotovoltaico, en base a radiación solar considerando los factores de diseño, para lo cual se ha realizado utilizando herramientas informáticas tanto para la modelación y simulación.

Los resultados esperados con el desarrollo de la presente tesis se lograrán contar con energía limpia para el área de filtración lo que permite reducir el uso de combustible en los generadores diésel. También se logró obtener la potencia requerida con la autonomía necesaria para el funcionamiento de los equipos de filtración de concentrados.

Palabras clave: Sistema fotovoltaico, Procesamiento de minerales, filtración de concentrados, sistema hibrido, irradiación, irradiancia, hora solar pico.

ABSTRAC

The objective of this thesis is to design a photovoltaic system to supply energy to the filtration area of the mineral processing plant, which has a production capacity of 500 MT/day. The energy generated will cover the electrical demand of the filtration area, said demand is 50KW

The methodology used in this research is of an application type, quantitative approach, the scope of the research is descriptive, explanatory and correlational, and the design is experimental.

The development of detailed engineering proposes the development of the photovoltaic generation system, based on solar radiation, considering the design factors, for which it has been carried out using computer tools for both modeling and simulation.

The expected results with the development of this thesis will be achieved by having clean energy for the filtration area, which allows reducing the use of fuel in diesel generators. It was also possible to obtain the required power with the necessary autonomy for the operation of the concentrate filtration equipment.

Keywords: Photovoltaic system, Mineral processing, concentrate filtration, hybrid system, irradiation, irradiance, peak solar hour.

INTRODUCCION

El sector minero metalúrgico tiene una serie de procesos para obtener el concentrado como producto final, para lograrlo utilizan múltiples equipos en el desarrollo de cada una de las actividades en los diferentes procesos. Para el funcionamiento los equipos utilizan motores eléctricos que requieren energía eléctrica.

La unidad minera en estudio no cuenta con el suministro eléctrico del sistema eléctrico nacional, razón por el cual se utiliza de forma intensiva grupos electrógenos diésel que generan altos costos para la empresa, altos niveles de contaminación al ambiente, así como interrupciones intempestivas del servicio eléctrico.

Por tal razón se plantea el presente estudio, que tiene por objetivo: mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración a través de un sistema fotovoltaico, mejorar la confiablidad en la generación eléctrica, disminuir el impacto ambiental y reducir los costos en la generación eléctrica.

El desarrollo de la tesis se ha considerado cuatro capítulos: en el primero se trata sobre el planteamiento del problema, en el segundo se aborda el marco teórico, en el tercer capítulo se trata la metodología y finalmente en el cuarto capítulo se trata sobre el desarrollo, los resultados y discusión.

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

La unidad minera en estudio se dedica a la explotación de minerales polimetálicos: plata, plomo y zinc, que tiene un volumen de producción de 500ton/día, en el área de filtración se realiza el secado de concentrados utilizando el equipo filtro prensa que a su vez requiere otros equipos como bombas de pulpa, espesadores, agitadores y compresor, cuyo funcionamiento requiere consumo intensivo de energía eléctrica.

A los minerales extraídos de mina sale con una determinada ley y se le da un valor económico en la planta de procesamiento de los minerales. El mineral de cabeza pasa por varios procesos para concentrar los minerales, en el cual en cada uno de los procesos se utilizan diferentes equipos con sus respectivos motores eléctricos y estos requieren de energía eléctrica. Es aquí donde surge la necesidad de contar con la energía eléctrica, en la unidad minera.

En el estudio no se cuenta con energía eléctrica de la red interconectada y para cubrir esta necesidad se utiliza generadores eléctricos que funcionan con motores de combustión diésel, lo cual genera costos elevados para la empresa, altos niveles de contaminación del medio ambiente y dificultades técnicas como interrupciones intempestivas. Ante esta necesidad nace la presente tesis cuyo objetivo es diseñar un sistema fotovoltaico que dote de energía eléctrica al área de filtración, que podría considerarse como una primera etapa del mejoramiento.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿De qué manera se puede mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?

1.1.2.2 Problemas específicos

- ¿De qué manera se puede disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?
- ¿De qué manera se puede disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?
- ¿De qué manera se puede mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

1.2.2 Objetivos específicos

- Disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.
- Disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.
- Mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

1.3 Justificación e importancia

Justificación técnica

Con el desarrollo de la presente tesis implica ver otro tipo de tecnológica para generar electricidad, desarrollar el sistema fotovoltaico que generan electricidad a partir de la radiación solar, con esto se pretende impulsar el uso de la energía solar, considerando que es

un recurso renovable inagotable que puede aplicarse en sectores privados y públicos. Usar la tecnología fotovoltaica implica reducir la generación de gases de efecto invernadero que afectan al medio ambiente.

Justificación práctica

La presente tesis tendrá una utilidad práctica porque existe la necesidad mejorar la eficiencia energética, económica y ambiental, ya que se pretende solucionar en parte el suministro de energía eléctrica en la planta concentradora de 500 ton/día, con esto que se tendrá energía eléctrica para el proceso de filtración, a un menor costo de producción y será ambientalmente saludable.

Justificación económica

Con el desarrollo del sistema fotovoltaico el beneficio se verá mejorado económicamente para la empresa, porque permite aminorar el costo de operación por consumo de combustible diésel necesario para el funcionamiento del grupo electrógeno, considerando que la tecnología solar usa el recurso solar como energía primaria, el cual se encuentra en el medio ambiente.

Justificación social

Con el desarrollo de la presente tesis se beneficiará el medio ambiente debido que se eliminará la contaminación de la actual planta de generación eléctrica.

Justificación de la solución planteada

Para mejorar la eficiencia energética se analizó las oportunidades de contar con energía eléctrica de otra fuente de energía y la opción de conectarse a la red del sistema eléctrico peruano. Antes de decidir por el sistema fotovoltaico se realizó un análisis a las opciones de recurso energético más viable en la zona, en el cual se consideró cuatro posibles opciones:

- Electrificar mediante el sistema interconectado SEIN, en el apartado 4.1 se detalla el análisis realizado.
- Uso de energía hidráulica; esta alternativa quedó descartado por que en la zona no se cuenta con ríos que puedan tener el caudal necesario para generar la potencia requerido.
- Uso de energía eólica; el viento también es una fuente inagotable y puede producir energía a cualquier hora del día. Sin embargo, el equipo eólico requiere más mantenimiento frente al equipo fotovoltaico.

- Uso de energía solar; como es de conocimiento la energía solar es una fuente inagotable por lo que este recurso se garantiza, desde el punto de vista de implementación los paneles solares son más versátiles para integrarlos.

La energía eólica y la energía solar tienen cada una sus propias características y tienen diferentes perspectivas de aplicación. La elección de la tecnología depende de factores como los requisitos de energía, los costos de instalación y el impacto ambiental. En la tabla 1 se muestra la comparativa de aplicación de energía FV y Eólica según estudio realizado (1).

Tabla 1. *Comparativa de energía FV y energía eólica*

Aspecto	Energía eólica	Energía solar
Costo	Moderado	De moderado a alto
Eficiencia de generación	30%	20%
Espacio requerido	Coexistente con tierras agrícolas	Requiere de ares según la capacidad
Mantenimiento	Mantto de las partes móviles, tedioso y costoso	No exige mucho mantenimiento

De las cuatro opciones mencionados la eólica y el solar son dos buenas opciones ya que tienen buenas ventajas para su aplicación.

Sin embargo, se consideró como mejor opción hacer uso de la energía solar fotovoltaica, por ser la más viable a la necesidad y posibilidad de inversión, teniendo en cuenta que los sistemas fotovoltaicos pueden ser integrados por etapas para lograr mayor capacidad.

1.4 Importancia de la investigación

La presente investigación es importante porque permite utilizar las tecnologías de la generación fotovoltaica que han evolucionado notablemente en estos últimos años e ideas están siendo más accesibles para diferentes aplicaciones.

Otra de la importancia es que va permitir el inicio de utilización de las energías renovables en la planta, ya que se tiene previsto ampliar la capacidad de generación en diferentes etapas futuras.

1.5 Limitaciones de la presente investigación

En cuanto a las limitaciones metodológicas, es el difícil acceso a los datos por fuentes nacionales de la radiación solar, puesto que esta información es determinante en el diseño que se desarrollará.

Los datos por fuentes nacionales como radiación están limitados a la información que puedan proporcionar algunas instituciones del estado; como es el SENAMHI o el IGP Instituto geofísico del Perú. De los cuales se pudo obtener solo datos en el atlas solar del Perú, desarrollado el año 2003 por SENAMHI en el cual muestra los datos históricos en mapas, en el apartado 4.3.3.1 se detalla los datos.

Sin embargo, se obtuvo datos a través de instituciones internacionales como es el DataPower de la NASA y el PVGIS.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023

1.6.2 Hipótesis específicos

- La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023
- La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023
- La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023

1.7 Matriz de consistencia

Tabla 2. *Matriz de consistencia*

	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS
GENERAL	¿De qué manera se puede mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?	Mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023	La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá mejorar la eficiencia energética en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023
ESPECIFICO 01	¿De qué manera se puede disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?	Disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023	La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023
ESPECIFICO O2	¿De qué manera se puede disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?	Disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023	La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023
ESPECIFICO O3	¿De qué manera se puede mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023?	Mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023	La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023

Fuente. Elaboración propia

1.8 Operacionalización de variables

Para el desarrollo de la presente tesis se ha considerado los aspectos significativos, como se puede observar en la tabla 03 la operacionalización de variables.

Tabla 3. *Descripción y operacionalización de variables*

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
SISTEMA FOTOVOLTAICO (V.I.)	Conjunto de componentes interconectados entre sí que tienen por finalidad generar electricidad aprovechando la energía solar	Equipos fotovoltaicos	Panel solar Baterías Inversor
		Energía solar	Radiación solar Cargas Cantidad de módulos Orientación Inclinación
		Suministro eléctrico FV	Potencia generada Potencia requerida Autonomía
EFICIENCIA ENERGETICA (V.D)	Es la optimización del consumo energético para alcanzar unos niveles determinados de confort y de servicio,	Impacto ambiental	Huella de carbono (Cantidad gases de EI) Monóxido de carbono (CO)
		Costos económicos	Inversión inicial Costos operativos
		Confiabilidad	SAIDI SAIFI

Fuente. Elaboración propia

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación, se describen diferentes investigaciones relaciones a sistemas fotovoltaicos dentro del ámbito nacional e internacional.

2.1.1 Antecedentes nacionales

En materia de este estudio se encontró antecedentes nacionales, se tiene la tesis "Microgeneración distribuida fotovoltaica para mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico en el alimentado A4401 de la subestación Chupaca-2021" (2), propone como meta principal Incrementar la fiabilidad del sistema de electricidad en el alimentador A4401 de la subestación Chupaca 2021. Empleó la investigación tecnológica o aplicada, que es la que se lleva a cabo con el objetivo de modificar la realidad y ajustarla a las demandas de la vida humana. Los hallazgos indicaron que, tras la puesta en marcha del sistema de microgeneración distribuida, se disminuyen las pérdidas de tensión en los usuarios próximos a los puntos de corte en las redes del alimentador A4401. Además, se observan mejoras en los indicadores SAIDI y SAIFI vinculados con la duración y la frecuencia de interrupciones.

La tesis nacional que tiene por título "Diseño De Un Generador Fotovoltaico Para Riego Agrícola En La Región Junín" (3), El propósito fue determinar y dimensionar un generador fotovoltaico basándose en la radiación solar y la necesidad de energía eléctrica de los elementos del sistema de riego agrícola en las zonas de la región Junín. En este trabajo, el tipo de investigación empleado es la investigación aplicada, ya que se procede a aplicar o usar los conocimientos obtenidos. Los cálculos realizados en el diseño de generador fotovoltaico para riego agrícola permitieron determinar el número total de módulos fotovoltaicos requeridos y su disposición en serie y paralelo, la capacidad del banco de baterías y, en consecuencia, la cantidad de baterías y su disposición en serie y paralelo.

En la tesis “Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Autónomo Para La Demanda Eléctrica Del Centro De Salud Magllanal, Jaén – Cajamarca“ (4)Este estudio presenta el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para la demanda eléctrica del Centro de Salud Magllanal, Jaén - Cajamarca. Para ello, se llevó a cabo una evaluación de la radiación solar en el área de estudio, basándose en la información recabada del software de la NASA. Se estableció que la potencia máxima instalada es de 21658 Watts y que el consumo medio diario de energía facturado equivale a 66,31 Kwh/día. Esta información se empleó para el cálculo de los elementos del sistema fotovoltaico, incluyendo 112 paneles de 340 Wp, 07 reguladores de carga de 100 A, 80 baterías de 12V CD y 250 Ah, y 03 inversores de 10 000 Watts. Esta tesis aportará a la protección del medio ambiente mediante el uso de energías limpias como la solar, además fomenta la puesta en marcha de sistemas fotovoltaicos en esta región del país.

2.1.2 Antecedentes Internacionales

La tesis internacional con título “Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para La Escuela De Educación Básica Simón Bolívar En La Comunidad Masa 2, Golfo De Guayaquil” (5). El propósito de esta tesis fue proporcionar energía eléctrica y promover la relevancia de proporcionar energías renovables en áreas donde no existen servicios básicos debido a la escasez de recursos asignados a estas áreas, debido a que por sus particularidades geográficas son de acceso complicado o muy distantes. El proyecto se llevó a cabo en la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar, situada en la comunidad de Masa 2 en la provincia del Guayas. Su principal inconveniente es la falta de electricidad para impartir clases a niños y niñas de etapa inicial. Al llevar a cabo este proyecto, proporcionaremos recursos que faciliten su aprendizaje con tecnologías como TICS y, con la iluminación de sus aulas, facilitaremos más horas de estudio. Este trabajo también detalla todo lo relacionado con la comunidad Masa 2, proporcionando información sobre su población, número de viviendas, actividades que realizan, religión, y la manera en que producen energía, con el objetivo de determinar las necesidades de la comuna. Se consiguió esta información mediante la investigación bibliográfica y de campo, con la finalidad de producir nuevos trabajos que contribuyan al progreso de la comunidad. Finalmente se presenta un sistema fotovoltaico funcional aislado con su diseño. A través del análisis de la carga y demanda requerida, se llevó a cabo el dimensionamiento del generador solar, acumulador y controlador de carga e inversor. Este proceso se llevó a cabo de manera analítica y simulada a través de software; se establecieron las horas de funcionamiento del sistema diariamente con un total de 5 horas. Además, se entregó una computadora proporcionada por la Universidad Politécnica Salesiana, la cual será útil para simplificar el proceso de estudio de sus alumnos.

La tesis de investigación internacional titulado “Diseño Y Cálculo De Una Instalación Fotovoltaica Aislada” (6). El propósito de este proyecto es el diseño y cálculo de una instalación de producción eléctrica fotovoltaica aislada, con el fin de proveer energía a las comunidades indígenas colombianas que residen en la selva amazónica. Esta instalación tiene como objetivo satisfacer algunas necesidades fundamentales de esta población y, simultáneamente, establecer un inicio para la evolución civilizatoria de estas tribus. El propósito principal de la producción eléctrica es poner en marcha un aparato de producción y suministro de agua. En la región amazónica de Colombia, hay una gran cantidad de agua natural, aunque no es adecuada para el uso directo. En esta región fluye el Amazonas y varios ríos menores como el Napo, el Putumayo o el Caquetá, sin embargo, el agua que llevan no es apta para consumo humano. Además de transportar una considerable cantidad de materia orgánica, el agua lleva en numerosos segmentos otras sustancias riesgosas para la salud humana, como metales pesados derivados de la minería en las proximidades de los ríos. Para depurar esta agua, sería necesaria una planta de depuración con numerosos procesos complicados que, además de necesitar una planta especializada muy costosa, necesitan ser gestionados y supervisados por personal capacitado, lo que no resulta una solución viable. Por esta razón, se utilizan otras fuentes naturales para la obtención de agua, tales como la lluvia, que es abundante en esta zona, y la alta humedad en el aire. No es directamente adecuada para el consumo el agua proveniente de la lluvia o la humedad, sin embargo, el procedimiento para adaptarla es simple y no necesita elementos complicados ni personal capacitado, además de poder llevarse a cabo en un espacio bastante limitado. Así pues, cuando sea viable, se recolectará agua pluvial y se empleará un aparato de compresión mecánica sencillo para condensar el agua de la humedad atmosférica en los días de sequedad.

La tesis internacional que lleva como título “Estudio E Implementación De Un Sistema Fotovoltaico Aplicado A Luminarias, Caso De Estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero” (7). El propósito de la tesis en cuestión fue el diseño y cálculo de una instalación de producción eléctrica fotovoltaica aislada para proveer energía a las comunidades indígenas colombianas que residen en la selva amazónica. Esta instalación tiene como objetivo satisfacer algunas necesidades fundamentales de esta población y, simultáneamente, establecer un inicio para la evolución civilizatoria de estas tribus. El propósito principal de la producción eléctrica es poner en marcha un aparato de producción y suministro de agua. En la región amazónica de Colombia, hay una gran cantidad de agua natural, aunque no es adecuada para el uso directo. En esta región fluyen el Amazonas y varios ríos menores como el Napo, el Putumayo o el Caquetá, aunque el agua que llevan no es apta para consumo humano. Además

de transportar una considerable cantidad de materia orgánica, el agua lleva en numerosos segmentos otras sustancias riesgosas para la salud humana, como metales pesados derivados de la minería en las proximidades de los ríos. Para depurar esta agua, sería necesaria una planta de depuración con numerosos procesos complicados que, además de necesitar una planta especializada muy costosa, necesitan ser gestionados y supervisados por personal capacitado, lo que no resulta una solución viable. Por esta razón, se utilizan otras fuentes naturales para la obtención de agua, tales como la lluvia, que es abundante en esta zona, y la alta humedad en el aire, muy alta. No es directamente adecuada para el consumo el agua proveniente de la lluvia o la humedad, sin embargo, el procedimiento para adaptarla es simple y no necesita elementos complicados ni personal capacitado, además de poder llevarse a cabo en un espacio bastante limitado. Así pues, cuando sea viable, se recolectará agua pluvial y se empleará un aparato de compresión mecánica sencillo para condensar el agua de la humedad atmosférica en los días de sequedad.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Energía solar

2.2.1.1 Definición

La energía solar es la producida por el Sol y que se desplaza mediante radiaciones hasta alcanzar la Tierra. Esta energía, liberada mediante radiación electromagnética, representa la fuente primordial de luz y calor en la Tierra.

2.2.1.2 Espectro solar

En su forma de onda, el espectro solar se compone de ondas electromagnéticas. El 99% de la radiación solar se encuentra entre 150 y 4000 nm de longitud. Ver figura 01.

Luz solar

La radiación visible, que se encuentra entre 400 y 700nm de longitud de onda, son luces visibles. Los demás, como la infrarroja o la ultravioleta, no son visibles para el ojo humano, pero eso no implica que carezcan de energía. Además, puedes notar que la energía de la onda (de los fotones) es superior en ondas de longitudes de onda reducidas. Si estamos conscientes de que la frecuencia de la onda es inversamente proporcional a su longitud, podríamos inferir que, a mayor frecuencia de la onda, se incrementa la energía. El tono de la luz es también una característica de la luz.

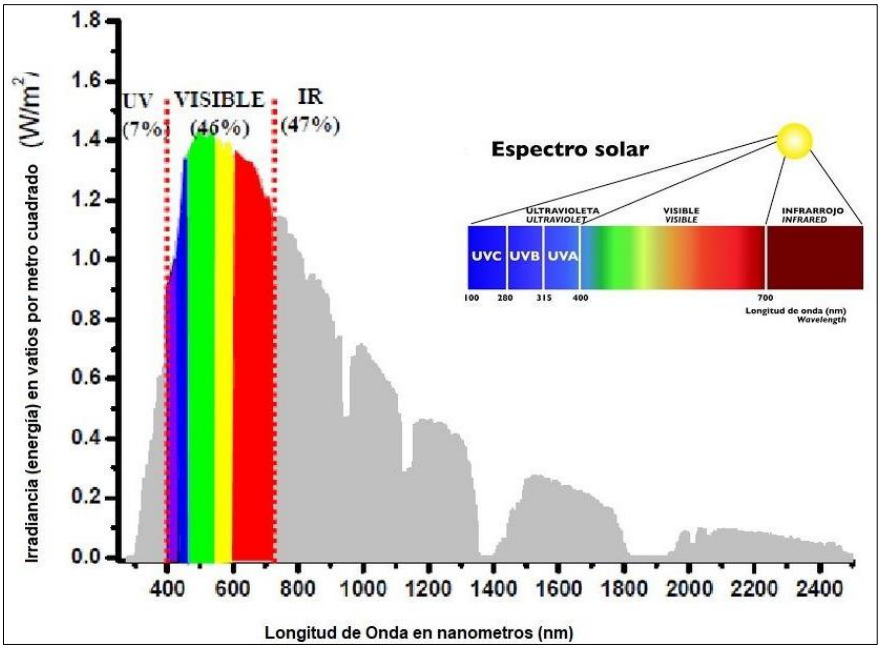


Figura 1. Espectro solar

2.2.1.3 Tipos de energía solar

Hay dos Tipos comunes de sistemas de energía solar: Sistemas térmicos y sistemas fotovoltaicos (FV).

Energía solar térmico, La energía térmica se refiere a la energía solar cuyo uso se consigue mediante el calentamiento de un medio. Los sistemas calientan agua para calefacción doméstica y uso recreativo (es decir, agua caliente, calefacción de piscinas, calefacción radiante y colectores de aire). También está aumentando el uso de sistemas solares térmicos para producir vapor para electricidad.

Energía solar fotovoltaica, Se denomina fotovoltaica a la energía solar utilizada a través de celdas fotoeléctricas, que tienen la habilidad de transformar la luz en un potencial eléctrico, evitando así un efecto térmico. Los sistemas fotovoltaicos convierten los rayos del sol visible en electricidad

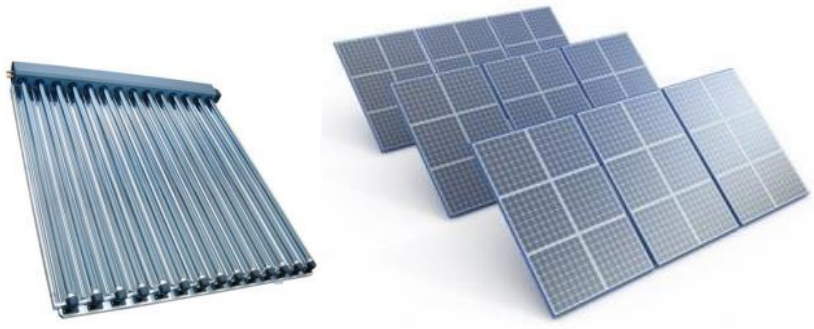


Figura 2. Panel solar térmico y fotovoltaico

2.2.1.4 Radiación, Irradiación e irradiancia solar

Radiación, Es la energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

Irradiancia, Se refiere a la magnitud que representa la radiación o la intensidad de la luz solar que nos alcanza, calculada como una potencia instantánea por unidad de superficie. En el Sistema Internacional (SI), sus unidades son W/m2.

Irradiación, Se refiere a la cantidad de irradiancia que se obtiene en un periodo de tiempo específico, o sea, la potencia que se obtiene por unidad de tiempo y por unidad de superficie. Normalmente se mide en Watts por metro cuadrado o, si se requiere un día, en Watts por metro cuadrado o unidades equivalentes.

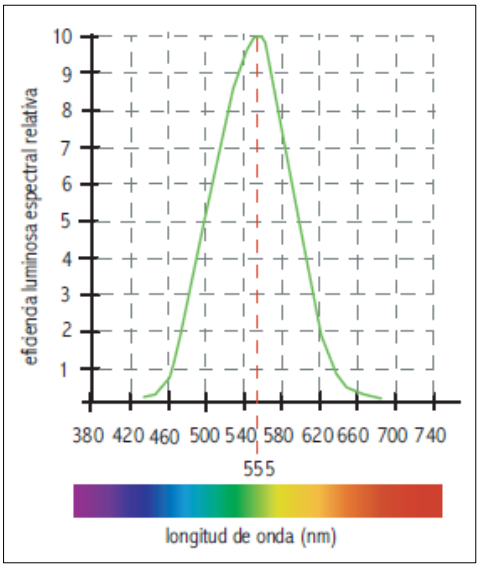


Figura 3: Curva de la eficiencia luminosa espectral relativa de la visión fotópica

2.2.1.5 Tipos de radiación

Se diferencia entre tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden los fotones sobre una superficie que se encuentra sobre la superficie de la tierra:

- **Radiación directa:** Transcurre la atmósfera y se dirige directamente desde el Sol a un lugar de la superficie.
- **Radiación divergente:** En su trayecto hacia la Tierra, se topa con nubes y se refleja, alterando así su rumbo.
- **Radiación reflejada de Albedo:** El suelo o cualquier otra superficie próxima recibe la radiación que luego incide en otra superficie.

- **Radiación global:** se refiere al conjunto total de radiaciones que una superficie absorbe.

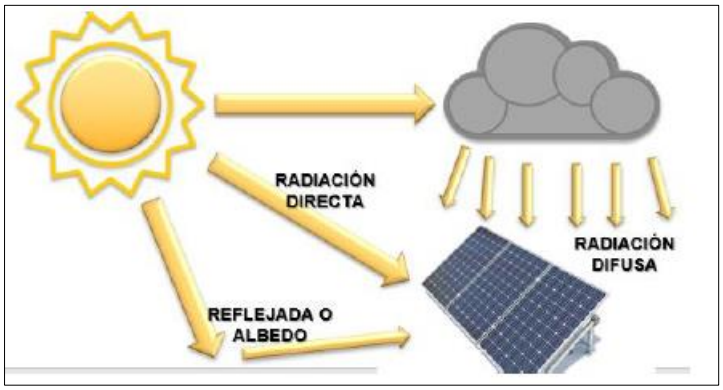


Figura 4. Radiación directa, difusa y reflejada

2.2.1.6 Geometría solar

Para calcular la producción de energía de una instalación fotovoltaica, es esencial entender la irradiación solar en el plano donde se ubica la instalación y la trayectoria solar en ese lugar durante las distintas temporadas del año. La posición del sol en cualquier sitio se define por su altura y azimut.

Ángulos solares

Los ángulos solares se pueden observar en la figura 5.

Altura solar (γ_s): Es el ángulo que el rayo solar crea con la superficie horizontal.

Angulo azimutal del sol (ψ_s): Es el ángulo de rotación del Sol en el plano horizontal, a través de su proyección sobre el plano.

Angulo cenital (θ_z): Es la distancia angular desde el cenit a una línea dirigida al sol.

Cenit: Posición del sol en el medio día solar.

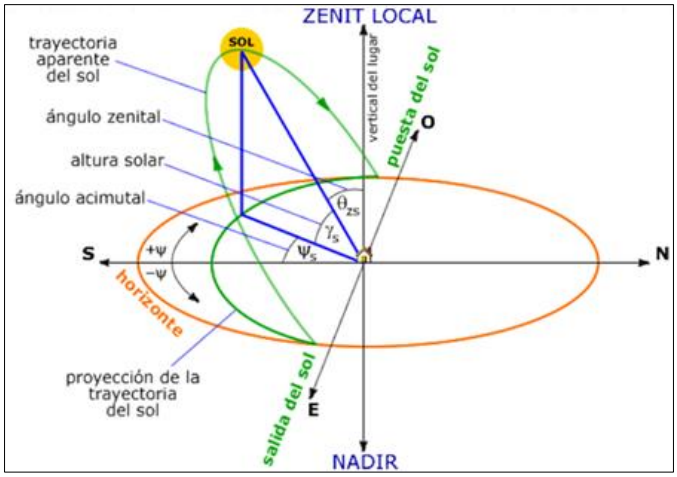


Figura 5: La situación del sol en un lugar cualquiera
Fuente. Sunfields

Ángulos solares respecto al panel solar inclinado

Ángulo de inclinación del panel: Es el ángulo vertical entre la superficie horizontal y la del conjunto

Ángulo de azimut del panel: Es la orientación de los paneles con respecto a la línea ecuatorial y se mide en sentido de las agujas del reloj desde el norte.

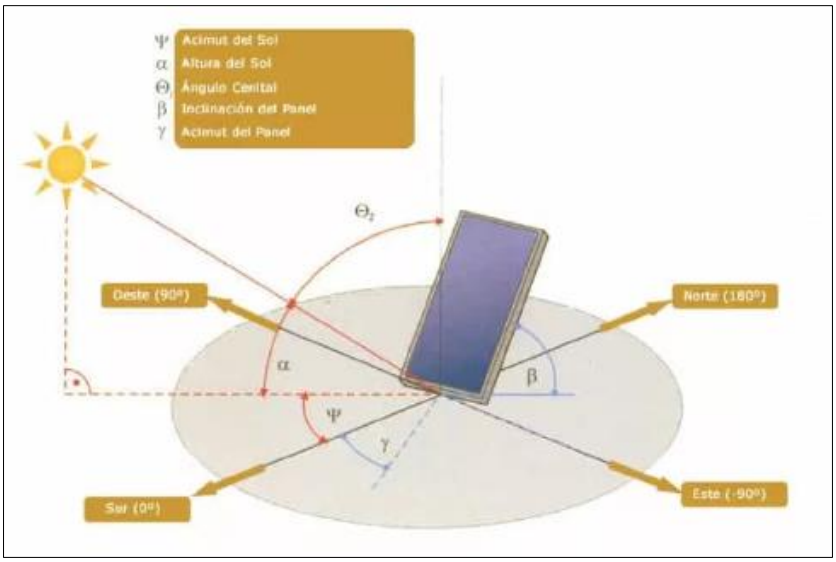


Figura 6. Geometría solar para cálculo paneles solares

2.2.1.7 Hora solar pico (HSP)

Nos referimos a la (HSP) como la cantidad de energía solar que absorbe un metro cuadrado de superficie. Esta energía varía en función de la ubicación (a mayor proximidad al ecuador, mayor será) y del periodo del año.

2.2.1.8 Movimientos de la Tierra

a) **Traslación:** Proceso mediante el cual la Tierra se desplaza alrededor del Sol. Prolonga 365 días. El movimiento de desplazamiento causa que la Tierra se distancie o se aproxime al sol, facilitando las estaciones anuales. Este tipo de procedimientos se denomina equinoccio y solsticios.

- **Solsticio de verano:** Está en máxima declinación solar (+23,5º) y ocurre alrededor del 21 de junio. El Sol está en el cenit al mediodía solar en ubicaciones a 23,5º de latitud N.
- **Solsticio de invierno:** Está en mínima declinación solar (-23,5º) y ocurre alrededor del 21 de diciembre.
- **Equinoccio de primavera:** Los equinoccios ocurren la declinación es cero. El equinoccio de primavera ocurre alrededor del 21 de marzo
- **Equinoccio de otoño**: ocurre alrededor del 21 de septiembre: el sol está en el cenit al mediodía solar en el ecuador.

b) Rotación: La Tierra efectúa un movimiento rotatorio sobre sí misma, alrededor de un eje que atraviesa los Polos Norte y Sur. Periodo de 24h..

c) Precesión: Este movimiento se debe a que la Tierra no es perfectamente esférica (si lo fuese solo realizaría los movimientos de traslación y de rotación).

d) Nutación: Se debe al achatamiento por los polos y a la atracción de la Luna sobre el eje ecuatorial. Se produce durante el movimiento de precesión y consiste en un pequeño vaivén.

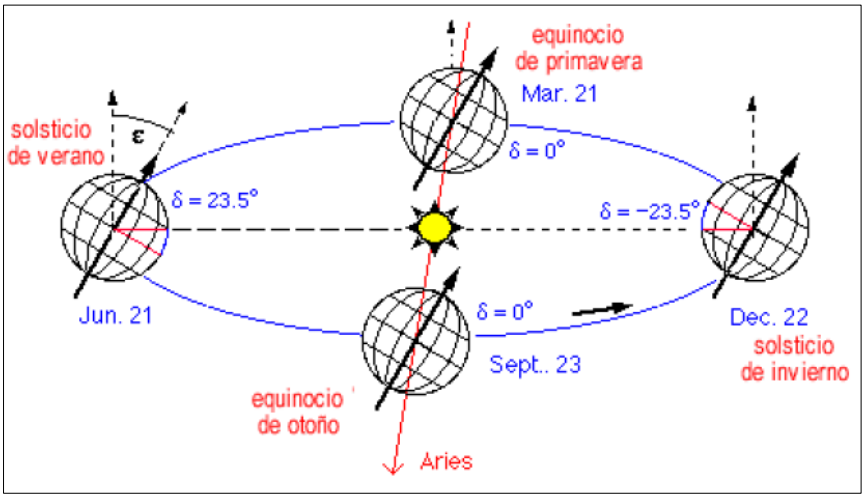


Figura 7. Movimientos de la tierra

2.2.2 Sistema fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico se refiere al grupo de aparatos eléctricos y electrónicos que generan energía eléctrica mediante la radiación solar. El elemento clave de este sistema es el módulo

fotovoltaico, que se compone de células con la habilidad de convertir la energía luminosa que entra en el sistema en energía eléctrica.

El sistema fotovoltaico es la variable independiente en el planteamiento de la presente tesis, el sistema se está considerando en tres dimensiones las cuales son: la energía solar, los componentes del sistema fotovoltaico y el suministro eléctrico.

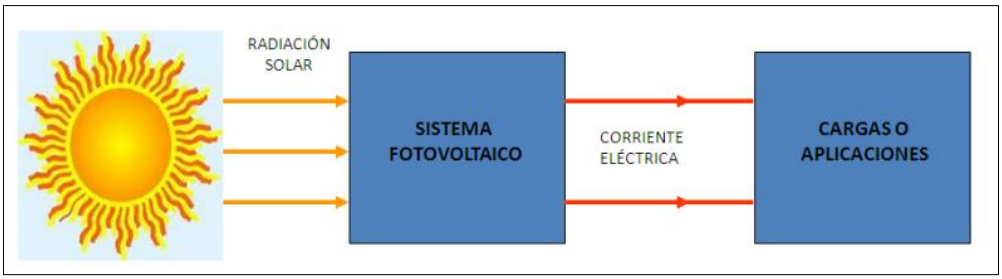


Figura 8. Sistema fotovoltaico

2.2.2.1 Términos en sistemas fotovoltaicos

Célula fotovoltaica

Aparato electrónico que transforma la energía solar que llega a la Tierra en forma de luz (fotones) en energía eléctrica (electrones).

Modulo o panel fotovoltaico

Están compuestos por células fotovoltaicas individuales unidas entre sí, que transforman la luz solar en energía eléctrica de corriente continua (DC) durante las horas diurnas.

Cadena (String)

Es la agrupación de paneles o módulos en serie que transmiten electricidad eficientemente.

Arreglo (Array)

Conjunto en paralelo de los string que incrementa la capacidad de generación de energía.

Generador fotovoltaico

Conjunto de arreglos ensamblados en una estructura y que son interconectados eléctricamente para generar alta capacidad de energía eléctrica.

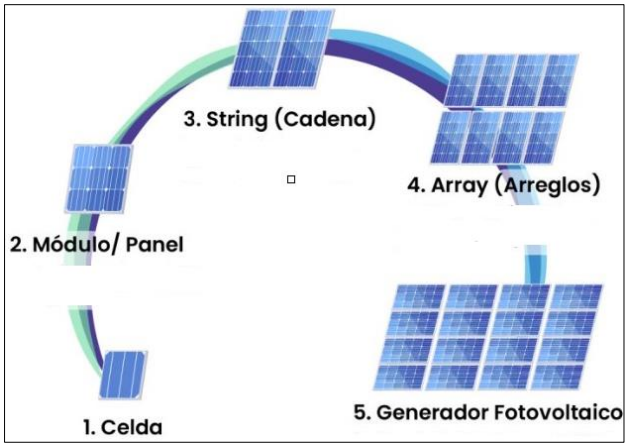


Figura 9. Términos en sistemas fotovoltaicos

2.2.2.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos

2.2.2.2.1 Sistemas fotovoltaicos aislados (Off grid)

Los sistemas eléctricos aislados son aquellos que no están enlazados a la distribuidora, es decir, están separados de los sistemas eléctricos de potencia convencionales. Estos sistemas son generalmente implementados en áreas en las que resulta poco factible la colocación de una red de distribución, o en aquellos lugares donde el acceso por vía terrestre es nulo, debido a que la red eléctrica convencional se implementa en torres asentadas en la tierra o por vía subterránea.

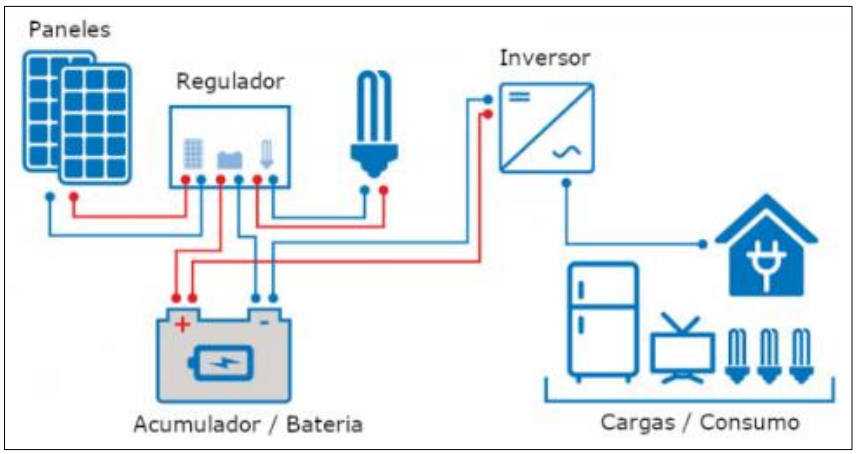


Figura 10. Esquema de una instalación fotovoltaica aislado

2.2.2.2.2 Sistemas fotovoltaicos conectado a red (On grid)

Una instalación solar aislado es un sistema fotovoltaico que produce energía eléctrica de forma autónoma, sin estar conectado a la red de electricidad. Las instalaciones aisladas resultan perfectas para zonas alejadas o sin conexión a la red (8).

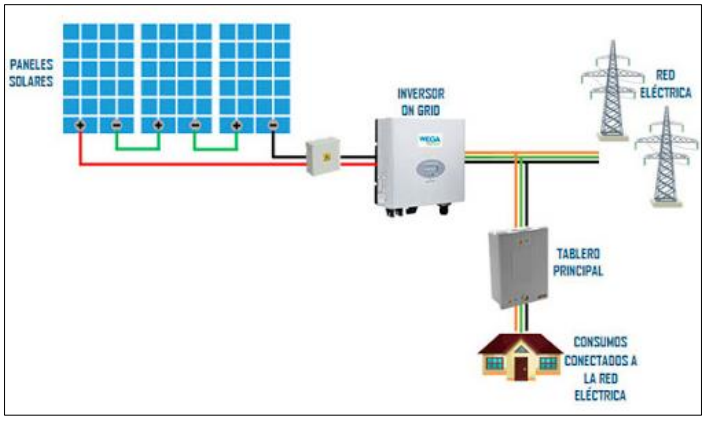


Figura 11. Esquema de una instalación fotovoltaica conectado a red

2.2.2.2.3 Sistemas fotovoltaicos híbridos (Hybrid)

Un sistema hibrido es la unión de dos o más (9) tecnologías formando un sistema

Un sistema híbrido de energía solar PV opera transmitiendo energía solar al inversor. El inversor suministra energía eléctrica ya transformado a su hogar. La energía extra que su hogar no usa se destina a la batería del hogar para su almacenamiento y se puede usar cuando los paneles solares no están produciendo energía. Incluso después de todo eso, si queda energía sobrante, se envía a la red.

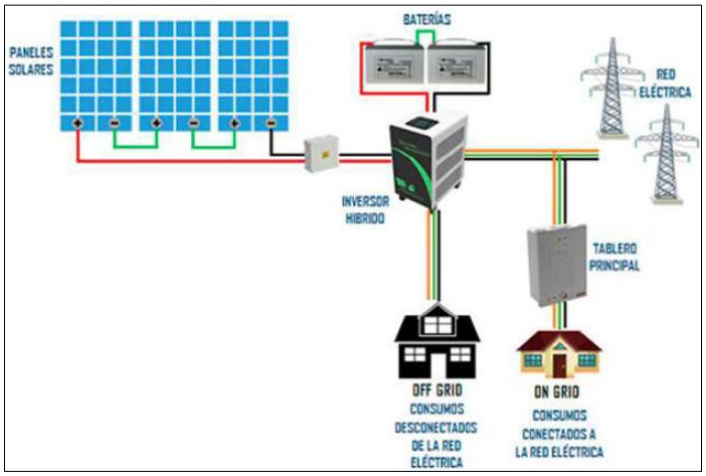


Figura 12. Esquema de una instalación hibrida
Fuente. Heliosfera

2.2.2.2.4 Sistema fotovoltaico distribuido

La IEEE define la GD como un método de producción eléctrica a través de dispositivos de menor tamaño que los de producción tradicional, que pueden ser conectados en prácticamente cualquier punto de la red de potencia, constituyendo esencialmente recursos distribuidos.

Velasquez (10) La Generación distribuida (GD) se refiere a la producción o almacenaje de energía eléctrica a pequeña escala, situada más próxima al centro de carga, con la posibilidad de interactuar (adquirir o vender) con la red eléctrica y, en ciertas situaciones, teniendo en cuenta la eficiencia energética máxima.

De acuerdo con la ley 28832 2006, la GD se define como una Instalación de Generación con capacidad no superior a la especificada en la normativa, vinculada directamente a las redes de un concesionario de distribución eléctrica.

2.2.3 Componentes del sistema fotovoltaico

Los componentes de un sistema fotovoltaico dependen de la finalidad con lo cual se haya diseñado, sin embargo, los componentes principales comunes son el módulo y el inversor.

Los elementos de una instalación son; panel solar, inversor, regulador de carga, baterías y elementos auxiliares

2.2.3.1 Célula solar

2.2.3.1.1 Definición de célula solar

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos formados por metales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los rayos de luz inciden sobre ellos, generando energía eléctrica.

Están compuestos por celdas fabricadas con silicio puro añadiendo impurezas de determinados elementos químicos. Cada una tiene la capacidad de producir 2 a 4 Amperios, con un voltaje de 0.46 a 0.48 Voltios.

2.2.3.1.2 Partes de una célula solar

Las componentes clave de la célula solar son las capas de semiconductores, donde se origina la corriente de electrones, tal como se muestra en la figura 13.

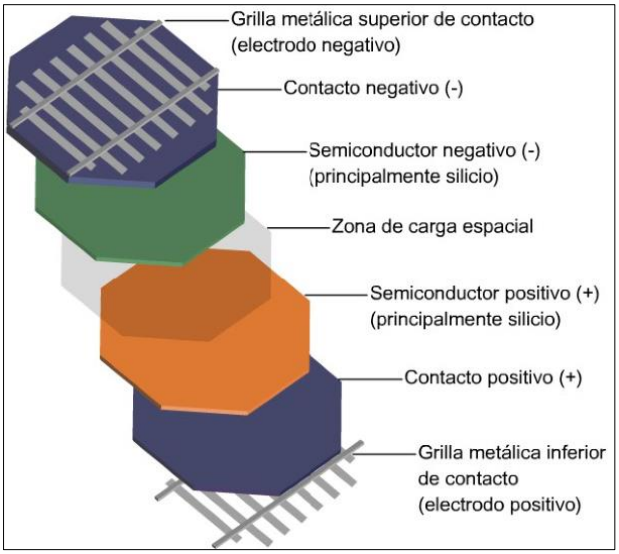


Figura 13. Partes de una célula fotovoltaica

2.2.3.2 Panel solar

Es el elemento más importante en un sistema fotovoltaico, puesto que es el responsable de realizar la transformación energética para obtener electricidad a partir de la irradiancia solar.

Los módulos tienen diferentes potencias que dependen de la cantidad de células, para un módulo de 60 células tiene potencias de entre 250-300 W y los módulos de 72 células tiene rango de potencia de entre 300-350 W.

2.2.3.2.1 Tipos de paneles solares

a) Celda solar de silicio

- **Silicio monocristalino**

  Las celdas solares, que utilizan silicio monocristalino, son costosas, pero tienen una alta eficiencia de 15-19% de conversión y fiabilidad, poseen una estructura regular.

- **Silicio policristalino**

  Las celdas de silicio policristalino son las más utilizadas porque el silicio policristalino es más económico que el monocristalino, tienen una buena eficiencia de 13-17% y su estructura es regular por zonas

- **Silicio amorfo**

  Dado que el silicio amorfo es un silicio no cristalino, las celdas solares que utilizan silicio amorfo son más baratas que las que utilizan silicio policristalino, pero tienen una baja eficiencia de 5-8% de conversión de energía, y estructura irregular.

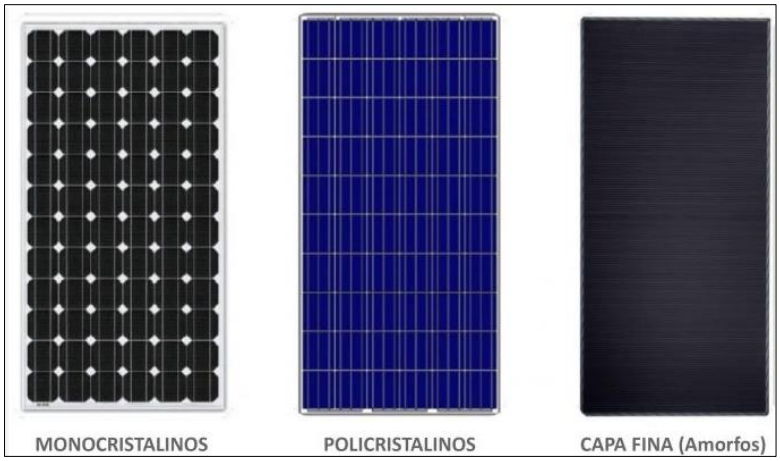


Figura 14. Tipos de células fotovoltaicas

- **Celdas multiunión**

Varios tipos de celdas solares, como el silicio amorfo y el silicio policristalino de capa fina, se laminan para formar una estructura en tándem. Este tipo de celda solar tiene una alta eficiencia de conversión de energía.

b) Celda solar de semiconductor compuesto

- **Seleniuro de cobre e indio (CIS)**

Las celdas solares CIS están hechas de cobre, indio y seleniuro. Este tipo de celda solar se puede fabricar a bajo costo, y tiene una eficiencia de conversión de energía relativamente alta.

- **Seleniuro de cobre, indio y galio (CIGS)**

Las celdas solares CIGS utilizan cuatro elementos, el galio añadido con los tres elementos utilizados para el CIS. Este tipo de celda solar tiene una eficiencia de conversión de energía ligeramente superior a la de las celdas solares CIS.

- **Teluro de cadmio (CdTe)**

Las celdas solares de CdTe se fabrican con cadmio y telurio. Este tipo se utiliza principalmente en Europa.

- **Arseniuro de galio (GaAs)**

Las celdas solares de GaAs están hechas de galio y arseniuro. Este tipo de celda solar tiene una alta eficiencia de conversión de energía, pero es cara. Se utiliza en satélites y en aplicaciones similares.

2.2.3.2.2 Composición típica del módulo solar

Los módulos solares están compuestos por células FV distribuidas en serie y paralelo, la cantidad de células es variable según la capacidad de los módulos, sin embargo, en las células comerciales oscila entre 60, 72 células. La composición del módulo está conformada por, el bastidor, cristal, encapsulante frontal, célula solar fotovoltaica, encapsulante trasero, recubrimiento posterior, y la caja de conexiones, como se puede ver en la figura 15.

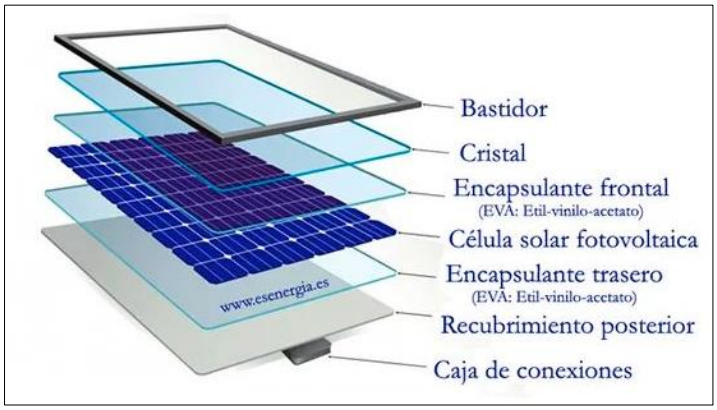


Figura 15. Composición básica de una modulo fotovoltaica

2.2.3.2.3 Principio de funcionamiento

Las celdas solares de silicio, que se utilizan comúnmente, tienen una unión interna de dos tipos de semiconductores, el tipo p y el tipo n, cada uno de los cuales tiene propiedades eléctricas diferentes.

El efecto fotovoltaico

El físico francés Becquerel reconoció por vez primera el efecto fotovoltaico en 1839, sin embargo, la primera célula solar no se fabrica hasta 1883. No fue hasta 1954 cuando los laboratorios Bell descubrieron de forma inesperada que los semiconductores de silicio dopado con algunas impurezas, tenían una alta sensibilidad a la luz.

Cuando un panel solar se expone a la luz solar, se generan electrones (negativos) y huecos (positivos). Los huecos son atraídos por el semiconductor de tipo p, mientras que los electrones son atraídos por el semiconductor de tipo n. Por ejemplo, cuando se conecta una carga, como una bombilla, a los electrodos de la parte delantera y trasera, la corriente eléctrica pasa a través de la unión como se muestra en la siguiente figura 16.

El efecto fotovoltaico constituye la base del procedimiento por el cual una célula FV transforma la luz solar en energía eléctrica. La luz del sol se compone de fotones. Estos fotones poseen energías variadas, que se corresponden con las distintas longitudes de onda del espectro solar. Cuando los fotones impactan a una célula FV, tienen la capacidad de ser reflejados o absorbidos, o pueden atravesarla. Solo los fotones absorbidos producen energía eléctrica. Cuando se absorbe un fotón, la energía de este se traslada a un electrón de un átomo de la célula. Con esta energía reciente, el electrón tiene la capacidad de huir de su posición habitual vinculada a un átomo para formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

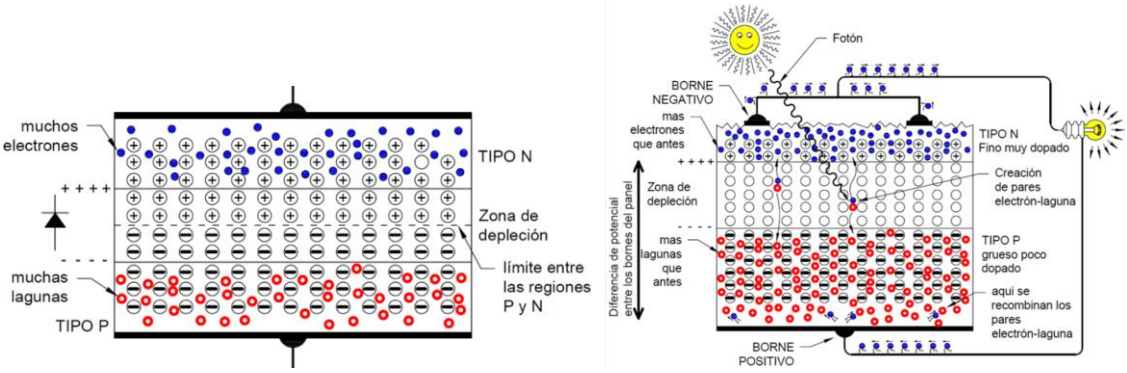


Figura 16. Producción de electricidad

El efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico se refiere a la emisión de electrones de los átomos de un metal al ser iluminado por una luz, liberándolos de su átomo., la energía del fotón solar es el responsable de la liberación.

2.2.3.2.4 Curva característica y parámetros del panel fotovoltaico

Circuito equivalente del módulo FV

La construcción de módulos fotovoltaicos es realizada mediante combinaciones serie y paralelo de células solares. Una célula solar ideal es representada como se muestra en la figura 17, en donde se discrimina la resistencia serie debido al semiconductor y la resistencia paralela la cual se debe a las imperfecciones en la calidad de la unión pn del diodo.

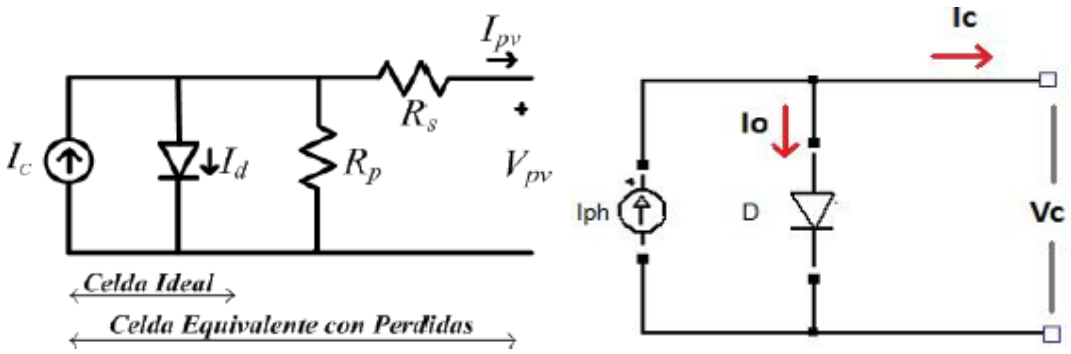


Figura 17. Circuito equivalente de una célula FV

Curva característica

La figura 18 ilustra las curvas características de un panel solar fotovoltaico. En la curva de potencia se puede apreciar que existe un punto máximo conocido como punto máximo de potencia (Pmax), al que se le asocian valores de corriente en el punto de máxima potencia, Im y de voltaje en el punto de máxima potencia, Vm. Este aspecto es singular para cada celda solar y fluctúa según varía la irradiancia solar. Para calcular el factor de llenado, FF, se utilizan los parámetros obtenidos de estas curvas, que es una medida de la cuadratura de la curva I-V (9).

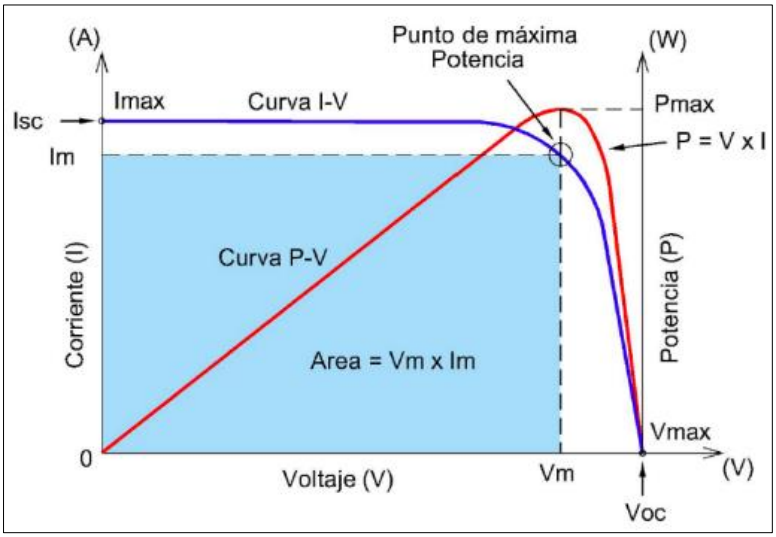


Figura 18: Curva característica de panel fotovoltaico

Parámetr0os del panel fotovoltaico

a) Corriente de corto circuito (Isc)

Es el valor de la corriente medida entre bornes con un amperímetro y sin ninguna resistencia adicional. Máximo valor de corriente que puede circular por la célula solar. Se da cuando sus terminales están cortocircuitados.

b) Tensión de circuito abierto (Voc)

Es el valor del voltaje medida entre los contactos del panel, para lo cual se emplea un voltímetro que teóricamente tiene una resistencia ilimitada entre los contactos. La tensión máxima alcanzada en los extremos de la célula solar, que ocurre cuando no está conectada a ninguna carga. Es una propiedad del material utilizado para construir la célula.

c) Intensidad de corriente máxima (Im o Imax)

Es la corriente producida cuando la potencia es máxima.

d) Tensión en el punto máximo de potencia (Vm)

El voltaje que corresponde al punto de máxima potencia, constituye cerca del 80% del voltaje en un circuito abierto.

e) Potencia máxima (Pmax)

Es el producto máximo que se obtiene de voltaje y corriente, el punto (Vm, Im).

2.2.3.2.5 Parámetros eléctricos de un modulo

2.2.3.2.6 Potencia, tensión y corriente del panel solar

La potencia que brinda una célula de tamaño estándar (por ejemplo, 10 3 10 cm) es bastante reducida (cerca de 1 o 2 W), por lo que usualmente será imprescindible vincular varias de estas para suministrar la energía requerida al sistema fotovoltaico de la instalación. Este es el origen del concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos componentes y propiedades acabamos de examinar. Según la conexión eléctrica que hagamos de las células, nos podemos encontrar con diferentes posibilidades:

- **La conexión serie** de las células facilitará el incremento de la tensión final en los extremos de la célula correspondiente.
- **La conexión paralela** facilitará el incremento de la potencia total del conjunto.

Figura 19. Conexión serie de un módulo fotovoltaico

2.2.3.3 Baterías acumuladores

La llegada de energía solar a los módulos fotovoltaicos no ocurre de forma homogénea, sino que muestra fluctuaciones debido a diversas razones. Algunas de estas variaciones son previsibles, como la amplitud de la noche o las estaciones del año, sin embargo, hay numerosas causas que pueden generar cambios aleatorios en la energía recibida, como podría suceder con un incremento de la nubosidad en un momento específico.

Este hecho requiere el uso de un sistema de almacenamiento de energía para los instantes en que la radiación emitida sobre el generador fotovoltaico no sea suficiente para que la instalación opere en los valores previstos. Para este propósito, se emplearán baterías o acumuladores.

2.2.3.3.1 Características de las baterías

Capacidad: Es la cantidad de electricidad, medida en amperios-hora (Ah). La capacidad nominal C_N es un valor de referencia, fijado por el fabricante donde N es las horas de descarga.

Energía de la batería: Está determinado por el producto de la capacidad de la batería por la tensión entre bornes de la misma.

Ciclo de carga y descarga: Es el proceso de cargar una batería al 100% y luego descargarla por completo.

Profundidad de descarga: Porcentaje total de la capacidad de la batería que se utiliza durante un ciclo de carga y descarga.

2.2.3.3.2 Tipos de baterías

Clasificación según su reacción electroquímica

Batería primaria: su reacción electroquímica es irreversible, lo que significa que una vez descargada la batería no puede ser recargada.

Batería secundaria: su reacción electroquímica es reversible, lo que significa que, tras la descarga de la batería, puede ser recargada inyectándole corriente continua proveniente de un origen externo. Su rendimiento en un ciclo de carga y descarga se encuentra entre el 70% y 80%.

Clasificación según su tecnología

Las baterías se categorizan según la tecnología de producción y los electrolitos que se emplean. En la Tabla 4, se pueden contrastar los tipos de baterías más destacados en el mercado, basándonos en sus características fundamentales.

Tabla 4. *Tipos de baterías*

Tipo de batería	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Autodescarga por mes	N.º de ciclos	Capacidad (por tamaño)	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 horas	< 5 %	Medio	3050 Wh/kg	Bajo
Ni-Cd (níquel-cadmio)	1,2	1 hora	20%	Elevado	5080 Wh/kg	Medio
Ni-Mh (níquel-*metal hydride*)	1,2	2-4 horas	20%	Medio	60120 Wh/kg	Medio
Li ion (ión litio)	3,6	2-4 horas	6%	Medio bajo	110160 Wh/kg	Alto

2.2.3.4 Inversores

2.2.3.4.1 Definición de inversor

Un inversor de potencia es un dispositivo eléctrico que transforma la corriente continua en la corriente alterna, facilitándonos la regulación del valor de la tensión de entrada, la tensión de salida y la frecuencia. El surgimiento de los inversores ocurre cuando George Westinghouse y Nikola Tesla introducen la corriente alterna como un método innovador, superior y más eficaz para el transporte de energía eléctrica. Esto se debe a que las pérdidas se reducían significativamente y, por ende, el costo de la electricidad se disminuía. Es en ese momento cuando surge la necesidad.

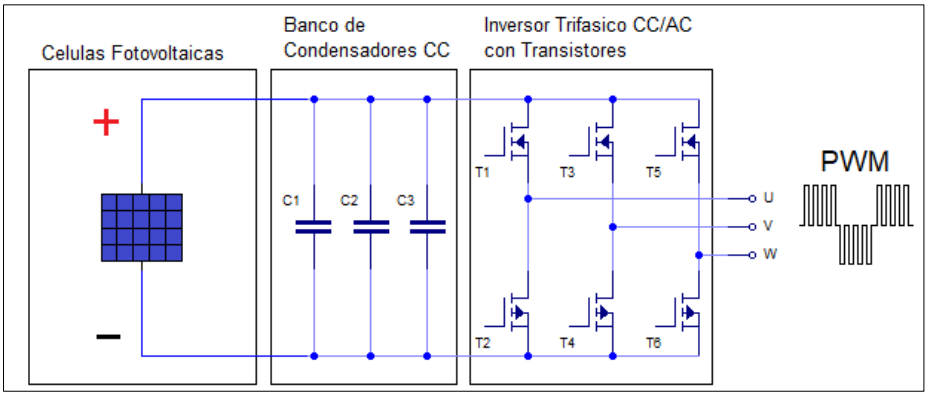


Figura 20. Esquema de bloques de un inversor fotovoltaico

2.2.3.4.2 Tipos de inversores solares

Los inversores para placas solares pueden categorizarse basándose en tres factores: la clase de corriente generada, su habilidad para impulsar sistemas de superación y la tecnología empleada. Se solicitará en función del tipo de instalación existente.

a) Inversores según el tipo de carga: En la figura 21 se detalla la clasificación.

Inversores monofásicos (<5 KW): Los que cuentan con una única corriente alterna o fase en su instalación. Las instalaciones estándar son de 230 voltios, siendo este tipo de sistemas el más habitual en viviendas residenciales particulares, dado que su costo de instalación también es más asequible.

Inversores trifásicos (> 5KW): Se refieren a aquellos que incluyen tres fases o corrientes alternas diferentes que segmentan la instalación en tres secciones, a las cuales se suministra potencia constante. Actualmente, sus potencias normalizadas se ajustan a 400 voltios.

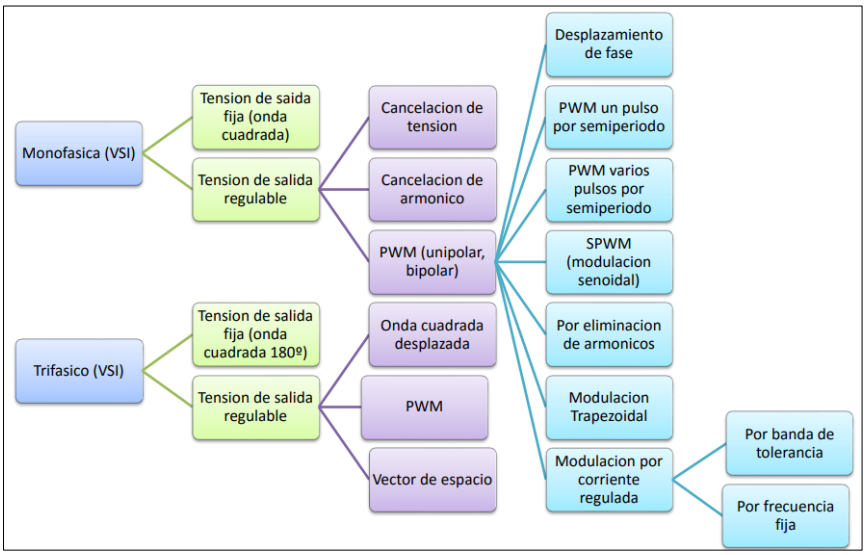


Figura 21. Clasificación de inversores según tipo de carga
Fuente: Inversores Emigue

b) Inversores según la tecnología

Los inversores pueden categorizarse en función de la tecnología utilizada, a pesar de que hay tantas variedades como fabricantes, prácticamente todas pueden ser categorizadas en una de las tres siguientes categorías:

Inversor de string: Es la opción más económica, sin embargo, no permite monitorizar la instalación panel a panel, y en caso de sombras o existir un tejado irregular, la producción eléctrica se verá afectada significativamente.

Inversor con optimizadores de potencia: Los paneles están conectados a un optimizador de potencia, que previene que, si la producción de un módulo se ve afectada por sombras u otras situaciones, esto pueda impactar a los paneles que están conectados en serie. Los optimizadores se conectan posteriormente al inversor, dado que estos aparatos no modifican la corriente de las placas.

Microinversores: Esta tecnología posibilita que cada panel posea su inversor propio, lo que significa que cada panel es un generador totalmente autónomo respecto al resto. El principal inconveniente de este sistema es su alto costo, que resulta un poco más alto en comparación con las demás alternativas.

c) Inversores en base a cómo se obtiene la onda deseada

Otra categorización más amplia es la que se establece en función de cómo se consigue la onda deseada. Se distingue:

Inversores de onda cuadrado: en estos inversores se regula la tensión de entrada para asegurar su estabilidad y de esta manera regular la amplitud de la tensión de salida. En este tipo de control, la frecuencia de modificación es invariable.

Inversores modulados con PWM: Se asemejan al previo porque se supervisa que la tensión de entrada se mantenga estable, con el objetivo de lograr la amplitud de la tensión de salida requerida. Sin embargo, en este escenario, también se incorpora un PWM que regula la frecuencia de cambio, lo que permite obtener una onda sinusoidal en la salida.

Inversores monofásicos con cancelación de voltaje: En esta situación, se regulan la tensión y la frecuencia de salida del inversor sin mantener la tensión de entrada estable y sin un PWM.

2.2.3.4.3 Usos y aplicaciones

Dentro de las aplicaciones se pueden usar en sistemas fotovoltaicos

OnGrid – Inversores De Conexión A Red

El inversor OnGrid o instalación conectada a la red convierten la corriente eléctrica continua de los paneles solares a corriente alterna (AC), es un sistema diseñado para interactuar de manera directa a la red eléctrica, es decir, que cuando se distribuye la energía en su hogar, empresa o industria, genera un ahorro notable el consumo de energía eléctrica. Este sistema OnGrid no requiere del uso de bancos de baterías, produce la energía directamente a la red y

de ahí alimenta todo lo que esté conectado a la misma. Este Inversor Fotovoltaico también supervisa la capacidad, la frecuencia y la fase de la línea. Crea una onda pura senoidal, cuya frecuencia y fase son las mismas que la electricidad en el hogar, pero con un volumen más grande.

OffGrid - Inversores aislado

Los inversores de aislado (con baterías) se emplean en instalaciones que no están vinculadas a la red eléctrica. Son capaces de transformar la corriente continua (DC) de la batería en corriente alterna (AC) de 110v- 220V para cubrir los requerimientos del hogar. Requieren de la utilización de baterías y tienen la habilidad de producir una onda modificada o senoidal, extrayendo directamente energía de la batería. Se emplean para suministrar luz en sitios que no están conectados a la red eléctrica, como viviendas rurales, embarcaciones, sistemas de bombeo, entre otros. Para el cálculo de un inversor OffGrid es necesario considerar parámetros como la potencia nominal, que representa la potencia que el inversor puede suministrar en un uso y funcionamiento habitual, mientras que la potencia pico es la que el inversor puede suministrar durante un periodo de tiempo reducido, y que requerirá la alimentación de ciertos dispositivos eléctricos que al iniciarse requieren una gran potencia al comienzo. Se refiere a dispositivos motorizados como bombas, refrigeradores, congeladores, batidoras, taladros, compresores, entre otros.

2.2.3.4.4 Principio de funcionamiento

Principio de funcionamiento inversor monofásico

El método de operación se fundamenta en el funcionamiento de un interruptor durante un semiperíodo, momento en el que se le otorga a la carga una tensión equivalente a Vs/2, junto con de la aplicación de una conducción alterna y no simultánea de ambos interruptores. La tensión rms a la salida puede manifestarse de la siguiente manera:

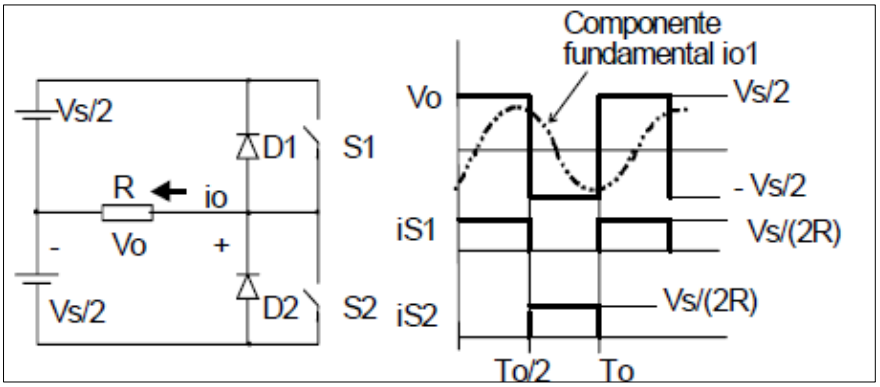


Figura 22. Circuito básico inversor monofásico y las formas de onda

Principio de funcionamiento inversores trifásicos

Los inversores trifásicos se emplean en usos de alta potencia, y pueden estar compuestos por tres inversores monofásicos independientes vinculados a la misma fuente, tal como se ilustra en la figura siguiente.

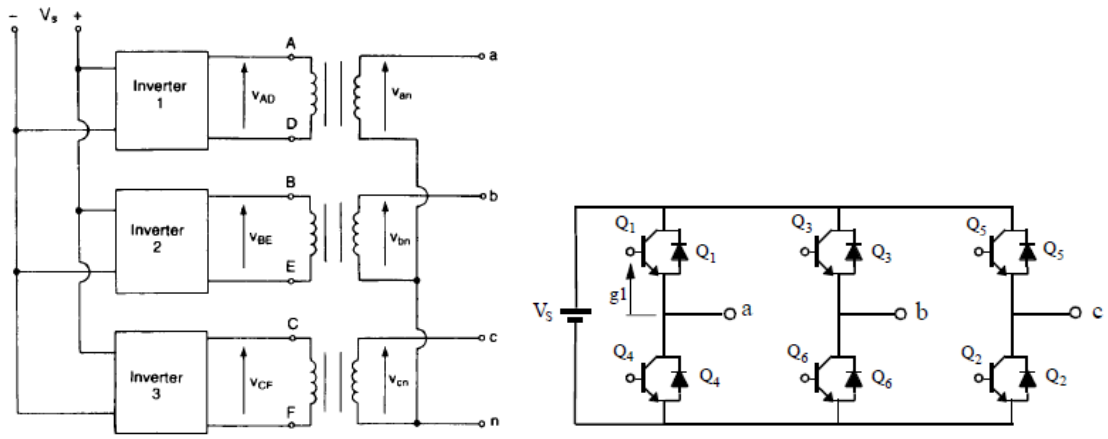


Figura 23. Esquema de un inversor trifásico

2.2.4 Sistema eléctrico peruano

2.2.4.1 Matriz eléctrica

Matriz eléctrica en el mundo

La generación eléctrica mundial está predominada por combustibles fósiles y en el 2019 tuvieron una participación de aproximadamente el 63% seguida de las fuentes renovables con el 27% (principalmente hidroenergía con el 16%; eólica y solar 8% y 3% biomasa y geotermia) y el 10% con nuclear. En la Figura 23 se presenta la generación eléctrica mundial para el 2019 por fuente de energía.

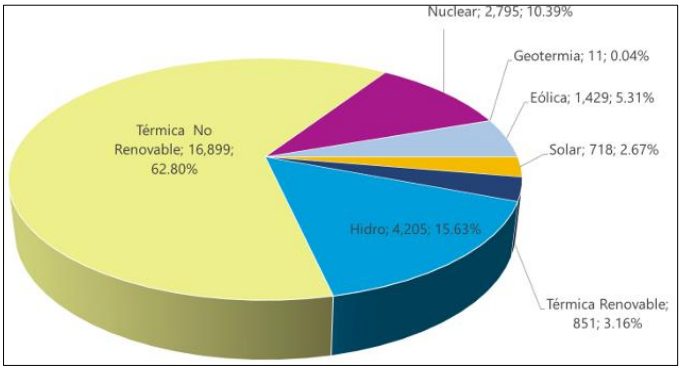


Figura 24. Generación eléctrica mundial 2019 por fuente de energía [TWh, %]
Fuente: OLADE

Matriz eléctrica en América

El principal sustento de la matriz energética de América Latina sigue siendo las fuentes de energía fósiles, es decir, el petróleo y sus derivados, el gas natural y en menor grado el carbón. En 2020, la principal fuente de energía fue el petróleo, junto con el gas natural.

Para este mismo año, la oferta energética de América Latina en términos de energías primarias comprendió cerca del 30% de petróleo y gas natural, el carbón mineral representó el 5%, la hidroenergía el 9%, mientras que el 24% se compuso de otras energías primarias que incluyen el biogás, la energía solar, la eólica, los desechos vegetales y los productos derivados de la caña y la leña.

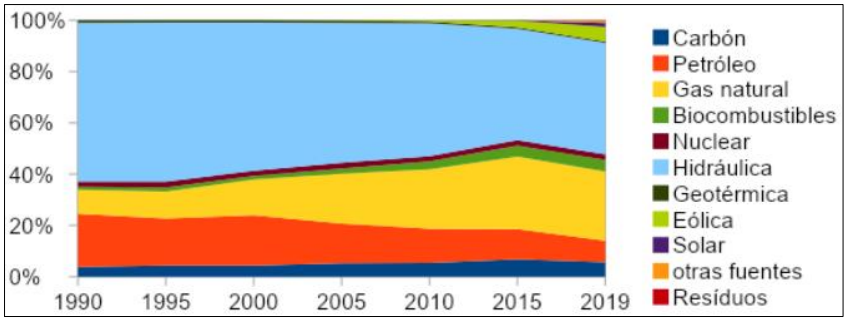


Figura 25. Producción de electricidad en América por fuente
Fuente. Agencia Internacional de la Energía (AIE)

Matriz eléctrica en el Perú

De acuerdo con el Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional (COES), en Perú se cuenta con una capacidad de generación instalada de 13.386,8 MW para el año 2020. La composición energética de Perú se presenta de la siguiente manera: 56,09% de energía termoeléctrica, 38,70% de hidroeléctrica, 3,08% de energía eólica y 2,13% de energía solar, consultar la figura 26. En la actualidad, dispone de 124 plantas de energía, que se reparten de la siguiente manera: 7 eólica, 75 hidráulica, 8 biomasa, 27 termoeléctrica y 7 solar.

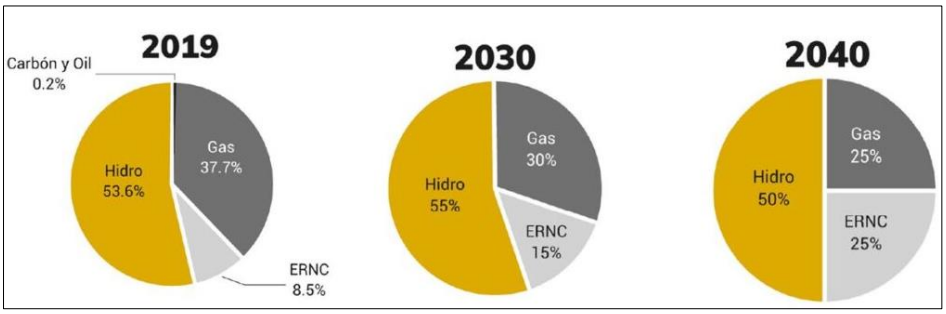


Figura 26. Proyección de la generación eléctrica en el Perú
Fuente. Reporte anual de operación COES 2020

2.2.4.2 Mercado eléctrico peruano

El mercado eléctrico peruano está constituido por: generadores, transmisores, distribuidores, clientes libres, clientes regulados, el gran usuario, COES el operador del sistema, Osinergmin que supervisa, Indecopi que defiende la competencia.

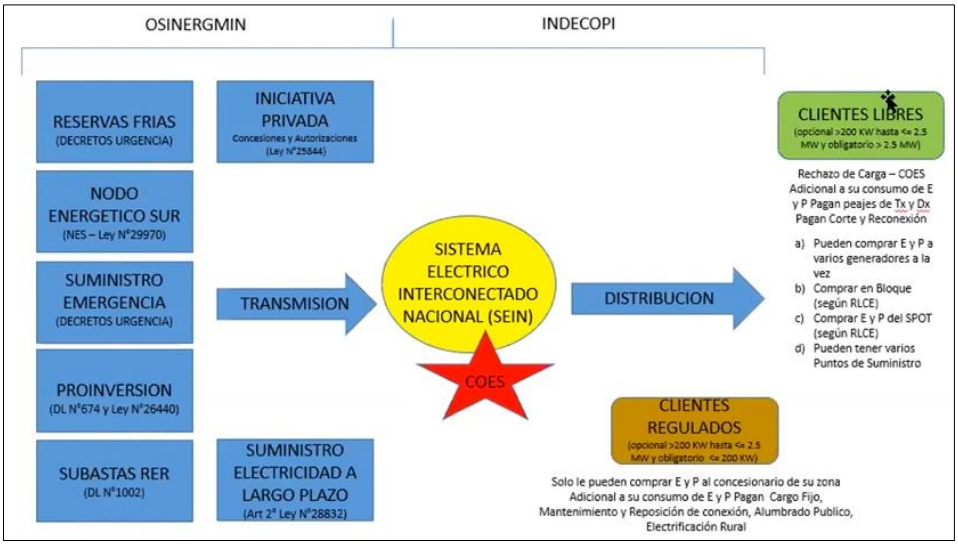


Figura 27. Mercado eléctrico

- Etapa de generación: Mercado de competencia no está regulado
- Etapa de transmisión: Mercado regulado, monopólico por concesión
- Etapa de distribución y comercialización: Mercado regulado, monopólico por concesión
- Clientes finales de electricidad
    - Usuarios regulados: Usuarios cuya máxima demanda es menor a 200 Kw.
    - Usuarios libres: Usuarios cuya máxima demanda es mayor a 2500 kW
    - Grandes usuarios: Usuarios Libres cuya máxima demanda es mayor a 10 MW.

Nota: Los Usuarios cuya máxima demanda esté entre 200 kW y 2500 kW pueden elegir entre la condición de usuario regulado o usuario libre.

2.2.4.2.1 Principales indicadores del mercado eléctrico

a) Demanda de energía por regiones

La Gráfica 28 presenta el consumo acumulativo de energía de cada región desde octubre hasta diciembre del 2022. La zona con la demanda más baja de energía durante el trimestre es la región de Madre de Dios con 28.68 GWh, mientras que la más alta es Lima con 3956.46 GWh.

Luego se encuentran Arequipa, Junín-Huancayo, Moquegua y Ancash con 1405.99 GWh, 794.55 GWh, 632.20 GWh y 606.13 GWh, respectivamente.

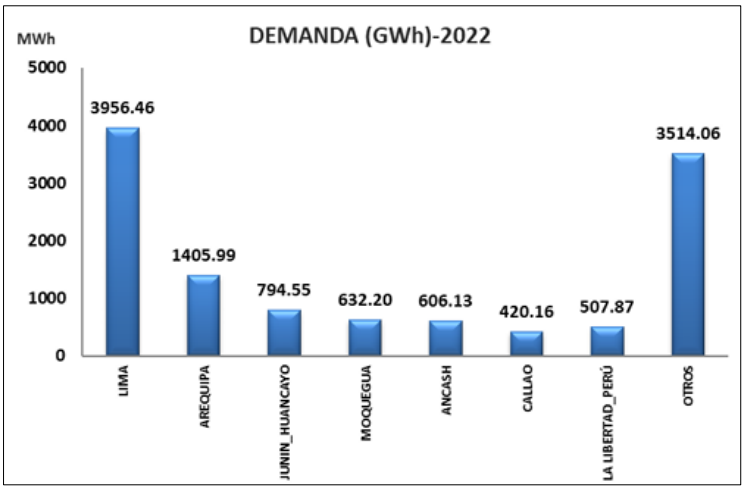


Figura 28. Demanda de energía por región-cuarto trimestre 2022

b) Evolución de máxima demanda coincidente del SEIN

El comportamiento que se ilustra en el gráfico 29 representó la demanda más alta durante el cuarto trimestre de 2022. En diciembre se registró la demanda más alta con 7467.45 MW y la más baja con 7309.36 MW.

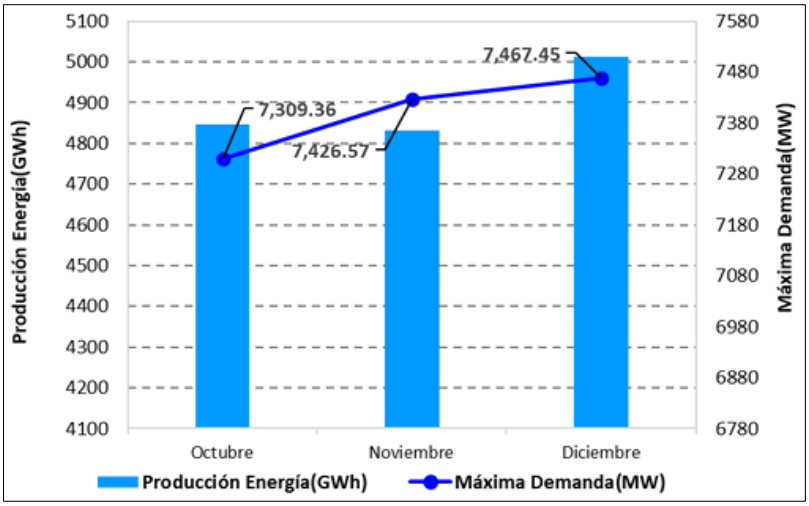


Figura 29. Producción de energía y máxima demanda a nivel generación del SEIN

c) Participación por tipo de tecnologías y recursos energéticos

La participación de las distintas fuentes para generación eléctrica en el año 2021, se distribuyó de la siguiente manera: hidroeléctrica 55.5%, térmica 39.7%, eólica 3.2% y solar 1.5%. En el gráfico 30 se muestra la participación porcentual.

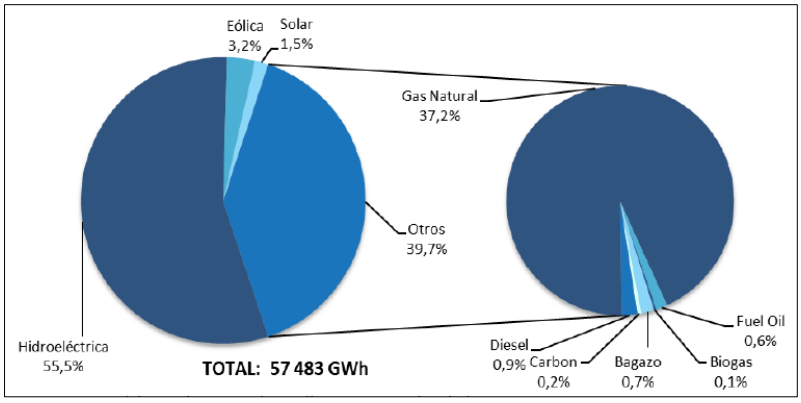


Figura 30. Participación para la producción de electricidad a nivel nacional 2021

Fuente. Estadísticas reportadas de la DGE-MEM

d) Compras por actividad económica

Dentro del mercado libre la actividad económica que mayor compra de energía fue la minería con participación del 54.3%, le sigue la industria metalúrgica con 7.7% y cementos con 4.2%, en la figura 31 se presenta

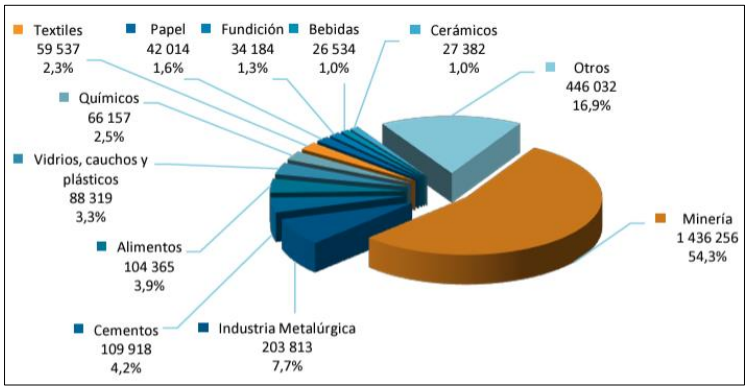


Figura 31. Ventas de energía por actividad económica (MW.h)

Fuente. Osinergmin

2.2.4.2.2 Mecanismo de compensación por generación aislada

Las tarifas de generación en los sistemas aislados resultan ser mayores que las tarifas del SEIN, para poder reducir de manera parcial la diferencia de tarifa, el estado ha promulgado la ley n° 28832 en el cual establece el mecanismo para compensar, para que sea más accesible la utilización de la energía eléctrica.

2.2.4.3 Generación RER solar

a) Generación de energía solar a nivel mundial

La producción eléctrica con energía solar lo encabeza China con un 32%, le sigue Estados Unidos de América con un 16% y Japón representa un 9%, en estos últimos años a nivel global se está poniendo impulso por el uso de energías limpias.

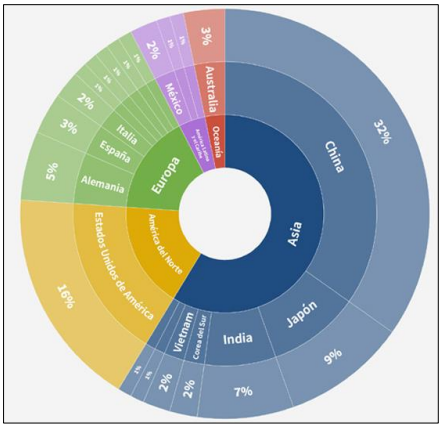


Figura 32. Producción mundial de electricidad con energía solar

Fuente. Global Electricity Review de Ember 2022

b) Generación de energía solar en América latina

En 2022, en la región de América Latina y el Caribe, Brasil fue el país con la mayor capacidad instalada para producir energía solar, llegando a 24 079 megavatios. Igualmente, México se clasificó como el segundo país con la mayor capacidad de energía solar en la región con 9 026 megavatios, mientras que Perú ocupó la posición 11 con 332 MW. En 2023, se estimó que el mercado de energía solar en América Latina llegó a 16.60 GW. Se estima que el mercado aumentará a un ritmo anual del 7,6% entre 2024 y 2032, logrando un volumen de 32.10 GW para 2032.

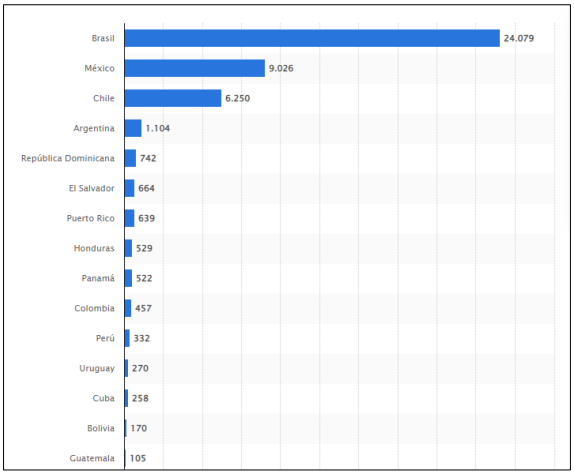


Figura 33. Capacidad instalada de energía solar en MW

c) Generación de energía solar en el Perú

La capacidad instalada para producir energía solar evidenció un aumento (ver figura 34), durante el periodo comprendido entre 2011 y 2022 en Perú. En 2022, se llegaron a los 332

megavatios, lo que significó un leve descenso en comparación con 2021, año en el que se registró la mayor producción de energía solar en ese lapso.

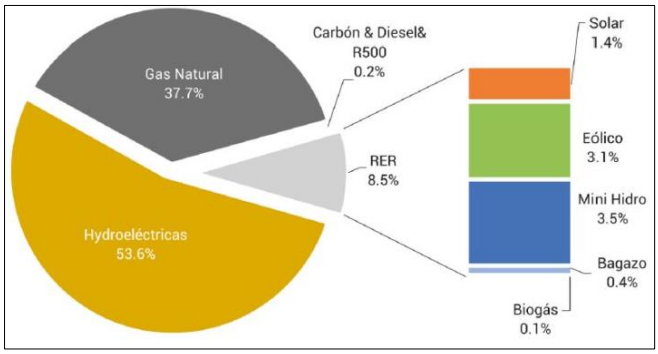


Figura 34. Generación de energía solar en el Perú
Fuente. Reporte anual de operación COES 2020

2.2.4.3.1 Centrales fotovoltaicos conectados a red

En el Perú se tiene 7 parques solares conectados a red

En la actualidad, existen siete parques solares con una capacidad máxima de 280 MWp, vinculados al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional SEIN.

- **Central Solar Majes**. Ubicado en Caylloma, Arequipa, a una altitud de 1680 metros, se inauguró el 31/10/2012. Posee una capacidad inicial de 20 MWp y el contrato de producción anual es de 37.63 GWh.
- **Central Solar Repartición**. De igual manera, en Caylloma, Arequipa. Se implementó en la misma fecha (31/10/2012) y posee las mismas propiedades que Majes Solar (20 MWp). La contratación anual de producción es de 37.44 GWh.
- **Central Solar de Tacna**. Situada en Tacna, comenzó oficialmente su funcionamiento el 31/10/2012. Se estimó un rendimiento anual de 47.196 GWh gracias a un seguidor.
- **Solar Central Panamericana.** Esta fábrica ubicada en Mariscal Nieto, Moquegua cuenta con 20 MWp de módulos instalados en un monitor. Su contrato anual de producción es de 50,676 GWh.
- **Parque Fotovoltaico Moquegua.** Moquegua, también ubicada en Mariscal Nieto, se inauguró 2 años más tarde, el 31/12/2014. Posee una capacidad nominal de 16 MWp y tiene la obligación de generar 43 GW anuales.
- **Parque FV Rubi.** Se edificó en Mariscal Nieto, Moquegua y se inició oficialmente el 31 de enero 2018 (el comienzo de la producción se produjo el 16/11/2017). Con una potencia oficial de 144,48 MWp, se estima una producción anual de 415 GWh. Es la

mayor planta solar de la nación y en ciertos documentos se cita una potencia instalada de 179.48 MWp

- **Intipampa Central Solar.** Esta planta comenzó su funcionamiento oficial el 31/03/2018. Posee 40 MWp que generan una oferta de 108,40 GWh.

2.2.4.4 Normas de referencia fotovoltaica

En seguida se hacen mención las normas de referencia nacional que se consultaron

- Norma Técnica de Edificación EM080 Instalaciones con energía solar, esta norma describe las especificaciones técnicas y los procedimientos constructivos mínimos requeridos, que deben de cumplir las viviendas que incluyan sistemas solares fotovoltaicos.
- Resolución Directoral Nº 003-2007-EM/DGE: Reglamento Técnico Especificaciones Técnicas y Procedimientos de Evaluación del Sistema Fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural.
- Especificación técnica del sistema fotovoltaico y sus componentes para electrificación rural, establece las características generales, y de funcionamiento, las condiciones de operación y protección para un correcto funcionamiento de los componentes.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.403 2006: Sistemas Fotovoltaicos hasta 500 Wp. Normas Técnicas y Procedimiento para la calificación energética.
- Norma Técnica Peruana NTP 399.400 2001: Solares colectores. Procedimiento de prueba para establecer la eficacia de los colectores solares.

A continuación, se hace referencia a las normas internacionales sobre sistemas de generación fotovoltaico:

IEC 62548: IEC Comisión Electrotécnica Internacional, define las condiciones para la valoración del cumplimiento de los sistemas de energía solar fotovoltaica.

2.2.5 Eficiencia energética

Un sistema de generación será eficiente cuando cumpla ciertos estándares mínimos importantes como es el impacto ambiental minimizado, mejores costos económicos y la confiabilidad eléctrica.

2.2.5.1 Impacto ambiental

La liberación de desechos a la atmósfera derivados de los procesos de combustión que ocurren en la casa fuerza, tiene un impacto significativo en el medio ambiente.

Para minimizar, tanto como sea posible, los perjuicios causados por el funcionamiento de los generadores diésel en el medio ambiente, se integran a las instalaciones varios componentes y sistemas.

2.2.5.1.1 Principales emisiones de los generadores diésel

Los contaminantes emitidos a la atmósfera durante la combustión son: SO2, NOX, CO, partículas y gases de efecto invernadero (CO2, CH4, N2O). Otras sustancias como metales pesados, HF, HCl, hidrocarburos aromáticos policíclicos, y dioxinas y furanos, se emiten en cantidades muy inferiores, pero sus emisiones tienen una influencia importante en el ambiente debido a su toxicidad o persistencia. En la siguiente tabla se resumen los orígenes de los distintos contaminantes:

Huella de carbono (GEI)

Se define como huella de carbono "el conjunto de gases de efecto invernadero liberados directa o indirectamente por una persona, entidad, acontecimiento o producto". Los gases invernaderos son: el dióxido de carbono CO2, el metano CH4 y el óxido nitroso N2O. Como sugiere, tal como aconseja.

2.2.5.1.2 Cuantificación de emisiones

Hay diversas técnicas para calcular las emisiones derivadas de los procesos. La determinación de las emisiones se fundamenta en la utilización de factores de emisión, que varían en función de la tecnología y los combustibles empleados para producir energía. Se ha tomado en cuenta para el cálculo la aplicación de las ecuaciones 1, 2 y 3, (11) considerados en la guía para elaborar el inventario de emisiones de gases de la comisión federal de electricidad.

Cuantificación de dióxido de carbono (CO2):

$$Emision_{CO2} = Factor_{CO2} X\ ConsumoComb\ \frac{kgCO2}{tiempo} \qquad (1)$$

$$Factor_{CO2} = 2752\ \frac{kg}{{m^3}_{diesel}}$$

Cuantificación de monóxido de carbono (CO):

$$Emision_{CO} = Factor_{CO} X\ ConsumoComb\ \frac{kgCO}{tiempo} \quad (2)$$

$$Factor_{CO} = 14.18\ \frac{kg}{m^3{}_{diesel}}$$

Cuantificación óxido de nitrógeno (NOx):

$$Emision_{NOx} = Factor_{NOx} X\ ConsumoComb\ \frac{kgNOx}{tiempo} \quad (3)$$

$$Factor_{NOx} = 53.38\ \frac{kg}{m^3{}_{diesel}}$$

2.2.5.2 Costos económicos

2.2.5.2.1 Costos de inversión

Costo de inversión del sistema fotovoltaico presupuesto

Para llevar a cabo una instalación fotovoltaica es necesario tener en cuenta varios costos, los cuales pueden clasificarse en costos directos, indirectos y los generados durante la construcción requerida.

En relación a los **gastos directos**, estos comprenden el costo de los módulos fotovoltaicos, los inversores, la instalación, la conexión a la red eléctrica, el cableado, los costos de seguridad y los gastos de supervisión y control.

Entre los **gastos indirectos** se incluyen el margen de ganancia de la compañía de instalación, los costos de financiación, los costos asociados al diseño del sistema, los costos de permisos, la implementación de incentivos o el gasto de captación de nuevos clientes. Todos estos gastos son producidos por la compañía de instalación y afectados a sus consumidores.

Costo de inversión del sistema generación diésel

El costo de inversión de un sistema de generación diésel está compuesto por costo de inversión: del generador, la infraestructura, el montaje, el cableado más las depreciaciones.

2.2.5.2.2 Costos de operación

a) Costo operación con generadores eléctricos

Los gastos operativos, de mantenimiento y de gestión se componen de costos fijos y variables. Nos ocuparemos de los costos variables, tanto de los combustibles como de los no combustibles. El uso de diésel constituye la mayoría del costo de propiedad y funcionamiento de una planta de energía que opera de forma constante con generadores diésel. Cuando los generadores son de respaldo, el costo del capital es el más importante.

Costo total con generadores eléctricos

Los costos totales de una planta de generación están compuestos por los costos de inversión, más los costos fijos y los costos variables.

$$CT = I + CFOM\&A + CVNC + CVC \quad (4)$$

Dónde:

CT: Costo total
I: Inversión
CFOM&A: Costos fijos de operación, mantenimiento y administración
CVNC: Costos variables No combustibles
CVC: Costos variables de combustibles

b) Costo operación con sistema fotovoltaico

Los sistemas fotovoltaicos son seguros y de confianza, y su durabilidad puede llegar a los 25 años. Así pues, los gastos de funcionamiento y mantenimiento son relativamente reducidos en comparación con otros sistemas de generación. Sin embargo, un SFV se encuentra expuesto a circunstancias ambientales desfavorables como cambios drásticos de temperatura, precipitaciones o tormentas, radiación UV y contaminación. que con el transcurso del tiempo pueden influir en su desempeño. Aunque todos los elementos de un SFV deben satisfacer las exigencias reglamentarias para su instalación en condiciones de clima severo, no obstante, pueden surgir fallos. En ocasiones, las averías pueden ser reparadas a un costo reducido, si no, impactan de forma notable en el rendimiento y los ahorros previstos en la cuenta de electricidad.

Costo total con sistema fotovoltaico

Los costos totales de un sistema fotovoltaico están compuestos por los costos de inversión, más los costos de operación y mantenimiento.

$$CT = I + CO + CMA \quad (5)$$

Donde:

CT: Costo total
I: Inversión
CO: Costos de operación
CMA: Costo mantenimiento y administración

2.2.5.3 Confiabilidad eléctrica

2.2.5.3.1 Indicadores de calidad

Indicador SAIFI - Frecuencia media de Interrupción por usuario en un periodo determinado.

Mide la frecuencia de ocurrencia de las interrupciones en las instalaciones eléctricas de los sistemas eléctricos, ante las fallas en los componentes, maniobras e indisponibilidades que afectan a los sistemas eléctricos, estas pueden ser propias (sistemas de protección, diseño de redes, estado de las instalaciones) y externos (medio ambiente y terceros).

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n} u_i}{N} \quad (6)$$

Indicador SAIDI - Tiempo promedio de Interrupción por usuario en un periodo determinado.

Evalúa la duración de la interrupción, está vinculada con la localización del fallo, con la severidad del fallo y los recursos a disposición para su reemplazo, tales como: cuadrillas, vehículos, materiales, medios de comunicación, además de las vías de acceso, la longitud de las redes, entre otros.

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i u_i}{N} \quad (7)$$

Dónde:
ui: Número de usuarios afectados en cada interrupción “i”.
ti: Duración de cada interrupción “i” (medido en horas).
n: Número de interrupciones en el período.
N: Número de usuarios del sistema eléctrico al final del período.

2.2.5.3.2 Valores límites de calidad de suministro

Tabla 5. *Valores límites de calidad de suministro*

Sector Típico	Valores limites	Indicadores	Tolerancia
2	Por usuario afectado	N: N° de interrupciones por usuario y por semestre	8 /sem.
	(NTCSE)	D: Valor promedio de las interrupciones por usuario y semestre	13 horas/sem.
	Por sistema eléctrico	SAIFI: Media de frecuencia de las interrupciones realizadas por los usuarios del sistema de electricidad	5 /año
		SAIDI: Duración media de las interrupciones realizadas por los usuarios del sistema de electricidad	9 horas/año
3	Por usuario afectado (NTCSE)	N: N° de interrupciones por usuario y por semestre	8 /sem.
		D: Duración ponderada de las interrupciones por usuario y por semestre	13 horas/sem.
	Por sistema eléctrico	SAIFI: Media de frecuencia de las interrupciones realizadas por los usuarios del sistema de electricidad	7/año
		SAIDI: Duración media de las interrupciones realizadas por los usuarios del sistema de electricidad	12 horas/año
4, 5 y SER	Por usuario afectado (NTCSER)	NIC: N° de interrupciones promedio por cliente y por semestre	10 /sem.
		DIC: Duración ponderada acumulada de interrupciones promedio por cliente por semestre	25 y 40 horas/sem.
	Por sistema eléctrico	SAIFI: Media de frecuencia de las interrupciones realizadas por los usuarios del sistema de electricidad	12 y 24/ año
		SAIDI: Duración media de las interrupciones realizadas por los usuarios del sistema de	16 y 40

	electricidad	horas/año

2.2.5.3.3 Indicadores de performance establecidos

Desde 2008, OSINERGMIN estableció las tolerancias (desempeños esperados) de los indicadores mencionados a nivel de media tensión, para cada sector específico y para cada año.

Tabla 6. *Desempeño esperado (Anexo 13 Res 590-2007- OS/CD)*

Sectores Típicos	Año 2008		Año 2009		Año 2010		Año 2011	
	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI	SAIFI	SAIDI
STD 1	3	7.5	3	7.5	3	7	3	6.5
STD 2	11	20	9	16	7	13	5	9
STD 3	13	24	11	20	9	16	7	12
STD 4	16	32	15	29	13	27	12	24
STD 5	20	50	19	47	17	43	16	40
Especial	12	27	12	27	12	27	12	27

2.2.5.4 Procesamiento de minerales y filtración

2.2.5.4.1 Procesamiento de minerales

El procedimiento de concentración consiste en incrementar la concentración en % de un mineral específico a través de maquinaria de trituración y separación, lo que resulta en la separación de dos o más especies mineralógicas y en la generación de una corriente enriquecida de un mineral de interés (12).

El proceso de tratamiento de minerales se realiza a través de cinco circuitos tal como se muestra en la Figura 35 el flow sheet, las cuales son: Circuito de chancado, circuito de molienda, circuito de flotación, circuito de filtración y circuito de relaves.

Tabla 7. *Procesos de concentración de minerales*

Procesos	
1. Proceso de Chancado – Chancado Primario – Sistema de Transporte de Mineral (Correas) – Planta de Chancado Secundario **2. Procesos de Molienda** – Molienda primaria – Molienda secundaria – Remolienda **3. Procesos de Flotación** – Circuitos recuperadores o Circuito primario (rougher) o Circuito de barrido o scavenger – Circuitos limpiadores o Circuitos limpieza (cleaner). o Circuito de relimpieza o recleaner	**4. Proceso de Filtración** – Espesamiento de Concentrado – Bombeo de pulpa de concentrado – Filtración de Concentrado **5. Procesos de Manejo de Relaves** – Descarga de relaves – Espesamiento de Relaves – Sistema de Transporte de Relaves – Depositación de Relaves

Fuente: Elaboración propio

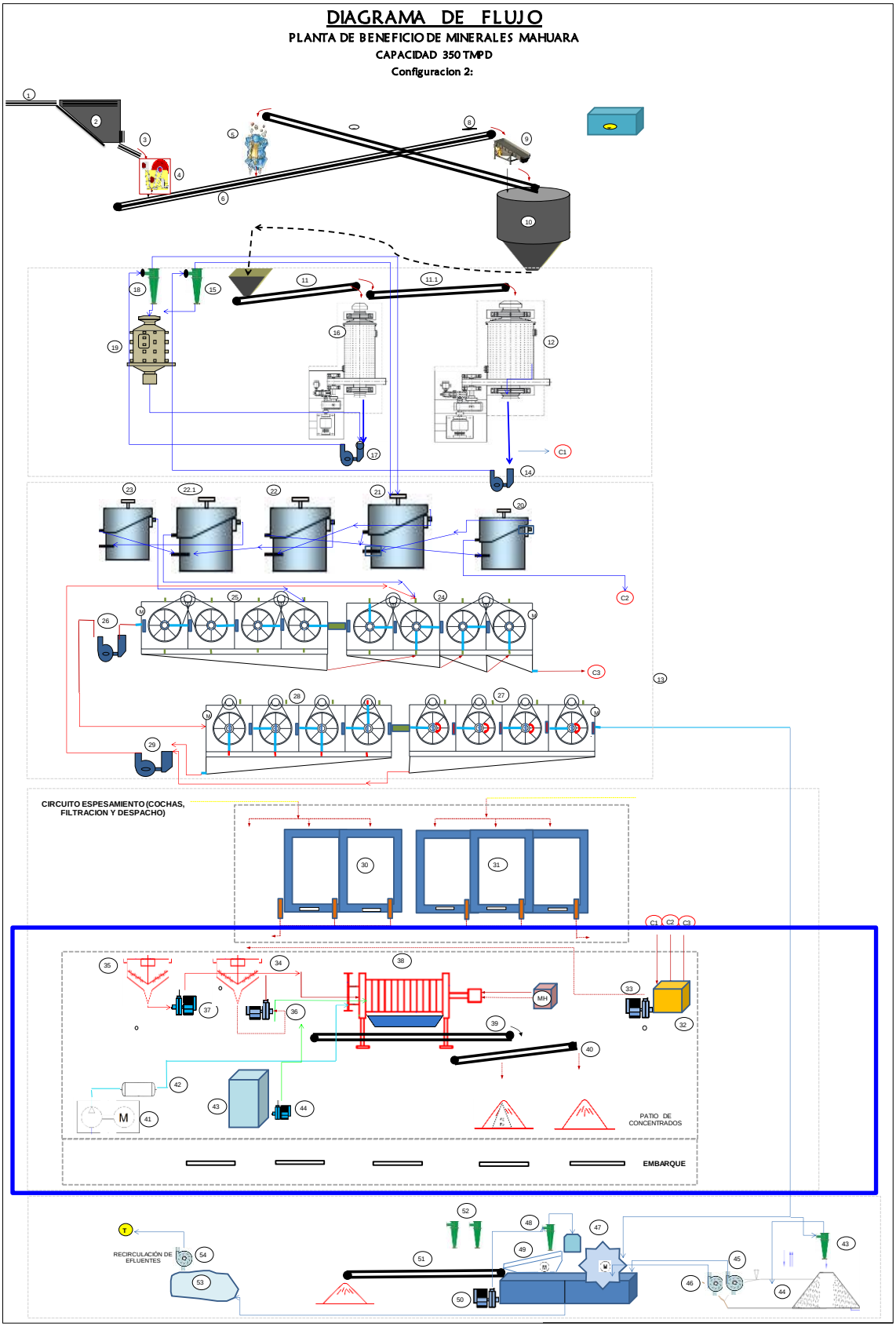


Figura 35. Flow Shet de la Planta de procesamiento 500 ton/día

Fuente: Elaboración propio

2.2.5.4.2 Proceso de filtración de concentrados

El procedimiento de filtrado es un componente de la fase de obtención del producto final, pues facilita la separación del líquido del sólido concentrado en minerales de cobre. El proceso de filtrado con formación de torta, usualmente empleado en la separación de concentrados de cobre, se distingue por la retención del sólido de la suspensión en la superficie del medio de filtración como una capa conocida como torta. Esto ocurre de manera natural cuando los poros del medio de filtración son de tamaño inferior al de las partículas. La mayor parte de los sistemas de filtración de torta operan en ciclos de creación de torta, prensado, lavado, secado y descarga. En cambio, hay varios tipos de mecanismos de funcionamiento, dependiendo de cómo se genera el gradiente de presión necesario, ya sea por gravedad, vacío o presión positiva, (13). Los filtros de presión positiva son los más utilizados en el sector minero, en paralelo a los filtros de vacío. El diseño de estos dispositivos (ver figura 36) se fundamenta principalmente en determinar el área de filtración requerida para preservar una alta capacidad de procesamiento (medida en kilogramos de sólido seco por metro cuadrado de superficie de filtración por hora).

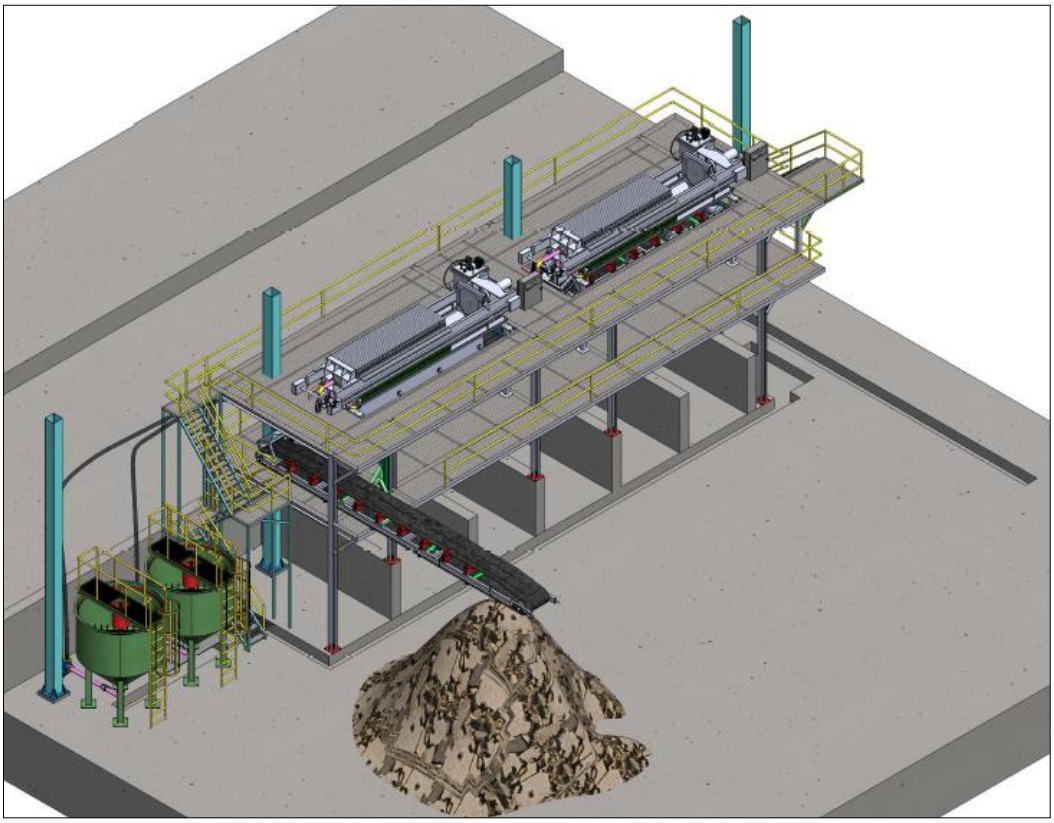


Figura 36: Vista de área de filtración
Fuente: Elaboración propio

2.3 Definición de términos básicos

- **Radiación solar**

  Energía procedente del Sol en forma de ondas electromagnéticas.

- **Irradiancia**

  Se refiere a la cantidad de densidad de potencia que se emite en una superficie. Se calcula en kW/m2.

  La irradiancia es la medida empleada para definir la potencia que se proyecta por unidad de superficie de cualquier tipo de radiación electromagnética. (14) .

- **Irradiación**

  Energía emitida en una superficie por cada unidad de superficie y durante un periodo de tiempo determinado. Se cuantifica en kWh/m2, o en MJ/m2.

- **Radiancia**

  La radiancia se refiere al volumen de radiación electromagnética que una zona específica (flujo radiado) emite en un ángulo sólido determinado en una dirección determinada.

- **Efecto fotoeléctrico**

  Es fácil comprender el efecto fotoeléctrico de la siguiente manera. Si encendimos un haz de luz de frecuencia adecuada en una superficie metálica (por ejemplo, se ilumina sodio con luz a una frecuencia de 6x1014/seg.), se liberan electrones en la superficie. Se conoce como efecto fotoeléctrico a la liberación de electrones desde la superficie debido a la influencia de la luz. (15).

- **Concepto fotovoltaico**

  Se deriva del griego phos, que se traduce como "luz", y voltaico, que se deriva de la electricidad.

- **Sistema fotovoltaico (SFV)**

  Sistema de generación que transforma directamente la luz solar en energía eléctrica, con las propiedades adecuadas para ser empleada por la carga asignada.

- **Celda fotovoltaica**

  El semiconductor de menor tamaño que puede transformar la luz solar en energía eléctrica mediante corriente directa.

- **Arreglo fotovoltaico**

  Circuito compuesto por múltiples ramas de módulos solares interconectadas de manera paralela.

- **Corriente de iluminación (I L):**

Corriente producido cuando la radiación solar impacta en la célula.

- **Corriente de oscuridad**

  Es debida a la recombinación de los pares electrónhueco que se produce en el interior del semiconductor.

- **Tensión de circuito abierto (VOC)**

  La tensión máxima alcanzada en los extremos de la célula solar, que ocurre cuando no se encuentra vinculada a ninguna energía. Es una propiedad del material utilizado para construir la célula.

- **Corriente de cortocircuito (I SC)**

  Máximo nivel de corriente que la célula solar puede transmitir. Ocurre cuando sus terminales se encuentran en cortocircuito.

- **Potencia pico**

  Potencia máxima del panel fotovoltaico en CEM.

- **Potencia de la instalación fotovoltaica o potencia nominal**

  La suma de la potencia nominal de los inversores (la que el fabricante especifica) que participan en las tres etapas de la instalación bajo condiciones de operación nominales.

- **MPPT en un inversor**

  Seguidor de punto de máxima potencia, o por sus siglas en inglés, MPPT que significa "Maximum Power Point Tracker"

- **MPP**

  El punto de máxima potencia, o por sus siglas en inglés MPP, que significa "Maximun Power Point"

- **Hora solar pico (H.S.P.)**

  Se refiere al número de horas solares con una radiación de 1000 W/m2, que impactan en la superficie del módulo solar.

- **Watio pico (WP)**

  Se refiere a la potencia máxima que un panel o módulo fotovoltaico puede absorber y se corresponde con una intensidad de radiación constante de 1000 W/m2 o 100 mW/cm2 a una temperatura de 25ºC.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Enfoque de investigación

Según Ñaupas (16) las investigaciones cuantitativas se refieren al uso de medidas, la utilización de magnitudes, la observación y evaluación de las unidades de análisis, el muestreo y el tratamiento estadístico.

La presente investigación tiene enfoque cuantitativo porque se trabaja con los datos numéricos que permitirán cuantificar las dos variables a partir de las dimensiones como: irradiancia e irradiación solar, orientación, inclinación, potencia, confiabilidad, impacto ambiental y costos económicos. Además, los datos registrados de la operación planta; los cuales son analizados y comparados estos datos numéricos.

3.2 Nivel de la investigación (Alcance de la investigación)

Para Ñaupas (16) las investigaciones descriptivas sirven de base a las investigaciones explicativas; Igualmente, los estudios explicativos se fundamentan en problemas correctamente planteados y persiguen la relación entre causa y efecto. Es necesario que trabajan con de hipótesis, las cuales explican el impacto de las variables independientes en la dependiente., para Hernández (17) las investigaciones explicativas pretenden establecer las causas de los sucesos o fenómenos que se estudian.

El alcance de la presente investigación que se realizará es descriptivo y explicativo; es descriptivo, porque se evaluará el sistema actual de operación del área de filtración en el cual utiliza energía generada por grupos electrógenos. Además, es explicativo, porque la variable sistema fotovoltaico explicará la variable eficiencia energética.

3.3 Tipo de investigación

La Investigación aplicada busca solucionar los desafíos que surgen en los procesos de producción, distribución, circulación, consumo de productos y servicios de cualquier actividad humana que favorezca a la sociedad, (18).

De acuerdo al fin que se persigue el tipo de investigación es aplicada, en el cual buscamos diseñar el sistema fotovoltaico utilizando la tecnología requerida para mejorar la eficiencia energética en el sistema de generación eléctrica del área de filtración de la unidad minera.

3.4 Diseño de la investigación

Espinoza (19), sostiene que cuando en un estudio se requiere manejar variables, se requiere llevar a cabo un diseño experimental. En una investigación, los diseños experimentales se utilizan para ordenar la recolección de datos mediante la reproducción de las características del objeto de estudio en un modelo.

El diseño de la investigación será tipo experimental en el cual se realizará la manipulación intencionalmente de la variable independiente a partir de sus dimensiones como es la elección del lugar, orientación, ángulo, tipo de panel para luego analizar el efecto en la variable dependiente.

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

El diseño del sistema de generación fotovoltaico está considerado para la planta de procesamiento de minerales con capacidad de 500 ton/día por día, específicamente para abastecer de energía eléctrica al área de filtración, área que realiza el secado de concentrados, cuya población está comprendida por diferentes equipos que utilizan motores eléctricos asíncronos.

Para Borga (20), desde una perspectiva estadística, se conoce como población o universo al grupo de individuos o elementos que serán objeto de análisis.

La población de la presentes investigación estará compuesta por todos los equipos eléctricos del área de filtrado que serán alimentados por el sistema de generación fotovoltaico y que actualmente están siendo alimentados por el grupo generador CAT C09.

3.5.2 Muestra

Según Borga (20), la muestra de estudio es un subgrupo representativo de la población, sobre la cual se habrán de recolectar datos. El investigador se deberá interesar que los resultados encontrados en la muestra logren generalizarse o extrapolarse a la población.

Al tratarse de una investigación experimental se ha considerado la muestra igual a la población, es decir en el estudio consideraremos todos los equipos eléctricos del área de filtrado de la unidad minera.

3.6 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de datos utilizaremos la técnica de la observación y revisión documental. Los instrumentos de recolección de datos serán: ficha de observación y hoja de registro.

Recopilaremos los datos de: radiación solar de las páginas web de instituciones y organismos que se dedican a realizar estudios de incidencia solares, calentamiento global e hidrológico; tales como data NASA, Solar Gis.

Del mismo modo se utilizaron datos históricos y de hoja de especificaciones técnicas de los equipos, manuales, data sheet de los equipos fotovoltaicos, reportes de operación, registro de parámetros de funcionamiento. Y también se medirán parámetros diversos, tales como: potencia, voltaje y corriente.

3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Los datos recolectados serán clasificados, procesados y presentados mediante tablas y gráficos descriptivos, para la estadística inferencial se aplicará la prueba t de comparación de promedios de pares correlacionados (antes y después); mediante software estadístico ad-hoc como Ms Excel para la estadística descriptiva y SPSS para la estadística inferencial.

CAPÍTULO IV
RESULTADO Y DISCUSION

ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SUMINISTRO ELECTRICO

4.1 Sistema con conexión eléctrica al SEIN LT 33 KV

4.1.1 Descripción de la alternativa de conexión al SEIN

La interconexión de las cargas eléctricas de la Planta y Minas al Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN), prevé una alternativa. Mediante una derivación en Pí desde la LT 33 kV Cashaucro – Raura (L-333), con un recorrido aproximado de 16.5 km; la derivación en Pi estaría a una distancia aproximada de 3.5 km desde la SE Cashaucro.

4.1.2 Ficha técnica

Se presenta la ficha técnica del proyecto LT 33 KV Derivación LT 33 KV Cashaucro – Raura (L-333) - Planta – Mina Chanca.

a) Máxima demanda:

La máxima demanda será de 2,0 MVA.

b) Objeto:

El propósito del proyecto es proporcionar energía eléctrica de manera constante y fiable mediante la línea primaria en 33 kV a la Planta y Mina Chanca (Candelaria) de la Empresa Servicios Mineros E.I.R. Ltda.

El suministro de energía eléctrica para el proyecto será desde la línea en 33 kV SE Cashaucro – SE Raura, a la altura de la carretera de derivación a Cajatambo; garantizando el desarrollo muy importante de esta zona del país.

c) Descripción:

En la tabla 8 siguiente se describe las especificaciones técnicas

Tabla 8. *Especificaciones técnicas opción con conexión al SEIN*

Sistema	:	Trifásico
Tensión Nominal	:	33 kV
Longitud de líneas eléctricas	:	Línea trifásica: 16.5 km
Nº de Ternas	:	1
Altitud promedio	:	3,644 msnm (mínimo) – 4,264 msnm (máximo)
Conductor	:	Aleación de Aluminio (AAAC) de 95 mm² de sección
Estructuras	:	▪ Postes de madera tratada 55' (16.764 m) y 70' (21.336 m) ▪ Directamente enterrados, sin solado ni cimentación de concreto. ▪ Prestaciones mecánicas y eléctricas optimizadas.
Crucetas	:	Madera 8'(2.44 m) y 17'(5.18 m)
Vano promedio	:	Según distribución optimizada y aplicación de prestaciones electromecánicas de las estructuras: No menor a 180 m.
Aisladores	:	Cadena de 4 y 5 aisladores de porcelana ANSI 52-5 para suspensión y anclaje respectivamente. (alternativa: aislador polimérico 33 kV70 kN para suspensión y anclaje)
Equipos de protección y maniobra	:	• Seccionador fusible tipo expulsión (Cut Out), 38 kV, 170 kV-BIL, 100 A.
Sistema de puesta a tierra	:	• Estructuras de seccionamiento, protección o medición: Electrodo(s) vertical(es) de puesta a tierra con buzones de puesta a tierra. 25 ohm es la resistencia máxima para Armados PAT-1, PAT-2 o PAT-3. • Estructuras sin equipos de seccionamiento, protección o medición: Contrapeso circular sin electrodo vertical de puesta a tierra. Armado PAT-1C para poste de madera. • Retenidas: conectadas a tierra en todas las estructuras. • Accesorios de ferretería: puestos a tierra en todas las estructuras.

d) Inversión

El monto de inversión asciende a la cantidad de **S/. 5'341,725.48 (Sin IGV).** Considera celdas de salida, celdas de llegada y subestaciones en planta y Chancas.

4.1.3 Sistema interconectado cercano a la zona

Línea de transmisión 33kV Uchuchacua – Cashaucro (L-333). Esta línea de transmisión, edificada en 1998, conecta las subestaciones de Uchuchacuco y Cashaucro, siendo las principales características de la línea:

Tabla 9. *Características de la línea transmisión 333*

CODIGO DE LINEA DE TRANSMISION	SET DE ENVIO	SET DE LLEGADA	EMPRESA	COD. EMPRESA	ACTIVIDAD	NIVEL DE TENSION (KV)	LONGITUD (KM)	POTENCIA NOMINAL (MVA)	CORRIENTE NOMINAL (A)	PUESTA EN SERVICIO	AREA DE OPERACIÓN	NRO DE PAGINA
L-333	CASHAUCRO	RAURA	MINERA RAURA	RAU	USUARIO LIBRE	33	21			1/1/1966	Área 9.3	173

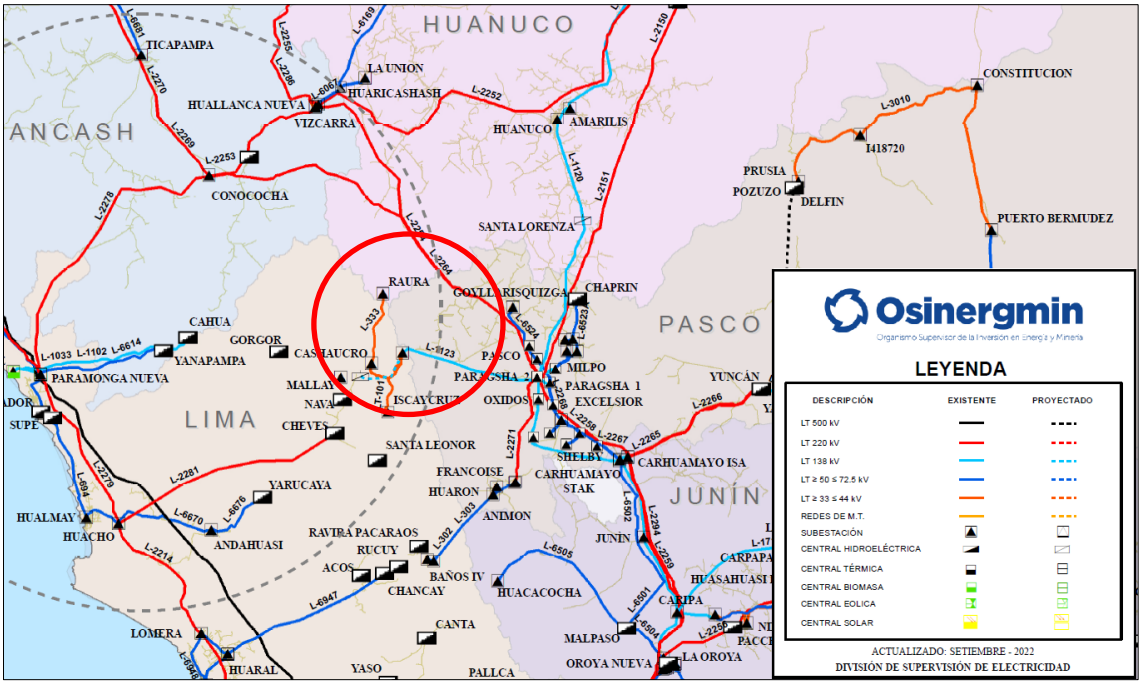


Figura 37. Localización de la línea L-333

4.1.4 Diagrama unifilar

A continuación, se presenta el esquema unifilar de la red más próxima perteneciente a la Compañía Minera Raura S.A., cuenta con un contrato de adquisición de máxima demanda pactado de 6000kW y utiliza la Subestación Uchuchacua como punto de entrega y medición en la barra de 33kV. A partir de la SE Uchuchacua hasta la SE Cashaucro, existe una Línea de Transmisión de 33kV en forma de simple terna.

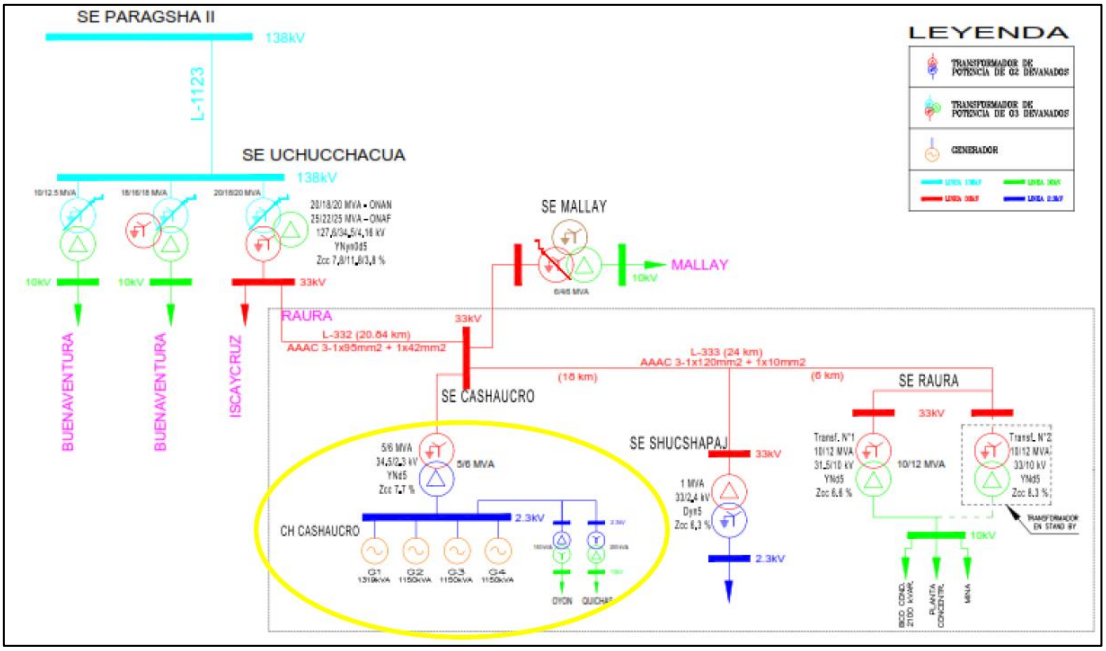


Figura 38. Diagrama unifilar de la zona alternativa de conexión

4.1.5 Ruta de línea desde el sistema interconectado

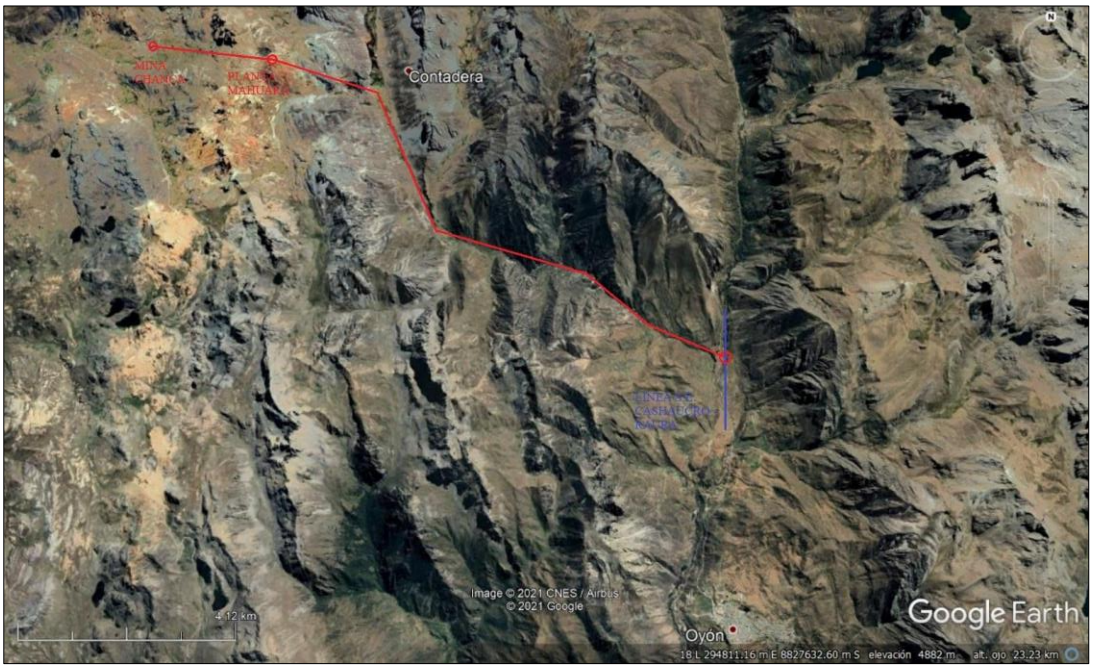


Figura 39. Ruta de línea
Fuente: Elaboración propio, a partir de Google Earth

DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

EL Sistema Fotovoltaico es el conjunto de elementos formados por el generador fotovoltaico y un conjunto de dispositivos eléctricos - electrónicos que facilitan el control, la transformación, el almacenamiento y la distribución de la energía eléctrica generada por la tecnología fotovoltaica a un voltaje determinado para su uso por el usuario, mediante las cargas eléctricas que pueden ser dispositivos eléctricos como lámparas, motores, electrodomésticos y bombas eléctricas. En este capítulo, tomaremos en cuenta esta consideración para diseñar el sistema fotovoltaico, tomando en cuenta todos los componentes con el objetivo de calcular y dimensionar el sistema.

4.2 Análisis de la situación actual del lugar de estudio

4.2.1 Ubicación de la planta

La planta de procesamiento de minerales se encuentra localizada en el departamento de Lima, provincia y distrito de Oyon, a una distancia de 270 km de Lima y una altitud de 4850 msnm.

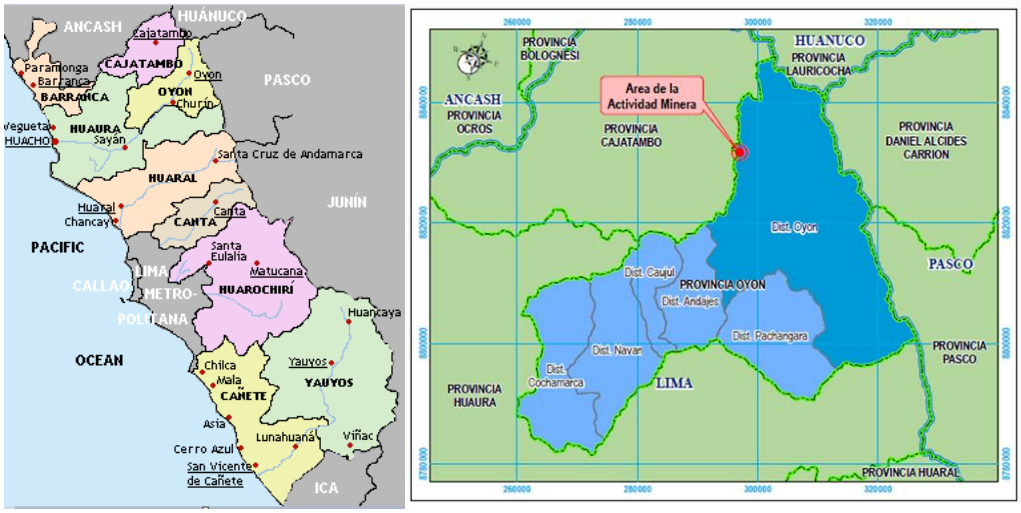


Figura 40: Localización de la planta de procesamiento

4.2.2 Suministro eléctrico actual

La generación actual en la planta de procesos se realiza a través de tres grupos electrógenos Caterpillar ver figura 41, con una potencia total de 1.5 MW Además se tiene un grupo más para respaldo, el esquema unifilar de generación y suministro eléctrico se puede ver en el anexo 2.3.

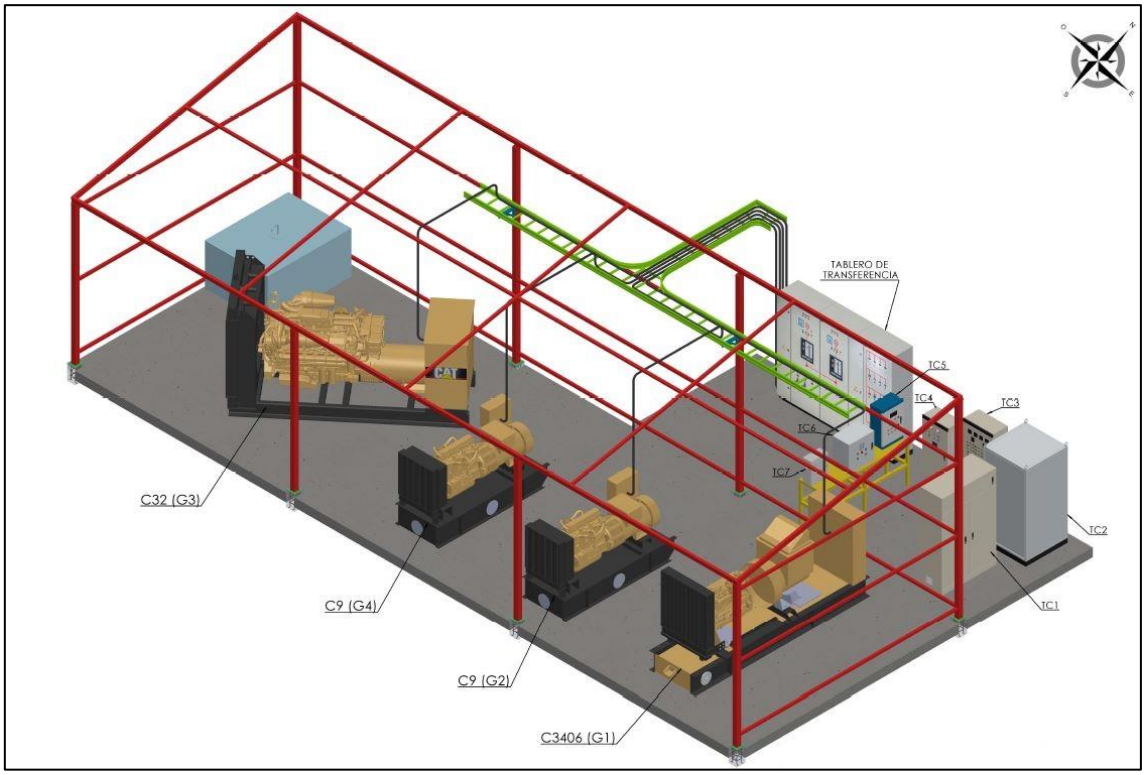


Figura 41. Casa fuerza de generación eléctrica
Fuente: Elaboración propio

Figura 42. Casa fuerza de generación de energía eléctrica
Fuente: Elaboración propio

4.2.3 Carga eléctrica total para el procesamiento de minerales

Para el procesamiento de minerales se utiliza una vasta cantidad de equipos en los diferentes procesos. Los equipos principales de le proceso de chancado son: chancadora de quijada, Chancadora cónica y Faja transportadora. Los equipos de molienda son: Molino de bolas 7 x 10, molino de bolas 5 x10, molino de bolas 4x5, bomba de pulpa 4X3, hidrociclon D10 y D6. Los equipos del proceso flotación, celdas de flotación circular, celda de flotación cubica. Los equipos de filtración, espesador, agitador, filtro prensa, compresor, fajas trasportadoras, bomba de pulpa.

Tabla 10*. Cargas de equipos de la planta de procesos – Parte 01*

Suma de POT (KW)				
AREA	**MOTOR DESCRIPCION**	**CANT**	**UM**	**Total**
01 CHANCADO	**CHANCADORA QUIJADA Nro.2**	1	UND	29.8
	GRISSLY VIBRATORIO	1	UND	18.6
	MOTOR CHANCADORA PRIMARIA	1	UND	29.8
	MOTOR DE CHANCADORA CONICA	1	UND	55.0
	MOTOR DE FAJA TRANSPORTADORA 1	1	UND	5.6
	MOTOR DE FAJA TRANSPORTADORA 2	1	UND	5.6
	MOTOR DE LUB. CHANCADORA CONICA	1	UND	2.2
	MOTOR DE ZARANDA VIBRATOTIA	1	UND	11.2
Total 01 CHANCADO				**157.8**
02 MOLIENDA	**BOMBA DE PULPA EJE VERTICAL (RECUPERACION)**	1	UND	22.4
	BOMBA DE PULPA, 4"X3"	1	UND	22.4
	FAJA TRANSP ALIMENTADOR Nº 4, 22"X5.97M	1	UND	5.6
	MOLINO DE BOLAS 7'Ø X 10'	1	UND	186.4
	MOTOR DE BOMBA DE PULPA 1	1	UND	11.2

	MOTOR DE BOMBA DE PULPA 2	1	UND	5.6
	MOTOR DE FAJA TRANSPORTADORA 3	1	UND	3.7
	MOTOR MOLINO DE BOLAS 1	1	UND	74.6
	MOTOR MOLINO DE BOLAS 2	1	UND	29.8
Total 02 MOLIENDA				**361.7**
03 FLOTACION	**MOTOR CELDA CILINDRICA 1**	1	UND	22.4
	MOTOR CELDA CILINDRICA 2	1	UND	22.4
	MOTOR CELDA CILINDRICA 3	1	UND	22.4
	MOTOR CELDA CILINDRICA 4	1	UND	22.4
	MOTOR CELDA CILINDRICA 5	1	UND	29.8
	MOTOR CELDA CILINDRICA 6	1	UND	29.8
	MOTOR CELDA CUBICA 1	1	UND	35.8
	MOTOR CELDA CUBICA 1 - CAJA REDUCTORA	1	UND	3.0
	MOTOR CELDA CUBICA 2	1	UND	37.3
	MOTOR CELDA CUBICA 2 - CAJA REDUCTORA	1	UND	3.0
	MOTOR CELDA CUBICA 3	1	UND	29.8
	MOTOR CELDA CUBICA 3 - CAJA REDUCTORA	1	UND	2.2
	MOTOR CELDA CUBICA 4	1	UND	29.8
	MOTOR CELDA CUBICA 4 - CAJA REDUCTORA	1	UND	2.2
	MOTOR CELDA CUBICA 5	1	UND	30.0
	MOTOR CELDA CUBICA 5 - CAJA REDUCTORA	1	UND	1.5
	MOTOR CELDA CUBICA 6	1	UND	30.0
	MOTOR CELDA CUBICA 6 - CAJA REDUCTORA	1	UND	1.5
	MOTOR DE BOMBA DE PULPA 3	1	UND	16.8
Total 03 FLOTACION				**372.2**
04.1FILTRO PRENSA	**COMPRESOR - KAESER**	1	UND	75.0
	COMPRESOR - KAESER VENTILADOR	1	UND	1.5
Total 04.1FILTRO PRENSA				**76.5**
04FILTRACION	**AGITADOR- VYMSA**	1	UND	22.4
	BOMBA DE PULPA 1 - 2.5"X2" VYMSA	1	UND	5.6
	BOMBA DE PULPA 2 - BREDEL	1	UND	1.8
	BOMBA DE PULPA 3 - BREDEL	1	UND	1.8
	BOMBA DE PULPA 4 - 2.5X2 ESPIASA	1	UND	5.6
	ESPESADOR 1	1	UND	5.0
	ESPESADOR 2	1	UND	5.0
	FAJA TRANSPORTADORA N°6	1	UND	3.7
	FAJA TRANSPORTADORA N°7	1	UND	3.7
	FILTRO PRENSA - JALADOR	1	UND	0.6
	FILTRO PRENSA - JALADOR REFRIGERCION	1	UND	0.0
	FILTRO PRENSA - MODULO HIDRAULICO	1	UND	4.0
	HIDROLAVADORA - KARCHER	1	UND	1.0
Total 04FILTRACION				**60.0**
05 REACTIVOS	**MOTOR AGITADOR DE CAL**	1	UND	3.0
	MOTOR BOMBAS PERISTALTICA 01	1	UND	0.2
	MOTOR BOMBAS PERISTALTICA 02	1	UND	0.2
	MOTOR BOMBAS PERISTALTICA 03	1	UND	0.2

	MOTOR BOMBAS PERISTALTICA 04	1	UND	0.2
	MOTOR DOSIFICADOR DE CAL	1	UND	0.6
Total 05 REACTIVOS				**4.3**
06 AGUA FRESCA	**MOTOR BOMBA AGUA FRESCA 01 - BAI01**	1	UND	11.2
	MOTOR BOMBA AGUA FRESCA 02 - BAI02	1	UND	1.3
	MOTOR BOMBA AGUA FRESCA 03 - BAI03	1	UND	5.6
Total 06 AGUA FRESCA				**18.1**
06 AGUA INDUSTRIAL	**MOTOR BOMBA AGUA INDUSTRIAL 1 - BAI01**	1	UND	18.7
	MOTOR BOMBA AGUA INDUSTRIAL 2 - BAI02	1	UND	18.7
	MOTOR BOMBA AGUA INDUSTRIAL 3 - BAI03	1	UND	3.7
Total 06 AGUA INDUSTRIAL				**41.0**
07 LABORATORIO	**BALANZA ANALÍTICA**	1	UND	0.1
	BALANZA DE PRECISIÓN	1	UND	0.1
	CHANCADORA	1	UND	2.2
	DESTILADOR	1	UND	5.0
	ESTUFA ELÉCTRICA	1	UND	3.7
	EXTRACTOR DE GASES ÁCIDOS	1	UND	1.5
	EXTRACTOR DE PLOMO	1	UND	1.5
	HORNO DE FUND/COPEL.	1	UND	8.0
	PLANCHA DE DIGESTIÓN	1	UND	3.0
	PULVERIZADORA DE ANILLOS	1	UND	2.2
	PULVERIZADORA DE DISCOS	1	UND	2.2
Total 07 LABORATORIO				**29.6**
08 DRAGA	**MOTOR BOMBA PULPA N1**	1	UND	11.0
	MOTOR BOMBA PULPA N2	1	UND	5.5
	MOTOR DRAGA - BOMBA PULPA	1	UND	15.0
	MOTOR DRAGA - GIRO	1	UND	7.5
	MOTOR DRAGA - ZARANDA	1	UND	3.0
	MOTOR FAJA 01	1	UND	11.0
Total 08 DRAGA				**53.0**
09 RECUPERACION FINOS	**BOMBA SUMERGIBLE 1**	1	UND	11.2
	BOMBA SUMERGIBLE 2	1	UND	11.2
	BOMBA SUMERGIBLE 3	1	UND	5.6
Total 09 RECUPERACION FINOS				**28.0**
10 CONTROL	**TABLEROS DE CONTROL**	1	KIT	3.7
Total 10 CONTROL				**3.7**
10 ILUMINACION	**ILUMINACION FLOURECENTE**	1	JGO	2.9
	ILUMINACION PASTORAL	1	JGO	3.0
Total 10 ILUMINACION				**5.9**
10 TOMACORRIENTE	**TOMACORRIENTE**	1	JGO	26.1
Total 10 TOMACORRIENTE				**26.1**
PROYECTOS FUTURO	**RESERVA**	1	UND	280.0
Total PROYECTOS FUTURO				**280.0**
Total general				**1518.1**

Fuente: Elaboración propio

4.2.4 Carga eléctrica área de filtración

Las cargas eléctricas del área de filtración son de 43.2 Kw, dichas cargas es la suma de cargas de los diferentes equipos que se utilizan en el área de filtración.

Tabla 11. *Cargas eléctricas del área de filtración*

AREA	EQUIPO	CANT.	UM	POT (KW)	FD	HR FUNC.	MAX DEM.
FILTRO PRENSA	AGITADOR- VYMSA	1	UND	22.4	1.00	24	22.35
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 1 - 2.5"X2" VYMSA	1	UND	5.6	0.75	24	4.19
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 2 - BREDEL	1	UND	1.8	0.75	16	1.31
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 3 - BREDEL	1	UND	1.8	1.00	16	1.75
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 4 - 2.5X2 ESPIASA	1	UND	5.6	0.50	16	2.79
FILTRO PRENSA	ESPESADOR 1	1	UND	5.0	1.00	24	5.00
FILTRO PRENSA	ESPESADOR 2	1	UND	5.0	1.00	24	5.00
FILTRO PRENSA	FAJA TRANSPORTADORA N°6	1	UND	3.7	0.60	16	2.22
FILTRO PRENSA	FAJA TRANSPORTADORA N°7	1	UND	3.7	0.60	16	2.22
FILTRO PRENSA	FILTRO PRENSA - JALADOR	1	UND	0.6	0.50	16	0.28
FILTRO PRENSA	FILTRO PRENSA - JALADOR REFRIGERCION	1	UND	0.0	0.50	16	0.02
FILTRO PRENSA	FILTRO PRENSA - MODULO HIDRAULICO	1	UND	4.0	0.50	16	2.00
FILTRO PRENSA	HIDROLAVADORA - KARCHER	1	UND	1.0	0.50	8	0.50
Total, general							**49.63**

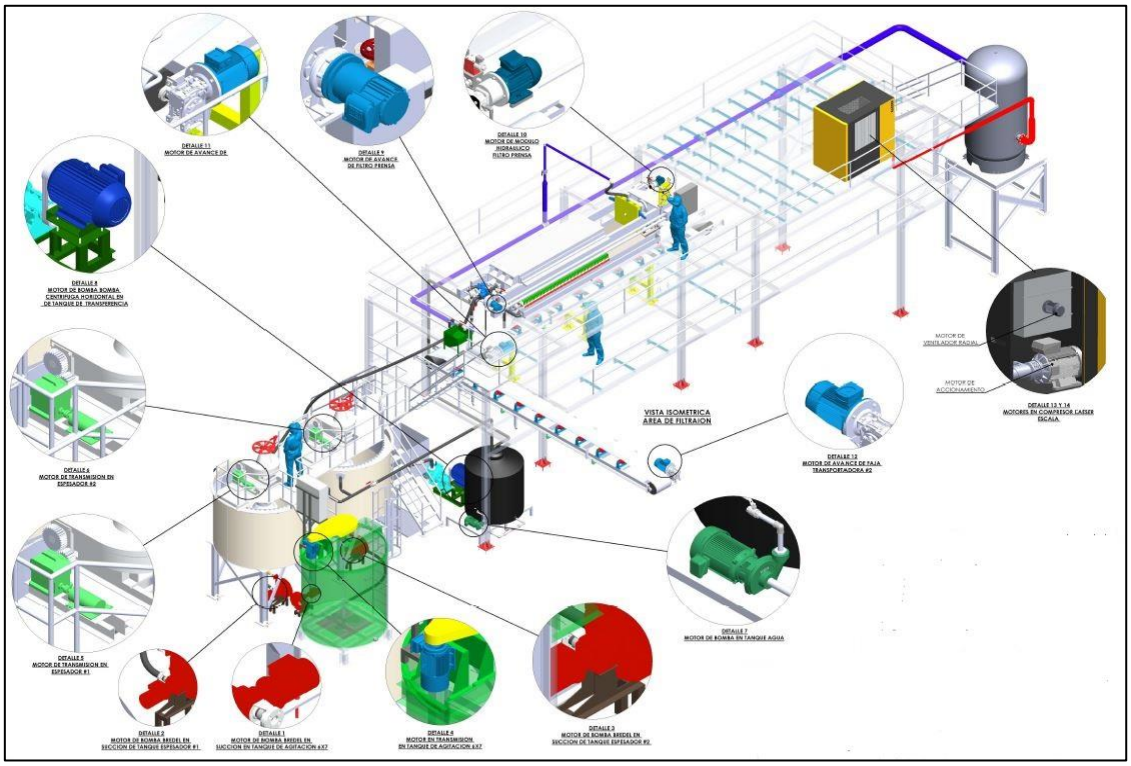


Figura 43. Vista de equipos del área de filtración
Fuente: Elaboración propio

4.2.5 Diagrama unifilar del sistema de filtración

La fuente de energía para el diagrama unifilar del sistema de filtración se utiliza el grupo electrógeno n° 02 CAT C9 de 150 Kw. En la figura 44 se presenta el diagrama unifilar desde el punto de generación a las cargas.

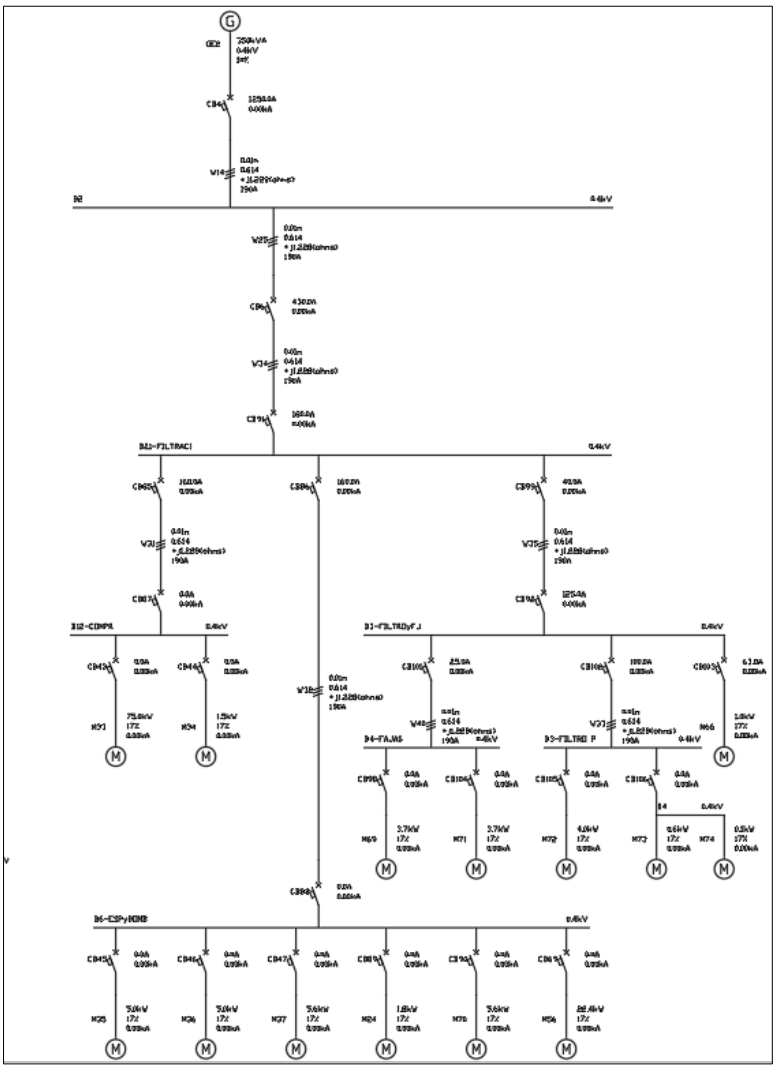


Figura 44. Diagrama unifilar del sistema actual de generación para filtración
Fuente: Elaboración propio

4.3 Evaluación del recurso solar en la zona

Para realizar la evaluación del recurso solar se ha recorrido al uso de los datos que proporcionan instituciones nacionales e internacionales.

4.3.1 Identificación y validación de la zona

Coordenadas geográficas de la ubicación del proyecto

La ubicación de cualquier lugar está caracterizada por su longitud y latitud, las cuales se denominan coordenadas geográficas.

Las sus coordenadas geográficas de la planta son: Latitud: -10.563361 y longitud: -76.853072.

Tabla 12. *Coordenadas del área del terreno*

COORDENADA	LATITUD	LONGITUD
V-1	-10.563487	-76.853100
V-2	-10.563408	-76.852817
V-3	-10.563282	-76.852752
V-4	-10.563218	-76.852779
V-5	-10.563209	-76.852888
V-6	-10.563270	-76.853154
V-Centro	-10.563335	-76.852962

Fuente: Elaboración propio

Figura 45: Ubicación geográficas de la planta
Fuente: Elaboración propio

Validación de la zona con google earth

Para poder validar la zona se realiza un análisis del comportamiento de las sombras por la presencia de cerros en la zona, para el cual se ha realizado el análisis de sombra utilizando el Google earth.

La ubicación de los paneles se ha considerado un espacio en donde no exista sombras, y cerros colindantes que pudiesen generar sombras.

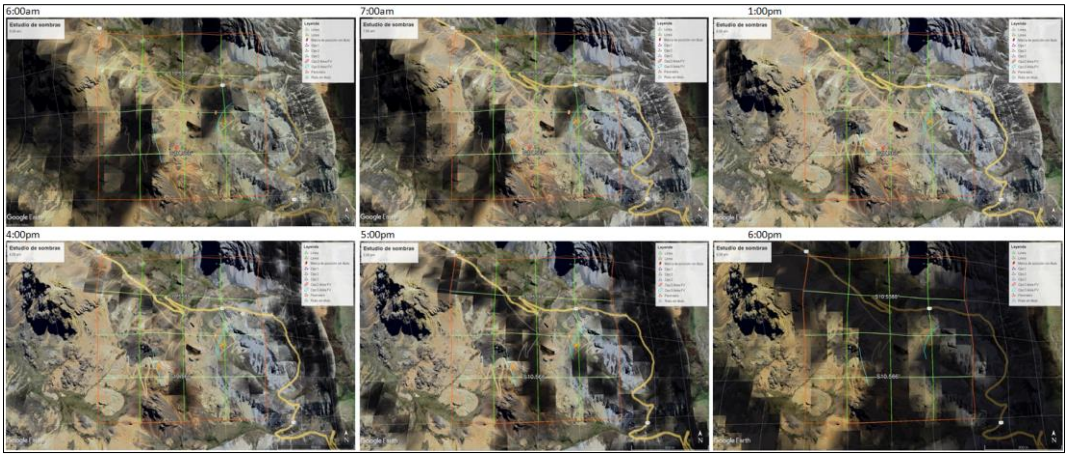


Figura 46. Ubicación de la zona
Fuente: Elaboración propio

Emplazamiento elegido

El emplazamiento para la instalación del sistema fotovoltaico está dentro de los linderos de la planta. La zona de la planta de generación se ha determinado en la zona que presenta la mejor condición para el aprovechamiento de la energía. El terreno está determinado por las coordenadas V-1, V-2, V-3, V-4, V-5 y V-6, dichas coordenadas latitud y longitud de la zona se proporcionan en la tabla 13, la altitud es aproximadamente a 4500 msnm. El área del terreno requerido está dentro del terreno de la planta de procesamiento.

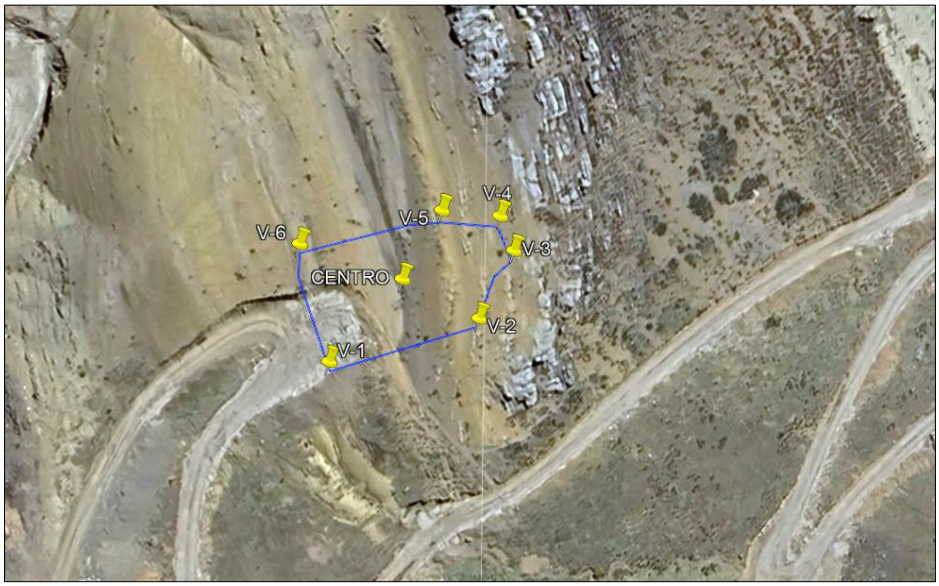


Figura 47: Emplazamiento instalación
Fuente: Elaboración propio

4.3.2 Inclinación y orientación del panel fotovoltaico fijo

Orientación

En una instalación fotovoltaica, cuando los paneles solares se mantienen inmóviles, se selecciona la mejor dirección posible para optimizar la energía que se obtiene a través de la radiación solar. En esta situación, se dirigen hacia el sur.

Inclinación optimo por fórmula

Mediante la siguiente fórmula calculamos la inclinación óptima para conseguir la mayor irradiación solar de los paneles estáticos para todo el año.

$$h_{opt} = 3.7 + 0.69\ x\ |\varphi_{lat}| \quad (8)$$

Dónde:

h_{opt}: Ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\phi|$: latitud del lugar, sin signo (grados)

De acuerdo a los datos de la ubicación se toma en consideración las coordenadas de centro del terreno, V-Centro latitud -10.563335 y longitud -76.852962.

$$h_{opt} = 3.7 + 0.69x|-10.5633|$$

$$h_{opt} = 10.9886° = 11°$$

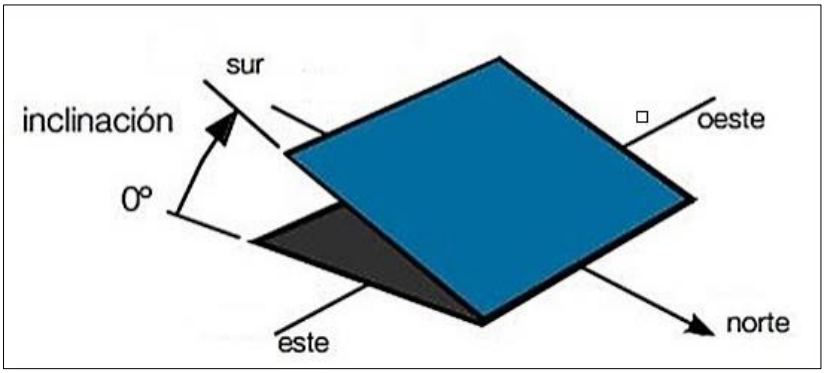


Figura 48. Diagrama para determinar la inclinación del panel

Inclinación óptima del panel con PVGIS

Otra de las formas de determinar el ángulo óptimo es mediante la web aplicación PVGIS, esta aplicación está basada en datos reales registrados en varios años. Para determinar la inclinación de los paneles fotovoltaicos, utilizamos, el Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica, PVGIS.

Angulo de inclinación (°): 18 (opt)

Angulo azimut (°): 0 (opt)

Datos proporcionados:	
Localización [Lat/Lon]:	-10.563,-76.852
Horizonte:	Calculado
Base de datos:	PVGIS-ERA5
Tecnología FV:	Silicio cristalino
FV instalada [kWp]:	50
Pérdidas sistema [%]:	14
Resultados de la simulación:	
Ángulo de inclinación [°]:	18
Ángulo de azimut [°]:	0
Producción anual FV [kWh]:	80101.12
Irradiación anual [kWh/m^2]:	1970.02
Variación interanual [kWh]:	1536.27
Cambios en la producción debido a:	
Ángulo de incidencia [%]:	-3.17
Efectos espectrales [%]:	NaN
Temperatura y baja irradiancia [%]:	-2.35
Pérdidas totales [%]:	-18.68

Figura 49. Valores de ángulo óptimo obtenido en el PVGis

4.3.3 Estudio de la radiación solar en la zona planta

Para determinar la radiación se realizó aprovechando la información existente de organizaciones como son: SENAMHI, NASA y PVGIS ya que no se realizó mediciones en la zona.

En efecto se tomaron los datos de las tres instituciones, a fin de procesar los datos proporcionados de cada institución del cual elegimos la información del PVGIS.

4.3.3.1 Irradiación a partir del Atlas solar del Perú

En el año 2003 el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) junto con la Dirección ejecutiva de Proyectos del Ministerio de Energía y Minas (DEP-MEM) desarrollaron el "Atlas de energía solar del Perú", un documento que agrupa los datos históricos acerca de la irradiación solar en nuestra nación. Este documento abarca mapas nacionales y departamentales de la energía solar diaria absorbida en superficie a escala mensual y anual de la irradiación solar incidente.

Los datos de irradiación del Perú esta expresado en colores en el mapa, los colores indican la incidencia total diario de la irradiación solar en kWh/m2. Sin embargo, son datos generales que pueden ser tomados para un análisis elemental.

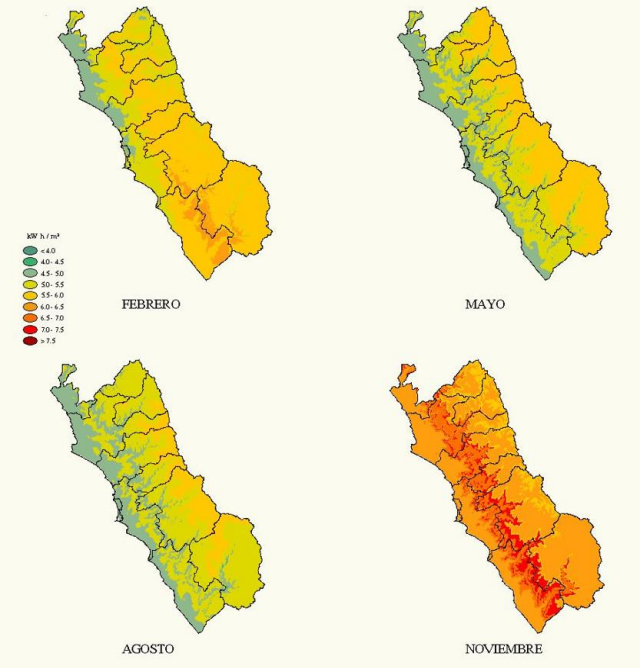


Figura 50. Energía solar incidente totales diario departamento de Lima 1975-1990
Fuente Atlas solar del Perú 2003

4.3.3.2 Irradiancia e irradiación según Powerdata de la NASA

a) Acceso a datos Powerdata

Para obtener los datos hacemos uso la página PowerData de la NASA, para la coordenada central V-Centro. Latitud -10.5633 y longitud -76.8529 se obtienen los datos de la irradiancia.

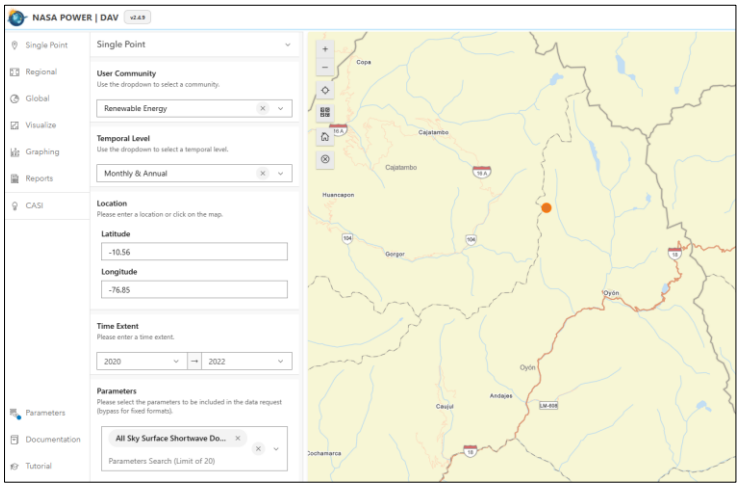


Figura 51. Ubicación del estudio en la Ventana del Powerdata de la NASA

b) Procesamiento de datos de irradiación

Se procesaron los datos de irradiación, obteniéndose valores de irradiación promedio de 5 años 2011 a 2015 en la tabla 13, y se ha obtenido la irradiación promedio diario.

Irradiación horario promedio

Tabla 13. *Irradiación horaria promedio de 5 años*

HR	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.3	5.4	1.6
6	50.5	29.1	26.0	29.8	24.9	16.9	13.7	22.5	50.9	94.1	116.4	83.9
7	199.0	161.6	158.7	183.1	188.0	178.4	173.4	197.4	220.5	258.7	289.2	230.4
8	353.7	319.7	314.4	355.7	368.8	370.8	373.2	398.7	408.7	426.2	468.4	382.1
9	482.4	451.1	457.0	507.9	532.0	534.9	553.0	592.4	560.4	559.5	610.1	505.8
10	610.3	580.9	571.8	618.8	643.1	660.3	686.9	714.2	663.9	661.4	696.3	613.8
11	701.4	680.5	666.1	690.3	707.6	723.5	760.5	792.2	710.0	739.8	769.2	677.7
12	689.9	650.6	654.4	675.5	713.9	727.3	760.0	785.1	697.1	696.1	720.2	653.8
13	595.5	547.9	571.4	596.9	640.5	648.7	686.3	700.5	631.6	610.0	625.6	552.8
14	467.0	438.9	455.4	458.0	518.2	535.8	568.2	581.1	515.1	470.9	479.0	432.2
15	348.4	327.3	330.8	329.6	359.9	384.1	414.5	424.0	368.0	331.5	341.7	326.2
16	212.9	204.1	197.5	179.0	189.0	210.1	235.8	243.5	203.0	180.6	189.2	194.9
17	86.4	79.7	66.4	45.2	33.4	38.6	55.8	63.5	50.6	44.0	56.2	70.8
18	8.6	7.4	1.6	0	0	0	0	0	0	0	0	3.03
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente. Elaboración propia a partir de los datos de powerdata de la NASA

A partir de la tabla 14 de irradiación presentamos la gráfica del comportamiento de la irradiación en la figura 52 de los cuales se puede interpretar, que se tiene en el mes de agosto la mejor irradiación llegando a valores de 792.4 Wh/m2 y la irradiación más bajo se produce en mes de marzo con valores de hasta 666.1 Wh/m2.

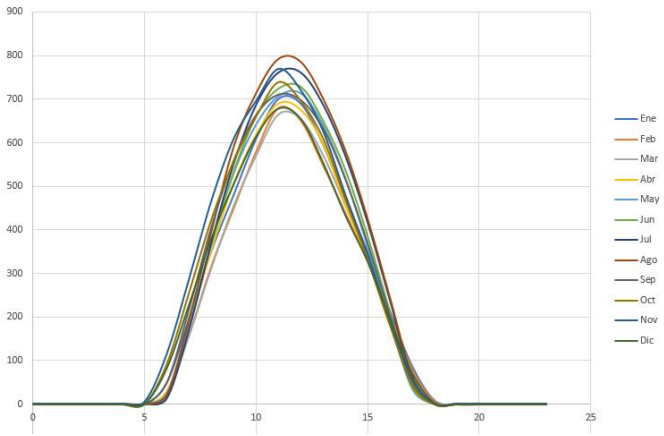


Figura 52: Irradiación promedio diario

Elaboración propia a partir de los datos de powerdata de la NASA

Irradiación promedio mensual

Según los datos de irradiación, obtenemos los valores promedio de irradiación mensual tabla 14, a partir de estos valores se grafica los valores de irradiación mensual en la figura 53.

Tabla 14. *Irradiación promedio diario mensual promedio general*

Mes	2011	2012	2013	2014	2015	Promedio Mes
Ene	176.99	211.17	217.61	191.13	204.32	200.24
Feb	178.04	189.38	186.43	182.64	196.48	186.61
Mar	181.10	193.16	178.94	192.02	186.36	186.32
Apr	188.88	181.07	230.86	189.06	182.99	194.57
May	215.11	216.52	202.89	205.21	185.12	204.97
Jun	214.42	211.21	191.20	218.59	212.34	209.55
Jul	218.21	229.40	204.11	210.95	237.57	220.05
Aug	234.87	234.94	221.77	219.22	238.17	229.79
Sep	197.78	198.22	238.23	213.49	210.52	211.65
Oct	217.69	210.79	203.38	206.54	218.70	211.42
Nov	225.86	208.09	227.33	231.74	225.10	223.62
Dec	191.20	185.34	202.08	200.96	205.65	197.05

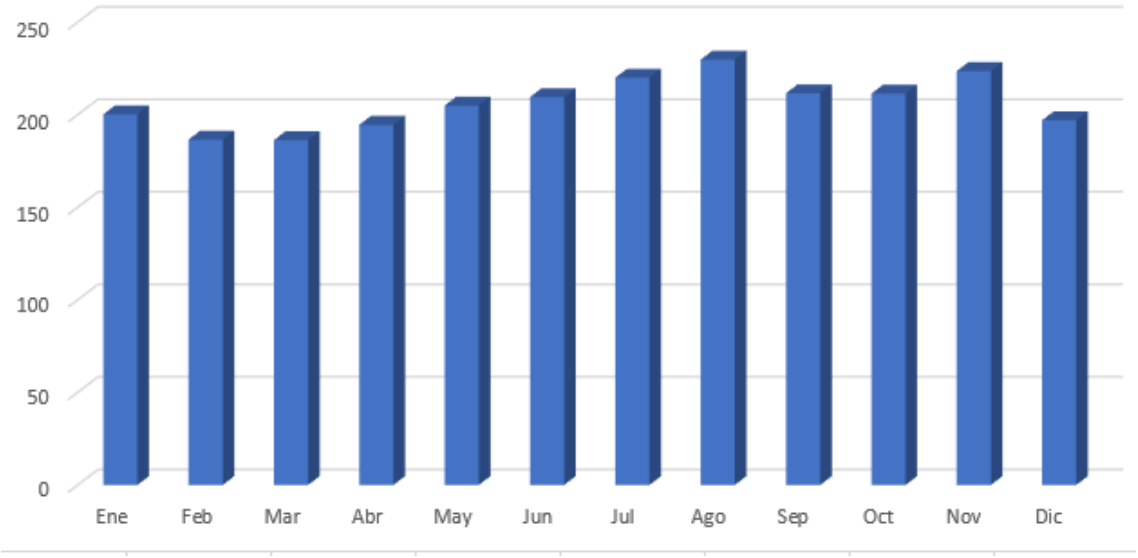


Figura 53. Valores de irradiancia promedio mensual
Fuente Elaboración propia a partir de los datos PowerData

4.3.3.3 Irradiación a partir del PVGIS-5.2

PVGIS por sus siglas es “Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica”, es una herramienta que proporciona datos y análisis esenciales para desarrollo de estudios fotovoltaicos, para cualquier lugar. Con los datos obtenidos se podrá determinar el potencial solar de la zona.

a) Datos de entrada

Parámetro	Entrada
Tipo generación	Hibrido
Lugar geográfico	Latitud -10.5633 y Longitud -76.852
Orientación	Plano fijo inclinado, inclinación 18°, acimut 0°

b) Datos irradiación diario

Ingresando las coordenadas de la localización de nuestro lugar de estudio, latitud -10.5633 y longitud -76.8529 se obtienen los valores de irradiación en la zona. Estos datos están en formato de almacenamiento de datos CSV (valores separados por coma) y JSON (notación de objetos JavaScript), razón por el cual debe convertirse en formato Excel y a partir de ello se ha procesado para obtener la información requerida.

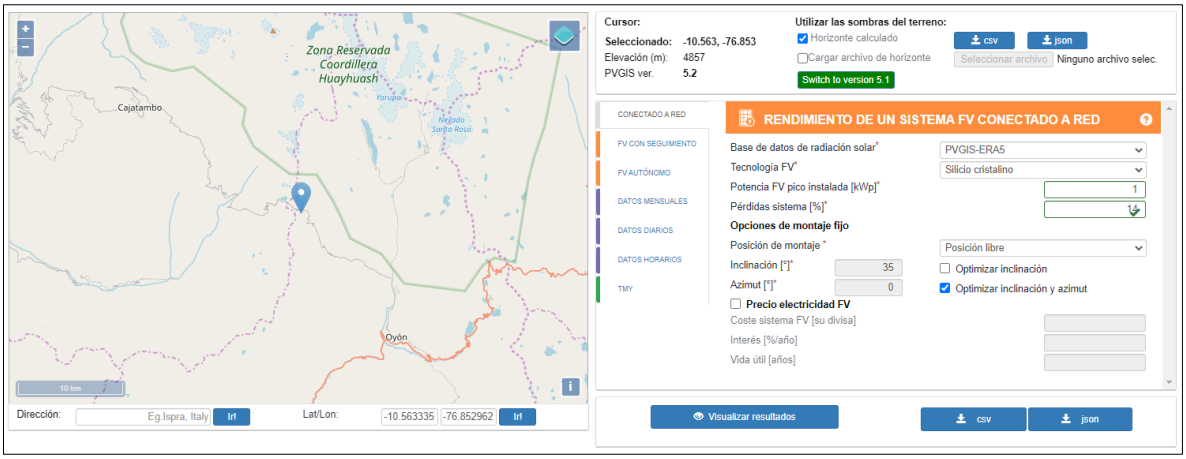


Figura 54. Ingreso a la calculadora PVGIS para la obtención de datos de irradiancia

c) Procesamiento de datos mensuales de Irradiación

Se ha considerado los datos de irradiación global horizontal, irradiación global con ángulo óptimo e irradiación con ángulo seleccionado. Con esta consideración se ingresa a la página online PVGIS para descargar los datos, a partir de ello se procesaron los datos obteniéndose las

tablas de irradiación en función a tres inclinaciones posibles, esto se pueden ver en las Tablas 15, 16 y 17. En esta versión la data contempla desde el 2005 al 2015, se ha elegido trabajar con la data del 2011 al 2015.

Tabla 15. *Irradiación horario promedio mensual con ángulo 0°*

Inclinación 0°								
Mes	**Dias**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**Promedio Mes**	**HSP/día**
Ene	**31**	132.27	156.79	162.68	150.05	161.02	152.56	4.92
Feb	**28.25**	131.53	145.59	137.17	137.82	144.64	139.35	4.93
Mar	**31**	140.70	157.76	147.98	161.08	145.13	150.53	4.86
Abr	**30**	140.57	131.49	164.29	139.48	137.35	142.64	4.75
May	**31**	167.51	154.42	152.47	155.46	139.47	153.87	4.96
Jun	**30**	162.19	157.88	155.61	172.83	163.33	162.37	5.41
Jul	**31**	173.70	179.81	166.22	176.45	176.23	174.48	5.63
Ago	**31**	193.96	194.75	175.89	173.85	183.35	184.36	5.95
Sep	**30**	161.32	103.60	183.01	148.23	162.76	151.78	5.06
Oct	**31**	180.97	173.61	158.23	172.40	175.72	172.19	5.55
Nov	**30**	165.60	151.15	168.83	174.56	165.04	165.04	5.50
Dic	**31**	141.85	141.72	159.26	152.20	165.23	152.05	4.90

Fuente Elaboración propia a partir de los datos de PVgis

Tabla 16. *Irradiación mensual con ángulo 18°*

Inclinación Optima 18°								
Mes	**Dias**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**Promedio Mes**	**HSP/día**
Ene	**31**	124.35	145.17	149.30	139.44	149.27	141.51	4.56
Feb	**28.25**	126.12	139.84	131.83	132.29	138.60	133.74	4.73
Mar	**31**	139.12	156.63	146.77	160.20	144.18	149.38	4.82
Abr	**30**	147.12	136.72	175.32	146.01	142.54	149.54	4.98
May	**31**	189.53	173.49	169.68	175.14	153.81	172.33	5.56
Jun	**30**	192.48	186.48	182.84	206.42	193.83	192.41	6.41
Jul	**31**	202.57	210.86	191.97	206.93	207.22	203.91	6.58
Ago	**31**	215.48	216.59	192.35	191.00	202.73	203.63	6.57
Sep	**30**	164.67	107.92	187.93	150.93	166.16	155.52	5.18
Oct	**31**	174.83	167.93	153.05	166.04	169.94	166.36	5.37
Nov	**30**	153.31	141.03	155.60	160.17	152.93	152.61	5.09
Dic	**31**	131.44	132.15	146.34	140.21	151.45	140.32	4.53

Fuente Elaboración propia a partir de los datos de PVgis

Tabla 17. *Irradiación mensual con ángulo 11°*

Inclinación calculo manual 11°								
Mes	**Dias**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**Promedio Mes**	**HSP/día**
Ene	**31**	128.21	150.73	155.63	144.51	154.88	146.79	4.74
Feb	**28.25**	129.05	142.98	134.74	135.28	141.84	136.78	4.84
Mar	**31**	140.60	158.10	148.14	161.67	145.47	150.80	4.86
Abr	**30**	145.61	135.59	172.41	144.50	141.45	147.91	4.93
May	**31**	182.51	167.43	164.25	168.86	149.33	166.48	5.37
Jun	**30**	182.25	176.86	173.67	195.08	183.56	182.28	6.08
Jul	**31**	193.03	200.56	183.52	196.80	196.93	194.17	6.26
Ago	**31**	208.99	209.99	187.56	185.94	196.91	197.88	6.38
Sep	**30**	164.67	107.18	187.63	150.98	166.08	155.31	5.18
Oct	**31**	178.57	171.38	156.16	169.77	173.50	169.88	5.48
Nov	**30**	159.21	145.85	161.79	166.93	158.61	158.48	5.28
Dic	**31**	136.31	136.69	152.37	145.73	157.80	145.78	4.70

Fuente Elaboración propia a partir de los datos de PVgis

4.3.4 Cálculo de horas solar pico (HSP)

Cálculo de HSP por fórmula

Para el cálculo de la HSP se divide el valor de la irradiación incidente entre el valor de la irradiación estándar en condiciones estándar de medida. Para hallar las HSP se puede usar la siguiente ecuación.

$$HSP = \frac{IG}{G} \tag{9}$$

Dónde:
IG: Irradiación global en la zona Wh/m^2
G: Irradiación estándar (1000W/m2)
HSP: Hora solar pico
Pi: Potencia de irradiancia CST

$$HSP = \frac{4945.48Wh\ /m^2}{1000W/m^2} = 4.95h$$

Cálculo de HSP con datos del PVGIS

La irradiación global de la zona fue determinada en el apartado 5.2.3.2, En la tabla 18 se muestra el resumen de los cálculos de HSP de manera consolidado para ángulos de inclinación de 0°, 18°, y 11°.

Tabla 18. *Cálculo HSP a partir de la irradiación de la zona*

Mes	HSP 0°	HSP Op 18°	HSP 11°
Ene	4.92	4.56	4.74
Feb	4.93	4.73	4.84
Mar	4.86	4.82	4.86
Abr	4.75	4.98	4.93
May	4.96	5.56	5.37
Jun	5.41	6.41	6.08
Jul	5.63	6.58	6.26
Ago	5.95	6.57	6.38
Sep	5.06	5.18	5.18
Oct	5.55	5.37	5.48
Nov	5.50	5.09	5.28
Dic	4.90	4.53	4.70
Total anual	1,901.21	1,961.25	1,952.53
% Perdidas	-3.06%	0.00%	-0.44%

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de PVgis

4.4 Cálculo y dimensionamiento del sistema FV

4.4.1 Dimensionamiento de paneles solares

Para el dimensionamiento de los paneles solares partimos de del requerimiento de cargas para el sistema de filtración, en el cual la potencia requerida es de 50 KW y la energía es de 1255 Kw-h/dia y el voltaje es de 440 V

4.4.1.1 Cálculo de la demanda de energía en el área de filtración

Para realizar el diseño FV calculamos la carga requerida en el área de filtración, en el cual están constituidos por los diferentes motores eléctricos las cuales cada uno tiene un consumo de energía. En la tabla 19 se puede observar las cargas en el área de filtración, teniendo en cuenta el uso de cada uno de los motores eléctricos. La energía requerida para el área de filtración es de 1255 KWh/dia.

Tabla 19. *Cuadro de cargas área de filtración*

AREA	EQUIPO	CANT.	UM	POT (KW)	FD	HR FUNC.	MAX DEM. (Kw)	ENERGIA (Kw-h/dia)
FILTRO PRENSA	AGITADOR- VYMSA	1	UND	22.4	1.00	24	22.35	536.40
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 1 - 2.5"X2" VYMSA	1	UND	5.6	0.75	24	4.19	134.10
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 2 - BREDEL	1	UND	1.8	0.75	16	1.31	28.00
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 3 - BREDEL	1	UND	1.8	1.00	16	1.75	28.00
FILTRO PRENSA	BOMBA DE PULPA 4 - 2.5X2	1	UND	5.6	0.50	16	2.79	89.40
FILTRO PRENSA	ESPESADOR 1	1	UND	5.0	1.00	24	5.00	120.00

FILTRO PRENSA	ESPESADOR 2	1	UND	5.0	1.00	24	5.00	120.00
FILTRO PRENSA	FAJA TRANSPORTADORA N°6	1	UND	3.7	0.60	16	2.22	59.20
FILTRO PRENSA	FAJA TRANSPORTADORA N°7	1	UND	3.7	0.60	16	2.22	59.20
FILTRO PRENSA	FILTRO PRENSA – JALADOR	1	UND	0.6	0.50	16	0.28	8.80
FILTRO PRENSA	FILTRO PRENSA - JALADOR REFRIGERCION	1	UND	0.0	0.50	16	0.02	0.56
FILTRO PRENSA	FILTRO PRENSA - MODULO HIDRAULICO	1	UND	4.0	0.50	16	2.00	64.00
FILTRO PRENSA	HIDROLAVADORA - KARCHER	1	UND	1.0	0.50	8	0.50	8.00
Total, general								
							49.63	**1,255.66**

Fuente: Elaboración propia

4.4.1.2 Opciones de paneles solares y selección

Se ha revisado varias opciones de paneles de los cuales se ha preseleccionado tres paneles posibles, en la tabla 20 se puede observar sus características principales, para finalmente elegir uno, en este caso se ha elegido el panel solar DAH solar que presta buenas características. Para mayores detalles se puede observar en anexos las especificaciones técnicas completo del panel seleccionado.

Tabla 20. *Especificaciones de paneles solares*

Modelo	**JKM460N-60HL4-V**	**RSM72-6-380M**	**DHM-72X10/FS-550W**
Fabricante	JINKO	Risen Energy Co., Ltd.	**DAH SOLAR**
País	China	China	**China**
Tipo de celulas	Monocristalino	Monocristalino	**Monocristalino**
Número de Células	120 (6×20)	72	**144 (6×24)**
Dimensiones LxAnchoxEsp (mm)	1903×1134×30mm	1956x992x40 mm	**2279×1134×35mm**
Peso (kg)	24.2 kg	22 kg	**29kg**
Potencia Máxima (Pmax)	460Wp	284,3 Wp	**550 Wp**
Tensión en el Punto de Máxima Potencia (Vmax)	34.72V	36,9 V	**39.8 V**
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	13.25A	7,71 A	**10.29 A**

Fuente. Elaboración propia

4.4.1.3 Rendimiento global de la instalación y la demanda de energía

Rendimiento global de la instalación

El factor de rendimiento global de la instalación FV se puede realizar el cálculo con la siguiente ecuación.

$$R = (1 - k_b - k_i - k_r - k_v).(1 - k_a.\frac{N}{P_d}) \quad (10)$$

Los factores de la ecuación (14) son:

kb: Coeficiente de pérdidas por rendimiento del banco de baterías
- 0.05 Acumuladores que no demanden descargas profundas
- 0.1 Acumuladores con descargas profundas 102 de 131

ki: Coeficiente de pérdidas en el inversor
- 0 No hay inversor en la instalación
- 0.05 Rendimiento inversor 95%
- 0.1 Rendimiento inversor 90%
- 0.15 Rendimiento inversor 85%

kr: Perdidas en el controlador de carga
- 0.1 Controlador de carga eficiente
- 0.15 Controlador de carga antiguo, poco eficiente

kv: Coeficiente de pérdidas varias
- 0.1 Si no se han tenido en cuenta pérdidas en conductores y equipos
- 0.05 Si ya se ha realizado estudio detallado de perdidas

ka: Coeficiente de autodescarga de la batería
- 0,002 Baterías de baja autodescarga, sin mantenimiento
- 0,005 Baterías estacionarias de energía solar
- 0,012 Baterías de alta auto-descarga (arranque de vehículos)

N: Número de días de autonomía
- Días en que la instalación trabajará bajo condiciones de irradiación mínimas (días nublados continuos), se consumirá más energía de la que se genera.

pd: Profundidad de descarga diaria de la batería
- 0.9 Batería descargada hasta el 90%
- 0.8 Batería descargada hasta el 80%
- 0.7 Batería descargada hasta el 70%
- No deberá exceder el 80% de su capacidad nominal, a fin de evitar afectar la vida útil del banco de baterías.

Para el cálculo los siguientes valores utilizamos:

Valores de las constantes seleccionado de la lista desplegable		
Acumuladores nuevos, sin descargas intensas	**Kb =**	0.05
Baterías estacionarias de energía solar	**Ka =**	0.005
Rendimiento del inversor 90%	**Ki =**	0.1
Controlador de carga eficiente	**Kr =**	0.1
Si se ha realizado un estudio detallado de pérdidas en equipos	**Kv =**	0.05
Batería descargada hasta 70%	**Pd =**	0.7
Autoconsumo industrial	**N =**	3

$$R = (1 - 0.05 - 0.1 - 0.05).\left(1 - 0.005.\frac{3}{0.7}\right) = 0.783$$

La demanda de energía requerida

Para determinar la energía requerida es necesario considerar el rendimiento global de la instalación a la energía calculada en el apartado 5.3.1.1.

$$D_{ER} = \frac{D_E}{R} \tag{11}$$

$$D_{ER} = \frac{1255.66}{0.783} = 1603.95 KWh/dia$$

4.4.1.4 Potencia del generador FV:

Para calcular la potencia que debe proporcionar los paneles es necesario conocer la HSP. En el apartado 5.2.5 se calculó la HSP, a partir de ello se tiene el resumen en la tabla 21.

Tabla 21. *HSP máximo, mínimo y media*

Resumen de caculo de HSP			
	HSP 0°	**HSP Op 18°**	**HSP 11°**
MAX	5.95	6.58	6.38
MIN	4.75	4.53	4.70
MEDIA	5.20	5.37	5.34

$$P_{G-FV} = \frac{D_{ER}(Wh\ /dia)}{HSP(h/dia)} \tag{12}$$

Potencia sistema FV hibrida aislado

Para determinar la potencia se considera la potencia requerida por las cargas.

$$P_{Carga} = P_{G-FV} = 50KW$$

Con esa la consideración de potencia de carga es igual a la potencia de generación fotovoltaica, determinamos la energía con la HSP determinado. Despejando la ecuación 15 se tiene.

$$D_{ER}(Wh\ /dia) = P_{G-FV} * HSP(h/dia)$$

	HSP Op 18° (h/día)	**PG-FV (KW)**	**DER (KWh/día)**	**(KWh/día)**
DER max	6.58	50	329.0	350
DER min	4.53	50	226.5	250
DER media	5.37	50	268.5	300

Para el dimensionamiento consideramos la energía requerida de 300 en el que se consideró HSP media 5.37 h/dia.

Potencia sistema FV aislado

Para el cálculo se considera la demanda de energía y la HSP.

Potencia considerando la HSP mínimo

Se toma la HSP mínimo, que corresponde al valor de 4.53 h/día. Para determinar la potencia de generación FV utilizamos la ecuación 16, en el cual se considera la HSP mínimo.

$$P_{G-FV} = \frac{D_{ER}}{HSP} = \frac{1603.95\ KWh/dia}{4.53\ h/dia} = 354.07\ KW$$

Potencia considerando la HSP media

De la tabla 19 tomamos la hora HSP medio 5.37 h/día, aplicando la ecuación 15 se obtiene el siguiente resultado.

$$P_{G-FV} = \frac{1603.95\ KWh/dia}{5.37\ h/dia} = 298.68 \sim 300KW$$

En conclusión, se tiene dos opciones de potencias para la solución; si fuese puramente fotovoltaico aislado la potencia requerida es de 300 KW y considerando un sistema hibrido aislado la potencia requerida es de 50KW; sin embargo, para su implementación a más capacidad la inversión es mayor. Por lo tanto, se ha definido trabajar con el sistema hibrido aislado.

4.4.1.5 Cálculo del número de paneles

Como en el apartado 2.1.1 se determinó la potencia requerida y del mismo modo se seleccionó el panel requerido, a partir de ello calculamos el número de módulos haciendo uso la ecuación 13 puesto que se conoce las especificaciones el panel.

$$N_p = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV}} \qquad (13)$$

Dónde: P_{G-FV} = Potencia requerida y P_{FV} = Potencia del panel fv elegido

Calculo considerando como sistema hibrido:

P_{G-FV} = 50 KW
P_{FV} = 550 W

$$N_p = \frac{50*10^3*1.12}{550} = 101.81 \qquad \approx 102 \text{ paneles}$$

4.4.1.6 Calculo cantidad de paneles en serie y en paralelo

Sabiendo que el arreglo es el conjunto de paneles solares, que pueden estar conectados en serie, paralelo o mixto.

La conexión serie permite Incrementar el voltaje; para incrementar el voltaje los módulos conectamos en serie, como el objetivo es lograr tener el voltaje mayor que 440V entonces calculamos el voltaje en serie.

La conexión paralela se logra Incremento la corriente; al conectar en paralelo de los paneles fotovoltaicos idénticos se tiene una corriente de salida que es igual a la una de las corrientes individuales.

En la presente tesis necesitamos incrementar el voltaje y el amperaje para tal efecto tendremos que emplear un circuito mixto en el que se tendrá conexión serie y paralelo.

N° paneles en serie:

$$N°_{PS} = \frac{V_{nom}}{V_{MPP}} \tag{14}$$

N° paneles en paralelo:

$$N°_{PP} = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV}elegido\ x\ N°_{PS}} \tag{15}$$

Cálculo de paneles en serie y en paralelo, considerando sistema hibrido

$$N°_{PS} = \frac{720\ V}{42.4\ V} = 16.98 \sim 17\ und$$

$$N°_{PP} = \frac{50}{0.550\ x\ 17} = 5.34 \sim 6\ und$$

Conexión de las placas solares fotovoltaicas: La conexión física para minimizar la longitud de cables será como está representado en el esquema siguiente figura 55.

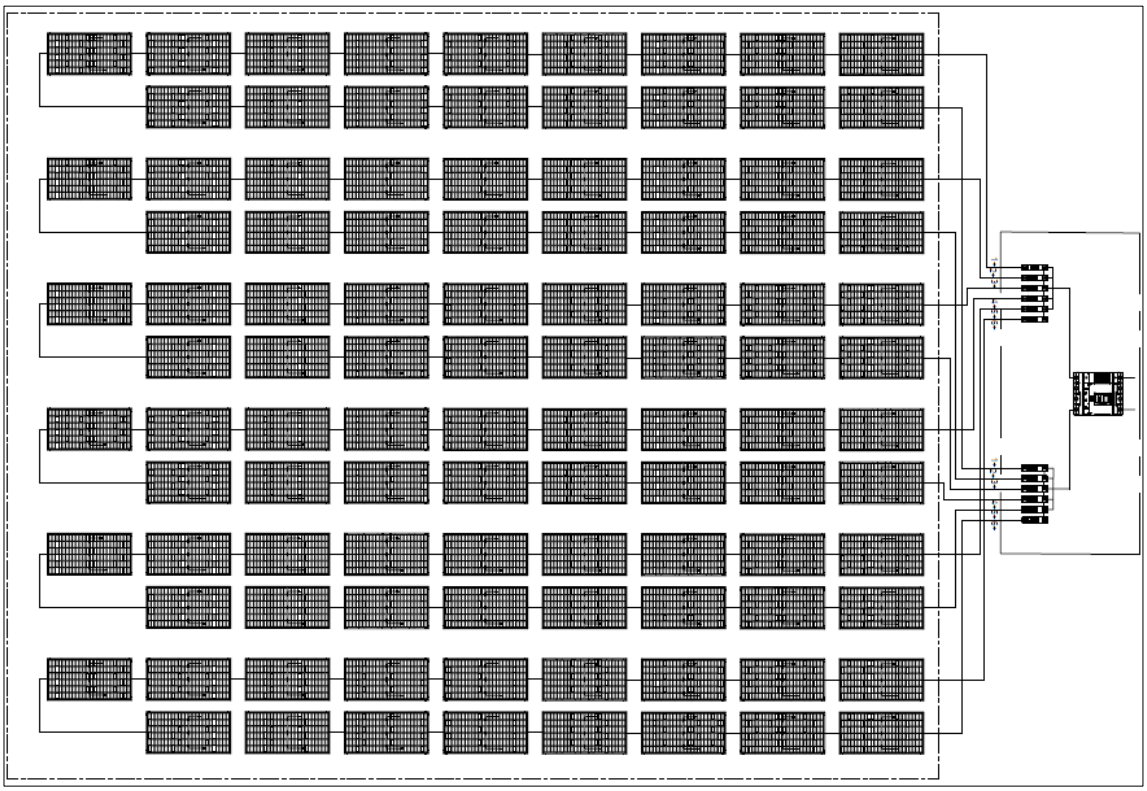


Figura 55. Arreglo fotovoltaico conexión serie paralelo.
Fuente. Elaboración propia

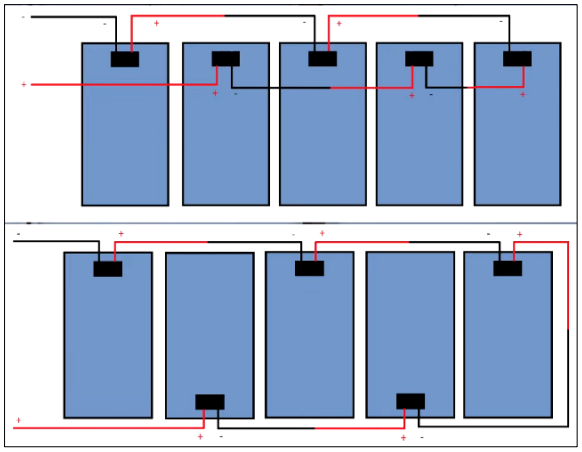


Figura 56. Detalle de la conexión serie y paralelo

4.4.1.7 Cálculo de la tensión y corriente del sistema

En base de las especificaciones técnicas del panel seleccionado, hacemos uso de los parámetros de: Potencia máxima 550W, voltaje máximo 42.4 V y la intensidad máxima 12.97 A; para el cálculo de la tensión y corriente máximo.

Circuito serie - voltaje y corriente:

$$V_s = \sum_0^N V_{fv} = V_{fv} * N_s \quad (16)$$

$V_S = 42.4 * 17 = 720.8\ V$

$I_S = 12.97\ A$

Circuito paralelo - corriente y voltaje:

$$I_p = \sum_0^N I_{fv} = I_{fv} * N_p \quad (17)$$

$I_P = 12.97\ A * 6 = 77.8\ A$

$V_P = 720.8\ V$

Voltaje e Intensidad máxima del sistema FV:

La intensidad máxima del sistema a la entrada del inversor es de 77.8 A y el voltaje del sistema a la entrada del inversor es 720.8 V.

4.4.1.8 Cálculo del área requerida por los paneles

Para calcular el área de la superficie requerida se emplea la ecuación 19. Para corroborar el área requerida son necesarias las medidas del panel y la cantidad de paneles. El panel seleccionado es DHM-72X10/FS-550W las cuales se tiene las siguientes mediadas, Largo 2.279m, ancho 1.134m y espesor 35mm.

$$P_{FV} = S_A . G . \eta \dashrightarrow S_A = \frac{P_{FV}}{\eta . G} \quad (18)$$

Dónde: P_{Fv} es la potencia total de salida, η es la eficiencia de conversión y G es la irradiancia medida en W/m^2

Cálculo del área considerando sistema híbrido:

$$S_A = \frac{50\ KW}{0.20\ x\ 1000 W/m^2} = 250\ m^2$$

Comprobación; Como se requiere instalar 102 paneles con una potencia total de 50KW, cuyas dimensiones de cada panel es 1.134 m de ancho y 2.279 m de largo. De los cuales se tiene el área de un string.

A_s = 17 (1.134 x 2.279) = 43.94 m^2

A_T = 6 x 43.94 = 236.64

Por lo tanto, el área es igual a 236.64 m2, El área determinada está considerado si la instalación fuera de manera continua es decir sin espacio entre paneles, sin embargo, debemos determinar considerando un 5% espacio, Con esa consideración el área total es 248.47 m^2

4.4.2 Disposición de los paneles solares

4.4.2.1 Cálculo de distancia de sombra entre paneles

En la instalación de paneles se tiene que hacer varias filas, del cual la distribución dicha distribución de paneles no debe ocasionar sombras.

Para calcular la distancia mínima entre una fila y otra de los paneles haremos uso de la ecuación 20 y la figura 52. La distancia mínima permite que no se produzcan sombras entre ellos.

$$D_S = \frac{L\ x\ sen\beta}{tan\ y_S} \tag{19}$$

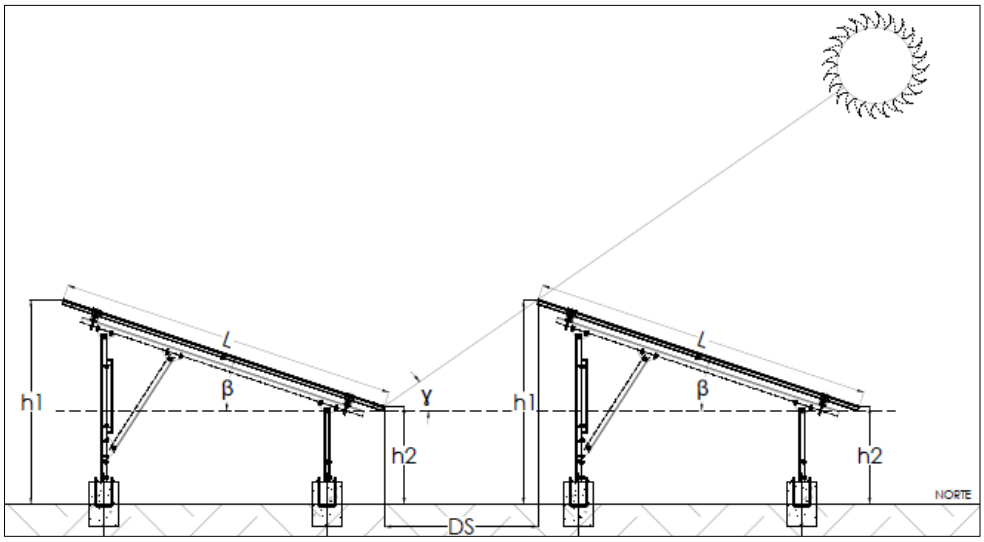


Figura 57. Esquema de instalación de paneles fotovoltaicos
Fuente: Elaboración propio

Para determinar la trayectoria solar hacemos uso el aplicativo web de La Universidad de Oregón, Laboratorio de Monitoreo de Radiación Solar (SRML) con las coordenadas del lugar. El gráfico de trayectoria solar se muestra en la figura 45. Del gráfico de la trayectoria solar determinamos la elevación solar y_s = 36 grados.

Con los datos completados se caculo la distancia de sombras igual a un metro, el detalle se puede observar en la tabla 22.

Tabla 22. *Cálculo de distancia de sombras*

Angulo de inclinación (β)	18	grados
Medida del largo de panel(L)	2.279	m
Elevación solar (Ys)	36	grados
Distancia de sombras (Ds)	0.342805646	m
Factor de seguridad	10%	%
Distancia de sombras (Ds)	0.37708621	1

Análisis de la trayectoria del sol en la zona con la carta solar

La carta solar es un instrumento que nos va permitir la posición del sol respecto a nuestra ubicación. Para la ubicación de la zona de estudio se ha obtenido la carta solar ver figura 51, del software web Solardata de la universidad de Oregon.

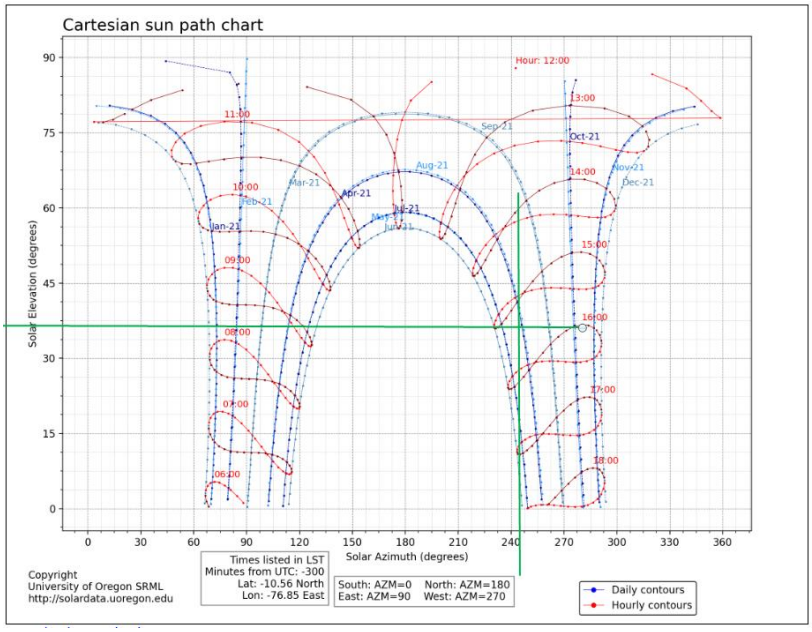


Figura 58. Resultados del gráfico de trayectoria del sol
Fuente: Elaboración propio, con datos de la coordenada en la carta solar

4.4.2.2 Dimensionamiento de la estructura soporte

Para el diseño del soporte se ha considerado las dimensiones del panel fotovoltaico elegido. En conjunto la estructura ha sido diseñada con las especificaciones siguientes.

- La estructura soporte está considerado el tipo fijo prefabricados, resistente a los agentes medioambientales y corrosión.
- Capacidad para soportar 102 paneles.

Las dimensiones se muestran en los planos adjuntos en anexos, y en la figura 59 se muestra la forma del diseño, cada pórtico se compone de dos pilares, un dintel y una diagonal. Las dimensiones de los pilares son de 0.50 y 1.00m, la del dintel es 20 m y la diagonal es 2.00m. La dimensión total en planta es de 40.00m x 13.00m.

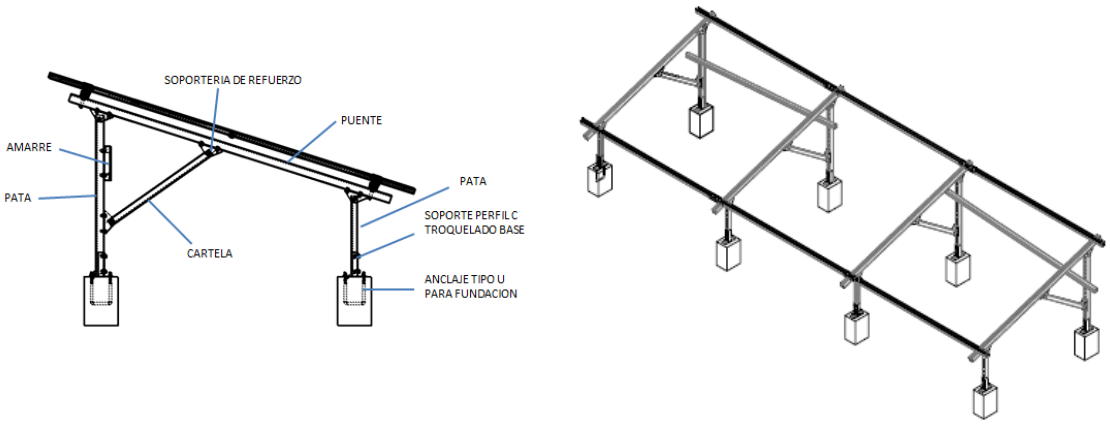


Figura 59. Esquema de la estructura

Fuente: Elaboración propio

En el apartado Planos, se detalla más en profundidad las dimensiones del conjunto de la estructura y de cada uno de los perfiles empleados.

Materiales del soporte

Como se muestra en la tabla 23, el material utilizado es un Perfil Acabado Galvanizado (PAG) para prevenir y proteger de la oxidación, en espesores de 1.2mm - 1.5mm – 2.0mm con recubrimiento de Zinc equivalente a 180g/m² - Z180 (G60) y 2.50mm - 3.00mm con recubrimiento equivalente a 275g/m² - Z275 (G90) tiene la particularidad de ser resistente a la corrosión debido al recubrimiento con Zinc.

Tabla 23. *Materiales empleados*

ITEM	DESCRIPCION	DIMENSIONES (mm)	CANTIDAD PARA 102 PANELES	UNID
1	PERFIL C TR0QUELADO GALVANIZADO 500mm	41X41X2	65	PIEZAS
2	PERFIL C TR0QUELADO GALVANIZADO 750 mm	41X41X2	65	PIEZAS

3	PERFIL C TR0QUELADO GALVANIZADO 1000mm	41X50X2	65	PIEZAS
4	PERFIL C TR0QUELADO GALVANIZADO 2000mm	41X50X2	123	PIEZAS
5	PERFIL C TR0QUELADO GALVANIZADO 2200mm	41X41X2	16	PIEZAS
6	PERFIL C TROQUELADO ACCESORIO DE UNION		115	PIEZAS
7	SOPORTERIA DE REFUERZO		260	PIEZAS
8	ABRAZADERA DE EXTREMO		16	PIEZAS
9	ABRAZADERA DE UNION		198	PIEZAS
10	ELEMENTO DE FIJACION		214	PIEZAS
11	SOPORTE PERFIL C TROQUELADO BASE		130	PIEZAS
12	ANCLAJE TIPO U PARA FUNDACION M10		130	PIEZAS
13	PERNO SOCKET HEXAGONAL	M8X40 (COMPLETO)	214	PIEZAS
14	PERNO SOCKET HEXAGONAL	M10X25 (COMPLETO)	1204	PIEZAS
15	PERNO SOCKET HEXAGONAL	M10X70 (COMPLETO)	390	PIEZAS
16	TUERCA (ARANDELA PLANA Y A PRESION)		260	PIEZAS

4.4.3 Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

4.4.3.1 Capacidad del sistema de baterías:

Las baterías en un sistema aislado e hibrido es importante para almacenar la energía eléctrica y distribuir de forma estable y adecuada. Para la selección se tiene que tener en consideración sus variables de desempeño como son capacidad (Ah), régimen de descarga, profundidad de descarga (DOD) y vida útil. Para dimensionar las baterías se tiene que tener en consideración la ecuación 20.

$$C_{SB} = \frac{D_{ER}\ x\ D_{aut}}{DOD_{des}\ x\ V_{inst}} \quad (20)$$

Dónde: C_{SB} :Capacidad sistema de baterías (Ah), C_{ed}: Consumo diario (Wh/dia), D_{aut}: Días de autonomía (dia), DOD_{des}: Profundidad de descarga (%), y V_{inst}: Tensión de instalación (V).

Cálculo de la capacidad del sistema de baterías – Considerando sistema hibrido

El voltaje del sistema en CC se ha considerado entre 440V a 720V, el consumo de energía diaria considerado es 300Kwh/día. Realizamos el cálculo de la capacidad requerida, para ello va depender de la consideración de autonomía requerida.

Calculo para una autonomía de 1 día

$$C_{SB} = \frac{300\,\frac{KWh}{dia}\,x\;\;1dia}{80\%\;x\;\;720\;V} = 520.83Ah \approx 521Ah$$

Calculo para una autonomía de 0.28 día

$$C_{SB} = \frac{300\,\frac{KWh}{dia}\,x\;\;0.28dia}{80\%\;x\;\;720\;V} = 145.83Ah \approx 146Ah$$

4.4.3.2 Selección de la batería opciones y características

La Tabla 24 se muestra algunas opciones de baterías en el mercado con sus especificaciones. Por lo general para sistemas pequeños requieren capacidades nominales de 100 A-h, sistemas medianos unos 200 A-h y sistemas grandes más de 350 A-h.

Tabla 24. *Opciones y especificaciones de baterías*

Modelo	**US5000 48V**	**HM2A180**	**HVM 22.1**	**LFPSmart 25,6/200-A**
Fabricante	Pylontech	**Pylontech**	BYD	VICTRON
País	China	**China**	China	Holanda
Voltaje Nominal (V)	48	**38.4**	51.2	25,6
Capacidad de batería (Ah)	100	**148**	200	200
Energía (Kwh)	4.8	**5.68**	2.76	5.12
Tecnología de batería	Iones de Litio (LFP)	**Iones de Litio (LFP)**	Litio Fosfato de Hierro	LiFePO4
Dimensión (Al x An x P mm)	161x442x420	**171.5x315x820**	233x585x298	237 x 650 x 163
Peso (kg)	38	**55**	38	39

Fuente: Elaboración propio

4.4.3.3 Cálculo de cantidad de baterías y conexión

Para calcular el banco de baterías se debe tener en cuenta lo siguiente: Se debe conocer el voltaje el equipo o carga a alimentar, conocer la potencia de las cargas a alimentar, determinar el tiempo mínimo que debe mantener las baterías abasteciendo la carga (autonomía de la batería), determinar la energía que requiere ser acumulado en el banco de baterías para el suministrar la carga por el tiempo requerido y conocer las características en voltaje y capacidad de la batería que se utilizará para el diseño del banco. Para calcular la cantidad de las baterías en serie se hace uso de la ecuación 22 y para la cantidad de baterías en paralelo se utiliza la ecuación 23.

Número de baterías en serie y en paralelo

$$\text{N° baterías serie} = \frac{\text{Voltaje nominal sistema}}{\text{Voltaje nominal bateria}} \quad (21)$$

$$N° \; baterias \; paralelo = \frac{Capacidad \; necesaria \; bateria}{Capacidad \; de \; una \; bateria} \quad (22)$$

Cantidad de baterías

$$CantCant_{BAT} = N° \; bat \; serie \; x \; N° \; bat \; paralelo \quad (23)$$

Cálculo de la cantidad de baterías para sistema hibrido

Aplicando las ecuaciones 21, 22 y 23 se obtiene los resultados de la cantidad de baterías y el número de baterías en serie y en paralelo en la tabla 25

Tabla 25*. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento*

	Alternativa 01			Alternativa 02		
Demanda Energética	300.00	KWh/dia		300.00	KWh/dia	
Tensión del sistema	720	V		720	V	
Días de autonomía	**0.2**	días(4.8hrs)		**1**	días	
Profundidad de descarga	80%	0.6		80%		
Capacidad del banco de baterías	**104.17**	105	Ah	520.83	**521**	Ah
Capacidad de almacenamiento de energia2	75.00		KWh	375.00		KWh
BATERIA DEL PROYECTO						
Tensión de la batería	38.4	V	Marca	38.4	V	Marca
Capacidad de la batería	148	Ah	PYLONTECH	148	Ah	PYLONTECH
BANCO DE BATERIAS						
N° Baterías en serie	18.75	19		18.75	19	
N° Baterías en paralelo	0.70	1		3.52	4	
Cantidad de baterías		19			76	
CAPACIDAD DE BATERIAS	148	Ah		592	Ah	
Capacidad de almacenamiento total de energía KWh	107.98	KWh		1,727.69	KWh	
Capacidad de una batería (KWh)	5.68			5.68		

Fuente: Elaboración propio

Conexión de baterías para sistema hibrido

En la figura 60 se presenta la conexión de las baterías de manera general, para el estudio es 19 baterías en serie y una cadena de baterías.

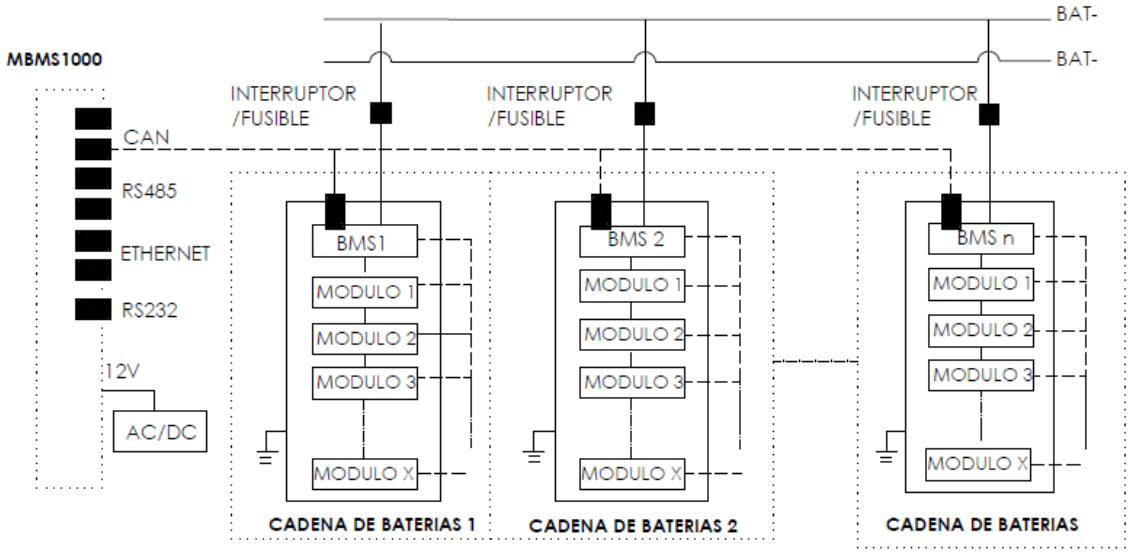


Figura 60. Bloque de conexión con fuente de alimentación interna

4.4.3.4 Dimensionamiento del sistema de gestión de baterías (BMS)

El sistema de gestión de baterías (BMS) es el controlador responsable de monitorear el voltaje y según ello se encarga de cortar la carga y descarga de las baterías, dicho en otras palabras, permite gestionar y controlar adecuadamente la carga y descarga.

Los BMS son sistemas electrónicos de control que supervisan y controlan la carga y descarga de las baterías. Las características de la batería que se deben supervisar abarcan la identificación del tipo de batería, voltajes, temperatura, capacidad, estado de carga, uso de energía, tiempo de funcionamiento residual, ciclos de carga y otras características. Concretamente, determina la corriente que ingresa y sale sin perjudicar a estos dispositivos de almacenaje. A lo largo del funcionamiento de estos aparatos, también poseen la capacidad de procesar y guardar la información para solucionar cualquier inconveniente que pueda surgir.

Selección del BMS

Para elegir el sistema de gestión de batería (BMS) para celdas de batería LiFePO4, se considera los siguientes factores.

Compatibilidad de celdas: El BMS elegido está diseñado específicamente para funcionar con celdas de batería LiFePO4.

Voltaje y recuento de celdas: Como se determinó el voltaje total y el número de celdas del paquete de baterías estos serán los valores para la elección del BMS, para asegurarnos de que el BMS elegido pueda manejar el rango de voltaje. El BMS será capaz de monitorear y equilibrar las celdas dentro del rango de voltaje deseado.

Vnom sistema	**720**	V
N° Baterías en serie	**18.75**	19
N° Baterías en paralelo	**16.72**	17

Capacidad de corriente: considere la clasificación actual máxima del BMS. Debería poder manejar las corrientes de carga y descarga requeridas por su aplicación. Asegúrese de que el BMS tenga un margen de seguridad adecuado para manejar las corrientes máximas sin ningún problema.

Capacidad de la batería	148	Ah

Función de equilibrio: las celdas de la batería LiFePO4 se benefician del equilibrio regular para mantener la consistencia del voltaje de la celda y prolongar la vida útil general de la batería. Asegúrese de que el BMS tenga una función de equilibrio o admita un equilibrio externo para ecualizar el voltaje entre las celdas.

Elegiremos una BMS de la marca Pylontech S1000M2A180J en base a los factores descritos, las características del BMS seleccionado se detalla en la tabla 26 de nuestra instalación.

Tabla 26*. Especificaciones de BMS*

TIPO DE PRODUCTO	**S1000M2A180**	**S1000M2A180J**	**GCE 2U 500V 50A RBMS**
Marca	Pylontech	**Pylontech**	GCEBMS
Tipo bateria	Litio	**Litio**	Litio
Producto Relacionado	M2-180	**M2-180**	-
Suministro De CA	100 - 290VAC/50HZ/1.3A	**-**	-
Voltaje De Operación Del Sistema (Vdc)	0 - 1000	**0 - 1000**	96V - 500V
Corriente De Operación (máx.) (A)	180	**180**	50A
Potencia De Consumo Propio (W)	8	**8**	
Dimensiones (ancho*largo*alto, mm)	315×710×171.5	**315×738×171.5**	482x89x500

Comunicación	MODBUS RTU\CAN	**MODBUS RTU\CAN**	RS485/CAN
Clase De Protección	IP20	**IP20**	IP20
Peso (kg)	19	**19**	10
Vida Útil (años)	15+	**15+**	-
Temperatura De Operación (°C)	-20~65	**-20~65**	-20℃~60℃
Temperatura De Almacenamiento (°C)	-40~80	**-40~80**	-

Fuente: Elaboración propio

Esquema de conexión del BMS

A continuación, se presenta la figura 61 de conexión del BMS, sin embargo, pueden existir otras opciones de conexión de acuerdo a las interfaces de cable.

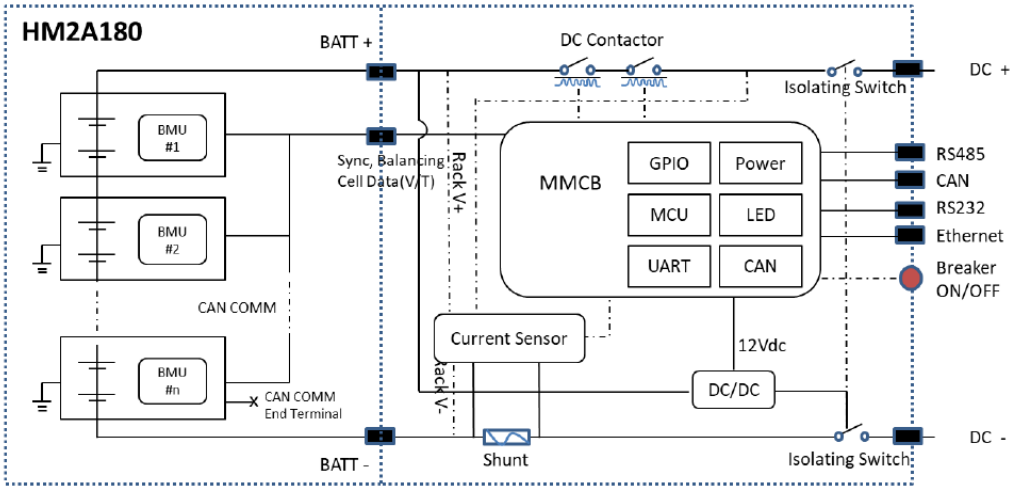


Figura 61. Diagrama de conexión del BMS

4.4.4 Dimensionamiento del inversor-cargador trifásico

Para elegir el tipo de inversor se ha considerado el tipo de **sistema fotovoltaico hibrido** considerando que no se tiene energía del sistema interconectado, sin embargo, se tiene grupos electrógenos para proporcionar la energía eléctrica en el cual podemos asumir que es una energía del sistema, pero con grupo electrógeno.

Uno de los principales parámetros para la elección del inversor es la potencia del generador fotovoltaico y el voltaje del mismo, para lo cual se especifica tanto por el voltaje de entrada en CD Como el voltaje de salida en AC.

4.4.4.1 Factores importantes para la selección del inversor hibrido

Los factores que se tienen que tener en consideración para elegir el inversor son: compatibilidad del sistema, eficiencia, supervisión, control, y potencia.

Compatibilidad del sistema

El inversor seleccionado es compatible con instalaciones de conexión a GE, así como también con baterías, con el propósito de almacenar los excedentes de energía generada.

Eficiencia

Los inversores de alta eficiencia le permiten obtener el máximo rendimiento de sus recursos de energía renovable. Un inversor más eficiente implica un mayor ahorro de energía a lo largo del tiempo.

Supervisión y control

Se ha Considerado que el inversor tenga funciones avanzadas de supervisión y control, esto nos ayudará a hacer un seguimiento del rendimiento de su sistema y a realizar los ajustes necesarios cuando sea necesario.

Potencia del inversor

Para dimensionar el inversor es esencial satisfacer la necesidad de potencia. Para no sobredimensionar o infra dimensionar, un sobredimensionamiento da lugar a ineficiencias y desperdiciar recursos, mientras que un infra dimensionamiento provocara limitaciones en el rendimiento o daños en los componentes. La potencia del inversor se puede calcular mediante la ecuación 24 ó 25.

$$Pinv = \sum Pac\ x\ fs \tag{24}$$

Dónde: ΣP_{AC}: Suma de potencias en alterna, fs: Factor de seguridad

$$Pinv = P_{G-FV} \tag{25}$$

Potencia del inversor para sistema hibrido

Considerando la ecuación 25 se tiene la potencia del inversor.

$$Pinv = 50KW$$

4.4.4.2 Opciones y selección de versores

Para la presente propuesta se considera el uso de inversor solar trifásico para aplicación industrial. En la tabla 27 se presentan algunas opciones de inversores, de los cuales se cuentan con representantes en el mercado local. Las especificaciones técnicas del inversor elegido con más detalles, se puede observar en anexos.

Tabla 27. *Especificaciones de inversores*

Modelo	GW50KLV-MT	MPS0050	M50A
Fabricante	GOODWE	**MEGAREVO**	DELTA
Dimensiones Alt x Ancho x Prof (mm)	586×788×267	**800x800x1,900**	740×612×278
Peso (kg)	70	**720/750**	74
Potencia nominal (KW)	50	**50**	52
Voltaje de entrada máximo (VDC)	800	**1000**	1100
Nominal output Power (KW)	50	**50**	50
Voltaje de salida nominal (VAC)	220, 3L/N/PE	**440**	480
Frecuencia (Hz)	50/60	**50/60**	50/60

Fuente: Elaboración propio

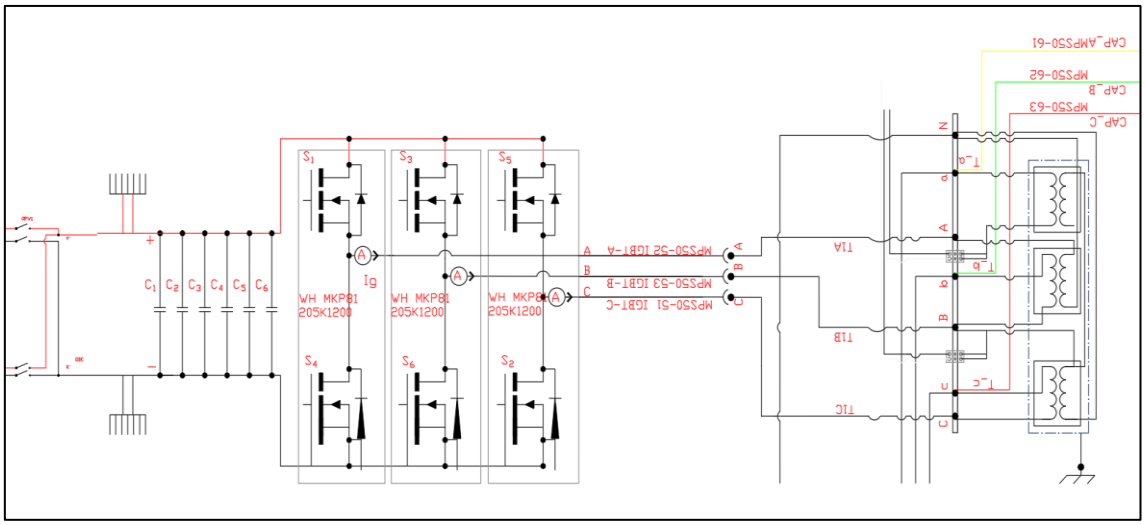


Figura 62. Esquema general del inversor

Fuente: Elaboración propio

4.4.5 Dimensionamiento de conductores

4.4.5.1 Cálculo de secciones de cableado sección continúa

Para determinar la sección del cable en corriente continua, para la instalación fotovoltaica se empleará la siguiente ecuación. Para tal efecto se ha seleccionado el cable que cumpla las

propiedades eléctricas y dimensionales (El rendimiento del cable, resistencia del conductor, la calidad y, la consistencia dimensional). El cable solar fotovoltaico de cobre estañado PV1-F 4mm2 dc TUV negro y rojo proporciona ventajas extraordinarias.

El cálculo de la sección del conductor lo realizaremos a partir del esquema de las líneas detalladas en la figura 46, para el cálculo utilizamos el criterio de ampacidad y caída de tensión para ello se hace uso de la ecuación 30. De esta manera en la tabla 22 se muestra los resultados de las secciones.

$$S = \frac{2 \ x \ L \ x \ I}{\Delta V \ x \ \gamma} \tag{26}$$

Dónde:
S: Sección del conductor, en mm2
L: Longitud de línea, en metros
I: Intensidad de corriente, en amperios
ΔV: Caída de tensión, en voltaje
γ: Conductividad eléctrica, para cobre 56 m/ Ω·mm2

De manera similar se hace el cálculo para las diferentes líneas teniendo como resultado en la tabla 28.

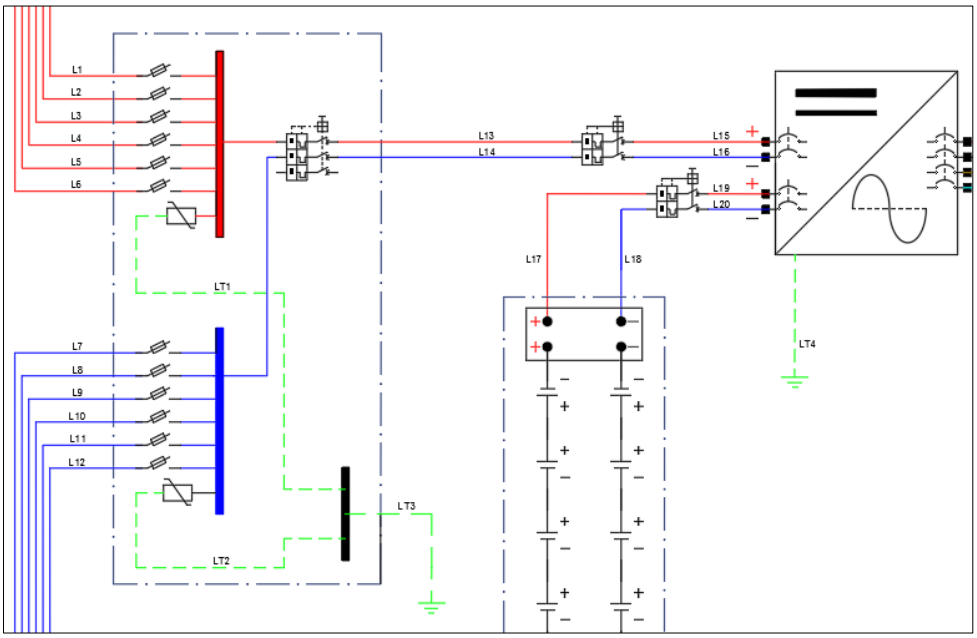


Figura 63. Esquema de conductores de CC
Fuente: Elaboración propio

Tabla 28*. Tabla de secciones calculadas CC*

Componente 1	Componente 2	Nomencl. (L)	Longitud (m)	Longitud media (m)	Max caida tension admisible	I (A)	V	S (mm2)	AWG
GP (STRING1)	CAJA COMBIN	L1 (+)	32.20	35.60	3%	12.97	717.4	2.00	12
		L7 (-)	39.00						
GP (STRING2)	CAJA COMBIN	L2 (+)	47.00	46.78	3%	12.97	717.4	2.00	12
		L8 (-)	46.55						
GP (STRING3)	CAJA COMBIN	L3 (+)	56.50	56.18	3%	12.97	717.4	2.00	12
		L9 (-)	55.85						
GP (STRING4)	CAJA COMBIN	L4 (+)	34.20	33.60	3%	12.97	717.4	2.00	12
		L10 (-)	33.00						
GP (STRING5)	CAJA COMBIN	L5 (+)	56.88	57.02	3%	12.97	717.4	2.00	12
		L11 (-)	57.15						
GP (STRING6)	CAJA COMBIN	L6 (+)	47.07	46.94	3%	12.97	717.4	2.00	12
		L12 (-)	46.80						
CAJA COMBIN	INVERSOR	L13 (+)	6.00	6.00	3%	77.82	717.4	10.00	8
		L14 (-)	6.00						
BANCO BAT	INVERSOR	L17 (+)	2.50	2.50	3%	148.0	729.4	35.00	2
		L18 (-)	2.50						

Fuente: Elaboración propio

El siguiente número a considerar en la selección son las protecciones como:

- Protección por alto y bajo voltaje
- Protección contra inversión de polaridad
- Protección contra descargas atmosféricas

4.4.5.2 Cálculo de secciones de cableado sección alterna

La sección del cableado de la línea alterna consideramos desde la línea principal que sale del inversor al tablero de distribución, y también la distribución al área de filtración; para el cálculo utilizamos la ecuación 31. El resultado del cálculo se presenta en la tabla 29.

$$S = \frac{\sqrt{3}\ x\ L\ x\ I\ x\ cos\emptyset}{\Delta V\ x\ \gamma} = \frac{L\ x\ W}{\Delta V\ x\ V\ x\ \gamma} \qquad (27)$$

Dónde:
S: Sección del conductor (mm^2)
W: Potencia transportada, en Watts
I: Corriente (A)

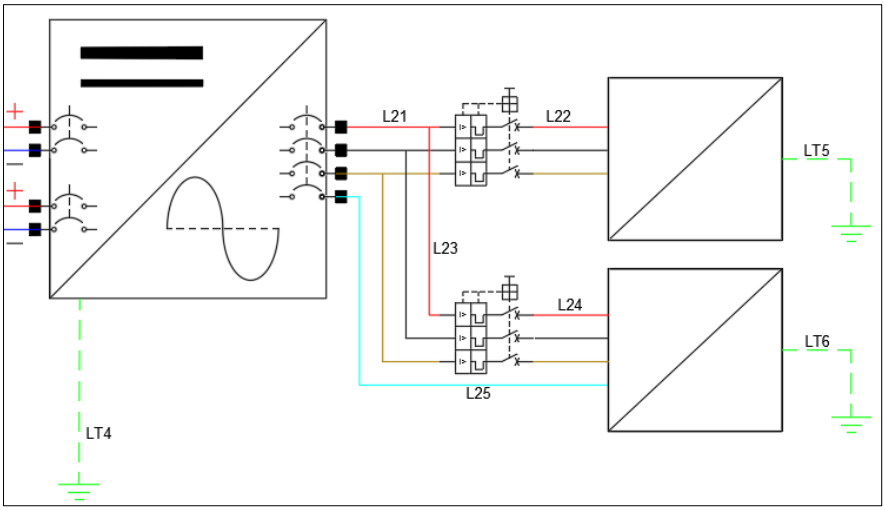


Figura 64. Esquema de conductores de CA
Fuente: Elaboración propio

Tabla 29. *Tabla de secciones calculadas CA*

Componente 1	Componente 2	Nomencl. (L)	Longitud (m)	Longitud media (m)	Max caida tension admisible	I (A)	Id (A)	V	S (mm2)	AWG
INVERSOR	TAB DISTRIBUC	L22 (R)	5.00	5.00	3%	90.21	**112.76**	440	25	4
		L22 (S)	5.00	5.00	3%	90.21	**112.76**	440	25	4
		L22 (T)	5.00	5.00	3%	90.21	**112.76**	440	25	4
INVERSOR	TAB GE	L24 (R)	15.00	15.00	3%	90.21	**112.76**	440	25	4
		L24 (S)	15.00	15.00	3%	90.21	**112.76**	440	25	4
		L24 (T)	15.00	15.00	3%	90.21	**112.76**	440	25	4
TAB DISTRIBUC CASA FZA	TAB DISTRIBUC CARGAS	L25 (R)	450.00	450.00	3%	90.21	**112.76**	440	35	2
		L25 (S)	450.00	450.00	3%	90.21	**112.76**	440	35	2
		L25 (T)	450.00	450.00	3%	90.21	**112.76**	440	35	2

Fuente: Elaboración propio

4.4.6 Dimensionamiento de protecciones eléctricas

Dentro del sistema de generación fotovoltaico es necesario que debe contar un sistema de protecciones para asegurar el cuidado de los diferentes componentes eléctricos y electrónicos, de tal manera que se asegure el servicio. Para ello en la presente investigación se ha considerado instalar los sistemas de protección en el lado de corriente continuo y en el lado de corriente alterna.

4.4.6.1 Protecciones eléctricas en CC

Se ha tenido en cuenta la protección para alto y bajo voltaje, contra la inversión de polaridad y descargas atmosféricas.

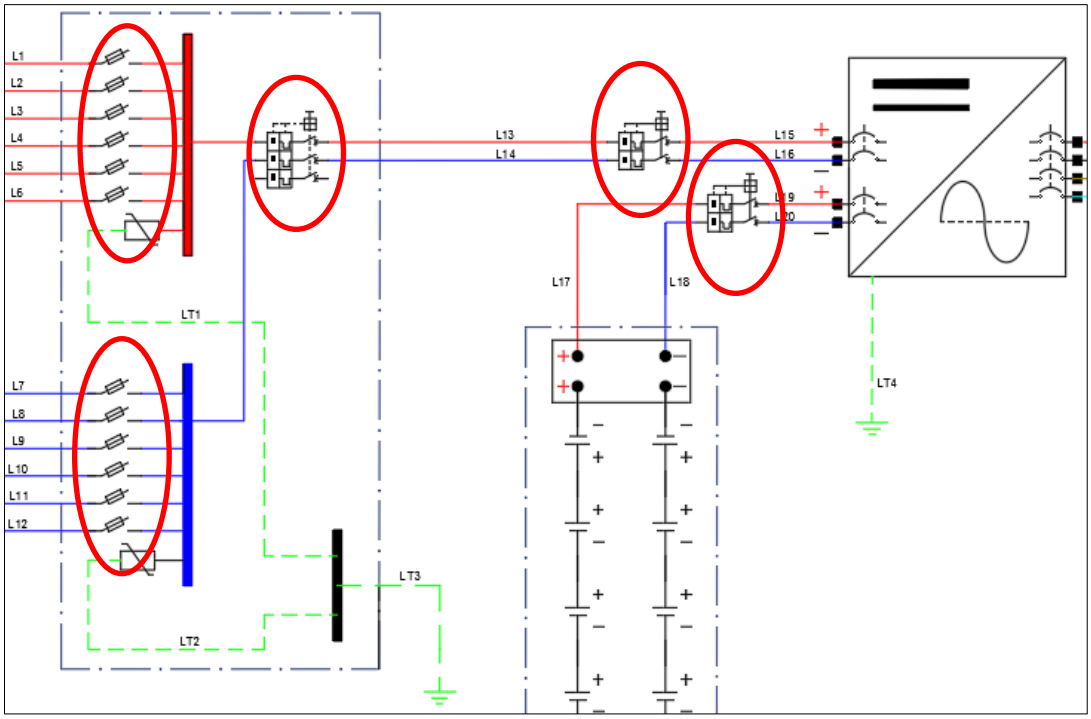


Figura 65. Diagrama protecciones de la instalación CC
Fuente: Elaboración propio

Caja combinadora

a) Protección contra cortocircuito del string FV – Fusible y porta fusible

Dimensionamiento del fusible CC

Los fusibles de corriente continua (CC) sirven como dispositivos de protección en los circuitos eléctricos, protegiéndolos de situaciones de sobre corriente.

Cálculo de corriente máximo de funcionamiento

Para el sistema fotovoltaico, esto se puede calcular multiplicando la corriente de cortocircuito (Isc) del panel por un factor de seguridad, normalmente 1,25. La corriente de corto circuito Icc provocadas por el generador fotovoltaico. Nos basamos en los datos del fabricante de paneles e inversor.

Corriente máximo de funcionamiento: $I_{fusible} = I_{SC}\ x\ 1.25$

$$I_{fusible} = 13.66\ x\ 1.25\ A = 17.075\ A\ \rightarrow 20\ A$$

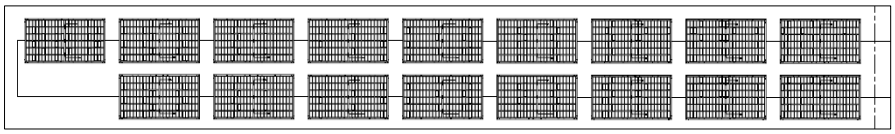
Se permite usar el dispositivo de protección contra sobrecorriente del valor nominal inmediato superior a la capacidad de conducción de corriente calculada.

Cálculo del voltaje máximo de funcionamiento

El voltaje máximo está determinado por el número de paneles en serie multiplicado por el voltaje de circuito abierto (Voc) y un factor de seguridad de 1.15. El voltaje de circuito abierto Voc de la misma manera está determinado en los datos del fabricante de paneles e inversor.

Tensión máxima de funcionamiento por string: 49.8 x 17 x 1.15= 973.59 →1000V

Esquema de conexión de una cadena (string)



Especificaciones del panel

Module Type	STC	Noct
Maximum Power (Pmax)	540W	402W
Open-circuit Voltage (Voc)	49.8V	46.71V
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.0V	39.40V
Short-circuit Current (Isc)	13.66A	11.04A
Maximum Power Current (Imp)	12.86A	10.20A
Module Efficiency (STC)	20.89%	

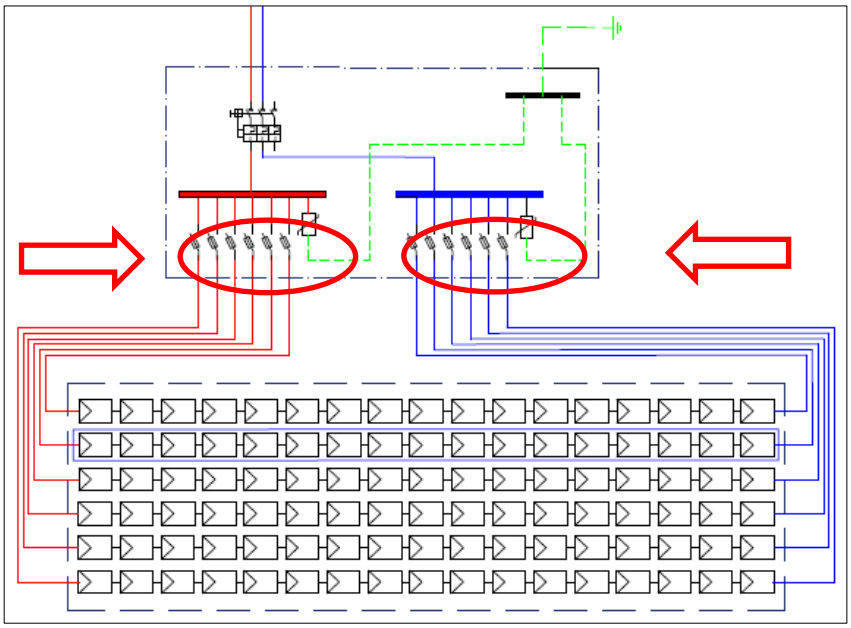


Figura 66. Diagrama de protecciones contra cortocircuito de los string

Fuente: Elaboración propio

Especificaciones del fusible elegido

Con los parámetros de corriente 20A y tensión de 1000V, se recurre a los distintos catálogos de diferentes marcas de fusibles CC; a partir de ello elegimos el calibre del fusible marca Yinrong YRPV30S/20NF 10x38.

Product code	Rated current	Breaking capacity	Safety certificate			Power loss 1.0In(W)	Net weight
YRPV30S/02NF	2A	1500Vdc TUV&CE:15kA UL:20kA	•	•	•	0.9	10g
YRPV30S/03NF	3A		•	•	•	1.0	
YRPV30S/04NF	4A		•	•	•	1.2	
YRPV30S/05NF	5A		•	•	•	1.3	
YRPV30S/06NF	6A		•	•	•	1.5	
YRPV30S/08NF	8A		•	•	•	1.8	
YRPV30S/10NF	10A		•	•	•	2.2	
YRPV30S/12NF	12A		•	•	•	2.3	
YRPV30S/15NF	15A		•	•	•	2.7	
YRPV30S/20NF	20A		•	•	•	3.2	
YRPV30S/25NF	25A		•	•	•	3.8	
YRPV30S/30NF	30A		•	•	•	4.5	

Dimensionamiento del Portafusibles CC

El portafusible a usarse tiene que ser compatible con el fusible seleccionado, para el fusible 10x38 30A 1000Vdc 1P. El portafusible seleccionado es de la misma marca Yinrong se trata de un producto preparado para trabajar con fusibles cilíndricos de baja potencia. Tiene una fisonomía compacta y de sencilla instalación, así como con unas características técnicas ideales para soportar la sobretensión a la que el fusible puede verse expuesto. A continuación, se puede ver la imagen del portafusible y el conjunto de portafusibles para 6 string

Número de polo del portafusible	1 polo
Corriente nominal del portafusible	20A
Voltaje nominal del portafusible	1000VDc
Tamaño del portafusible	10x38 mm
Capacidad de corte del portafusible	20kA
Grado de protección del portafusible	IP20

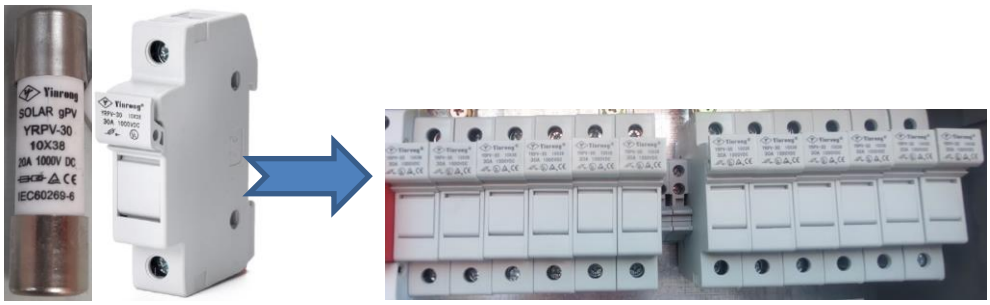


Figura 67. Vista del sistema de protección contra cortocircuito en CC
Fuente: Elaboración propio

b) Protección contra sobretensiones CC

Dimensionamiento del protector de sobretensiones

Los rayos generan campos electromagnéticos y sobretensiones temporales que pueden impactar a las líneas y, por ende, a los dispositivos, incluso si hay un sistema de protección contra el rayo que evite el impacto directo. Por lo tanto, es imprescindible disponer del aparato de protección contra sobretensiones, que debe ser ajustado a la instalación, que tiene como objetivo salvaguardar las células fotovoltaicas y otros componentes que pudieran estar incorporados.

Parámetros de protección según IEC

Up, Grado de resguardo contra la tensión. Máximo nivel de tensión residual entre los conectores del dispositivo de protección durante el uso de una corriente ascendente.

In, Corriente nominal. Corriente de cresta en onda 8/20 µs que puede resistir el dispositivo de protección en 20 ocasiones sin llegar a su término vital.

Imax, Intensidad de descarga máxima. Corriente de cresta en onda 8/20 µs que puede resistir el dispositivo de protección sin llegar a su término de vida.

Uc, Tensión de servicio máxima. Máxima tensión eficaz o de corriente continua que puede ser aplicada de manera duradera a los conectores del dispositivo de protección.

Iimp, Corriente de impulso. Corriente de cresta en onda 10/350 μ s que el dispositivo de protección puede soportar sin llegar a final de vida.

Cálculo de tensión del descargador de sobretensiones

Tensión de trabajo del descargador de sobretensiones > máxima tensión del sistema

Máxima tensión del sistema: 49.8 x 17 (paneles) x 1.15 (fs) = 973.59 V

Corriente: 13.66 x 6 (strig) x 1.25 = 102.45 A / 81.96 A

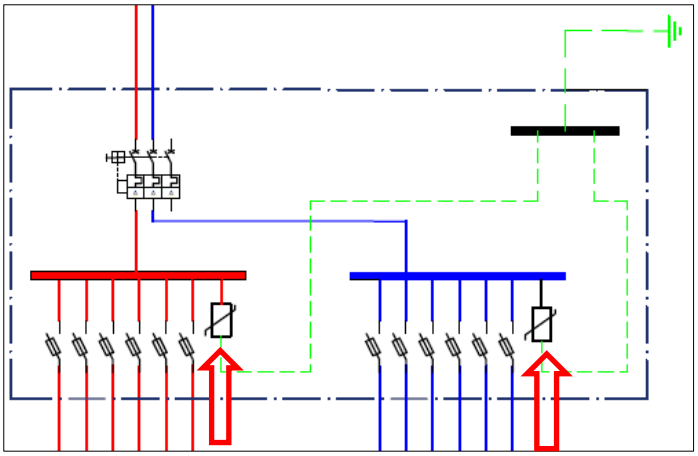


Figura 68. Diagrama eléctrico de la posición del sistema de protección contra sobretensiones

Fuente: Elaboración propio

Seleccionamos un descargador clase II de 40KA y 1000V, demás especificaciones se tienen en el cuadro siguiente.

Model	**M40-1000**
Nominal working voltage Un	800V
Max. continuous operating voltage **Uc**	1060VDC
Lightning impulse current(10/350) limp	5KA
Nominal discharge current(8/20μs)**In**	20kA
Max. discharge current (8/20μs)**Imax**	40KA
Limiting voltage (10/700μs) **Up**	3.5kv
Response time **Ta**	25ns
Protection model	+/--PE
Dimension	90*54*65mm
IP Code	IP20
Working conditions	Temperature: -40 to 80℃, Relative humidity: ≤95%
Mounting	35mm DIN rail
Complying standard	IEC61643-1, UL 94-V0, RoHS
Recommend cross-sectional área	Recommend cross-sectional area

Figura 69. Imagen del dispositivo descargador de sobretensiones

c) Protección contra sobrecargas y cortocircuito del arreglo FV – Interruptor automático

A lado de los fusibles se ha considerado instalar un interruptor automático como parte de la caja combinadora, que está ubicado en el punto más cercano a los paneles.

Para el cálculo del calibre del interruptor automático CC, se tiene en consideración los valores determinados en el barraje de corriente continua.

Tipo de red: aislado

Tensión: Un = 973.59 V CC

Corriente corto circuito del arreglo: $I_{SC\ ARREGLO} = I_{SC\ MOD} \times S_a$

$I_{SC\ ARREGLO} = 13.66 \times 6\ A = 81.96\ A$

$13.66 \times 6 \times 1.25 = 102.45\ A$

Intensidad de cortocircuito: 40KA

Elección del interruptor automático

Para realizar el dimensionamiento del interruptor automático según la norma IEC 62548-1 y EN 60947-2, debe cumplirse las siguientes estipulaciones:

$$(1.4\ x\ Isc)/1.05 \leq In \leq (2.0\ x\ Isc)/1.3$$

$$109.28 \leq In \leq 126.09$$

Utilizamos el interruptor termomagnético Susol CC TD160 con 125 A, el cual cumple con la condición requerida. También podría usarse el TD100 con 100 A, pero estará sobre el límite.

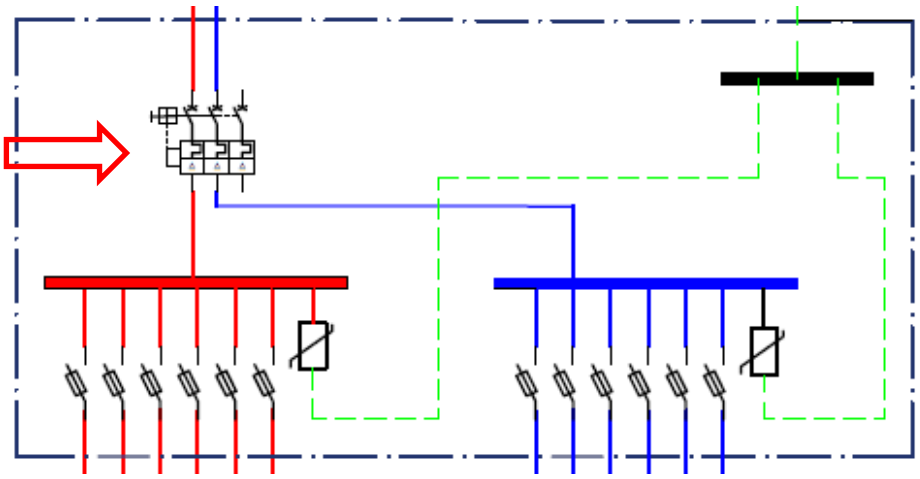


Figura 70. Diagrama eléctrico de la posición del sistema de protección contra sobretensiones
Fuente: Elaboración propio

Especificación del ITM, en la tabla siguiente se puede observar las características técnicas.

Modelo		TD100	TD160	TS100	TS160
Tamaño del frame (AF)	100	160	100	160	250
Corriente nominal, In (A)		16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100	100, 125, 160	40, 50, 63, 80, 100	100, 125, 160
N.º de polos (Polo)		2, 3, 4	2, 3, 4	2, 3, 4	2, 3, 4
Tensión nominal de funcionamiento, Ue (V CC)	2 polos	500	500	500	500
	3 polos	750	750	750	750
	4 polos	1000	1000	1000	1000
Tensión nominal de aislamiento, Ui (V)	2 polos	800	800	800	800
	3 polos	800	800	800	800
	4 polos	1000	1000	1000	1000
Tensión nominal de impulso soportada Uimp (kV)		8	8	8	8
Máxima capacidad nominal de corte de cortocircuito, Icu (kA)	Tipo	H	H	H	H
	500 V CC (2 polos)	40	40	40	40
	750 V CC (3 polos)	40	40	40	40
	1000 V CC (4 polos)	40	40	40	40
Capacidad nominal de corte de servicio, Ics [%Icu]		100 %	100 %	100 %	100 %
Función de la unidad de disparo	FTU	●	●	●	●
	FMU	●	●	●	●
	ATU	-	-	-	●

$$Ue \geq Un, Icu \geq Ik, In \geq Ib$$

$$I_{MOD_MA_OCPR} - ((S_G - 1)\ x\ I_{SC_MOD})) \leq In \leq 1.5 x S_G\ x\ I_{SC_MOD}$$

$$I_{MOD_MAX_OCPR} - ((S_G - 1)\ x\ I_{SC_MOD})) \leq In \leq 1.5 x S_G\ x\ I_{SC_MOD}$$

d) Protección contra sobrecorriente en la línea CC de ingreso al inversor

De la caja combinadora al inversor hay una distancia aproximada de 15 mts, tal como se puede ver en el diagrama, por lo tanto, el interruptor se considera de la misma capacidad, pero el número de polos se está considerando de dos para la línea positiva y la otra para la negativa.

El interruptor automático que cumple este requerimiento es el NADER NDM1Z-125, con una capacidad de corte de cortocircuito 20 KA.

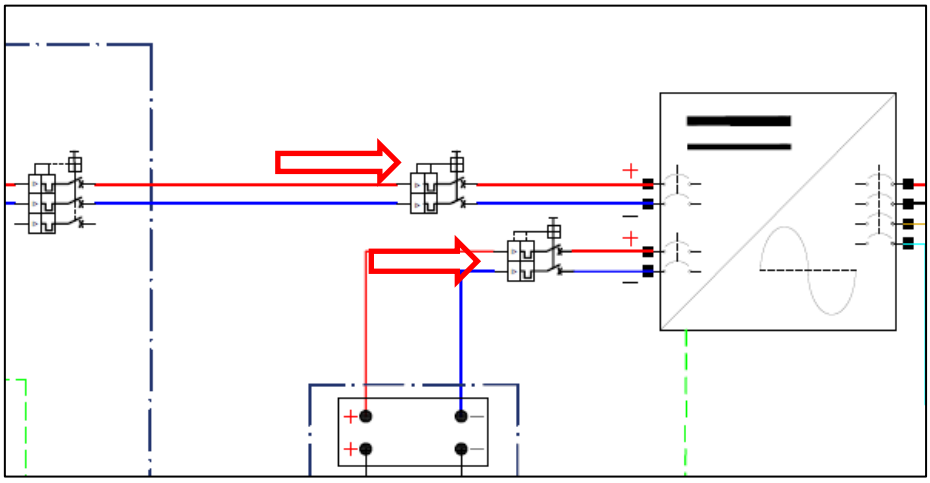


Figura 71. Diagrama de ubicación de los interruptores automáticos CC

Fuente: Elaboración propio

Especificaciones del interruptor automático

Frame grade	NDM3Z-125			NDM3Z-250				NDM3Z-250V	NDM3Z-400			NDM3Z-630		
Frame current level range	16、20、25、32、40、50、63、80、100、125			125、140、160、180、200、225、250				63、80、100、125、140、160、180、200、225、250	225、250、315、350、400			400、500、630		
Ue（DC V）	500	750	1000	500	750	1000	1200	1500	500	750	1000	500	750	1000
Number of poles	2	3	4	2	3	4	4	3	2	3	4	2	3	4
Rated ultimate short-circuit breaking capacity Icu (kA)	20	20	20	35	40	40	10	20	35	40	40	35	40	40
Rated running short-circuit breaking capacity Ics (kA)	20	20	20	35	25	25	10	15	35	40	40	35	40	40
Four-pole products	It is divided into J0, J1, J2 and J3 by wiring method													
Certification	CCC、TUV、CE													

Fuente: Nader technology

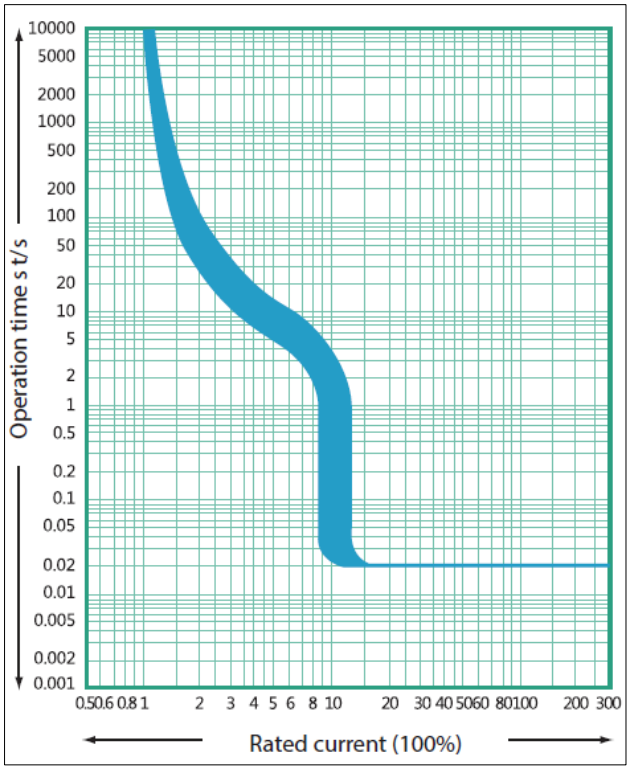


Figura 72. Curva característica NDM3Z-125
Fuente. Nader technology

4.4.6.2 Protecciones eléctricas en CA

El sistema fotovoltaico contará con interruptores termomagnéticos como medio de protección en el circuito de entrada del inversor, y salida del inversor, como sistema de protección del equipo y para mantenimiento del sistema.

Para elegir el ITM de protección se ha tenido las siguientes consideraciones.

La corriente nominal (In) del magnetotérmico debe ser superior a la In del circuito que protege, la tensión nominal del magnetotérmico debe ser la misma que la del circuito que protege. Determinamos la intensidad de cortocircuito en el lugar donde se ubica, y el poder de corte del magnetotérmico debe ser al menos igual o más grande que dicha intensidad de cortocircuito. Finalmente, tenemos que seleccionar un magnetotérmico según su aplicación considerando las curvas de disparo, teniendo en cuenta que el tipo C es para usos generales y viviendas, mientras que el tipo D es para motores.

Tipo de corriente: AC
Voltaje nominal: 440V
Corriente nominal: 72A
Potencia máxima de salida: 55KW
Numero de fases: 3F

Elección del interruptor automático

De manera similar tal como se determinó en el apartado anterior se cumple $109.28 \leq In \leq 126.09$. Resulta adecuado un NADER NDM2-125, con una capacidad de corte de cortocircuito 50 KA, los detalles de este interruptor se puede revisar en el anexo.

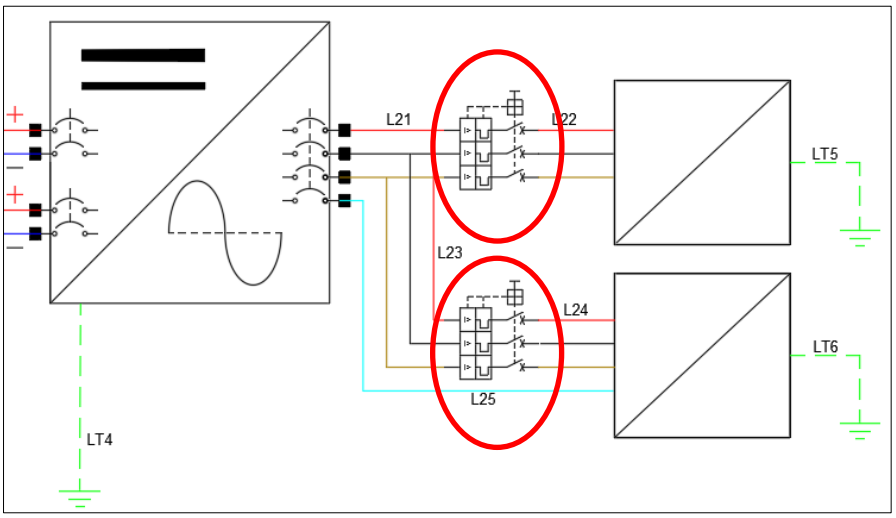


Figura 73. Diagrama protecciones de la instalación CA
Fuente: Elaboración propio

4.5 Validación del sistema fotovoltaico

4.5.1 Configuración del sistema hibrido fotovoltaico-diésel

Para cumplir con la necesidad energética se ha considerado mantener el suministro de energía del grupo electrógeno, para su ingreso dependiendo de las condiciones climáticas y como aporte adicional.

Por tal el sistema híbrido fotovoltaico-diésel, queda como opción principal, esta instalación permite garantizar la cobertura de energía para el funcionamiento continuo del área de filtración de la planta que permiten tener ahorro en la operación.

El sistema híbrido fotovoltaico-diésel consiste en fusionar el sistema fotovoltaico con un generador diésel para suministrar energía a la carga. El objetivo de esta tecnología es proporcionar energía eléctrica a los clientes durante 24 horas, pero disminuyendo al mínimo las horas de funcionamiento del generador diésel. Los sistemas incluyen paneles solares, generador diésel, baterías e inversor. La operación fundamental se controla al conocer la condición de la carga y la batería.

4.5.1.1 Esquema del sistema hibrido

En el esquema siguiente se muestra la generación mediante los 2 tipos de fuentes de energía solar y diésel

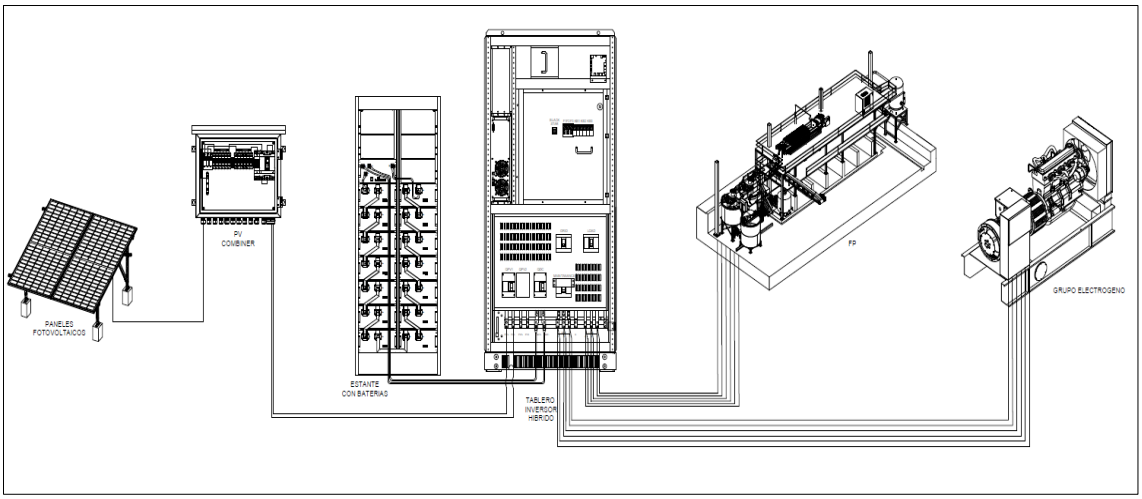


Figura 74. Esquema del sistema hibrido fotovoltaico GE
Fuente: Elaboración propio

4.5.1.2 Diagrama unifilar del sistema FV

En la figura 65 se muestra el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto.

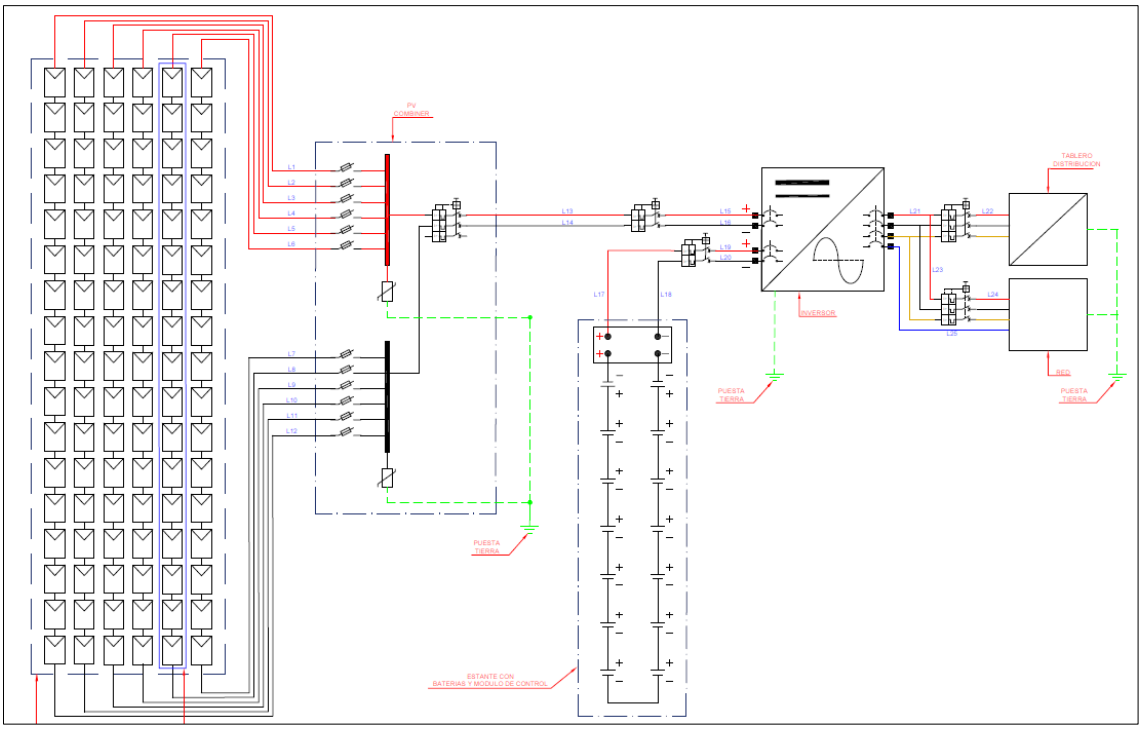


Figura 75. Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico
Fuente: Elaboración propio

4.5.1.3 Layout del sistema FV

La configuración de layout considerado es de diseño adaptativo que se ajusta mejor a la parcela.

Teniendo en considerando la zona elegida el cual tiene menos sombra con respecto a las demás zonas elegibles en el lugar, ya que en la zona se tiene varias montañas colindantes en el cual generan sombras por las mañanas en algunos de ellos y sombras por la tarde en otros. En esta zona se realiza el diseño de la disposición de los paneles con el fin de maximizar la capacidad de generación de la generación fotovoltaica.

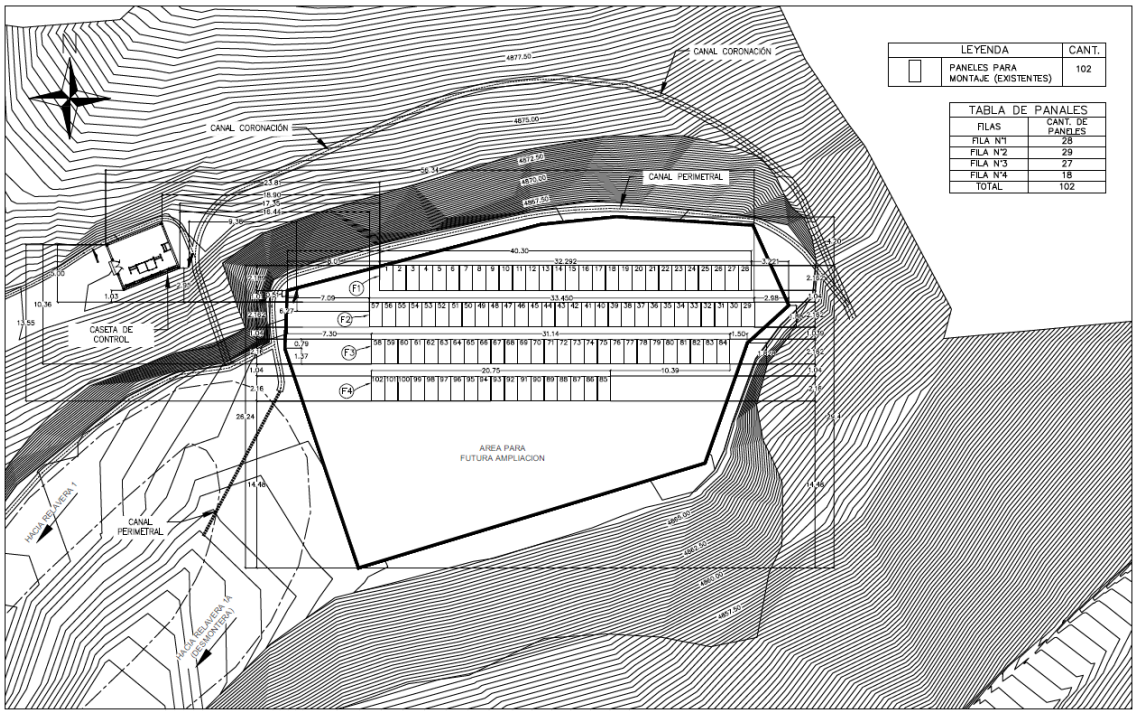


Figura 76. Layout de la planta fotovoltaico
Fuente: Elaboración propio

4.5.1.4 Parámetros técnicos del sistema híbrido FV

Los parámetros técnicos del sistema fotovoltaico se muestran en la tabla 30, en el cual se consideran los equipos principales seleccionados con sus principales características y también las capacidades generales y específicas.

Tabla 30. *Parámetros técnicos del sistema FV*

Parámetro	Descripción
Capacidad total:	50 KWp
Tipo de estructura de soporte	Fija

Distribución	17 módulos verticales por columna (6 columnas)
Tipo de paneles	Paneles de Silicio Monocristalino Mono-Si PERC DAH SOLAR DHM-72X10- 550W Size :2279*1134*35mm
Tipo de baterías	Bateria LifePo4 Lithium Pylontech 38.4V 148AH/pc,14pcs series connection torage Capacity: 80kwh
Tipo de inversor	MEGAREVO MPS0050, Rated Power: 50KW AC output: 400V±15%, Rated Battery Voltage: 320-850V
Ratio CC/CA	
Paneles por string	102
Strings por inversor	1
Número de inversores	1
Número de paneles	102

Fuente: Elaboración propio

4.5.1.5 Disposición del sistema

El sistema es la integración de la energía fotovoltaica, baterías y generador

ITEM	Elementos	Parámetro
01	Generador fotovoltaico	50 KWp
02	Batería BESS	107.98 KW h
03	Grupo electrógeno	50 KVA

4.5.2 Validación del sistema fotovoltaico con Simulink Matlab

Para validar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para el sistema de filtración se usó el software Matlab Simulink de tal manera que el sistema cumpla la demanda de energía y con ello confirmar el correcto funcionamiento.

Se muestra en la figura 78 el modelo semidetallado del sistema fotovoltaico de 50 kW aislado hibrido el cual usa un convertidor elevador CC-CC y un conversor de fuente de tensión (VSC) CC-CA trifásico de tres niveles.

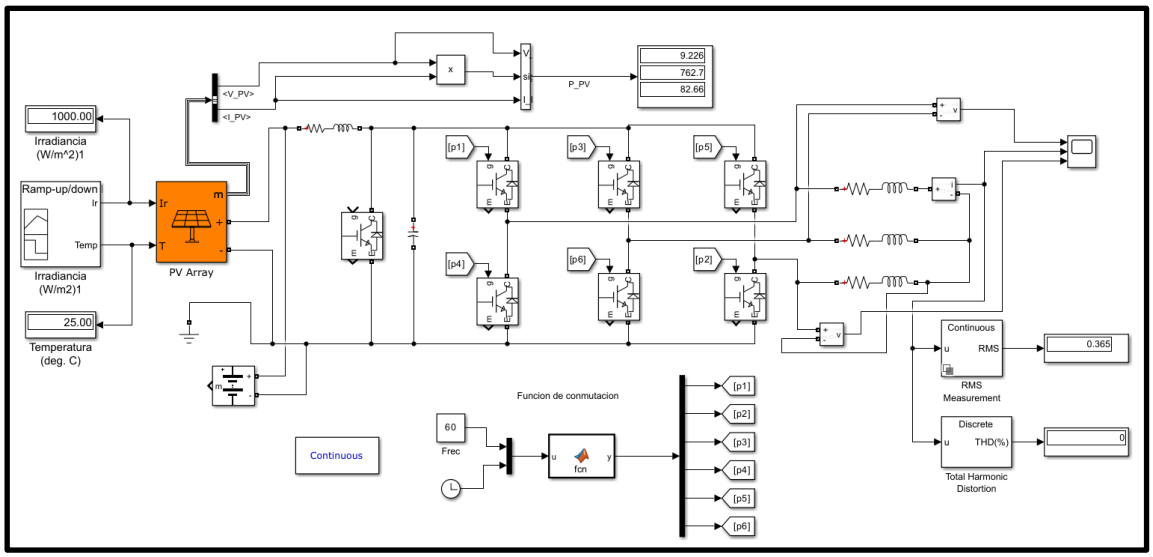


Figura 77. Modelo del sistema fotovoltaico en Matlab Simulink

Fuente: Elaboración propio

El sistema fotovoltaico se utilizan un total de 102 módulos de células solares de silicio monocristalino DMH-72X10 de 550Wp en módulos fotovoltaicos. La capacidad instalada total real es de 0,55 kWp*102 bloques =56,1 kWp. El voltaje de circuito abierto del componente es de 50.2 V, y el voltaje nominal es 42.4 V. Cada uno de los 17 módulos fotovoltaicos está conectado en serie en un grupo de grupos fotovoltaicos, y un total de 6 grupos de grupos fotovoltaicos están conectados en serie y en paralelo en un 6.

Descripción

El sistema fotovoltaico de 50 kW genera la energía eléctrica trifásica mediante un convertidor elevador CC-CC y un convertidor trifásico de voltaje (VSC) de tres niveles. El Monitoreo del Punto de Máxima Potencia (MPPT) se lleva a cabo en el elevador a través de un modelo Simulink que emplea la técnica de conductancia Incremental + Regulador integral. Además, emplea modelos promedio para los convertidores DC_DC y VSC. En este modelo de nivel medio, el controlador MPPT se fundamenta en el método de perturbar y observar.

El modelo detallado contiene los siguientes componentes:

- **Sistema fotovoltaico**; que entrega un máximo de 50 kW con una irradiancia solar de 1000 W/m^2.
- **Convertidor reductor-elevador CC-CC;** que disminuye y eleva la tensión desde la tensión fotovoltaica natural (de 250 -850 V CC a máxima potencia) hasta 460 V CC. El ciclo de trabajo de conmutación se perfecciona a través de un controlador MPPT que emplea el método de conductancia incremental + regulador completo. Este sistema

MPPT modifica el ciclo de trabajo de manera automática para producir el voltaje necesario para obtener la máxima potencia.

- **Voltage source converter (VSC) conversor de fuente de tensión trifásico de 3 niveles;** El VSC transforma la tensión del enlace de CC de 460 V a 440 V de CA, conservando así el factor de potencia unitario. El sistema de control VSC emplea dos circuitos de control: uno externo que controla la tensión del enlace de CC a +/- 440 V y otro interno que controla las corrientes de red Id e Iq (elementos de corriente activa y reactiva). La salida del controlador externo de voltaje CC se conoce como referencia de corriente Id. Se determina la referencia de corriente Iq en cero para preservar el factor de potencia unitario. El controlador de corriente transforma las salidas de voltaje Vd y Vq en tres señales de modulación Uabc_ref que son empleadas por el generador PWM.
- **Banco de capacitores de 10 kvar**, Filtrado de armónicos producidos por VSC.

Las especificaciones del fabricante para un módulo son:

- Tensión en circuito abierto: Voc= 50,2 V
- Corriente de cortocircuito: Isc = 13.78 A
- Tensión y corriente a máxima potencia: Vmp = 42.4 V, Imp= 12.97 A

El conjunto fotovoltaico tiene

- Dos entradas que facilitan la modificación de la irradiancia solar (entrada 1 en W/m^2) y la temperatura (entrada 2 en grados Celsius). Los perfiles de temperatura e irradiancia son establecidos por un bloque de construcción de señales que se encuentra vinculado a las entradas del conjunto fotovoltaico.

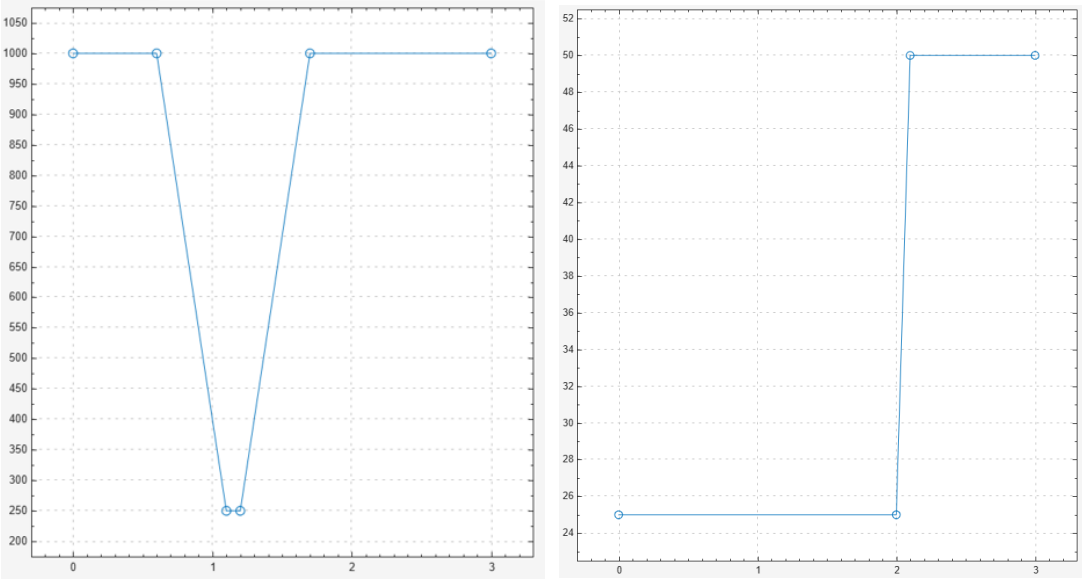


Figura 78. Condiciones de prueba para irradiancia y temperatura
Fuente: Elaboración propio

Simulación

Ejecute el modelo y observe la siguiente secuencia de eventos en Scopes. La simulación comienza con condiciones de prueba estándar (25 grados C, 1000 W/m^2). Para luego pasar por dos condiciones mas 1000 W/m^2 y 25 °C; 1000 W/m^2, 50 °C

PMPP (Power Maximum in Standard Test Conditions) "Potencia Máxima en Condiciones de prueba estándar"

PMPP @ 1000 W/m^2, 25 °C = 56.1 kW @ 720.8 V DC

PMPP @ 250 W/m^2, 25 °C = 14.02 kW @ 698.6 V DC

PMPP @ 1000 W/m^2, 50 °C = 51.3 kW @ 659.3 V DC

En resumen, el módulo fotovoltaico es capaz de generar hasta 56.1 kW de potencia máxima cuando está expuesto a una irradiación solar de 1000 W/m² y a una temperatura de 25 °C. Además, opera a un voltaje de 720.8 V en ese punto de máxima potencia.

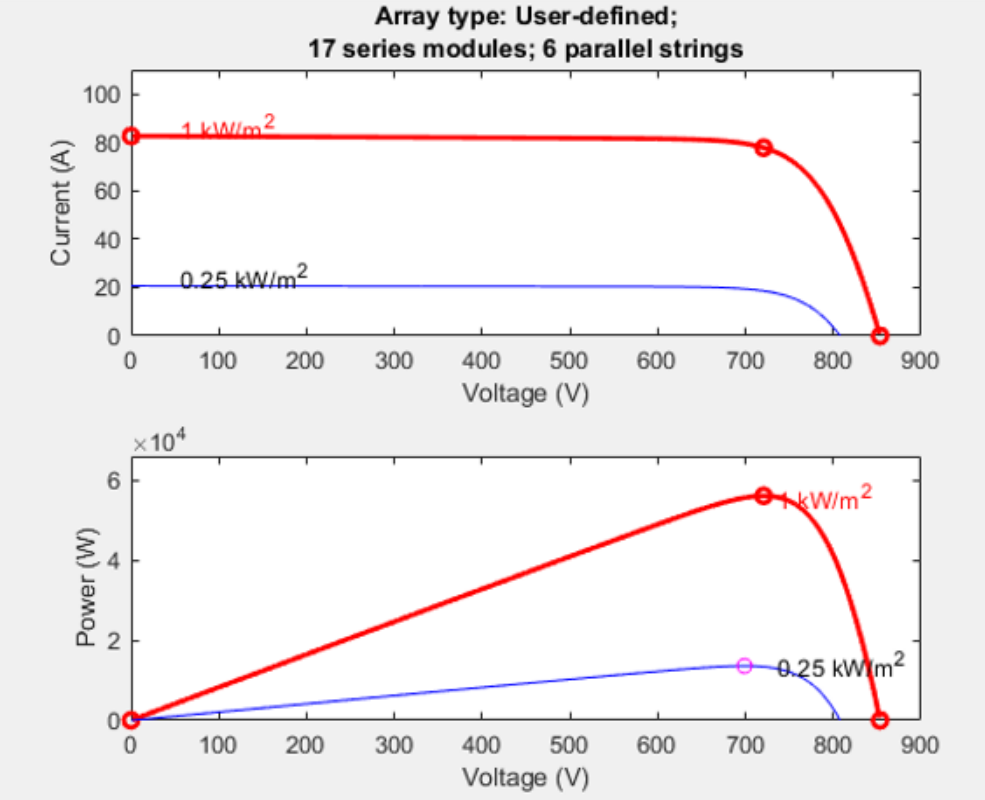


Figura 79. Graficas de corriente y potencia en función del voltaje para el módulo FV del sistema
Fuente: Elaboración propio

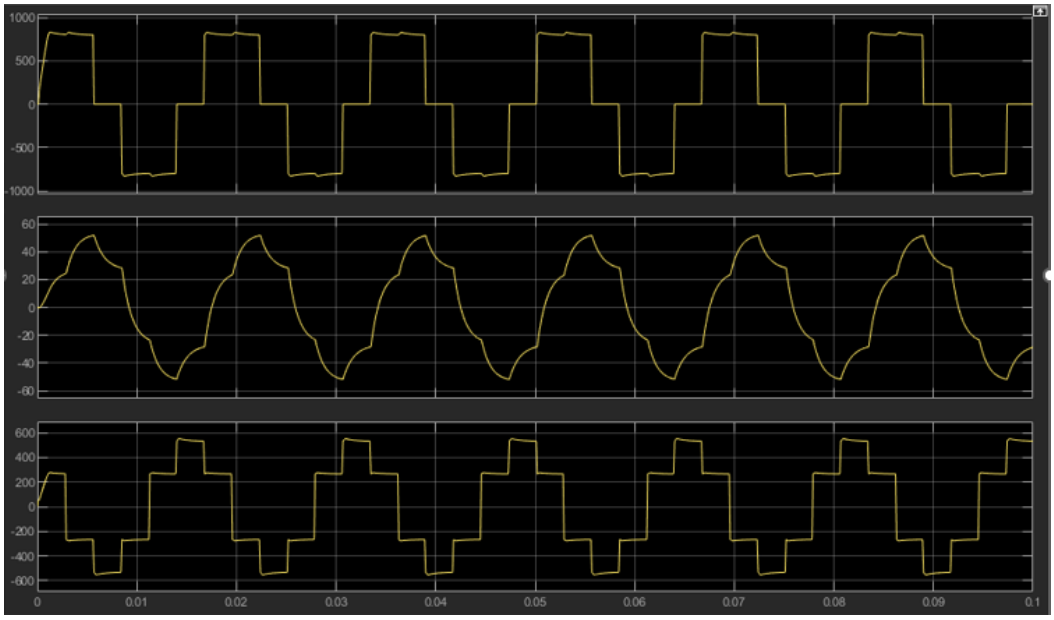


Figura 80. Curva de voltaje de fase, corriente de línea y voltaje de línea
Fuente: Elaboración propio

RESULTADOS

En el presente capítulo se expondrá los resultados obtenidos del desarrollo del sistema fotovoltaico y se realizará un análisis del mismo.

4.6 Resultados e interpretación

El sistema fotovoltaico ubicado en la región Lima con capacidad de carga en el área de filtración 49.63 Kw se requiere una superficie disponible de 500 m² para instalar los paneles. Considerando que los paneles tienen Inclinación: 26 y Azimut:-9, se obtienen los siguientes resultados:

- Energía anual generada por el sistema fotovoltaico:**442.766 kWh**
- Ahorro anual estimado entre: **$40.938.304** y **$64.907.201**
- Consumo mensual promedio:**1500 kWh**
- Reducción de gases de efecto invernadero:**175,822 tonCO_2/año**

4.6.1 Análisis técnico

4.6.1.1 Análisis del comportamiento sistema híbrido

Para hacer el análisis se tiene que considerar el grado de penetración del sistema fotovoltaico para nuestra mini red, según (W.Meike-Novolta) estos se clasifican en

- Sistemas de baja penetración, < 20% del consumo
- Sistemas de media penetración, entre 20% - 65% del consumo
- Sistema de alta penetración, del 65% - 100% del consumo

Por tal en la tabla 31 se muestra el porcentaje de participación del sistema fotovoltaico, siendo un sistema de media penetración.

Tabla 31. *Participación de los generadores*

	CARGA (MOTORES)		POTENCIA MAX. (kW)	ENERGIA (KWh)	% PENETRACION
	POT. (KW)	ENERGIA (KWh)			
GENERADOR FV	50	1200	50	300	25%
GENERADOR DIESEL			50	900	75%
BATERIAS					
				1200	100%

Fuente: Elaboración propio

El control y supervisión del sistema hibrido, está definido por el controlador, de acuerdo a la configuración, en la figura 74 se observa la interfaz de la gestión de energía del sistema híbrido.

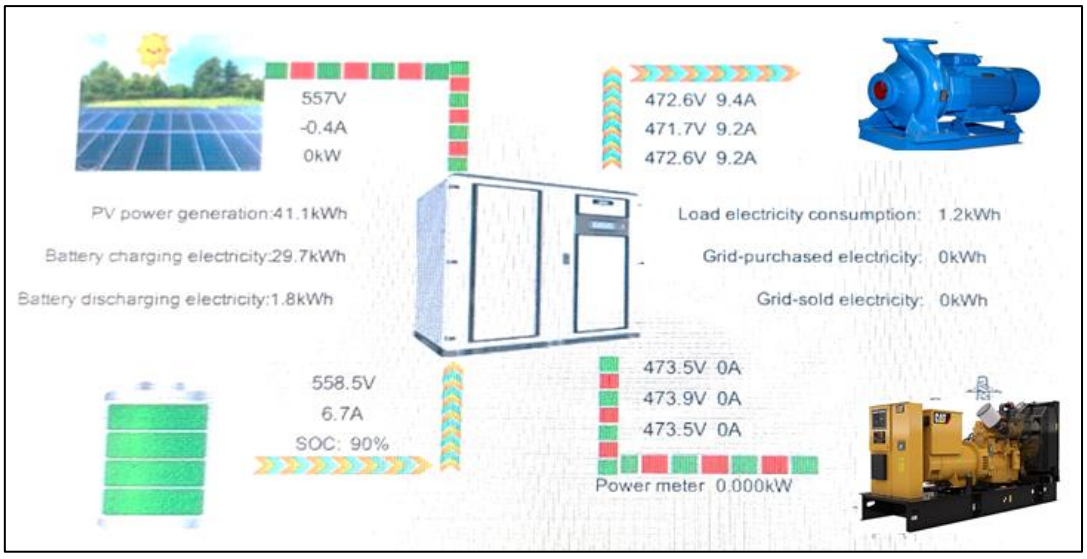


Figura 81. Pantalla de supervisión HMI de gestión de energías

Fuente: Elaboración propio

4.6.2 Indicadores ambientales

Para determinar la cantidad de emisiones se ha utilizado la metodología CFE (Comision Federal de Electricidad; 2016) detallado en el marco teórico, se tiene que considerar los datos y valores predeterminados tales como: Tipo de combustible, consumo de combustible (gln) y en algunos casos el porcentaje de exceso de aire (%). Los datos para el cálculo de emisiones son:

Tipo de combustible: Líquido biodiesel 2

Tipo de máquina: Máquina de combustión interna

Consumo de combustible (gln): 20,915.12

Consumo de combustible (m^3): 79.1772

A continuación, calculamos las emisiones contaminantes (ppm).

4.6.2.1 Cálculo de emisiones de dióxido de carbono (CO2)

Para calcular la cantidad de dióxido de carbono utilizamos la ecuación 1, para ello tenemos que considerar los datos ya calculados en el punto anterior que están referidos para un año.

$$Factor_{CO2} = 2752 \ \frac{kg}{m^3{}_{diesel}}$$

$$Emision_{CO2} = Factor_{CO2} X \ ConsumoComb \ \frac{kgCO2}{tiempo}$$

Emisiones de CO_2 sin el sistema fotovoltaico:

$$Emision_{CO2} = (217{,}882.30) \frac{kgCO2}{año}$$

Emisiones de CO_2 con sistema híbrido:

$$Emision_{CO2} = (160{,}054.80) \frac{kgCO2}{año}$$

4.6.2.2 Cálculo de emisiones de monóxido de carbono (CO)

Para calcular la cantidad de dióxido de carbono utilizamos la ecuación 2, de manera similar al cálculo en el punto 5.1.2.1 se hace uso de los mismos datos.

$$Factor_{CO} = 14.18 \ \frac{kg}{m^3{}_{diesel}}$$

$$Emision_{CO} = Factor_{CO} X \ ConsumoComb \ \frac{kgCO}{tiempo}$$

Emisiones de CO sin el sistema fotovoltaico:

$$Emision_{CO} = (1{,}122.66) \frac{kgCO}{año}$$

Emisiones de CO con sistema híbrido:

$$Emisin_{CO} = (824.70)\frac{kgCO}{\text{año}}$$

4.6.2.3 Cálculo de emisiones de óxido de nitrógeno (NOx)

Para calcular la cantidad de dióxido de carbono utilizamos la ecuación 3, de manera similar al cálculo en el punto 5.1.2.1 se hace uso de los mismos datos.

$$Factor_{NOx} = 53.38\ \frac{kg}{m^3{}_{diesel}}$$

$$Emision_{NOx} = Factor_{NOx} X\ ConsumoComb\ \frac{kgNOx}{tiempo}$$

Emisiones de NO_X sin el sistema fotovoltaico:

$$Emision_{NOx} = (4{,}226.22)\frac{kgNOx}{\text{año}}$$

Emisiones de NO_X con sistema híbrido:

$$Emision_{NOx} = (3{,}104.55)\frac{kgNOx}{\text{año}}$$

Por lo tanto, a continuación, se presenta el cálculo de emisiones de CO2 por consumo de combustible:

- Total de emisiones CO2 calculadas: $2.179*10^5$ KgCO2/año
- Total de emisiones CO calculadas: $1.123*10^3$ KgCO/año
- Total de emisiones NO_X calculadas: $4.226*10^3$ $KgNO_x$/año

Análisis del sobre los indicadores ambientales

En las tablas 32 y 33 se muestran los valores de las emisiones mensuales de gases de efecto invernadero; en la tabla 32 son los valores de emisiones del generador diésel cuando trabaja solo, en el año los valores son: CO2 217882.30, CO 1122.66 y NOx 4226.22 kg; y en la tabla 33 son los valores de emisiones cuando trabaja de forma conjunta con el sistema fotovoltaico las emisiones al año es CO2 160054.80, CO 824.70 y NOx 3104.55 Kg.

Tabla 32. *Emisiones con el generador diésel sin el sistema FV*

Mes	Comb. (m3)	Emisión CO2 (Kg)	Emisión CO (Kg)	Emisión NOx (Kg)

Enero	6.33	17,432.57	89.82	338.14
Febrero	8.43	23,211.44	119.60	450.23
Marzo	5.98	16,449.16	84.76	319.06
Abril	5.87	16,153.30	83.23	313.32
Mayo	8.26	22,739.22	117.17	441.07
Junio	6.88	18,938.93	97.59	367.35
Julio	3.92	10,787.38	55.58	209.24
Agosto	6.41	17,643.00	90.91	342.22
Septiembre	6.43	17,690.92	91.15	343.15
Octubre	7.64	21,021.17	108.31	407.74
Noviembre	6.13	16,876.28	86.96	327.35
Diciembre	6.88	18,938.93	97.59	367.35
Año	**79.17**	**217,882.30**	**1,122.66**	**4,226.22**

Fuente: Elaboración propio

Tabla 33. *Emisiones con el generador diésel con el sistema FV*

Mes	Comb. (m3)	Emisión CO2 (Kg)	Emisión CO (Kg)	Emisión NOx (Kg)
Enero	4.30	11,838.81	61.00	229.64
Febrero	6.74	18,544.73	95.55	359.71
Marzo	4.29	11,817.04	60.89	229.21
Abril	4.31	11,853.71	61.08	229.92
Mayo	6.84	18,811.73	96.93	364.89
Junio	5.60	15,422.21	79.46	299.14
Julio	2.48	6,830.00	35.19	132.48
Agosto	4.72	12,975.77	66.86	251.69
Septiembre	4.55	12,519.28	64.51	242.83
Octubre	5.54	15,236.05	78.51	295.53
Noviembre	3.98	10,960.72	56.48	212.60
Diciembre	4.81	13,244.85	68.25	256.91
Año	**58.16**	**160,054.80**	**824.70**	**3,104.55**

Fuente: Elaboración propio

En resumen, se pueden se presenta la figura 82 en el cual están considerado los valores anuales de emisión de cada uno de los gases de efecto invernadero. Se ha reducido las emisiones por la disminución de uso intensivo del diésel.

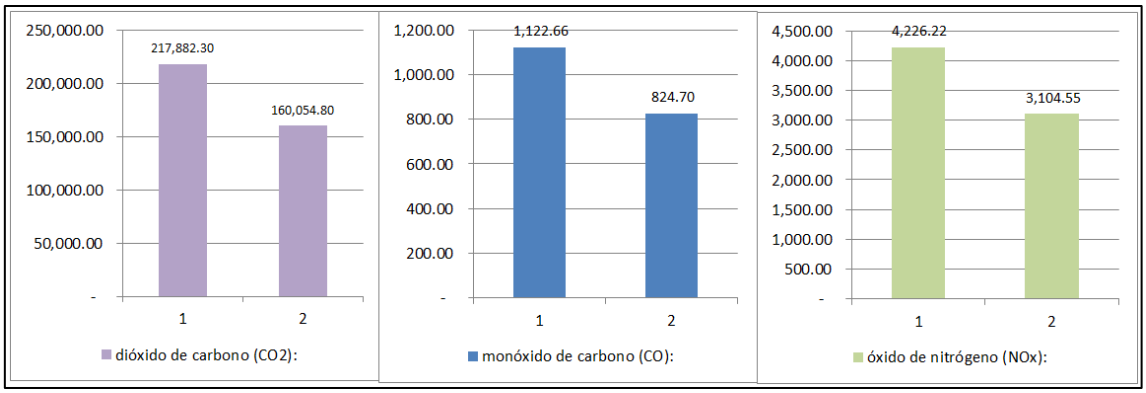


Figura 82. Gráfico de la variación de emisiones contaminantes
Fuente: Elaboración propio

4.6.3 Indicadores de confiabilidad y calidad del SFV

Se logra el ahorro de energía mediante operaciones eficientes. El sistema fotovoltaico de producción logra satisfacer los criterios de calidad del suministro y los parámetros eléctricos mínimos definidos en las Normas de Calidad del Servicio de los sistemas de distribución.

4.6.3.1 Indicadores de confiabilidad y calidad con grupo electrógeno

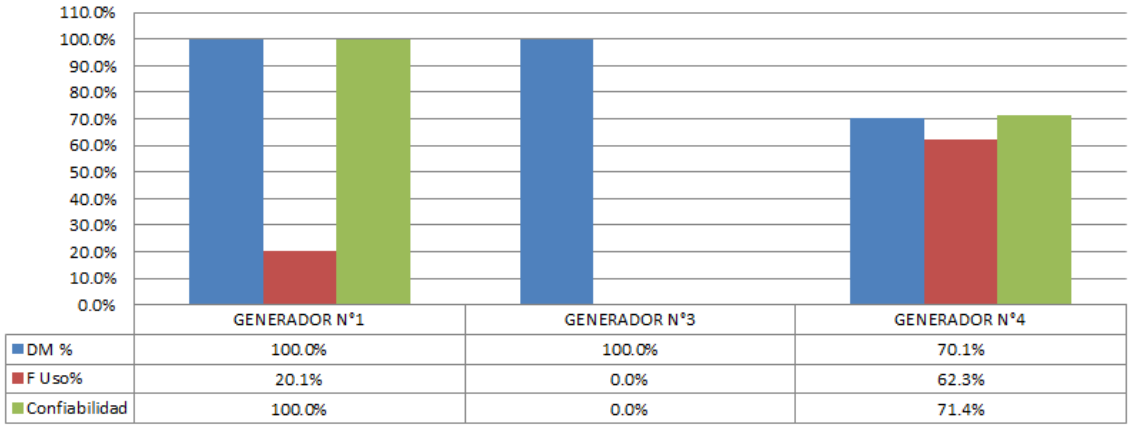
La confiablidad eléctrica con grupos electrógenos es variable, que no es capaz de cumplir con el suministro continuo ya que se producen cortes por temas de operatividad del equipo por mantenimiento, falla mecánica, repuesto, abastecimiento de combustible y otros.

En la tabla 34 se presenta los indicadores correspondientes a un mes, mes de octubre del 2023. A partir de la tabla se presenta la figura 83.

Tabla 34. *Indicadores mensual mes Oct23de grupos electrógenos*

EQUIPO	HM D.	Hrs PardCorrect	Hrs Pard Inspecc	N° Prds	DM %	F Uso%	MTBF	MTTR	Confiabilidad	ESTATUS
GENERADOR N°1	96.6	0	0.2	2	**90.0%**	20.1%	96.6	0.0	100.0%	INOPERATIVO
GENERADOR N°3	0	0	0	1	**100.0%**	0.0%	0.0	0.0	0.0%	OPERATIVO
GENERADOR N°4	244.5	163	4.5	2	**70.1%**	62.3%	25.5	10.2	71.4%	OPERATIVO

Fuente: Elaboración propio



	GENERADOR N°1	GENERADOR N°3	GENERADOR N°4
DM %	100.0%	100.0%	70.1%
F Uso%	20.1%	0.0%	62.3%
Confiabilidad	100.0%	0.0%	71.4%

Figura 83. Gráfico KPI de los grupos electrógenos correspondiente al mes Oct2023
Fuente: Elaboración propio

Paradas de grupo electrógeno

Para mejor análisis se presenta la tabla 35, en el cual el equipo tuco 23 paradas, con un promedio mensual de casi 2 paradas por mes. En la figura 80 se puede ver la gráfica del número de paradas

Tabla 35. *Resumen de paradas correspondiente al año 2023*

MES	MOTIVOS	N° PARADAS
1)ENERO	Manto preventivo	2
2)FEBRERO	Manto preventivo	2
3)MARZO	Mantenimiento y calibración de válvulas.	2
4)ABRIL	Mantenimiento preventivo.	2
5)MAYO	Mantenimiento preventivo y falla mecánico	3
6)JUNIO	Mantenimiento preventivo.	2
7)JULIO	Excitatriz en mal estado.	1
8)AGOSTO	Manto preventivo, falla sensor combustible	3
9)SETIEMBRE	En reparación taller Lima	1
10)OCTUBRE	Rodamiento de ventilador en mal estado y cambio de orines De codo de bomba de aceite	2
11)NOVIEMBRE	Reparación en taller Lima.	1
12)DICIEMBRE	Reparación/mantenimiento	2
Total general paradas		23

Fuente: Elaboración propio

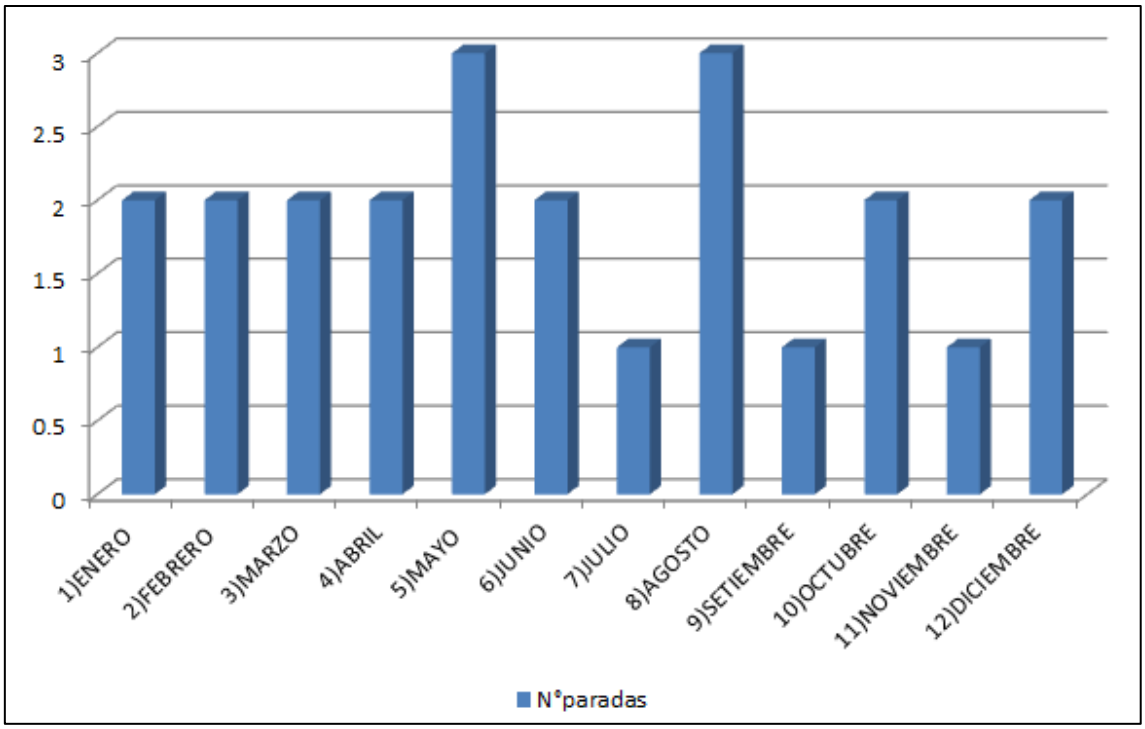


Figura 84. Gráfico de paradas GE4

Fuente: Elaboración propio

4.6.3.2 Indicadores de confiabilidad y calidad con el sistema FV

En cuanto a confiabilidad con el suministro por el sistema fotovoltaico se garantizará la continuidad del suministro ya que el sistema es de bajo mantenimiento frente a los grupos electrógenos diésel.

La calidad de la energía eléctrica entregada cumple con las especificaciones de tensión requerido, de tal forma que todos los motores operaran de manera eficiente, sin embargo, debemos tener en claro los inconvenientes de calidad de energía, para ello debe medirse con el analizador de energía para identificar los inconvenientes de caídas y subidas de voltaje, frecuencia, perturbaciones (fluctuaciones y armónicos) e interrupciones, de acuerdo a la norma técnica NTCSE_DS020-97-EM.

4.6.4 Análisis económico de la inversión

4.6.4.1 Costos de inversión del sistema FV

a) Costos de Inversión equipos principales del sistema fotovoltaico

a.1) Costos inversión equipos principales SFV

La inversión requerida para la implementación del sistema es aproximadamente $ 60,000.00, al tipo de cambio de 3.85 soles, serian 170,000.00 soles. Monto en el cual está considerado los costos del desarrollo del sistema, que comprende equipos y construcción de la planta.

Tabla 36. *Costo de equipos principales del sistema fotovoltaico*

No.	Equipo	Descripcion	Garantia	Precio unit	Cant	Sub total
1	Panel Solar Monocristalino	DHM-72X10-550W Tamaño: 2279*1134*35mm	25 años	$154.00	102	$15708.00
2	Cable fotovoltaico	PV 4mm2	10 años	$0.80	400	$320.00
3	Conector MC4	Corriente nominal: 30A Tensión nominal: 1000VDC	10 años	$0.80	20	$16.00
4	Soportes de montaje	Número de artículo: Sistema de montaje Tipo: Instalación de montaje en tierra Todos los accesorios incluidos	10 años	$4,488.00	1	$4,488.00
5	Inversor hibrido	Megarevo MPS0050 Potencia nominal: 50 KW Salida de CA: 400V±15% Voltaje nominal de la batería: 320-850 V	3 años	$10,600.00	1	10600
6	Batería de litio LifePo4	38,4 V 148AH/pc, conexión en serie de 14 Uds. Capacidad de almacenamiento: batería de 80kwh (ajustable) Incluye BMS, bastidor de batería, UPS, cable	10 años	$21,500.00	1	$21,500.00
7	Batería de litio LifePo4	Módulo de batería - HM2A180	10 años		14	
8	Sistema de gestion de bateria BMS	Módulo de control: S10002A180 (sistema de gestión de batería BMS)	10 años		1	
9	Estante	Estante de batería	10 años		1	
10	Cable	Cable 1/0 AWG 1000V Red	10 años		1	
11	Cable	Cable 1/0 AWG 1000V Black	10 años		1	
12	Caja combinadora de CC	Caja combinadora PV 6/1 6 entradas 1 salida 1000V Anti-rayos Anti-sobretensión	3 años	$677.00	1	$677.00
		Importe total EXW				$53,309.00
		Monto total FOB Shanghái				$55,609.00
		Monto total CIF Callao				$57,609.00

Fuente: Elaboración propio

a.2) Costos de inversión obras civiles SFV

Para el análisis de la inversión también se tiene que considerar las obras civiles requeridas para la implementación, en la tabla 37 se muestra los costos de los materiales para la cimentación de paneles y la construcción de la casa de control.

Tabla 37. *Costos de obras civiles para el SFV*

SISTEMA	SUB SISTEMA	DESCRIPCION MATERIAL	CANT	UMB	P/U	Suma SOLES	Suma DOLARES
OC	**CIMENTACIÓN**	Acero 1/4" Barra De 9m	**9**	UND	12.00	108.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Aditivo Acelerante De Fraguar 3pe (liquido)	**3**	GL	16.64		49.91
OC	**CIMENTACIÓN**	Alambre De 16 Mm	**15**	KG	7.00	105.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Arena Fina	**3**	M3	177.00	531.00	

OC	**CIMENTACIÓN**	Cemento Sol (42.5 Kg)	**55**	BOL	31.00	1,705.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Clavo 4"	**5**	KG	7.00	35.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Cuerda Algodón N° 24	**200**	ml	0		
OC	**CIMENTACIÓN**	Fierro Corrugado 1/2" X 9 Mt	**3**	UND	44.00	132.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Fierro Corrugado 3/8" X 9 Mt	**12**	UND	25.00	300.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Gasolina	**30**	GL	14.89	446.70	
OC	**CIMENTACIÓN**	Hormigón	**9**	M3	94.40	849.60	
OC	**CIMENTACIÓN**	Ladrillo King Kong (13x24x9)cm	**1560**	UND	0.90	1,404.00	
OC	**CIMENTACIÓN**	Liston De Madera De 3"x2"x3 M	**12**	UND	14.16	169.92	
OC	**CIMENTACIÓN**	Tabla 8" X 2" X 3m De Largo	**56**	UND	22.42	1,255.52	
OC	**Total CIMENTACIÓN**					**7,041.74**	**9.91**
OC	**ESTRUCTURA**	Angulo De 1" X 1/8" X 6 Metros	**2**	UND	7.36		14.73
OC	**ESTRUCTURA**	Angulo De 2" X 1/4" X 6 Metros	**2**	UND	30.96		61.93
OC	**ESTRUCTURA**	Calamina De Aluzinc 1.05m X 6.52m	**8**	UND	45.00		360.00
OC	**ESTRUCTURA**	Codos Pvc 2"	**12**	UND	4.50	54.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Dado De 5/16" Para Taladro	**2**	UND	5.00	10.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Perno Autoperforante De 1/4" X 1"	**200**	UND	0.10	20.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Pintura Gris Anticorrosivo Al Aceite	**2**	GLN	55.00	110.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Pintura Gris Volvo Md Gloss Poliuretano	**1**	GLN	70.00	70.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Soldadura E-6011 De 1/5"	**10**	KG	21.00	210.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Thiner Acrilico	**6**	GLN	20.00	120.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Tubo Cuadrdo 1 1/2" X 6Mt Por 2.5Mm	**2**	UND	17.94		35.87
OC	**ESTRUCTURA**	Tubo Pvc 2" De 6 Metros De Largo	**7**	UND	17.00	119.00	
OC	**ESTRUCTURA**	Tubo Rect De 4" X 2" X 6 Mts X 2.5mm	**5**	UND	35.27		176.35
OC	**ESTRUCTURA**	Turo Rect De 3" X 2" X 6 Mts X 2.5 Mm	**2**	UND	27.81		55.63
OC	**ESTRUCTURA**	Visagra De 4" Pesado	**1**	UND	4.19		4.19
OC	**Total ESTRUCTURA**					**713.00**	**708.69**
Total OC						**7,754.74**	**758.60**
Total general						**7,754.74**	**758.60**

Fuente: Elaboración propio

a.3) Costos de inversión materiales eléctricos para montaje SFV

Los materiales y accesorios eléctricos también forman parte de la inversión de la implementación del sistema, tal como se puede ver en la tabla 38.

Tabla 38. *Costos de materiales eléctricos para montaje dl SFV*

EQUIPO	DESCRIPCION	CANT.	UM	P/U	Suma SOLES	Suma DOLARES
BANDEJAS PORTACABLES	Bandeja Porta Cables T Achs 200 100la	2	UND	100.00	200.00	
BANDEJAS PORTACABLES	Bandeja Porta Cables T Bes 100 200la P.100 Xa.200xl.2400mm	3	UND	150.00	450.00	
ILUMINACION.CONTROL	Cable Awg N° 14 Negro (lsoh-90+ Cab. 2,5 Mm² 750v	100	MT	0.44		43.78
ILUMINACION.CONTROL	Cable Awg N° 14 Rojo (lsoh-90+ Cab. 2,5 Mm² 750v Rojo)	100	MT	0.44		43.78

ILUMINACION CONTROL	Caja De Pase Rectangular Pesado 1/2" (tomac Int Luces)	3	UND	12.74	38.23	
ILUMINACION CONTROL	Codo 1/2" X 90° Pvc Electrico	10	UND	1.50	15.00	
ILUMINACION CONTROL	Interruptor Simple	1	UND	13.13	13.13	
ILUMINACION CONTROL	Lámpara Fluorescente De Alta Resistencia 2xg13/22w/230v Ip65	2	UND	18.31		36.63
ILUMINACION.CONTROL	Tomacorriente Doble Universal Con Tierra Tipo Empotrable	2	UND	27.67	55.33	
ILUMINACION CONTROL	Transformador 440/220 400 Watt	1	UND	132.17		132.17
ILUMINACION CONTROL	Tubo Pvc Eléctrico Sap Pavco 1/2" X 3m	5	UND	10.00	50.00	
INSTRUMENTO	Analizador De Calidad Eléctrica Y Energía 434-ii Y 435-ii De Fluke	1	UND	3,233.00		3,233.00
MEDIDOR	Caja Portamedidor De Policarbonato De 320 X 180 X 120 Mm	2	UND	150.00	300.00	
MEDIDOR	Medidor Trifásico Activa Reactiva Microstar	1	UND	708.00		708.00
MEDIDOR	Medidor Trifásico De Energía Bidireccional	1	UND	708.00		708.00
PARARRAYOS	Kit Pararrayos	1	KIT			
PUESTA A TIERRA	Kit Puesta A Tierra	1	KIT			
RED CA	Aislador De Poste Tipo Carrete	30	UND	6.50	195.00	
RED CA	Cable Trifásico 35 Mm2 Y Neutro 25 Mm2 (n2xoh Cab. 3-1x35 Mm² 0,6/1kv)	500	MT	17.58		8,787.70
RED CA	Poste De Concreto 8m/200kg/150/270mm Incluye Perilla De Concreto	5	UND			
RED CA	Poste De Madera 8mt	5	UND			
RED CA	Soporte Horquilla De Aislador Tipo Carrete (para 3 Carretes)	15	UND	21.50	322.50	
RED CA	Terminal Contraíble T35-m10	12	UND	1.50	17.98	
RED CC	Cable Unifilar 35mm2 Color Negro (n2xoh Cab. 1x35 Mm² 0,6/1kv Negro)	30	MT	5.76		172.91
RED CC	Cable Unifilar 35mm2 Color Rojo (n2xoh Cab. 1x35 Mm² 0,6/1kv Rojo)	30	MT	5.76		172.91
RED CC	Cintillo De Nylon 350x7.6 Mm Negro (x 100 Und)	1	PQT	21.50	21.50	
RED CC	Terminal Contraíble T35-m10	6	UND	1.50	8.99	
RED CC FV	Arandela A Presión M6 (inox)	48	UND	0.10	4.80	
RED CC FV	Arandela Plana M6 (inox)	48	UND	0.10	4.80	
RED CC FV	Borneras Para Cable De 6mm2	12	UND	3.30	39.65	
RED CC FV	Broca De Cobalto De 7mm Para Metal	2	UND	8.50	17.00	
RED CC FV	Cinta Aislante 3m Color Negro	3	UND	6.50	19.51	
RED CC FV	Cinta Vulcanizante	3	UND	35.00	105.00	
RED CC FV	Gabinete Hermético 150 X 150 X 80 Mm	6	UND	100.00	600.00	
RED CC FV	Perno Cabeza Socket M6x20mm (inox)	48	UND	1.00	48.00	
RED CC FV	Prensa Estopa Pg9 Color Negro	12	UND	0.80	9.63	
RED CC FV	Riel Din	3	UND	9.30	27.90	
RED CC FV	Terminal Tubular Redondo Hembra Cable 4-6mm2 (según Muestra)	1	CTO	9.10	9.10	
RED CC FV	Terminal Tubular Redondo Macho Cable 4-6mm2 (según Muestra)	1	CTO	10.10	10.10	
RED CC FV	Tuerca M6 (inox)	48	UND	0.30	14.40	
SOPORTES EQS	Perno De Anclaje De 3/8" X 5" Completo (galvanizado)	24	UND	1.50	36.00	
TAB DISTRIB - AC 440V	Cable 35 Mm2 Flex 600v.(n2xoh Cab. 1x35 Mm² 0,6/1kv	15	MT	5.76		86.46
TAB DISTRIB - AC 440V	Gabinete Hermético Adosasble 50 X 70 X 20 Cm	1	UND	400.00	400.00	
TAB DISTRIB - AC 440V	Interruptor Aut. Compact Nsx100f Tmd100 70-100A	2	UND	790.60	1,581.20	
TAB DISTRIB - AC 440V	Interruptor Term Easypact Cvs 36ka Tmd 3p 3d 125a	1	UND	536.80	536.80	
TAB DISTRIB - AC 440V	Terminal Contraíble T35-m10	10	UND	1.50	14.99	

POSTE	Cemento Andino Tipo 1	15	BOLSAS	31.50	472.50	
POSTE	Tubo Redondo De 4" X 3 Mm Espesor	10	UND	104.74		1,047.37
ENTUB SUBTERR	Codo 2 X 90° Pvc Eléctrico	10	UND	4.50	45.00	
ENTUB SUBTERR	Codo 3 X 90° Pvc Eléctrico	10	UND	28.00	280.00	
ENTUB SUBTERR	Tubo Pvc Eléctrico Sap Pavco 2" X 3m	15	UND	48.00	720.00	
ENTUB SUBTERR	Tubo Pvc Eléctrico Sap Pavco 3" X 3m	15	UND	79.00	1,185.00	
Total general					**7,869.02**	**15,172.71**

Fuente: Elaboración propio

a.4) Distribución de los costos del sistema

En resumen, el costo de inversión del sistema fotovoltaico es aproximadamente es de $77,620.66, tal como se puede ver en la tabla 39.

Tabla 39. *Resumen de costo de inversión SFV*

EQUIPO	Total $	%
BATERIAS	21,500.00	28%
CAJA COMBINADORA	677.00	1%
INSTALACION ELECTRICA	17,201.55	22%
INVERSOR	10,600.00	14%
NACIONALIZ E IMP FV	4,300.00	6%
OBRAS CIVILES	2,810.12	4%
PANEL SOLAR	20,532.00	26%
Total general	**77,620.66**	**100%**

Fuente: Elaboración propio

En cuanto a la distribución de costos en la figura 81, podemos mencionar que el costo de las baterías es el más alto lo que representa 28% del costo total, y el que le sigue es el costo del panel con sus accesorios representando el 26% del costo total.

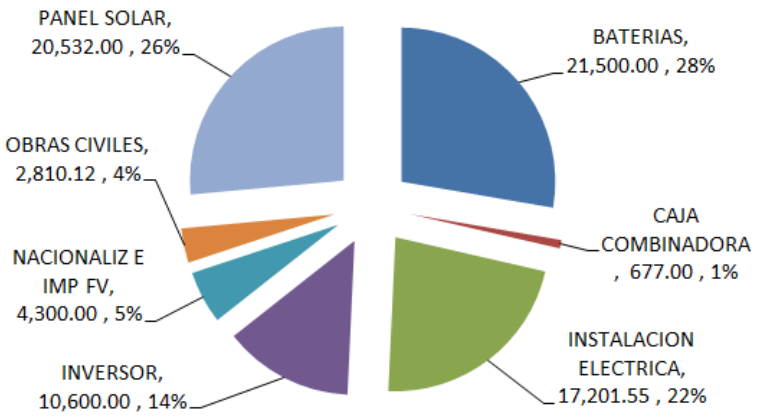


Figura 85. Distribución de costos de componentes
Fuente: Elaboración propio

b) Costo de Inversión del sistema generación con GE

Como ya se ha mencionado en la planta de procesamiento se utiliza la energía eléctrica generado por grupos electrógenos, por tal en este punto analizamos el costo de inversión de usar un grupo electrógeno en vez del sistema solar con el propósito de comparar el costo de la energía generada entre ambos sistemas de diferentes fuentes de generación de energía.

b.1) Costo inversión de implementación con GE

El costo de inversión de implementación de un sistema de generación térmica por grupos electrógenos diésel está determinado principalmente por el costo de compra del GE, en la tabla se puede ver el detalle del presupuesto.

Tabla 40*. Inversión en implementación del GE diesel*

Ítem	Descripción	Precio unit	Moneda	Cant.	UM	V. Sub total US$	V.Sub Total Soles
1	Grupo electrógeno DE-56.3 KVA Prime	21,950.00	Dólar	1	UND	21,950.00	81,654.00
2	Transporte de equipo (Lima-Mina)	4,800.00	Soles	1	UND	1,290.32	4,800.00
3	Otros (montacarga, Arranque Inicial)	2,000.00	Soles	1	UND	537.63	2,000.00
Valor Venta						**23,777.96**	**88,454.00**
IGV						**4,280.03**	**15,921.72**
Precio de Venta Total						**28,057.99**	**104,375.72**

Fuente: Elaboración propio

4.6.4.2 Costos de operación en generación eléctrica

a) Costos de operación para generación en planta

El costo de operación para la generación eléctrica contempla los costos de combustible, costo de mantenimiento y costo de reparación. Los costos de operación están compuestos por:

- Costo de combustible
- Costo de mantenimiento preventivo
- Costos de repuestos
- Costos de insumos
- Costos de servicios

De lo mencionado los costos más representativos son los de combustible y de mantenimiento en la tabla 41 se detalla los costos de operación para la generación eléctrica con GE.

Tabla 41. *Costos de operación de generación eléctrica*

Etiquetas de fila	CONSUMO COMBUSTIBLE (GALONES)	COSTO COMBUSTIBLE GENERADOR	COSTO MANTTO PREVENTIVO	COSTO REPUESTOS	COSTO INSUMOS	COSTO SERVICIOS
GE N°4						
ENERO	1,673.40	45,959.93	2,008.87			
FEBRERO	2,228.13	60,193.02				
MARZO	1,579.00	54,349.18	5,397.85			
ABRIL	1,550.60	24,065.31	2,412.21			
MAYO	2,182.80	32,501.89	2,399.44			
JUNIO	1,818.00	34,900.36	1,761.19			
JULIO	1,035.51	5,046.39	2,695.91	480.00		630.00
AGOSTO	1,693.60		524.80			
SETIEMBRE	1,698.20	13,585.60	1,620.19			
OCTUBRE	2,017.88	14,117.05		393.62		
NOVIEMBRE	1,620.00	2,347.65		480.00	750.10	
DICIEMBRE	1,818.00	62,539.20	2,518.92			600.00
Total GE N°4	**20,915.12**	**349,605.59**	**21,339.38**	**1,353.62**	**750.10**	**1,230.00**

Fuente: Elaboración propio

b) Costos de operación para generación en el área filtración

El costo de operación de generación eléctrica para el área de filtración está determinado por el coso del grupo electrógeno 4, en la figura 86 se puede observar.

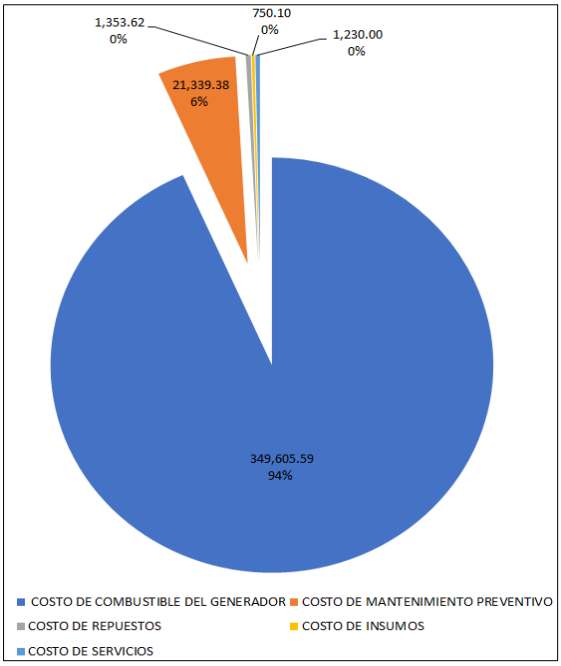


Figura 86. Costo de operación del GE4 año 2023

Fuente: Elaboración propio

4.6.4.3 Producción de energía del sistema fotovoltaico

La producción de la energía eléctrica está en función de la HSP y la capacidad del sistema fotovoltaico, el cálculo se presenta en la tabla 42, en el cual se describe en kw-hr /día y del mismo modo la producción acumulada anual MWh.

Generación fotovoltaica mensual promedio

Tabla 42. *Energía FV y radiación solar mensual del sistema fotovoltaico*

Mes	E_m KWh	H(i)_m KWh/m2	SD_m KWh
Enero	7,748.30	190.60	528.70
Febrero	6,464.30	158.70	376.60
Marzo	6,416.30	157.10	242.80
Abril	5,955.70	146.10	209.00
Mayo	5,440.30	134.10	157.30
Junio	4,871.30	120.40	97.60
Julio	5,481.70	135.70	114.00
Agosto	6,464.90	158.90	148.50
Septiembre	7,163.70	175.50	171.00
Octubre	8,013.30	197.00	312.90
Noviembre	8,194.10	202.20	497.40
Diciembre	7,887.30	193.80	469.30
Total	**80,101.20**	**1,970.10**	**3,325.10**

E_m: Producción eléctrica media mensual del sistema definido [kWh].

H(i)_m: Suma media mensual de la irradiación global recibida por metro cuadrado por los módulos del sistema dado [kWh/m²]

SD_m: Desviación estándar de la producción eléctrica mensual debida a la variación interanual [kWh].

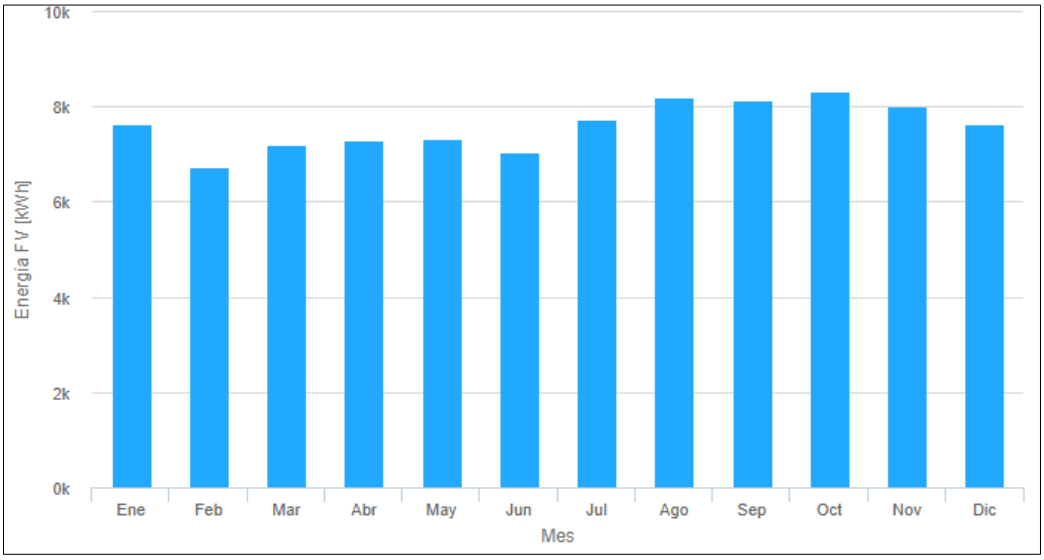


Figura 87. Producción de energía mensual del sistema FV fijo

Fuente: Elaboración propio

4.6.4.4 Análisis de la inversión

El análisis de viabilidad económica se determinará a través de los siguientes indicadores económicos:

a) Costo de generación de energía con GE diésel

En base al registro de generación correspondiente al año 2023 ver tabla 43 se ha tenido un costo de generación de 323,975.18 soles.

Consumo de combustible diésel

Para determinar el consumo de combustible (gln/dia) de los grupos electrógenos se recurre a los registros de consumo por mes, y a continuación se presenta las tablas resumen de consumo por meses durante los años 2023 y 2022.

Tabla 43*. Indicadores principales del generador diésel sin SFV*

			GENERADOR DIESEL SIN FV		
Año	Equipo	Mes	Combustible (gln)	Energia (kwh)	Costo Mensual (s/)
2023	GE-04	Enero	1,673.40	24,147.16	25,920.97
2023	GE-04	Febrero	2,228.13	32,151.96	34,513.79
2023	GE-04	Marzo	1,579.00	22,784.97	24,458.71
2023	GE-04	Abril	1,550.60	22,375.16	24,018.79
2023	GE-04	Mayo	2,182.80	31,497.80	33,811.57
2023	GE-04	Junio	1,818.00	26,233.74	28,160.82
2023	GE-04	Julio	1,035.51	14,942.41	16,040.05
2023	GE-04	Agosto	1,693.60	24,438.65	26,233.86
2023	GE-04	Septiembre	1,698.20	24,505.03	26,305.12
2023	GE-04	Octubre	2,017.88	29,117.94	31,256.88
2023	GE-04	Noviembre	1,620.00	23,376.60	25,093.80
2023	GE-04	Diciembre	1,818.00	26,233.74	28,160.82
Total 2023		**Total**	**20,915.12**	**301,805.16**	**323,975.18**

Fuente: Elaboración propio

b) Costo de generación de energía hibrido FV + GE diésel

Costo de generación resulta del análisis de los costos de inversión y el costo de operación

Tabla 44*. Indicadores principales del sistema hibrido*

	SISTMA HIBRIDO FV+GE Diesel			
	FOTOVOLTAICO	GENERADOR DIESEL CON FV		
Mes	E_m (KWh)	Energia (kwh)	Combustible (gln)	Costo Mensual (s/)
Enero	7,748.30	16,398.86	1,136.44	17,603.49
Febrero	6,464.30	25,687.66	1,780.16	27,574.63
Marzo	6,416.30	16,368.67	1,134.35	17,571.08

Abril	5,955.70	16,419.46	1,137.87	17,625.60
Mayo	5,440.30	26,057.50	1,805.79	27,971.64
Junio	4,871.30	21,362.44	1,480.42	22,931.68
Julio	5,481.70	9,460.71	655.63	10,155.67
Agosto	6,464.90	17,973.75	1,245.58	19,294.06
Septiembre	7,163.70	17,341.33	1,201.76	18,615.19
Octubre	8,013.30	21,104.64	1,462.55	22,654.94
Noviembre	8,194.10	15,182.50	1,052.15	16,297.78
Diciembre	7,887.30	18,346.44	1,271.41	19,694.13
Total	**80,101.20**	**221,703.96**	**15,364.10**	**237,989.90**

Fuente: Elaboración propio

c) Resumiendo, se tiene:

El costo de producción de 301.81 MWh de energía con solamente grupo electrógeno diésel representó S/ 323,975.18 soles en el año 2023, como se puede observar en la tabla 43.

Al incorporar el sistema fotovoltaico se ha realizado una estimación el costo de producción es de S/ 237, 989.90 para producir la misma cantidad de energía, donde el aporte de energía fotovoltaico es de 80.10 MWh y el aporte del GE diésel 221.70 MWh, representando un ahorro anual de S/ 85,985.28 soles, los valores se muestra en la tabla 44.

4.6.4.5 Análisis económico del retorno de inversión

Para determinar la rentabilidad de la implementación del sistema fotovoltaico, calculamos la tasa interna de retorno TIR, el valor actual neto VAN y el periodo de recuperación, para lo cual se ha considerado un periodo de 25 años para el análisis teniendo en consideración la vida útil de los componentes, en la tabla 45 se muestra los parámetros económicos calculados; en el cual puede observar un VAN de 1132.02, un TIR de 15% y Payback 7años. Ver tabla 45.

Esto significa que el sistema propuesto es rentable, por lo tanto, se puede ejecutar la implementación.

Tabla 45. *Análisis económico del retorno de la inversión*

Año	Producción (kW·h)	Inversion	Coste Explot /Reemplazo	0&M	Ingresos	Flujo Caja	Pend recuperac	Flujo Caja Acumulado	Valor Actual Acumulado
Año 0		293606.13				-293606.13	-293606.1	-293606.13	-293606.13
Año 1	84,327.84		3250.8	2936	53312	47125.2	-246480.9	47125.2	-246480.9
Año 2	83,906.20		3250.8	2936	53045	46858.6	-199622.3	45493.8	-200987.1
Año 3	83,486.67		3250.8	2936	52780	46593.4	-153028.9	45236.3	-155750.8
Año 4	83,069.23		3250.8	2936	52516	46329.5	-106699.4	44980.1	-110770.7
Año 5	82,653.89		3250.8	2936	52254	46066.9	-60632.5	44725.2	-66045.5
Año 6	82,240.62		3250.8	2936	51993	45805.7	-14826.8	44471.5	-21574.0
Año 7	81,829.42		3250.8	2936	51733	45545.7	30718.9	44219.1	22645.1
Año 8	81,420.27		3250.8	2936	51474	45287.0	76005.9	43968.0	66613.1
Año 9	81,013.17		3250.8	2936	51217	45029.7	121035.6	43718.1	110331.2
Año 10	80,608.10		3250.8	2936	50960	44773.6	165809.2	43469.5	153800.7
Año 11	80,205.06		3250.8	2936	50706	44518.8	210328.0	43222.1	197022.8
Año 12	79,804.04		3250.8	2936	50452	44265.2	254593.2	42976.0	239998.8
Año 13	79,405.02		3250.8	2936	50200	44013.0	298606.2	42731.1	282729.9
Año 14	79,007.99		3250.8	2936	49949	43762.0	342368.2	42487.4	325217.2
Año 15	78,612.95		3250.8	2936	49699	43512.2	385880.4	42244.9	367462.1
Año 16	78,219.89		3250.8	2936	49451	43263.8	429144.2	42003.6	409465.8
Año 17	77,828.79		3250.8	2936	49203	43016.5	472160.7	41763.6	451229.4
Año 18	77,439.64		3250.8	2936	48957	42770.5	514931.2	41524.7	492754.1
Año 19	77,052.44		3250.8	2936	48713	42525.7	557456.9	41287.1	534041.2
Año 20	76,667.18		3250.8	2936	48469	42282.1	599739.0	41050.6	575091.8
Año 21	76,283.85		3250.8	2936	48227	42039.8	641778.8	40815.3	615907.1
Año 22	75,902.43		3250.8	2936	47986	41798.7	683577.4	40581.2	656488.3
Año 23	75,522.91		3250.8	2936	47746	41558.7	725136.1	40348.3	696836.6
Año 24	75,145.30		3250.8	2936	47507	41320.0	766456.1	40116.5	736953.1
Año 25	74,769.57		3250.8	2936	47269	41082.5	807538.6	39885.9	776839.0
VAN 25 años			**1132.10**						
TIR 25 años			**15%**						
Payback			7						

Fuente. Elaboración propia

En la figura 88 se muestra el comportamiento de la inversión estimado, claramente se ve el periodo de recuperación en el año 7, la rentabilidad este asociado a la relación del beneficio económico con la inversión realizada más el mantenimiento y/o reemplazo de componentes.

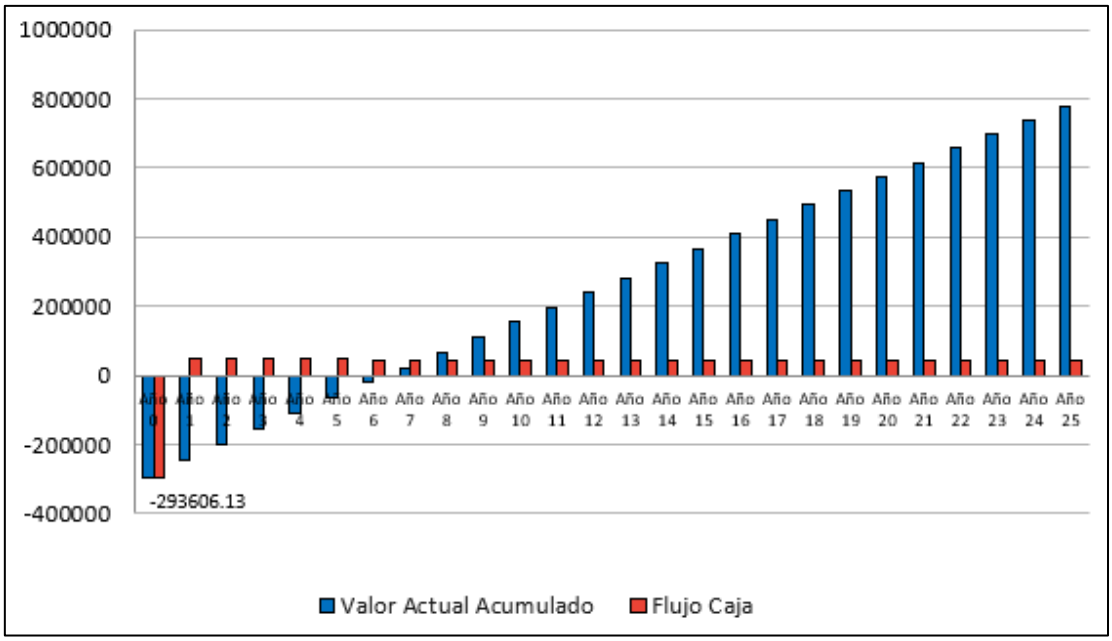


Figura 88. Flujo de caja anual del sistema fotovoltaico

Fuente: Elaboración propio

4.7 Prueba de hipótesis

En esta parte se muestran los resultados alcanzados, siendo estos resultados de acuerdo a lo que se planteó. En efecto se realizará las pruebas de hipótesis, de acuerdo a las variables consideradas.

4.7.1 Prueba de hipótesis específica 1

La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

Tabla 46. *Comparación de emisión de gases contaminantes (en Kg) antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico*

MES	Consumo total de energía kWh	ANTES			DESPUÉS		
		Energía Generada con Diesel kWh	Energía Generada con Sist. Fotovolt. kWh	Emisión de gases contaminantes Kg	Energía Generada con Diesel kWh	Energía Generada con Sist. Fotovolt. kWh	Emisión de gases contaminantes Kg
Enero	24,147.16	24,147.16	0	17,861	16,398.86	7,748.30	12,129
Febrero	32,151.96	32,151.96	0	23,781	25,687.66	6,464.30	19,000
Marzo	22,784.97	22,784.97	0	16,853	16,368.67	6,416.30	12,107
Abril	22,375.16	22,375.16	0	16,550	16,419.46	5,955.70	12,145
Mayo	31,497.80	31,497.80	0	23,297	26,057.50	5,440.30	19,274
Junio	26,233.74	26,233.74	0	19,404	21,362.44	4,871.30	15,801
Julio	14,942.41	14,942.41	0	11,052	9,460.71	5,481.70	6,998
Agosto	24,438.65	24,438.65	0	18,076	7,973.75	6,464.90	13,294
Setiembre	24,505.03	24,505.03	0	18,125	17,341.33	7,163.70	12,827
Octubre	29,117.94	29,117.94	0	21,537	21,104.64	8,013.30	15,610
Noviembre	23,376.60	23,376.60	0	17,291	15,182.50	8,194.10	11,230
Diciembre	26,233.74	26,233.74	0	19,404	18,346.44	7,887.30	13,570
TOTAL	**301,805.16**	**301,805.16**	**0**	**223,231**	**221,703.96**	**80,101.20**	**163,984**
Promedio	*25,150.43*	*25,150.43*	*0*	*18,602.60*	*18,475.33*	*6,675.10*	*13,665.35*

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 46, se observa que el promedio de emisión mensual de efecto invernadero disminuye con la implementación del sistema de generación fotovoltaico (pasa de 19404 Kg a 13570 Kg), sin embargo, para demostrar que esta disminución es significativa se realiza la prueba t de Student de pares correlacionados, teniendo en cuenta:

H_o: la propuesta no disminuye el impacto ambiental

H_a: la propuesta disminuye el impacto ambiental

Ahora, formulamos las hipótesis estadísticas:

$H_o : \mu_A - \mu_D < 0$

$H_a: \mu_A - \mu_D > 0$

Dónde:

μ_a : promedio de emisión de gases contaminantes antes

μ_g : promedio de emisión de gases contaminantes después

Establecemos el nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Grados de libertad: gl = 12 - 1= 11

Por tablas $t_{0,05,11} = 1,7959$

Se tiene el siguiente resultado mostrado por el software SPSS 26:

Tabla 47. *Estadístico t de la prueba de comparación de medias de la emisión de gases contaminantes antes y después*

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Emisiones antes - Emisiones después	4937.25250	829.49034	239.45323	4410.21948	5464.28552	20.619	11	0.000

Fuente: Elaboración propia

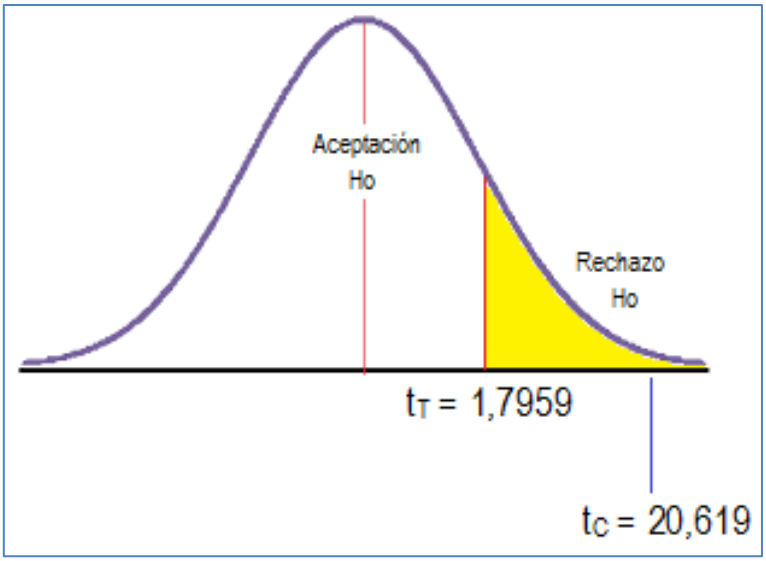


Figura 89. Zona de aceptación y rechazo para la emisión de gases contaminantes

Fuente: Elaboración propio

Conclusión: Como el valor calculado del estadístico t es superior al de tablas (20,619 > 1,7959) rechazamos la hipótesis nula que establecía que las emisiones de gases contaminantes no disminuyen con la implementación del sistema fotovoltaico y aceptamos la hipótesis alterna que establece que la emisión de gases contaminantes disminuyen con la implementación del sistema de generación fotovoltaico; con lo cual queda demostrada la hipótesis que la propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir el impacto ambiental en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

4.7.2 Prueba de hipótesis específica 2

La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

Tabla 48*. Comparación de Costo total (S/) antes y después de la implementación del sistema fotovoltaico*

MES	Consumo total de energía kWh	ANTES			DESPUÉS		
		Energía Generada con Diesel kWh	Energía Generada con Sist. Fotovolt. kWh	Costo Total S/	Energía Generada con Diesel kWh	Energía Generada con Sist. Fotovolt. kWh	Costo Total S/
Enero	24,147.16	24,147.16	0	25,920.97	16,398.86	7,748.30	17,603.49
Febrero	32,151.96	32,151.96	0	34,513.79	25,687.66	6,464.30	27,574.63
Marzo	22,784.97	22,784.97	0	24,458.71	16,368.67	6,416.30	17,571.08
Abril	22,375.16	22,375.16	0	24,018.79	16,419.46	5,955.70	17,625.60
Mayo	31,497.80	31,497.80	0	33,811.57	26,057.50	5,440.30	27,971.64
Junio	26,233.74	26,233.74	0	28,160.82	21,362.44	4,871.30	22,931.68
Julio	14,942.41	14,942.41	0	16,040.05	9,460.71	5,481.70	10,155.67
Agosto	24,438.65	24,438.65	0	26,233.86	17,973.75	6,464.90	19,294.06
Setiembre	24,505.03	24,505.03	0	26,305.12	17,341.33	7,163.70	18,615.19
Octubre	29,117.94	29,117.94	0	31,256.88	21,104.64	8,013.30	22,654.94
Noviembre	23,376.60	23,376.60	0	25,093.80	15,182.50	8,194.10	160,297.78
Diciembre	26,233.74	26,233.74	0	28,160.82	18,346.44	7,887.30	19,694.13
TOTAL	**301,805.16**	**301,805.16**	**0**	**323,975.18**	**221,703.96**	**80,101.20**	**237,989.90**
Promedio	*25,150.43*	*25,150.43*	*0*	*26,997.93*	*18,475.33*	*6,675.10*	*19,832.49*

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 48, se observa que el costo promedio mensual por generación eléctrica disminuye con la implementación del sistema de generación fotovoltaico (pasa de S/

26997,93 a S/ 19832,49), sin embargo, para demostrar que esta disminución es significativa se realiza la prueba t de Student de pares correlacionados, teniendo en cuenta:

H_o: la propuesta no disminuye los costos económicos

H_a: la propuesta disminuye los costos económicos

Ahora, formulamos las hipótesis estadísticas:

$H_o : \mu_A - \mu_D < 0$

$H_a: \mu_A - \mu_D > 0$

Dónde:
μ_a : costo promedio de generación mensual antes
μ_g : costo promedio de generación mensual después

Establecemos el nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Grados de libertad: gl = 12 - 1= 11

Por tablas $t_{0,05,11} = 1,7959$

Se tiene el siguiente resultado mostrado por el software SPSS 26:

Tabla 49. *Estadístico t de la prueba de comparación de medias de los costos económicos antes y después*

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Costo antes - Costo después	7165.44083	1203.81494	347.51144	6400.57331	7930.30836	20.619	11	0.000

Fuente: Elaboración propia

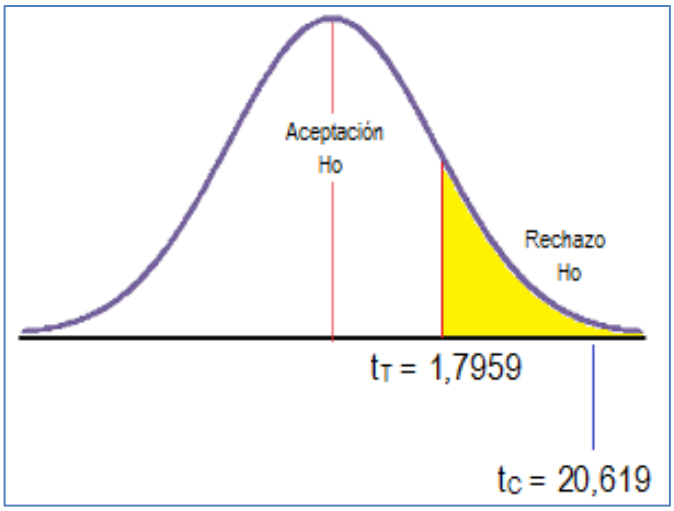


Figura 90. Zona de aceptación y rechazo para los costos económicos

Fuente: Elaboración propio

Conclusión: Como el valor calculado del estadístico t es superior al de tablas (20,619 > 1,7959) rechazamos la hipótesis nula que establecía que los costos económicos de generación mensuales no disminuyen con la implementación del sistema fotovoltaico y aceptamos la hipótesis alterna que establece que los costos económicos de generación mensuales disminuyen con la implementación del sistema de generación fotovoltaico; con lo cual queda demostrada la hipótesis que la propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá disminuir los costos económicos en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

4.7.3 Prueba de hipótesis específica 3

La propuesta de un sistema fotovoltaico permitirá mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

Tabla 50. *Comparación de número de paradas antes y después de la implementación del sistema híbrido*

MES	Consumo total de energía kWh	ANTES			DESPUÉS		
		Energía Generada con Diesel kWh	Energía Generada con Sist. Fotovolt. kWh	Número de paradas	Energía Generada con Diesel kWh	Energía Generada con Sist. Fotovolt. kWh	Número de paradas
Enero	24,147.16	24,147.16	0	2	16,398.86	7,748.30	0
Febrero	32,151.96	32,151.96	0	2	25,687.66	6,464.30	0
Marzo	22,784.97	22,784.97	0	2	16,368.67	6,416.30	0
Abril	22,375.16	22,375.16	0	2	16,419.46	5,955.70	0

Mayo	31,497.80	31,497.80	0	3	26,057.50	5,440.30	1
Junio	26,233.74	26,233.74	0	2	21,362.44	4,871.30	0
Julio	14,942.41	14,942.41	0	1	9,460.71	5,481.70	0
Agosto	24,438.65	24,438.65	0	3	17,973.75	6,464.90	1
Setiembre	24,505.03	24,505.03	0	1	17,341.33	7,163.70	0
Octubre	29,117.94	29,117.94	0	2	21,104.64	8,013.30	0
Noviembre	23,376.60	23,376.60	0	1	15,182.50	8,194.10	0
Diciembre	26,233.74	26,233.74	0	2	18,346.44	7,887.30	0
TOTAL	**301,805.16**	**301,805.16**	**0**	**23**	**221,703.96**	**80,101.20**	**2**
Promedio	*25,150.43*	*25,150.43*	*0*	*1.92*	*18,475.33*	*6,675.10*	*0.17*

Fuente: Elaboración propia

Analizando los datos de la tabla 50, se observa que el promedio mensual de paradas programadas y no programadas disminuye con la implementación del sistema de generación fotovoltaico (pasa 1,92 a 0,17), sin embargo, para demostrar que esta disminución es significativa se realiza la prueba t de Student de pares correlacionados, teniendo en cuenta:

H_o: la propuesta no mejora la confiabilidad

H_a: la propuesta mejora la confiabilidad

Ahora, formulamos las hipótesis estadísticas:

$H_o : \mu_A - \mu_D < 0$

$H_a: \mu_A - \mu_D > 0$

Dónde:

μ_a : promedio de paradas mensuales antes

μ_g : promedio de paradas mensuales después

Establecemos el nivel de significancia: $\alpha = 0,05$

Grados de libertad: gl = 12 - 1= 11

Por tablas $t_{0,05,11} = 1,7959$

Se tiene el siguiente resultado mostrado por el software SPSS 26:

Tabla 51. *Estadístico t de la prueba de comparación de medias de las paradas mensuales antes y después*

	Diferencias emparejadas					t	gl	Sig. (bilateral)
	Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
				Inferior	Superior			
Paradas antes - Paradas después	1.750	0.452	0.131	1.463	2.037	13.404	11	0.000

Fuente: Elaboración propia

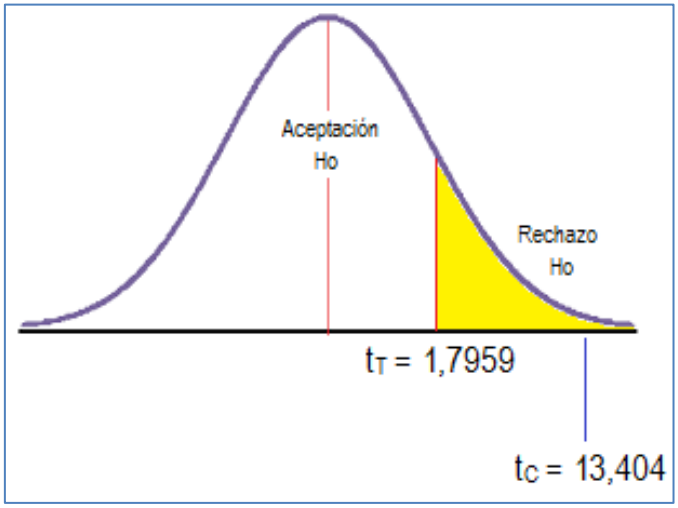


Figura 91. Zona de aceptación y rechazo para las paradas

Fuente: Elaboración propio

Conclusión: Como el valor calculado del estadístico t es superior al de tablas (13,404 > 1,7959) rechazamos la hipótesis nula que establecía que la confiabilidad no mejora con la implementación del sistema fotovoltaico y aceptamos la hipótesis alterna que establece que la confiabilidad mejora con la implementación del sistema de generación fotovoltaico; con lo cual queda demostrada la hipótesis que la propuesta de un sistema fotovoltaico permitió mejorar la confiabilidad en la generación eléctrica del área de filtración de una planta concentradora de 500 ton/día ubicado en la región Lima-2023.

CAPÍTULO VI:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En esta tesis se mejoró la eficiencia energética en la generación eléctrica para el área de filtración, en términos de asegurar el suministro energético, reducir los costos, proteger el medio ambiente y mejorar la confiabilidad.

Con el sistema de generación fotovoltaico se logró disminuir el impacto ambiental, el promedio de emisiones de los gases de efecto invernadero han disminuido de 223231 Kg a 163984 Kg. El uso de energía fotovoltaica no ocasiona impactos relevantes contra el medio ambiente, sin embargo, al ser un sistema hibrido fotovoltaico – diésel, aún existe uso del generador diésel por esa condición ha permitido disminuir el consumo combustible.

La implementación del sistema de generación fotovoltaico se ha reducido costo de operación, el costo promedio mensual por generación eléctrica pasa de S/ 26997,93 a S/ 19832,49, estos costos tienen relación con el consumo de combustible diésel de 20,915.12 galones a 15,361.10 galones, del mismo modo se reduce el uso de un grupo electrógeno y con esto se redujo el costo de mantenimiento. El costo de uso de energía solar es solo el costo de inversión al comprar y la de instalación, el costo de mantención del sistema es bien bajo respecto al mantenimiento de los grupos electrógenos.

La confiabilidad en la generación eléctrica se logró mejorar, el promedio mensual de paradas programadas y no programadas disminuye con la implementación del sistema de generación fotovoltaico pasa 1,92 a 0,17, reduciéndose el uso intensivo de GE y el corte de energía por parada de equipo generador diésel por trabajos de mantenimiento y/o reparaciones. Con la implementación del sistema fotovoltaico también ha permitido reducir significativamente la logística, puesto que al tener menos mantenimiento el suministro de insumos y repuestos es menor.

5.2 Recomendaciones

Elaborar un estudio con otra fuente de energía renovable enfocado a mejorar la eficiencia energética y también sería recomendable hacer un estudio fotovoltaico considerando un seguidor solar, con el fin de comparar las eficiencias energéticas.

Para la cuantificación de las emisiones, se recomienda considerar los factores de cálculo que están determinada según el tipo de combustible.

Planificar y programar los trabajos a ejecutar y así el programa de costos de acuerdo la etapa de implementación, tendrá incidencia en los costos.

Establecer los parámetros técnicos del sistema fotovoltaico alineados a la norma de calidad de suministro eléctrico NTCSE_DS020-97-EM, en lo que concierne tensión, frecuencia y perturbaciones, para ello debe analizarse la energía de manera programada, con el fin de detectar posibles anomalías y corregirlos a tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. **Zho, Song.** *Comparative Application Research of Wind Energy and Solar.* Tiajin : ACME, 2023. Volumen 111.

2. **Guerra, Reneyro.** *Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la embarcación de descarga de anchoveta Chata DC-3.* Huancayo : Universidad Cotinental, 2021.

3. **Flores, Miguel.** *Diseño De Un Generador Fotovoltaico Para Riego Agrícola En La Región Junín.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

4. **Garrido, Juan y Morales Quispe, Maycon.** *Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Autónomo Para La Demanda Eléctrica Del Centro De Salud Magllanal, Jaén – Cajamarca.* Jaen : Universidad Nacional de Jaen, 2019.

5. **Villegas Tapia, Esteban y Alcivar Tello, Luis.** *Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para La Escuela De Educación Básica Simón Bolívar En La Comunidad Masa 2, Golfo De Guayaquil.* Guayaqui : Universidad Tecnica Salesiana, 2020.

6. **Alvarado Guevara, Jorge.** *Diseño Y Cálculo De Una Instalación Fotovoltaica Aislada.* Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2020.

7. **Grijalva Campoverde, Carlos y Velez Mosquera, Felix.** *Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias, caso de estudio unidad educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero.* Guayaquil : Universidad Politécnica Salesiana, 2020.

8. **Alfonso, Alonso Jose.** SunFields. [En línea] 4 de 9 de 2024. [Citado el: 19 de 10 de 2024.] https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/calculo-sistema-fotovoltaico-aislado/.

9. *Estudio del algoritmo de seguimiento de punto de maxima potencia.* **Ruiz, C., y otros, y otros.** 1, Sonora : Revista de ingenieria eléctrica, electrónica y computación, 2010, Vol. 8.

10. **Velasquez, Jorge.** *Generacion distribuida.* Guatemala : Comisión nacional de energía eléctrica de guatemala, 2015.

11. **CFE, Comision Federal de Electricidad;.** Guia para elaborar el inventario de emisiones de gases por la operacion de centrales de generacion que consumen combustibles fosiles. Mexico : s.n., 2016. CFE SPA00-55.

12. **Bustamante, Alberto y Gaviria, Alejandro.** *Notas de concentración de minerales.* s.l. : Instituto de minerales Cimex, 2007.

13. **Concha, Fernando.** *Manual de filtración y separación.* Concepcion Chile : Universidad de Concepción, 2001.

14. **Lira Oliver, Adriana.** *Comprensión De Los Conceptos De Irradiancia Y Radiancia Para Los Espacios Arquitectónicos Así Cómo Las Unidades Radiométricas Y Fotométricas.* México : Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma de México, 2017.

15. *El efecto fotoeléctrico.* **Rodriguez Meza, M. y Cervantes Cota, J.** 3, Toluca, México : Ciencia Ergo Sum, 2006, Vol. 13.

16. **Ñaupas, Humberto.** *Metodología de la investigación.* Bogota Colombia : Ediciones de la U, 2018. 5a. Edicion.

17. **Hernández, Sampieri.** *Metodologia de la investigación.* Mexico : Mcgraw hill, 2014. 6a. Edición.

18. **Espinoza, Ciro.** *Metodología de investigación tecnológica.* Huancayo : Editado por autor-editor, 2014.

19. **Espinoza Montes, Ciro.** *Metodología de investigación tecnológica.* Huancayo : Editado por autor-editor, 2014.

20. **Borga, Manuel.** *Metodologia cientifica para ingenieros.* Chiclayo : s.n., 2016.

21. **Ambiental, Sociedad Pública de Gestión.** *Metodologías para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero .* Bilbao : Ihobe, 2013.

22. **Villegas, Esteban y Alcivar, Luis.** *Diseño De Un Sistema Fotovoltaico Para La Escuela De Educación Básica Simón Bolívar En La Comunidad Masa 2, Golfo De Guayaquil.* Guayaqui : Universidad Tecnica Salesiana, 2020.

23. **Barrera, Malu y Clemente, Oscar.** *Fabricación de paneles solares fotovoltaicos.* Valencia : Universidad Jaume I, 2019.

24. **Rodriguez Meza, M. y Cervantes Cota, J.** *El efecto fotoeléctrico.* Toluca, México : Ciencia Ergo Sum, 2006. Vol. 13.

25. **Flores Aguilar, Miguel.** *Diseño De Un Generador Fotovoltaico Para Riego Agrícola En La Región Junín.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2019.

26. *Rooftop Solar PV System Designers and Installers.* **Apec, Secretaria.** s.l. : Asia Pacific Economic Cooperation, 2015.

27. **ISO 50001:2018.** *GUÍA DE IMPLANTACIÓN DE SISTEMAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA.* s.l. : ISO, 2018.

28. **Napp, T. y Gambhir, A.** *A re-view of the technologies, economics and policy instruments for de-carbonising energy-intensive manufacturing industries.* 2014.

ANEXOS

ANEXO I: TABLAS DE CÁLCULO

Anexo1.1: Cargas de planta de procesamiento

AREA	EQUIPO	CANT.	UM	FD	POT KW
1CHANCADO	CAHANCADORA QUIJADA N°1	1	UND	1	30.00
	CAHANCADORA QUIJADA N°2	1	UND	1	-
	CHANCADORA CONICA N°1	1	UND	1	56.00
	FAJA N°1	1	UND	1	5.50
	FAJA N°2	1	UND	1	5.50
	GRIZZLI VIBRATORIA	1	UND	1	18.50
	MODULO HIDRAULICO	1	UND	1	3.00
	ZARANDA VIBRATORIA	1	UND	1	11.20
Total 1CHANCADO					**129.70**
2MOLIENDA	AJITADOR DE CAL	1	UND	1	1.50
	BOMBA DE PULPA 3X3 N°1	1	UND	1	11.20
	BOMBA DE PULPA 4X3 N°5	1	UND	1	30.00
	FAJA N°3	1	UND	1	3.70
	FAJA N°4	1	UND	1	3.70
	MOLINO 4X5 (REMOLIENDA)	1	UND	1	30.00
	MOLINO 5X10 (PRIMARIO)	1	UND	1	74.60
	MOLINO 7X10 (PRIMARIO)	1	UND	1	186.50
Total 2MOLIENDA					**341.20**
3.1FLOTACION	BOMBA DE PULPA 2-1/2X2 N°4	1	UND	1	-
	BOMBA DE PULPA 2-1/2X2 N°8	1	UND	1	7.50
	BOMBA DE PULPA 3x3 N°10	1	UND	1	11.20
	BOMBA DE PULPA 3x3 N°9	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°1.1	1	UND	1	18.50
	CELDA CUBICA BANCO N°1.2	1	UND	1	18.50
	CELDA CUBICA BANCO N°2.1	1	UND	1	18.50
	CELDA CUBICA BANCO N°2.2	1	UND	1	18.50
	CELDA CUBICA BANCO N°3.1	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°3.2	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°3.3	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°3.4	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°4.1	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°4.2	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°4.3	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°4.4	1	UND	1	11.20
	CELDA CUBICA BANCO N°1.0 - PALETA	1	UND	1	1.00
	CELDA CUBICA BANCO N°2.0 - PALETA	1	UND	1	1.00
	CELDA CUBICA BANCO N°3.0 - PALETA	1	UND	1	1.00
	CELDA CUBICA BANCO N°4.0 - PALETA	1	UND	1	1.00

	CELDA WS 6X7 N°1	1	**UND**	1	22.50
	CELDA WS 6X7 N°2	1	**UND**	1	22.50
	CELDA WS 7X8 N°3	1	**UND**	1	22.50
	CELDA WS 7X8 N°4	1	**UND**	1	22.50
	CELDA WS 7X8 N°5	1	**UND**	1	30.00
	CELDA WS 7X8 N°6	1	**UND**	1	30.00
Total 3.1FLOTACION					**347.50**
3.2FLOTACION	**CELDA CUBICA BANCO N°5.1**	1	**UND**	1	15.00
	CELDA CUBICA BANCO N°5.2	1	**UND**	1	15.00
	CELDA CUBICA BANCO N°6.1	1	**UND**	1	15.00
	CELDA CUBICA BANCO N°6.2	1	**UND**	1	15.00
	CELDA CUBICA BANCO N°5.0 - PALETA	1	**UND**	1	1.50
	CELDA CUBICA BANCO N°6.0 - PALETA	1	**UND**	1	1.50
Total 3.2FLOTACION					**63.00**
4DRAGA	**BOMBA DE PULPA 2-1/2X2" N°3**	1	**UND**	1	7.50
	BOMBA DE PULPA 4X3 N°9	1	**UND**	1	11.20
	FAJA TRANSPORTADORA N°5	1	**UND**	1	11.20
	TAMBORA DE DRAGA	1	**UND**	1	7.50
	ZARANDA DE ALTA FRECUENCIA	1	**UND**	1	3.00
Total 4DRAGA					**40.40**
5BOMBAS DE PULPA REL	**BOMBA PULPA 2-1/2X2" N°2 - RELAVERAN°3**	1	**UND**	1	5.50
	BOMBA PULPA 2-1/2X2" N°7 - RELAVERAN°3	1	**UND**	1	7.50
Total 5BOMBAS DE PULPA REL					**13.00**
6.1BOMBAS DE AGUA	**BOMBA AGUA INDUSTRIAL 15 HP N°2 - RELAVERAN°1**	1	**UND**	0.4	7.40
	BOMBA AGUA INDUSTRIAL 15 HP N°3 - RELAVERAN°3	1	**UND**	0.4	7.40
	BOMBA AGUA INDUSTRIAL 25 HP N°2 - POZA INTERMEDIA	1	**UND**	1	18.50
	BOMBA AGUA INDUSTRIAL 25 HP N°4 - POZA MIL	1	**UND**	0.6	11.10
	BOMBA AGUA INDUSTRIAL 7.5 HP N°3 - RELAVERAN°2	1	**UND**	0.4	2.20
	BOMBA AGUA INDUSTRIAL DE 25 HP N°2	1	**UND**	1	18.50
Total 6.1BOMBAS DE AGUA					**65.10**
6.2BOMBAS DE AGUA	**BOMBA AGUA INDUSTRIAL 25 HP N°1 - POZA INTERMEDIA**	1	**UND**	0.6	11.10
	BOMBA AGUA INDUSTRIAL 25 HP N°6 - POZA MIL	1	**UND**	1	18.50
Total 6.2BOMBAS DE AGUA					**29.60**
7LABORATORIO	**EQUIPOS DE LABORATORIO**	1	**UND**	0.9	45.00
Total 7LABORATORIO					**45.00**
8ILUMINACION	**ILUMINACION PLANTA**	1	**UND**	1	15.00
Total 8ILUMINACION					**15.00**
9.1FILTRO PRENSA	**COMPRESOR - KAESER**	1	**UND**	1	75.00
	COMPRESOR - KAESER VENTILADOR	1	**UND**	1	1.50
Total 9.1FILTRO PRENSA					**76.50**
9FILTRO PRENSA	**AGITADOR- VYMSA**	1	**UND**	1	22.35

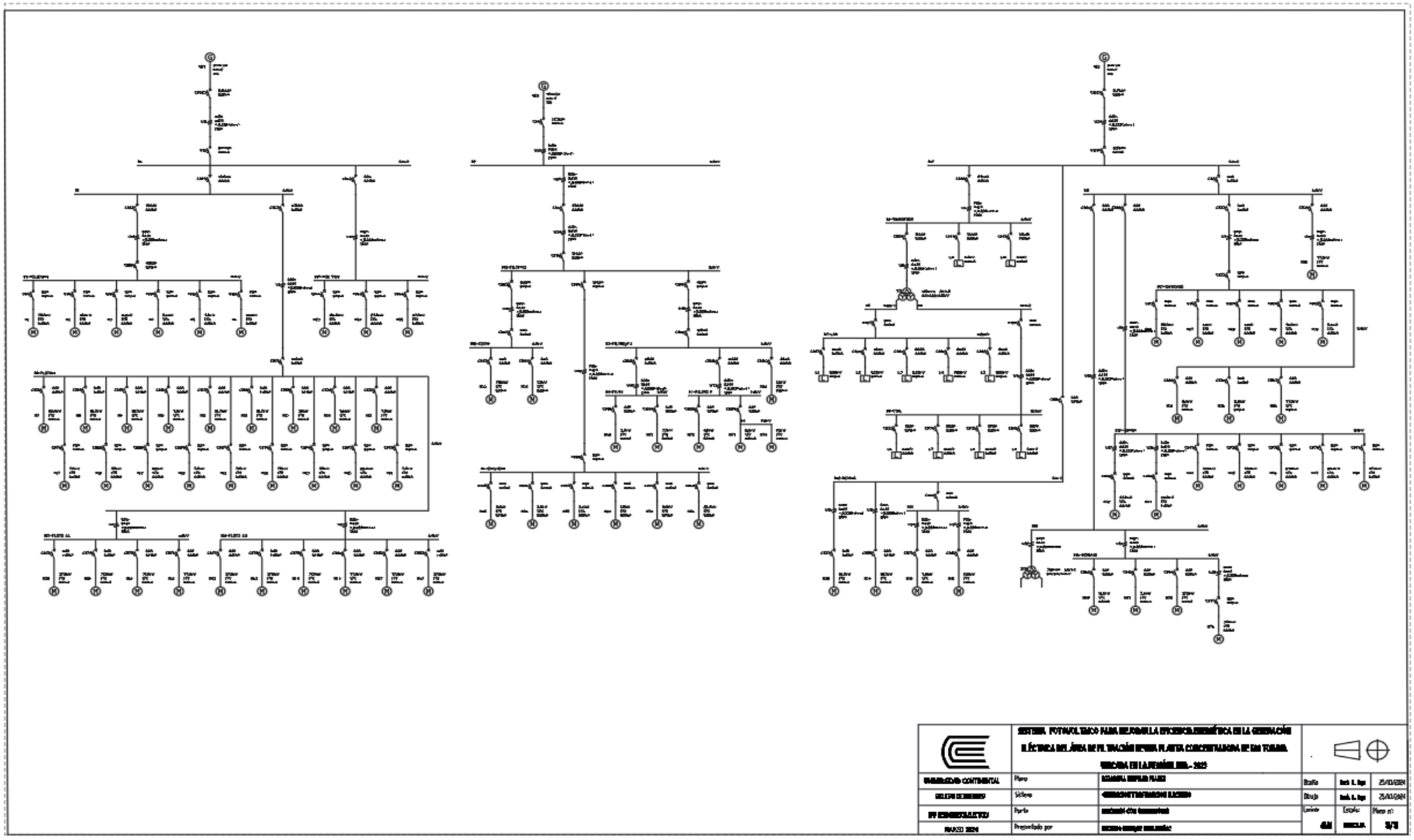
	BOMBA DE PULPA 1 - 2.5"X2" VYMSA	1	**UND**	1	5.59
	BOMBA DE PULPA 2 - BREDEL	1	**UND**	1	1.75
	BOMBA DE PULPA 3 - BREDEL	1	**UND**	1	1.75
	BOMBA DE PULPA 4 - 2.5X2 ESPIASA	1	**UND**	1	5.59
	ESPESADOR 1	1	**UND**	1	5.00
	ESPESADOR 2	1	**UND**	1	5.00
	FAJA TRANSPORTADORA N°6	1	**UND**	1	3.70
	FAJA TRANSPORTADORA N°7	1	**UND**	1	3.70
	FILTRO PRENSA - JALADOR	1	**UND**	1	0.55
	FILTRO PRENSA - JALADOR REFRIGERCION	1	**UND**	1	0.04
	FILTRO PRENSA - MODULO HIDRAULICO	1	**UND**	1	4.00
	HIDROLAVADORA - KARCHER	1	**UND**	1	1.00
Total 9FILTRO PRENSA					**60.01**
Total general					**1,226.01**

ANEXO II: PLANOS

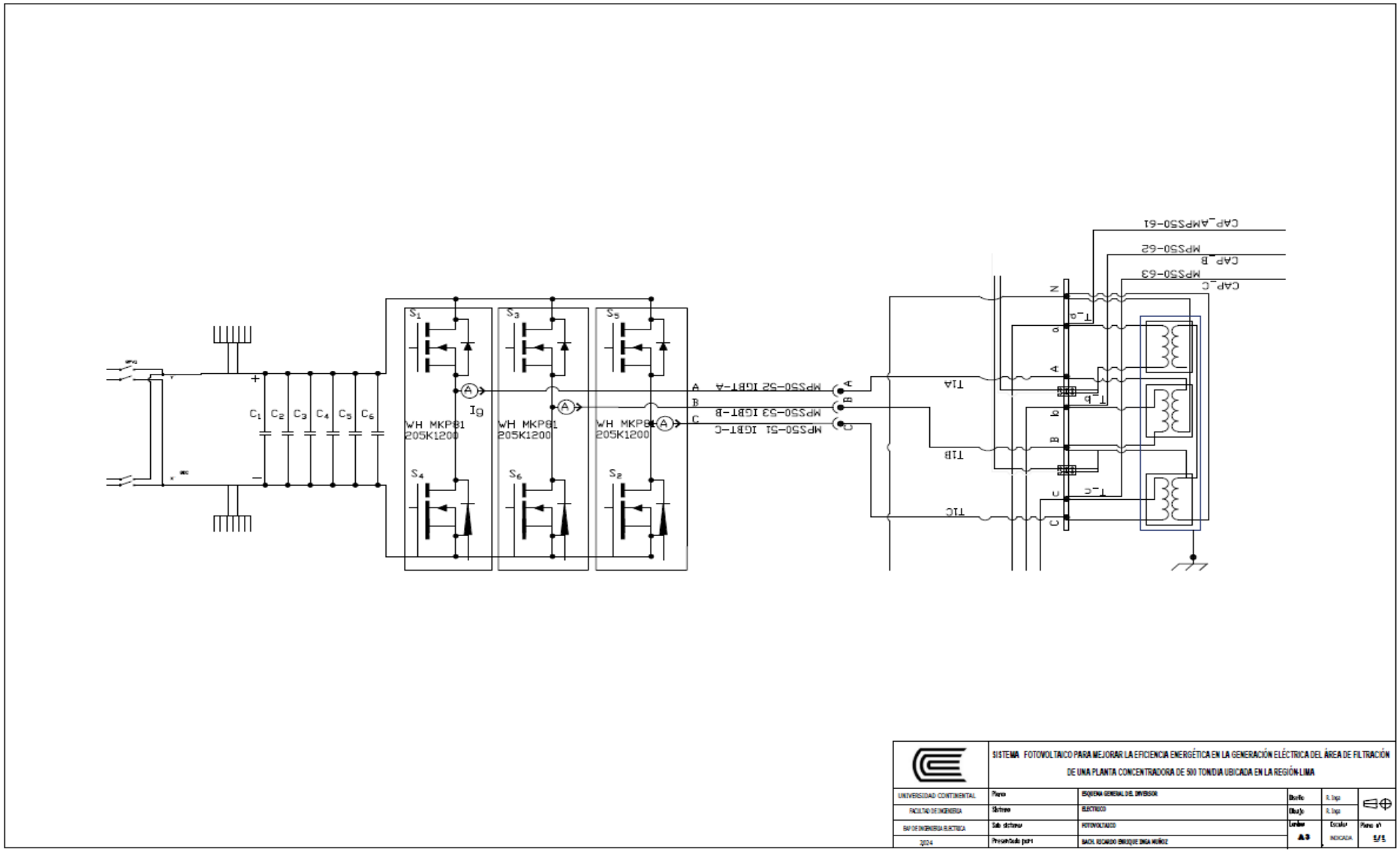
En esta parte se muestran los planos desarrollados, donde se puede observar los detalles de esquemas unifilares, la ubicación, el layout del sistema fotovoltaico.

- Diagrama unifilar del sistema eléctrico de planta
- Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico
- Diagrama unifilar del sistema de transferencia manual y automática del sistema FV
- Planos eléctricos
- Planos mecánicos
- Visualización 3D

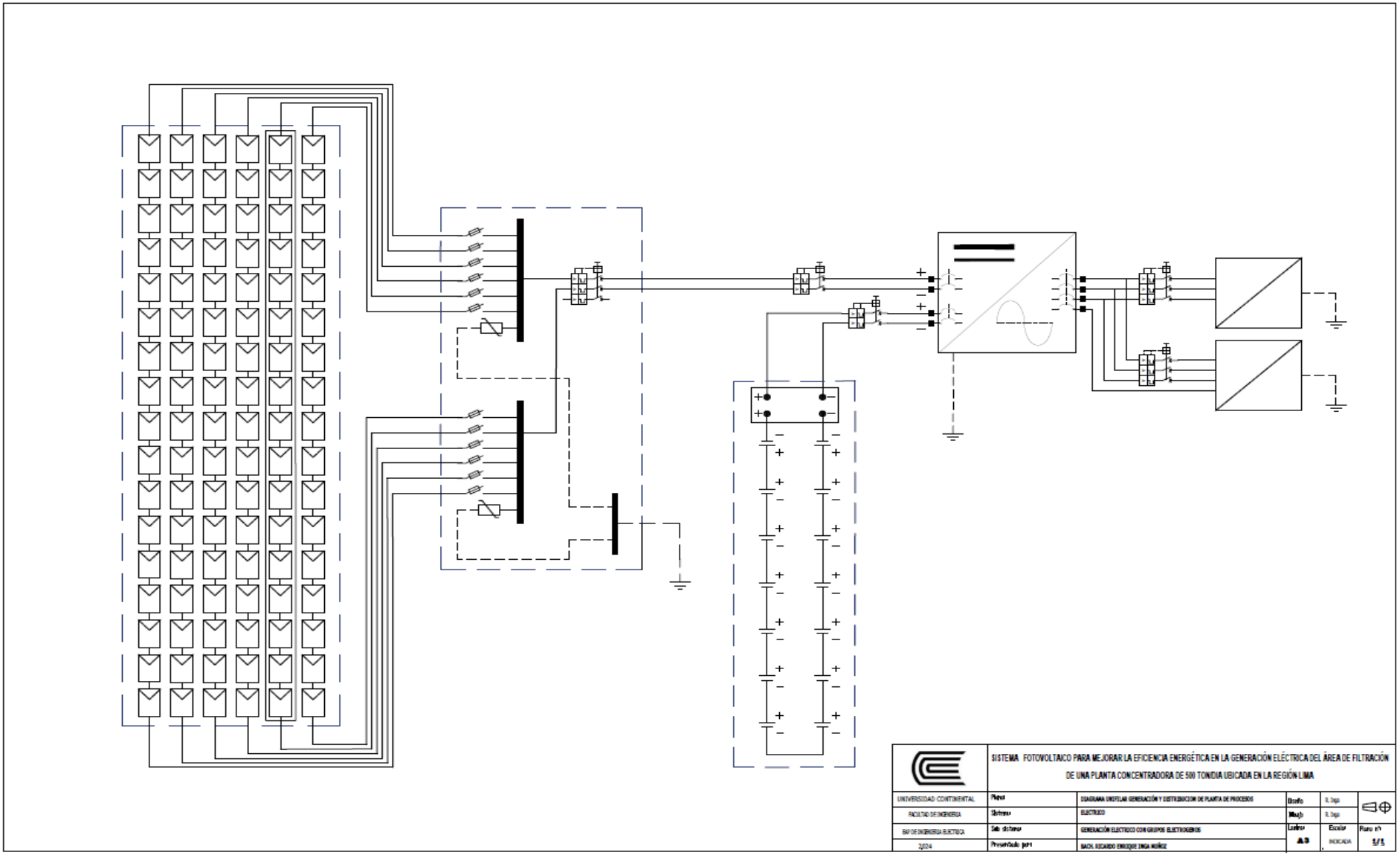
Anexo 2.1: Diagrama unifilar del sistema eléctrico de planta



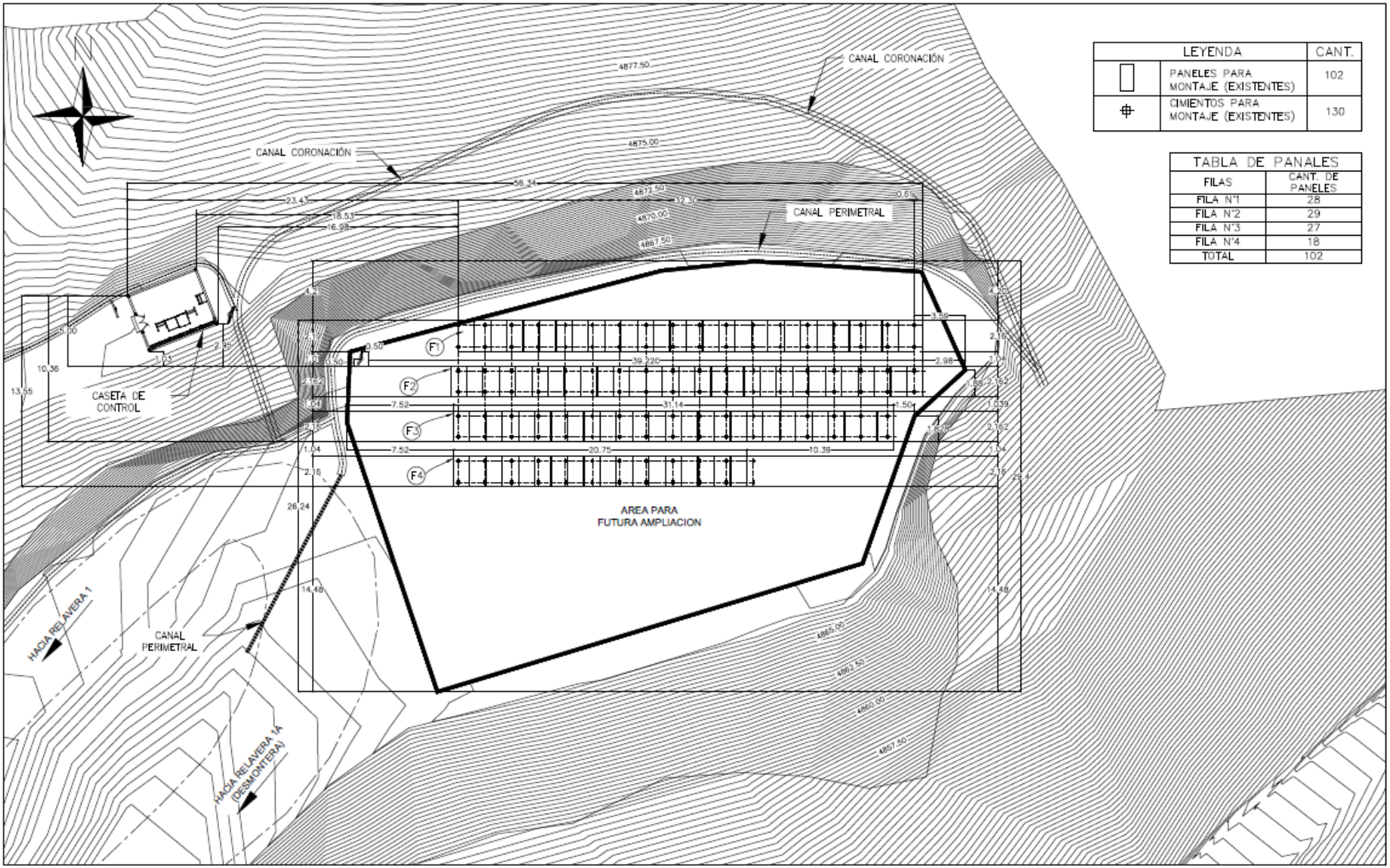
Anexo2.2: Plano de soporte estructural



Anexo2.3: Plano unifilar sistema fotovoltaico



Anexo2.4: Plano de localización del sistema fotovoltaico



ANEXO III: FICHAS TECNICAS

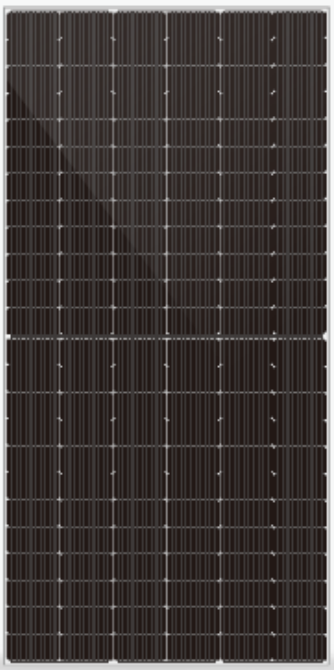
Anexo 3.1: Especificaciones técnicas del panel solar

DAH Solar

DHM-72X10

540~555W

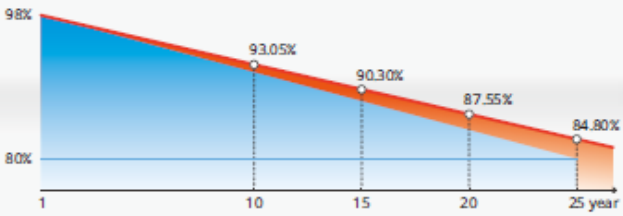
Half-Cell High Efficiency PV Module



Max Module Efficiency 21.48%

Quality Guarantee

12-Year material & technology warranty
25-Year linear power output warranty



DAH Solar linear power output guarantee
Standard linear power output guarantee

More Power Generation
Larger size of light receiving area and higher module conversion efficiency

10 Busbar Technology
Higher power collection density improves power generation

Stable Generation Performance
Guaranteed 0~+5W positive tolerance and slower power attenuation:
first year ≤2%, 0.55% per year from 2-25

Higher Power Gains and Lower Losses
Excellent low irradiance performance and low shadow loss

Process Optimized and Upgraded
Lower risk of hot spot and stronger anti-PID ability

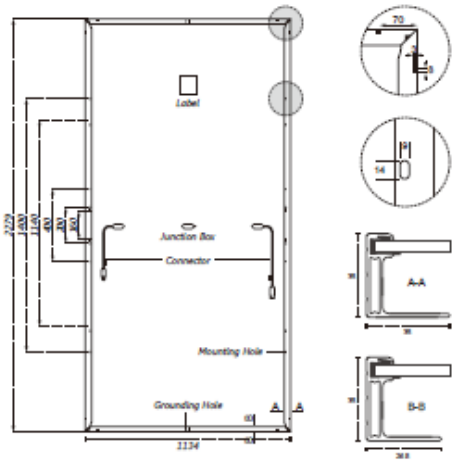
Strong Environmental Adaptability and Great Durability
Certified by Dust-Sand, Salt-Mist, Ammonia etc. weather resistance tests and enhanced mechanical load: wind load (2400 Pa) and snow load (5400 Pa)

Comprehensive Products and System Certificates

IEC 61215 / IEC 61730 / CE / FIDE / INMETRO
ISO 45001:
2018/International standards for occupational health & safety
ISO 14001:
2015/Standards for environmental management system
ISO 9001:
2015/Quality management system

DHM-72X10-**540~555W**

Design



Mechanical Specification

Cells Type	Dimension (L×W×T)
Mono 182×91mm	2279×1134×35mm
Weight	Packing
29kg	31pcs/pallet, 620pcs/40HQ

Output Cable (Including connector)	4.0mm², 300/400mm in length, length can be customized
No.of Cells	144 (6×24)
Glass	3.2mm High Transmission, Antireflection Coating
Junction box	IP68, 3 Bypass Diodes
Connector	MC4 Compatible

Operating Parameters

Maximum system voltage	1500V DC
Operating Temperature	-40 ~ +85℃
Maximum series fuse rating	25A
Snow load, frontside	5400Pa
Wind load, backside	2400Pa
Nominal operating cell temperature	45℃±2℃
Application level	Class A

STC-Electrical Characteristics

Module Type			DHM-72X10	
Maximum Power (Pmax/W)	540	545	550	555
Open-circuit Voltage (Voc/V)	49.8	50.0	50.2	50.4
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	42.0	42.2	42.4	42.6
Short-circuit Current (Isc/A)	13.66	13.72	13.78	13.84
Maximum Power Current (Imp/A)	12.86	12.91	12.97	13.03
Module Efficiency (%)	20.89	21.09	21.30	21.48
Temperature Coefficient of Isc			0.05%/℃	
Temperature Coefficient of Voc			-0.31%/℃	
Temperature Coefficient of Pmax			-0.35%/℃	

Standard Test Environment : Irradiance 1000W/m², Cell temperature 25℃, Spectrum AM1.5

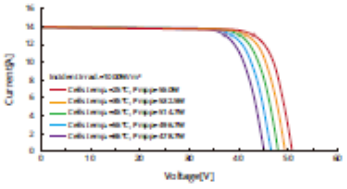
NOCT-Electrical Characteristics

Maximum Power (Pmax/W)	402	405	409	413
Open-circuit Voltage (Voc/V)	46.7	46.9	47.1	47.3
Maximum Power Voltage (Vmp/V)	39.4	39.6	39.8	40.0
Short-circuit Current (Isc/A)	11.04	11.09	11.13	11.18
Maximum Power Current (Imp/A)	10.20	10.24	10.29	10.33

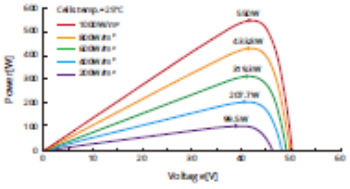
Standard Test Environment : Irradiance 800W/m², Ambient temperature 20℃, Spectrum AM1.5, Wind speed 1m/s

I-V Curve DHM-72X10-550W

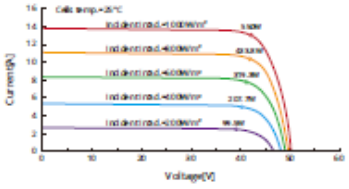
Current-Voltage Curve



Power-Voltage Curve



Current-Voltage Curve



DAH Solar
Add: No.1 Yaoyuan Road, Luyang District, Hefei City, Anhui, China
E-mail: sales@dh-solar.cn Facebook: www.facebook.com/DAHSolar
www.dahsolarpv.com

Anexo 3.2: Especificaciones técnicas de la batería

Battery Module

Basic Parameters	HM2A180
Energy (kWh)	5.68
Norminal Voltage(V)	38.4
Battery Capacity(Ah)	148
Dimension (W*D*H mm)	315*820*171.5
Weight(kg)	55

BMS

Basic Parameters	S1000M2A180	S1000M2A180J
AC Supply for BMS	100-290Vac/50Hz/1.3A	NA
System Operation Voltage (Vdc)	0-1000	0-1000
Dimension (W*D*H mm)	315*710*171.5	
Weight(kg)	19	

Powercube M2

Basic Parameters	Powercube-M2A-180 (148Ah)
Battery Module	HM2A180
Battery System Capacity(kWh)	107.98
Battery System Voltage(V)	883.2
Battery System Voltage Range (V)	800.4-993.6
Efficiency(@0.5C-rate)	96%
Depth of Discharge	90%
Cycle Life	>7000, @25℃
Design Life	15+Years
Operation Temperature (℃)	10-40
Humidity	5%-95%
Altitude(m)	<2000
Battery Module Qty.(Optional)	1-23
Certification	IEC62619/CE/UN38.3
Rack Dimension (W*D*H mm)	803*845*2130
Weight(kg)	1228

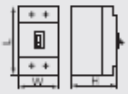
Anexo 3.3: Especificaciones técnicas del inversor

MPS Microgrid Series-Microgrid Hybrid Inverter

MEGAREVO

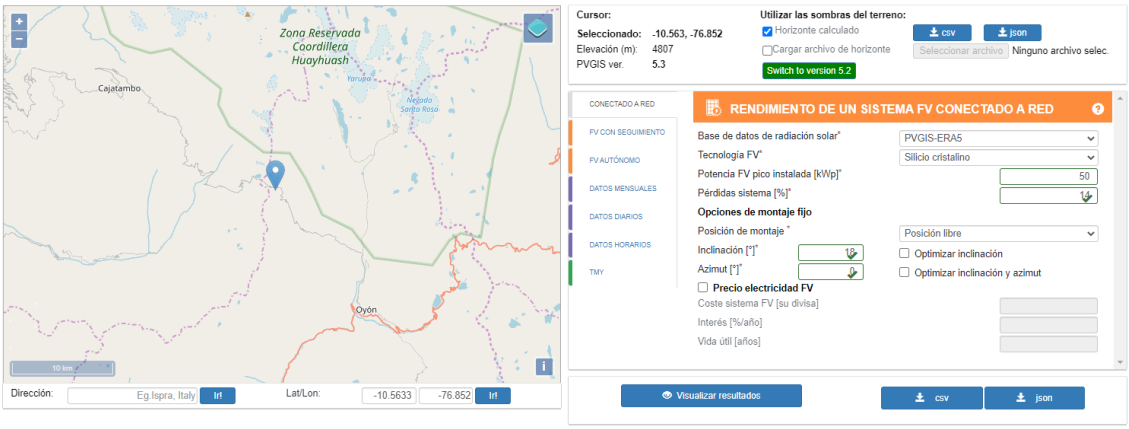
Technical Specification	MPS0030	MPS0050	MPS0100	MPS0150	MPS0250	MPS0500
AC(on-grid)						
Max output power(kVA)	33	55	110	165	275	550
Rated power(kW)	30	50	100	150	250	500
Rated voltage(V)	400					
Rated current (A)	43	72	144	216	361	722
Voltage range(V)	320~460					
Rated frequency (Hz)	50/60					
Frequency range(Hz)	45~55/55~65					
THDI	<3%					
Power factor	1lagging~1leading					
AC connection	3W+N+PE					
Transformer ratio	100/400	200/400	270/400	270/400	270/400	315/400
AC(Off Grid)						
Max output power(kVA)	33	55	110	165	275	550
Rated power(kW)	30	50	100	150	250	500
Rated voltage(V)	400					
Rated current(A)	43	72	144	216	361	722
THDu	≤1% linear; or≤5% nonlinear					
Rated frequency(Hz)	50/60					
Overload capacity	110% long-term					
Photovoltaic Input						
Max.PV input voltage(V)	1,000					
Max.PV power(kW)	36/72	60/120	120/180/240	120/180/240	300/360	600/660/720
MPPT voltage range(V)	250-850					
MPPT voltagerange@full load (V)	450-850					
Battery						
Battery voltage range(V)	250~850	320~850	420~850	420~850	420~850	500~850
Max. charging power(kW)	36/72	60/120	120/180/240	120/180/240	300/360	600/660/720
General data						
Dimension W*D*H(mm)	800*800*1,900	800*800*1,900	1,200*800*2,050	1,200*800*2,050	(600*720*2,050)*1+ 1,200*800*2,050	(600*720*2,050)*2+ 1,600*1050*2,050
Net Weight (kg)	576/607	720/750	1,120/1,150/1,180	1,250/1,280/1,310	1,980/2,010	3,265/3,295/3,325
Operation temperature(°C)	-30 ~ 55					
Relative humidity	0 ~95% non-condensing					
Ingress protection	IP20					
Noise emission(dB)	<70					
Operation altitude (m)	5,000(>3,000 Derating)					
Cooling	Air Cooling					
Display and communication						
Display	LCD touch-screen					
BMS communication	RS485, CAN					
EMS communication	RS485, TCP/IP					
Certificates	EN62109-1/-2, EN62477-1, EN61000-6-2, EN61000-6-4, South Africa NRS097-2-1:2017, Pakistan & India IEC61727, IEC62116,IEC 61683					

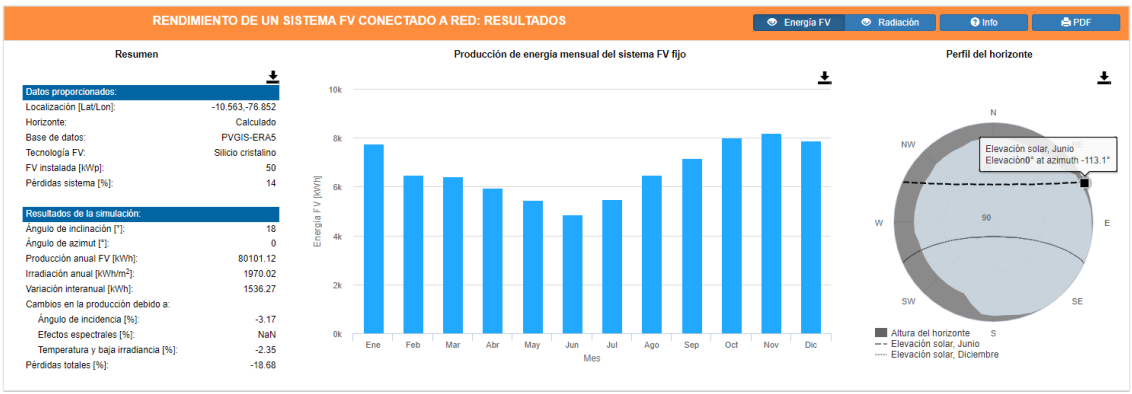
Anexo 3.4: Especificaciones técnicas de interruptor NDM2-125

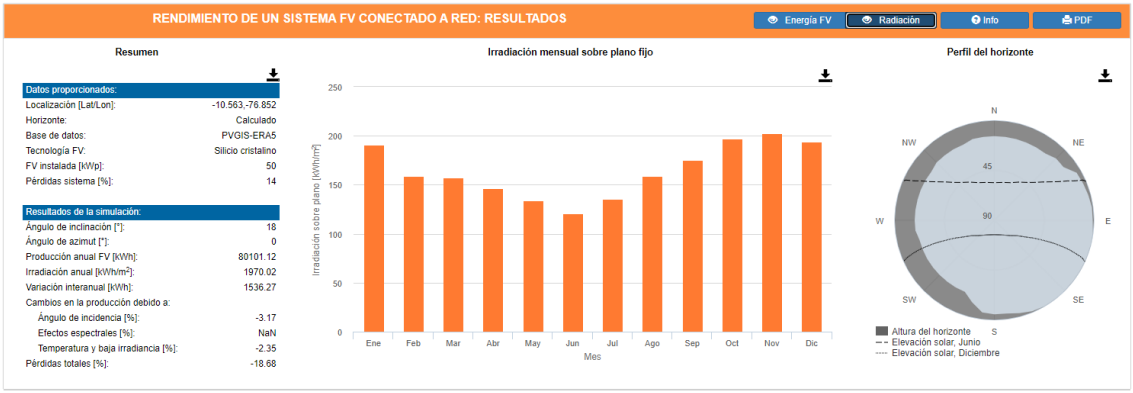
Model		NDM2-63			NDM2-100					NDM2-125				
Frame grade Current Inm (A)		63			100					125				
Rated current In (A)		10、12.5、16、20、25、32、40、50、63			16、20、25、32、40、50、63、80、100					16、20、25、32、40、50、63、80、100、125				
Rated insulation voltage Ui (V)		1000			1000					1000				
Rated impulse withstand voltage Uimp (V)		8000			8000					8000				
Power frequency withstand voltage U: (1 minute) (V)		3000			3000					3000				
Use class		A			A					A				
Number of poles		3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
Rated limit short-circuit breaking capacity level		L	M		C	L	M	H		C	L	M	H	
Rated ultimate short-circuit breaking capacity Icu (kA)	AC 400V	25	50	50	25	35	50	85	50	25	35	50	85	50
	AC 690V						10					10		
Rated running short-circuit breaking capacity Ics (kA)	AC 400V	19	38	38	19	26	38	64	38	19	26	38	64	38
	AC 690V						8					8		
Operating performance (time)	Electrical life	8000			8000					8000				
	Mechanical life	20000			20000					20000				
Outline dimension 	L	135	135	135	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
	W	78	78	103	92	92	92	92	122	92	92	92	92	122
	H	73.5	81.5	81.5	69	69	87	87	87	69	69	87	87	87
Flashover distance (mm)		≤50			≤50					≤50				
Wiring mode		Conventional, P,Z1,Z2Q,Z2H			Conventional, P,JK,CK,K,Z1,Z2Q,Z2H,Z3Q,Z3H					Conventional, P,JK,CK,K,Z1,Z2Q,Z2H,Z3Q,Z3H				

ANEXO IV: DATOS IRRADIACION PVGIS

Anexo 4.1: Conectado a red – Opción montaje 18° inclinación y 0° azimut







ANEXO V: SISTEMA FOTOVOLTAICO

Anexo 5.1: Vista distribución de paneles

Anexo 5.2: Vista frontal del array de paneles

Anexo 5.3: Vista de casa maquinas