

Instalación Eléctrica de una Mina de Explotación de Arena a Cielo Abierto con
Soporte de Energía Solar Fotovoltaica

Juan Diego Martínez Rodríguez

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero electricista

Director

Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga

Doctor en ingeniería eléctrica

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías físicomecánicas

Escuela de Ingeniería eléctrica, electrónica y de telecomunicaciones

Ingeniería Eléctrica

Bucaramanga

2025

Dedicatoria

Dedico este logro a mis Padres Jorge Eliecer Martínez Camargo y Rita Rodríguez Barón, a mi Curso Jorge Eliecer Martínez Rodríguez, y mi abuelo Jorge Anselmo Rodríguez y en general a toda mi familia. Su apoyo incondicional y constante motivación me brindaron la fuerza y el ánimo necesarios para no rendirme en mi camino académico. Gracias a ellos, siempre tuve la energía para superar cada obstáculo. Por último, pero no por ello menos importante, quiero darme las gracias por creer en mí mismo, por hacer este trabajo duro, insistir persistir resistir y nunca desistir en cada etapa de dificultad a lo largo de mi carrera.

Juan Diego Martínez Rodríguez

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al director, Dr. Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, por habersido una parte fundamental en este proceso de aprendizaje, apoyándonos y brindándonos asesoría y guía en la conclusión de este logro académico.

Agradezco también a mi tío Alfonso Rodríguez Barón y a su familia por brindarme toda la información requerida para la realización de este trabajo.

De igual manera, quiero expresar mi profundo agradecimiento a la Universidad Industrial de Santander, mi alma mater. No solo el lugar donde adquirí conocimientos y habilidades, sino también donde forjé valores fundamentales para mi vida profesional y personal. Sus instalaciones fueron más que aulas de estudio; se convirtieron en mi segundo hogar durante todos estos años, un refugio de crecimiento y descubrimiento.

Finalmente, expreso mi agradecimiento principalmente a Dios por nunca dejarme solo en los momentos más duros y que siempre me guio y me mostro el camino correcto y tomar así, la decisión correcta, también a mi moto que fue parte fundamental en mi proceso académico y a mis amigos, Huber y Ferney por toda su ayuda que me brindaron.

Juan Diego Martínez Rodríguez

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Objetivos	14
1.1 Objetivo General	14
1.2 Objetivos específicos	14
2. Presentación inicial	15
2.1 Estudio de carga y demanda de la mina.....	15
2.2 Descripción de la mina y su situación	16
2.2.1 Descripción del sitio	17
2.2.2 Causales problemáticas.....	18
2.2.3 Examen de estándares de seguridad.....	20
2.2.4 Análisis de influencias ambientales	27
3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico	28
4. Desarrollo de Diseños y Cálculos Técnicos para la mina “El Peñón”.....	32
4.1 Planos eléctricos detallados	32
4.1.1 Diagramas unifilares	32
4.2 Memorias de calculo	33
4.2.1 Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas y medidas de protección	34
4.2.2 Análisis del nivel de tensión requerido	40
4.2.3 Campos electromagnéticos	41

4.2.4	Cálculos transformadores.....	41
4.2.5	Puesta a tierra.....	41
4.2.6	Redes eléctricas del proyecto.....	42
4.2.7	Medida de energía eléctrica	43
4.3	Presupuesto	45
4.3.1	Presupuesto general	45
4.3.2	Costes de instalación.....	47
4.3.3	Costos de operación	47
4.3.4	Costos totales sección optima	47
4.4	Cálculos de regulación.....	47
4.5	Distancias de Seguridad.....	48
5.	Recomendaciones	51
6.	Conclusiones.....	52
	Referencias Bibliográficas	53

Lista de Tablas

Tabla 1. Cuadro de cargas instalación Alfonso rodríguez.....	15
Tabla 2. Consumo de carga total.....	16
Tabla 3. Matriz análisis de riesgos por arcos eléctricos.....	21
Tabla 4. Matriz análisis de riesgos por contacto directo.....	22
Tabla 5. Matriz análisis de riesgos por contacto indirecto.....	23
Tabla 6. Matriz análisis de riesgos por cortocircuito.....	23
Tabla 7. Matriz análisis de riesgos por descargas atmosféricas.....	24
Tabla 8. Matriz análisis de riesgos por tensión de contacto.....	25
Tabla 9. Matriz análisis de riesgos por tensión de paso.....	26
Tabla 10. Matriz de riesgos.....	26
Tabla 11. Nivel de riesgo de origen eléctrico.....	27
Tabla 12. Ubicación potencial SFV y especificaciones.....	28
Tabla 13. Resultado De Simulación.....	29
Tabla 14. Datos del propietario.....	33
Tabla 15. Datos de diseñador.....	34
Tabla 16. Nivel cerámico.....	34
Tabla 17. Niveles de aislamiento.....	38
Tabla 18. Tensión al impulso.....	39
Tabla 19. Cálculo de corriente de corto circuito.....	39
Tabla 20. Redes eléctricas del proyecto.....	42
Tabla 21. Clasificación por consumo.....	43
Tabla 22. Clasificación de punto.....	44
Tabla 23. Requisitos de exactitud para medidores.....	44
Tabla 24. Especificaciones técnicas del medidor.....	45

Tabla 25. Costo inicial de la instalación	47
Tabla 26. Costos de operación	47
Tabla 27. Costos totales sección óptima	47
Tabla 28. Cálculos de regulación.....	48
Tabla 29. Distancias mínimas para trabajos energizados	49
Tabla 30. Distancias mínimas para trabajos energizados CC.	49

Lista de Figuras

Figura 1. Registro fotográfico mina “El Peñón”	17
Figura 2. Áreas de interés mina "El Peñón"	18
Figura 3. Gráfico de flujo de Energía.	30
Figura 4. Plan de acotación.	31
Figura 5. Diagrama unifilar mina.....	32
Figura 6. Conexión de Paneles.....	33
Figura 7. Cálculo del riesgo software IEC Risk.	35
Figura 8. Número de impactos directos.	35
Figura 9. Componentes de riesgo.....	36
Figura 10. Detalle de riesgos.	36
Figura 11. Límites de aproximación	50
Figura 12. Distancias de seguridad	50

Lista de Apéndices

NOTA: Ver apéndices adjuntos en el repositorio institucional.

APENDICE A. Diagrama unifila SFV

APENDICE B. Dimensionamiento SFV

APENDICE C. Ficha tecnica - Inversor

APENDICE D. Ficha tecnica - Panel

APENDICE E. Ficha tecnica - Medidor

APENDICE F. Presupuesto SFV

APENDICE G. Acuerdo 1862

APENDICE F. Especificaciones técnicas

Resumen

Título: INSTALACIÓN ELÉCTRICA DE UNA MINA DE EXPLOTACIÓN DE ARENA A CIELO ABIERTO CON SOPORTE DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA. ¹.

Autor: Juan Diego Martínez Rodríguez. ².

Palabras Clave: Energía solar fotovoltaica, exigencias normativas, análisis de cargas, transición energética.

Descripción: Se quiere diseñar instalación eléctrica de una mina de explotación de arena a cielo abierto en el municipio de Tasco-Boyacá que integre diversas fuentes de energía eléctrica como el suministro de la red (SIN) y grupos electrógenos. Esto es crucial para abastecer la demanda del proceso industrial, reducir costos de consumo energético, minimizar pérdidas de energía eléctrica con mejor iluminación y ergonomía, y así, potenciar la producción y el crecimiento empresarial. Como solución se toma en cuenta que el diseño a realizar esté actualizado según las normativas RETIE y NTC 2050, la ubicación específica de la mina que hace que las cualidades de irradiancia para el sistema fotovoltaico sean detalladas, contribuyendo a la mejora de la actual estructura eléctrica de la mina propiedad de CEM minerales.

¹ Trabajo de grado.

² Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Director: Oscar Arnulfo Quiroga Quiroga, Doctor en ingeniería eléctrica.

Abstract

Title: ELECTRICAL INSTALLATION OF AN OPEN-PIT SAND MINE WITH PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY SUPPORT. ³.

Author(s): Juan Diego Martínez Rodríguez. ⁴.

Key Words: Photovoltaic solar energy, regulatory requirements, load analysis, energy transition.

Description: The aim is to design the electrical installation of an open-pit sand mining mine in the municipality of Tasco-Boyacá that integrates various sources of electrical energy such as the supply of the grid (SIN) and generator sets. This is crucial to supply the demand of the industrial process, reduce energy consumption costs, minimize electrical energy losses with better lighting and ergonomics, and thus, boost production and business growth. As a solution, it is taken into account that the design to be carried out is updated according to the regulations RETIE and NTC 2050, the mine-specific location that makes the irradiance qualities for the PV system detailed, contributing to the improvement of the current electrical structure of the mine owned by CEM Minerals.

³ Degree Work

⁴ Faculty of Engineering Physicochemical, School of Electrical, Electronic and Telecommunication.

Introducción

En un mundo donde el cambio climático se ha convertido en una realidad innegable y la sostenibilidad es más que una moda, nuestro proyecto se rodea en un territorio poco explorado en el ámbito industrial: la integración de fuentes de energía renovable en entornos tradicionalmente dependientes de recursos no sostenibles. Respaldados por una profunda comprensión del panorama energético actual, hemos desenterrado cifras impactantes que exponen la cruda realidad, el desorbitado consumo de energía convencional en sectores críticos como la extracción minera, evidenciando así la urgente necesidad de un cambio radical en nuestros modelos energéticos. Con un consumo promedio de energía eléctrica que supera los 1000 kWh por tonelada de material extraído. Donde según el informe de la Agencia Internacional de Energía (AIE) de 2023, el consumo promedio de energía en la extracción de minerales supera los 1000 kWh por tonelada de material extraído.

Estas cifras, marcadas por la preocupante huella ambiental y el peso económico asociado, nos presentan un desafío inminente que no se puede ignorar. Sin embargo, en este panorama desafiante, nuestro proyecto emerge como un faro de esperanza, iluminando un horizonte marcado por el cambio climático y la urgencia imperiosa de adoptar prácticas más sostenibles. A través de este proyecto, no solo busca proponer soluciones innovadoras, sino también inspirar un cambio significativo en la forma en que aborda la producción y el consumo de energía en los sectores más críticos de la industria.

La implementación de energía solar fotovoltaica en la instalación eléctrica de la mina El peñón ofrece una serie de soluciones a estas problemáticas. En primer lugar, al utilizar una fuente de energía renovable y limpia, se reducen las emisiones de gases de efecto invernadero, contribuyendo así a la mitigación del cambio climático. Además, al aprovechar la radiación solar disponible en la zona de la mina, se reduce la dependencia de combustibles fósiles y se garantiza un suministro energético más estable y predecible.

La adopción de energía solar fotovoltaica en la instalación eléctrica de la mina reduce los costos operativos a largo plazo al disminuir la factura energética y eliminar la volatilidad de los precios del petróleo y gas. Además, al ser una fuente de energía renovable, contribuye a la sostenibilidad ambiental del proyecto y mejora la imagen corporativa de la empresa minera. Asimismo, al descentralizar la generación de energía, se aumenta la resiliencia del sistema eléctrico ante posibles cortes de suministro. En Colombia no es frecuente el uso de energía solar fotovoltaica para suplir la demanda en el sector minero, ya que la carga del sector minero por lo general está dada por grandes máquinas 300 HP o 223.71 kW, además de que algunos implementos usados para el tipo de suministro fotovoltaico requieren de supervisión constante y detallada para su óptimo funcionamiento.

La mina de arena el Peñón del municipio de Tasco, ha tomado un papel importante en la zona ya que poco a poco se está industrializando, dando oportunidades a trabajadores tanto en el municipio como departamento, no obstante, la falta de energía para la mina limita el aprovechamiento real de explotación de arena.

Con propósito de avance y crecimiento industrial asociado a lo que esto impacta en su entorno, como económico, ambiental, social y cultural, se diseñará un sistema de instalación eléctrica para la mina el peñón en el municipio de Tasco-Boyacá, cuyo diseño permite adaptarse a las distintas fuentes de energía eléctrica sin dejar a un lado su producción ni rendimiento de su operaciones adicionando el mejor manejo económico asociado al consumo y tarifa energética donde estos deberán acaparar los requisitos técnicos mínimos y normativos, establecidos en la normativa RETIE (Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas). Estos reglamentos establecen los lineamientos técnicos y normativos para garantizar la eficiencia, seguridad, y calidad del diseño de instalación.

Al culminar este exhaustivo análisis sobre la integración de energía renovable en entornos industriales, se vislumbra un futuro prometedor y repleto de oportunidades. Basados en un profundo entendimiento del panorama energético actual, se han revelado cifras contundentes que evidencian el elevado consumo de energía convencional en sectores críticos como la extracción minera, subrayando la urgente necesidad de transformar nuestros modelos energéticos.

Trascendiendo los beneficios tangibles que este proyecto aporta, como la reducción de costos operativos y la mitigación de impactos ambientales, se destaca un potencial aún más significativo y transformador. La implementación de energía solar fotovoltaica en la instalación eléctrica de la mina representa un avance hacia la sostenibilidad y la eficiencia energética, abriendo así las puertas a una nueva etapa de innovación y progreso.

Este proyecto se muestra como un faro, guiando a la comunidad científica y empresarial hacia nuevas fronteras. Construir de un cambio positivo que va más allá de los límites de esta mina, cada paso en este camino hacia un futuro más brillante y sostenible nos acerca a un mundo donde se trabajará para el medio ambiente y será esencial y urgente.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Diseñar la instalación eléctrica de una mina de explotación de arena a cielo abierto con soporte de energía solar fotovoltaica.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar el estudio de carga y demanda eléctrica de la mina para la explotación de arena considerando las necesidades actuales y futuras expansiones.
2. Dimensionar un sistema de autogeneración fotovoltaico para abastecer la mina considerando los potenciales de la región y la disponibilidad de espacio para la instalación del sistema.

3. Desarrollar las memorias de cálculo y planos de la instalación eléctrica de la mina, incluyendo la integración del sistema de autogeneración fotovoltaico.
4. Elaborar el presupuesto de inversión mediante Análisis de Precio Unitario y las especificaciones técnicas correspondientes.

2. Presentación inicial

2.1 Estudio de carga y demanda de la mina.

En la tabla 1 se presenta la tabla correspondiente que incluye la descripción de las cargas eléctricas y el consumo total asociado. Esta tabla proporciona una visión general de los dispositivos o sistemas considerados, así como su demanda energética estimada. Para una comprensión más exhaustiva, se sugiere consultar el Anexo 5 en la lista de apéndices, donde se detalla minuciosamente cada casilla del cuadro de cargas. En dicho anexo, se incluye información adicional como las especificaciones técnicas de las cargas, su distribución horaria de uso y el impacto que tienen en el consumo global, lo que permite una evaluación más precisa del dimensionamiento y planificación del sistema eléctrico.

Tabla 1.

Cuadro de cargas instalación Alfonso Rodríguez.

CARGA TOTAL							
Descripción	Potencia activa [W]	Potencia reactiva [Var]	Factor de potencia	Potencia aparente [VA]	Cantidad	Potencia activa total [W]	Potencia reactiva total [Var]
luminarias Exteriores	50	24,22	0,9	55,56	12	600	290,59
luminacion de interiores	100	48,43	0,9	111,11	10	1000	484,32
Circuito Monofasico	440	89,35	0,98	448,98	12	5280	1072,15
Computador de escritorio	661,2	134,26	0,98	674,69	1	661,2	134,26
Nevera de 11 ft	212	43,05	0,98	216,33	1	212	43,05
Banda Transportadora 7,5 HP	5595	2866,40	0,89	6286,52	1	5595	2866,40
Motor de bomba de agua 15 HP	11190,00	6341,67	0,87	12862,07	1	11190	6341,67
Motor Tolva Materia Prima 40 HP	29840,00	20828,45	0,82	36390,24	1	29840	20828,45
Transformador de baja baja 30 KVA	19200,00	14400,00	0,8	24000,00	1	19200	14400,00
Motor tolva de cemento 30 HP	17904,00	11564,84	0,84	21314,29	1	17904	11564,84
Motor Tornillo Helicoidal silo de cemento 30 HP	14920,00	8853,01	0,86	17348,84	1	14920	8853,01
Motor Tornillo Helicoidal 25 HP	22380,00	14456,05	0,84	26642,86	1	22380	14456,05
Motor Tolva de arena 35 HP	26110,00	16181,52	0,85	30717,65	1	26110	16181,52
Molino Impactador 30 HP	22380,00	14456,05	0,84	26642,86	1	22380	14456,05
Zaranda 15 HP	8952	5073,33	0,87	10289,66	1	8952	5073,33
Sistema Fotovoltaico					1	0	0,00
Total					1	0	0,00
Carga instalada						186224,2	117045,70
Carga instalada [VA]						221210,80	
Demanda max						186224,2	117045,70
Demanda max [VA]						219952,61	
Demanda max [KVA]						219,95	
F	2F	3F					

Para este análisis se tuvo en cuenta la potencia total con base a su factura de energía. Teniendo

en cuenta valores diarios en una sola hora para determinar el valor de potencia y no usar el valor de energía.

Tabla 2.

Consumo de carga total.

CONSUMO CARGA TOTAL			
Hora	Demanda (Wh)	Demanda (kWh)	Demanda (kWh/mes)
1	812	0,812	24,36
2	812	0,812	24,36
3	812	0,812	24,36
4	1812,00	1,812	54,36
5	1812	1,812	54,36
6	1812	1,812	54,36
7	179344,2	179,3442	5380,326
8	179344,2	179,3442	5380,326
9	179344,2	179,3442	5380,326
10	179344,2	179,3442	5380,326
11	179344,2	179,3442	5380,326
12	873,20	0,8732	26,196
13	873,2	0,8732	26,196
14	179344,2	179,3442	5380,326
15	179344,2	179,3442	5380,326
16	179344,2	179,3442	5380,326
17	179344,2	179,3442	5380,326
18	179344,2	179,3442	5380,326
19	812,00	0,812	24,36
20	812	0,812	24,36
21	812	0,812	24,36
22	812	0,812	24,36
23	812	0,812	24,36
24	812	0,812	24,36
Total	1807932,4	1807,9324	54237,972

La tabla 2 se observa la demanda lo que representa el consumo total en un día completo. Este valor es crucial para dimensionar un sistema fotovoltaico, a su vez también ayuda a estimar el tamaño del sistema de generación requerido y para calcular costos operativos energéticos, con esto se puede realizar una simulación de generación fotovoltaica diaria lo que permite validar si la radiación solar disponible es suficiente para satisfacer la demanda.

2.2 Descripción de la mina y su situación

2.2.1 Descripción del sitio

En la figura 1 muestra la extracción y explotación de arena y otros recursos en la zona de Tasco, Boyacá, Colombia, no solo es fundamental para el desarrollo económico de la región, sino que también juega un papel crucial en la actividad minera y en la industria que depende de estos recursos. Sin embargo, el proceso de extracción y producción en la minería conlleva un consumo eléctrico significativo, lo que plantea desafíos en términos de sostenibilidad y eficiencia energética.

Figura 1.

Registro fotográfico mina “El Peñón”.



2.2.2 Causales problemáticas

Figura 2.

Áreas de interés mina "El Peñón".





Descripción de la mina.

En la figura 2 Actualmente la mina se encuentra en funcionamiento, explotando arena, vendiendo arena Granel con un promedio de 1000 a 1500 m^3 mensuales, se vende a los tamizadores, gente de la zona, constructoras, ferreterías, actualmente se encuentran haciendo las obras civiles para la instalación para la maquinaria para el procesamiento de la arena ya se realizaron las terrazas para ubicar todos los equipos, se hicieron los patios para hacer las cubiertas donde irán las maquinas bloqueadoras, también se hicieron las cubiertas donde se encuentra el taller y el mantenimiento de las maquinas, también se encuentran fundiendo zapatas para las cubiertas y sus correspondientes

estructuras, actualmente se encuentran trabajando 2 retroexcavadoras ITACHI una 120 y una 330, donde a 330 es la que se explota la arena y la 120 es la que carga a las volquetas y un personal de 4 personas donde son el ingeniero, un operario, un ayudante para oficios varios de la mina y un maestro que está realizando las obras civiles.

La mina lleva 4 años de operación, la mina cuenta con un campamento donde reside un trabajador de la empresa, cuenta con un edificio de 2 pisos, licencias ambientales vigentes y sus respectivos estudios, donde se cuenta con una mesa técnica para la evaluación de temáticas como la reforestación y técnicas ambientales.

En el diseño elaborado se planteó trabajar con una instalación eléctrica diseñada y proyectada en la cual se adelantan procesos de gestión, tramites y ejecución de la misma por lo cual, la mina de arena no necesita un diseño de instalación eléctrica.

Se diseño el SFV con la información y los planos de la instalación eléctrica proyectada, por esta razón cubriremos el 35% del consumo estimado, por normativa podemos llevar el transformador al 50% según su disponibilidad, en el diseño esta proyectado un transformador de 225 KVA donde el 50% serias 112.5 KVA. Se opto por un inversor cercano a las características del transformador y se escogió un inversor que entrega máximo 100 kW con $FP = 1$, llevamos el inversor a su límite de potencia instalando los 225 paneles distribuidos en sus 10 MPPT, por ficha técnica el inversor no recibe mas paneles de esta potencia 139.5 kWp en DC y 100 kW en AC.

2.2.3 Examen de estándares de seguridad

A. ARCOS ELECTRICOS

Apertura de interruptores termo magnéticos con carga: Cuando se necesite hacer mantenimiento a el inversor; ya que, los paneles siempre van a generar energía desde que reciban radiación, por esto, el lado de corriente continua siempre se va a encontrar bajo carga. El lado de corriente alterna del sistema también se va a encontrar bajo carga, ya que recibe la energía del sistema solar fotovoltaico y

la de la red, representada en la tabla 3.

Tabla 3.

Matriz análisis de riesgos por arcos eléctricos.

RIESGO A EVALUAR:	En personas: Quemaduras por calor excesivo, heridas y contusiones por proyección de partículas, ceguera por radiación ultravioleta.				por	Arco eléctrico		(al) o (en)	Tablero de protecciones: Interruptores termomagnéticos		
	Económicas: Explosión de aparatos, incendios.					FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
	Ambientales: Emisión de humos. Imagen Empresa: Miedo en el personal.										
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>		FRECUENCIA							
En personas		Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa	E	D	C	B	A		
					No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa		
CONSECUENCIAS	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO	
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO	
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
	Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO
Evaluador: Juan Diego Martínez Rodríguez		MP:		Fecha: 4/01/2025							

B. CONTACTO DIRECTO

Negligencia de técnicos o impericia de no técnicos: Los paneles siempre van a generar energía desde que reciban radiación, por esto, el lado de corriente continua siempre se va a encontrar bajo carga. El lado de corriente alterna del sistema también se va a encontrar bajo carga, ya que recibe la energía del sistema solar fotovoltaico y la de la red. Representada en la tabla 4.

- ✓ Violación de las distancias mínimas de seguridad.

Tabla 4.

Matriz análisis de riesgos por contacto directo.

RIESGO A EVALUAR:	En personas: Amputación traumática o muerte por choque eléctrico.									
	Económicas: Para la empresa, pago de indemnizaciones a familiares de la víctima. por Contacto directo (al) o (en) Sistema solar Fotovoltaico									
	Ambientales: N/A									
	Imagen Empresa: N/A									
	EVENTO O EFECTO				FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
	POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>				REAL <input type="checkbox"/>					
CONSECUENCIAS					FRECUENCIA					
	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
Evaluidor:	Juan Diego Martínez Rodríguez				MP:	0			Fecha:	4/01/2025

- Establecer distancias de seguridad, interposición de obstáculos, aislamiento o recubrimiento de partes activas.
- Utilización de interruptores diferenciales.
- Elementos de protección personal.
- Puesta a tierra.
- Probar ausencia de tensión.
- Doble aislamiento.

C. CONTACTO INDIRECTO

Falta de conductor de puesta a tierra: El sistema solar fotovoltaico implementado en la parte de corriente continua está aislado de tierra, sin embargo, como se establece en el RETIE, la estructura que soporta los paneles solares se encuentra equipotencializada con el sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica existente. Pueden existir diferencias de potencial peligrosas en los paneles. Representada en la tabla 5.

- ✓ Fallas de aislamiento.
- ✓ Mal mantenimiento.

Tabla 5.

Matriz análisis de riesgos por contacto indirecto.

RIESGO A EVALUAR:	En personas: Electrización o electrocución.				por	Contacto indirecto	(al) o (en)	Sistema solar Fotovoltaico. Lado de Corriente Continua		
	Económicas: Para la empresa, pago de indemnizaciones a familiares de la víctima.									
	Ambientales: N/A Imagen Empresa: N/A									
EVENTO O EFECTO					FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
Evaluador: Juan Diego Martínez Rodríguez MP: 0 Fecha: 4/01/2025										

D. POR CORTOCIRCUITO

Tabla 6.

Matriz análisis de riesgos por cortocircuito.

RIESGO A EVALUAR:	En personas: Quemaduras, Electrización o electrocución.				por	Cortocircuito	(al) o (en)	Sistema solar Fotovoltaico		
	Económicas: Pérdida de equipos, incendios.									
	Ambientales: Emisión de humos. Imagen Empresa: Pérdida de credibilidad de la instalación eléctrica.									
EVENTO O EFECTO					FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE		
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores. Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
Evaluador: Juan Diego Martínez Rodríguez MP: 0 Fecha: 4/01/2025										

C. MEDIDAS DE PROTECCIÓN

Interruptores automáticos con dispositivos de disparo de máxima corriente o cortacircuitos fusibles. Representadas en la tabla 6.

E. POR DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Fallas en: el diseño, construcción, operación, mantenimiento del sistema de protección. Representada en la tabla 7.

Tabla 7.

Matriz análisis de riesgos por descargas atmosféricas.

RIESGO A EVALUAR:	En personas: Quemaduras, muerte. Económicas: Pérdida de equipos, incendios. Ambientales: Emisión de humos por incendio de la instalación. Imagen Empresa: Miedo en el personal.					por Rayos (al) o (en) Sistema Solar Fotovoltaico											
	EVENTO O EFECTO					FACTOR DE RIESGO (CAUSA)					FUENTE						
	POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>					REAL <input type="checkbox"/>					FRECUENCIA						
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A							
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa							
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO							
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO							
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO							
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO							
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO								
Evaluador: <u>Juan Diego Martínez Rodríguez</u>						MP: <u>0</u>						Fecha: <u>4/01/2025</u>					

F. POR TENSIÓN DE CONTACTO

Los paneles siempre van a generar energía desde que reciban radiación, por esto, el lado de corriente continua siempre se va a encontrar bajo carga. El lado de corriente alterna del sistema también se va a encontrar bajo carga, ya que recibe la energía del sistema solar fotovoltaico y la de la red.

Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de distancias de seguridad, representada en la tabla 8.

Tabla 8.

Matriz análisis de riesgos por tensión de contacto.

RIESGO A EVALUAR:	En personas: Electrización o electrocución. Económicas: Para la empresa, pago de indemnizaciones a familiares de la víctima. Ambientales: N/A Imagen Empresa: N/A									
	EVENTO O EFECTO					FACTOR DE RIESGO (CAUSA)			FUENTE	
POTENCIAL <input checked="" type="checkbox"/>		REAL <input type="checkbox"/>			FRECUENCIA					
CONSECUENCIAS	En personas	Económicas	Ambientales	En la imagen de la empresa		E	D	C	B	A
						No ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en el sector	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al mes en la Empresa
	Una o más muertes	Daño grave en infraestructura. Interrupción regional.	Contaminación irreparable	Internacional	5	MEDIO	ALTO	ALTO	ALTO	MUY ALTO
	Incapacidad parcial permanente	Daños mayores, Salida de Subestación	Contaminación mayor	Nacional	4	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO	ALTO
	Incapacidad temporal (>1 día)	Daños severos. Interrupción temporal	Contaminación localizada	Regional	3	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO	ALTO
	Lesión menor (sin incapacidad)	Daños Importantes. Interrupción breve	Efecto menor	Local	2	BAJO	BAJO	MEDIO	MEDIO	MEDIO
Molestia funcional (afecta rendimiento laboral)	Daños leves, No interrupción	Sin efecto	Interna	1	MUY BAJO	BAJO	BAJO	BAJO	MEDIO	
Evaluador: <u>Juan Diego Martínez Rodríguez</u> MP: <u>0</u> Fecha: <u>4/01/2025</u>										

G. POR TENSIÓN DE PASO

Los paneles siempre van a generar energía desde que reciban radiación, por esto, el lado de corriente continua siempre se va a encontrar bajo carga. El lado de corriente alterna del sistema también se va a encontrar bajo carga, ya que recibe la energía del sistema solar fotovoltaico y la de la red. Rayos, fallas a tierra, fallas de aislamiento, violación de áreas restringidas, retardo en el despeje de la falla.

Representada en la Tabla 9.

H. FACTORES DE RIESGO DE ORIGEN ELÉCTRICO

En la Tabla 11 se generalizan todos los factores de riesgo, para poder evaluarlos como uno solo; y así encontrar el Nivel de Riesgo de Origen Eléctrico del Sistema de Autogeneración Solar Fotovoltaica. Se clasifica por clases para que exista mayor claridad en donde puede haber probabilidades de riesgo.

Nivel de Riesgo de Origen Eléctrico del Sistema de Autogeneración Solar Fotovoltaica en porcentajes, clasificado por clase.

Tabla 11.

Nivel de riesgo de origen eléctrico.

NIVEL DE RIESGO DE ORIGEN ELÉCTRICO POR CLASE	MUY ALTO	ALTO	MEDIO	BAJO	MUY BAJO
PERSONAS	0%	0%	100,0%	0%	0%
ECONÓMICAS	0%	0%	29%	71%	0%
AMBIENTALES	0%	0%	14%	29%	57%
IMAGEN EMPRESA	0%	0%	14,0%	29%	57,0%

2.2.4 Análisis de influencias ambientales

Se evaluará la cantidad de radiación solar incidente en la región a lo largo del año para determinar el potencial de generación eléctrica mediante paneles solares fotovoltaicos, considerando los estándares y regulaciones ambientales aplicables. Este análisis busca garantizar un diseño eléctrico de la mina que minimice los impactos ambientales, promueva un entorno de trabajo seguro y sea respetuoso con los ecosistemas locales. Asimismo, se analizará la viabilidad económica del proyecto, integrando costos, mantenimiento y operación, con el objetivo de maximizar la eficiencia energética y el uso sostenible de energías renovables. La identificación de áreas óptimas para la instalación de paneles solares tendrá en cuenta factores como la topografía del terreno, la disponibilidad de tierras y

la mitigación de posibles obstáculos, siempre priorizando la preservación ambiental y el aprovechamiento responsable de los recursos naturales.

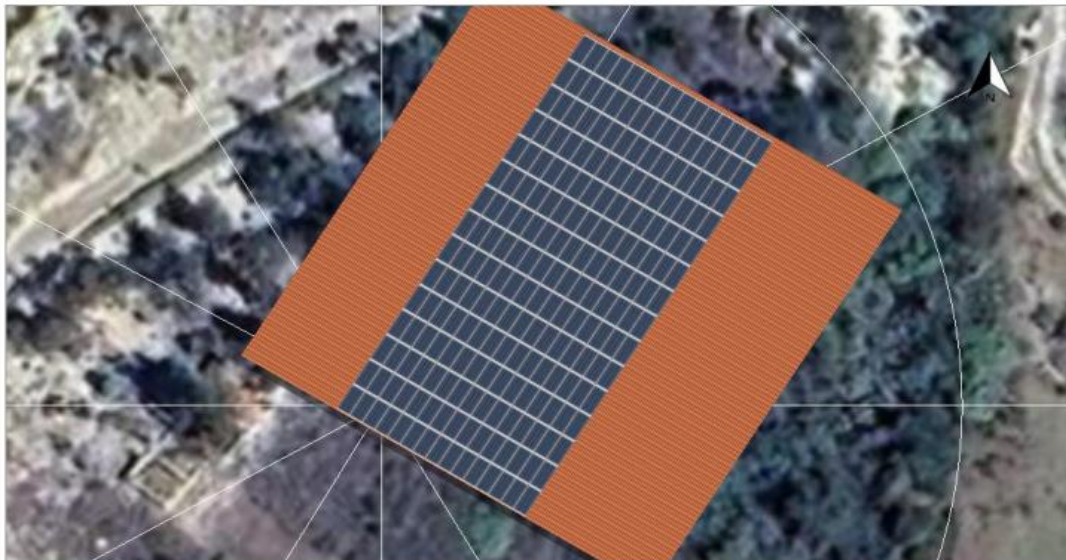
3. Dimensionamiento del Sistema Fotovoltaico

3.1 Ubicación potencial SFV y especificaciones.

Tabla 12.

Ubicación potencial SFV y especificaciones.

Nombre	Edificio a discreción 01-Superficie a ocupar sudoeste
Módulos FV	225 x Tiger Neo JKM620N-78HL4-BDV (v1)
Fabricante	Jinko Solar
Inclinación	0 °
Orientación	Suroeste 212 °
Situación de montaje	Paralelo a la cubierta
Superficie generador FV	628,9 m ²

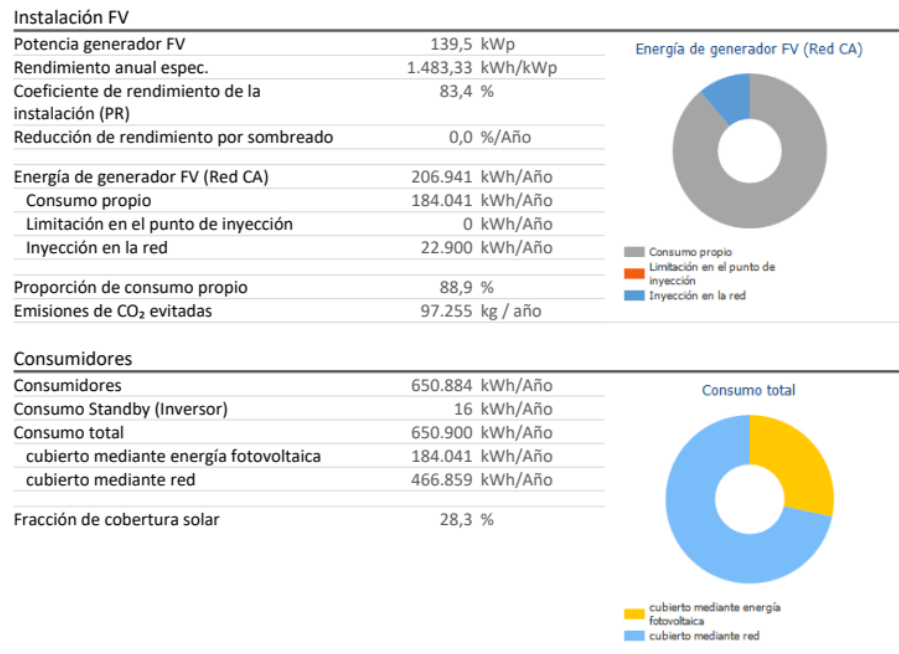


En la tabla 12 potencial del SFV cuenta con una cantidad de 225 módulos, los paneles están instalados en una orientación completamente horizontal, los módulos están dirigidos hacia el suroeste con el fin de optimizando la captación de radiación solar en función de la ubicación geográfica del proyecto donde el área total a ocupar por los módulos es de 628,9 m²

3.2 Simulación SFV

Tabla 13.

Resultado De Simulación.



La instalación tiene una capacidad de generación 139,5 [kWp], que presenta el potencial nominal total de los módulos fotovoltaicos instalados donde también se refleja la eficiencia general del sistema después de considerar pérdidas, cableado, inversor. Representada en la tabla 13.

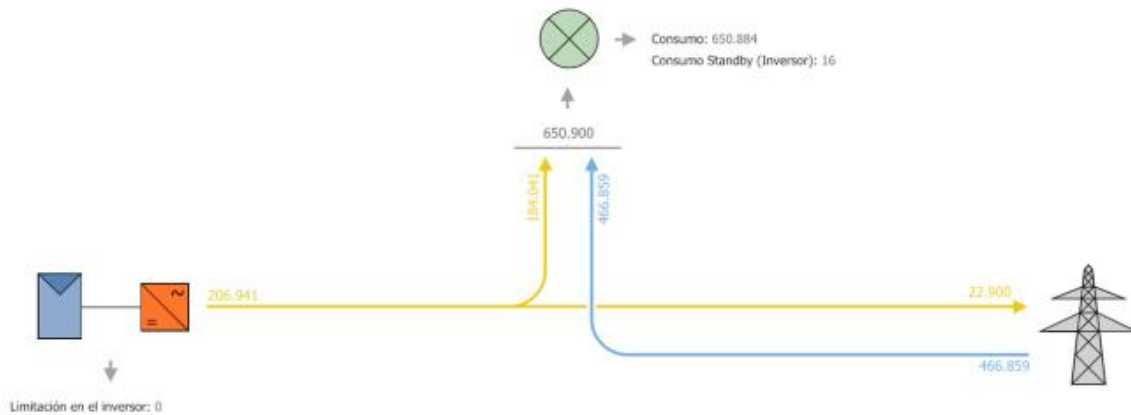
No presenta pérdidas por sombreado, lo cual indica una ubicación óptima sin obstrucciones que afecten la radiación solar directa, nos muestra la disminución en cuanto a la dependencia de la red.

Figura 3.

Gráfico de flujo de Energía.

Gráfico de flujo de energía

Proyecto: DIMENSIONAMIENTO DE MINA DE ARENA



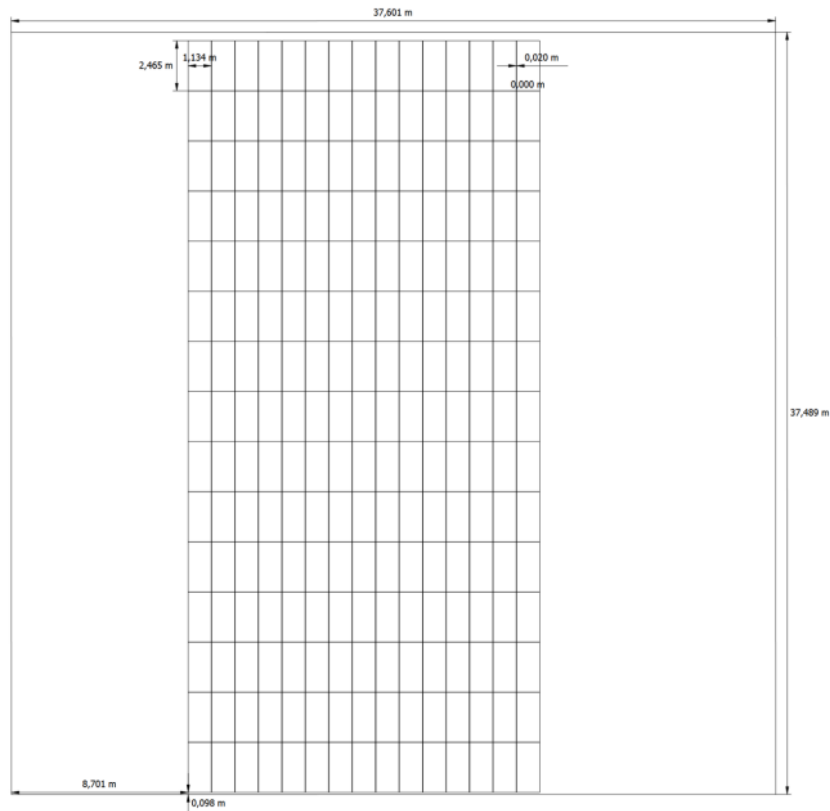
El SFV mostrado en la figura 3 genera un total 206.941 kWh/año que corresponde la línea amarilla donde la energía es procesada y utilizada principalmente para el consumo interno, donde el consumo 650.900 kWh/año y 16 kWh/años destinados al consumo en standby del inversor.

La distribución de la energía fotovoltaica 184.041 kWh/año, línea amarilla se consumen directamente dentro del sitio y 22.900 kWh/año línea amarilla hacia la red, representan excedentes que son inyectados a la red eléctrica.

Es importante aclarar que no hay limitación en el punto de inyección en el inversor, lo que se asegura la capacidad de exportar energía a la red no tiene restricciones, El flujo bidireccional entre el sitio y la red eléctrica asegura un balance energético, donde los excedentes del SFV se exportan y la red suministra la energía faltante. Aunque el sistema SFV genera una cantidad significativa de energía, el sitio aún Depende considerablemente de la red eléctrica para cubrir la mayor parte de su demanda anual. Se recomienda Revisar el Anexo 2 para más información.

Figura 4.

Plan de acotación.



Este esquema representa figura 4, la distribución Y diseño estructural de un sistema fotovoltaico montado sobre una superficie plana. Los parámetros Relevantes incluyen las dimensiones generales de la superficie y las distancias específicas relacionadas con los módulos fotovoltaicos donde consta de una longitud 37,989 m y de ancho 37,261 m, donde la distribución de los módulos fotovoltaicos en longitud son 10,026 m y de ancho 37,261 m, su separación vertical entre filas 1,34 m y distancia horizontal entre módulos 0,6 m. La optimización del espacio utiliza un área parcial de la superficie total disponible, dejando un margen no ocupado para facilitar el mantenimiento instalación y posibles ampliaciones futuras. Tiene un área ocupada por los módulos 373 m^2 , donde la separación entre filas es adecuada para minimizar el sombreado entre módulos, en cuanto a separación horizontal contribuye a mejorar la ventilación entre módulos, lo que he crucial para disipar calor y mantener la eficiencia energética.

4. Desarrollo de Diseños y Cálculos Técnicos para la mina “El Peñón”

4.1 Planos eléctricos detallados

4.1.1 Diagramas unifilares

DIAGRAMA UNIFILAR MINA

A continuación, se presenta el diagrama unifilar correspondiente. Para una descripción más detallada, se recomienda consultar el Anexo 1 en la lista de apéndices, donde se incluye el desarrollo completo y detallado de dicho diagrama.

Figura 5.

Diagrama unifilar mina.

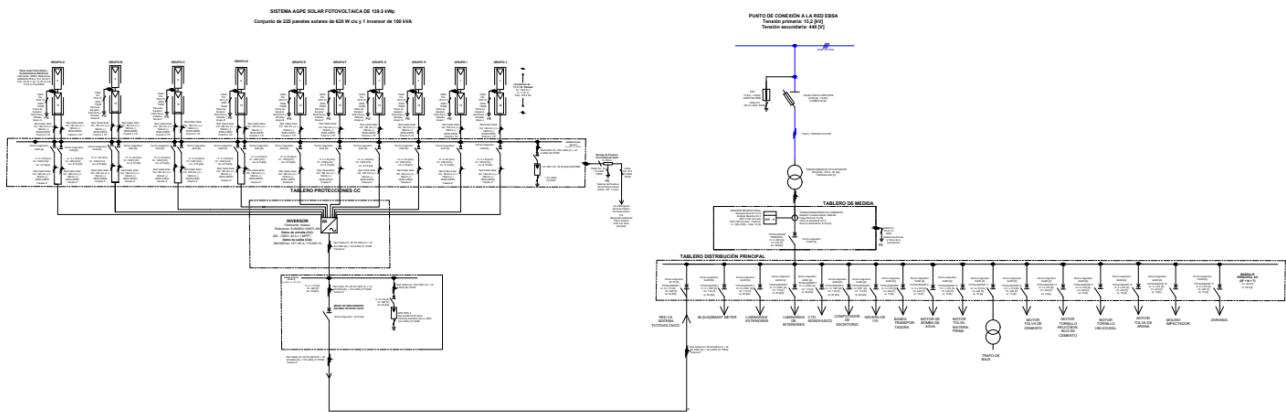
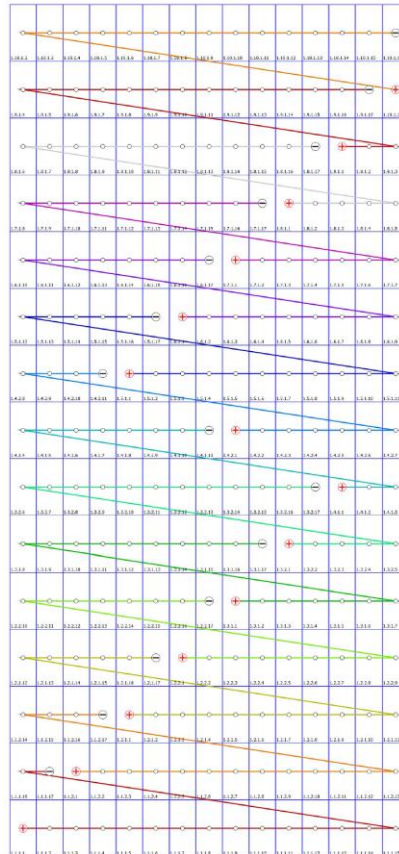


DIAGRAMA CONEXIÓN DE PANELES

A continuación, se presenta el diagrama correspondiente que incluye la conexión a los paneles fotovoltaicos. Para una descripción más detallada, se recomienda consultar el Anexo 1 en la lista de apéndices, donde se detalla la elaboración completa de este diagrama, incluyendo las conexiones específicas y configuraciones del sistema. Representada en la figura 5 y figura 6.

Figura 6.

Conexión de Paneles.



4.2 Memorias de calculo

PROPIETARIO

Tabla 14.

Datos del propietario.

Nombre	Alfonso Rodríguez Barón
Dirección	Km 23 vía Sogamoso-Tasco- Boyacá
Número de celular	3202752133
Correo Electrónico	Industrias.cem@hotmail.com

INGENIERO DISEÑADOR

Tabla 15.

Datos de diseñador.

Nombre	Juan Diego Martínez Rodríguez
Número de Celular	+57 3209806669
Correo Electrónico	jmartinota@hotmail.com
Firma	

4.2.1 Análisis de riesgos por descargas eléctricas atmosféricas y medidas de protección

Se hace el Análisis de riesgo mediante software *IEC Risk Assessment Calculator*, que aplica la norma IEC62305. En Colombia está establecida la norma NTC 4552.

El Nivel Ceráuneo y la Densidad de Descargas a Tierra para la instalación de Alfonso Rodríguez en el Pueblo de Tasco, se muestran en la Tabla 13. El valor de nivel ceráuneo fue tomado de la Norma NTC 4552-1 de 2008, y es una aproximación de las curvas de nivel que presentan. La densidad de descargas a tierra (DDT), se calcula con la ecuación número 4 de la norma NTC 4552-2 de 2008.

Mostrada en la tabla 16.

Tabla 16.

Nivel cerámico.

Densidad de Descargas a Tierra para la instalación de Alfonso Rodríguez		
Nivel Ceráuneo	[# días tormentosos al año]	122
DDT	[rayos/km ² – año]	3,1

Solamente se tiene en cuenta para el estudio el área donde se van a instalar los paneles. Los riesgos calculados para cada uno de los tipos de pérdidas se muestran en la Imagen 1, también se muestran los parámetros tenidos en cuenta para el cálculo.

Figura 7.

Cálculo del riesgo software IEC Risk.

Structure's Dimensions:	Conductive Service Lines:	Loss Categories:
Length of structure (m): 20 Width of structure (m): 15 Height of roof plane (m)*: 6 Height of highest roof protrusion (m)*: 5 <small>* Measured from the ground</small> Equivalent area (m2): 2.578 m2	Power Line: Type of service to the structure: Buried cable Type of external cable: Unscreened Presence of MV / LV transformer: Transformer Other Overhead Services: Number of conductive services: 0 Type of external cable: Unscreened Other Underground Services: Number of conductive services: 0 Type of external cable: Unscreened	Category 1 - Loss of Human Life: Special hazards to life: Low panic level Life loss due to fire: Other structures Life loss due to overvoltages: No safety critical systems Category 2 - Loss of Essential Services: Services lost due to fire: No service exist Services lost due to overvoltages: No service exist Category 3 - Loss of Cultural Heritage: Cultural heritage lost due to fire: No heritage value Category 4 - Economic Loss: Special economic hazards: No special hazards Economic loss due to fire: Commercial property Economic loss due to overvoltage: Other structures Step - touch potential loss factor: No shock risk Tolerable risk of economic loss: 1 in 1,000 yrs
Structure's Attributes: Risk of fire or physical damage: Low Structure screening effectiveness: Average Internal wiring type: Screened	Protection Measures: LPS type: No protection Fire protection level: Automated systems Surge protection: Service entrances only	
Environmental Influences: Location relative to surroundings: Lower than Location density (service line density): Suburban Number thunderdays: 31 days/year Equivalent annual flash density: 3,1 flashes/km2 View isokeraunic map: View Map		

Figura 8.

Número de impactos directos.

Collection Area Results:	
Ad - collection area of direct strikes to the structure	2.578 m2
Nd - average number of direct strikes to the structure per year	0,002 flashes/year
Am - collection area of structure influenced by induced overvoltages from indirect strikes	213.605 m2
Nm - average number of strikes direct to ground or to grounded objects near the structure inducing overvoltages	0,662 flashes/year
Ac1 - collection area of overhead line to direct strikes	17.352 m2
NL1 - average number of strikes direct to the overhead line per year which are potentially dangerous	0,013 flashes/year
AI1 - collection area of overhead line to indirect strikes	500.000 m2
NI1 - average number of annual indirect strikes to ground near the overhead line which induce damaging overvoltages	0,775 flashes/year
Ac2 - collection area of underground line to direct strikes	7.230 m2
NL2 - average number of strikes direct to the underground line per year which are potentially dangerous	0,006 flashes/year
AI2 - collection area of underground line to indirect strikes	250.000 m2
NI2 - average number of annual indirect strikes to ground near the underground line which induce damaging overvoltages	0,388 flashes/year

⁸ SANCHES Oscar, TORRES César, SANTAMARÍA Francisco. Comparación de las normas NTC 4552 de 2008 e IEC 62305 de 2010 para el análisis de riesgo. En: Tecnura. Abril – Junio, 2014. Vol. 18, no. 40, p. 103 – 114.

Figura 9.

Componentes de riesgo.

Category 1 - Loss of Human Life:	
RA1 - risk of dangerous touch and step potentials inside and outside the structure from a direct strike to the structure	2,00E-09
RB1 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the structure	7,99E-09
RC1 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from a direct strike to the structure	0,00E+00
RM1 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from an indirect strike to the structure	0,00E+00
RU1 - risk of dangerous touch and step potentials inside and outside the structure from a direct strike to the service lines	1,12E-09
RV1 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the service lines	4,48E-09
RW1 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from a direct strike to the service lines	0,00E+00
RZ1 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from an indirect strike to the service lines	0,00E+00
Category 2 - Loss of Essential Services:	
RB2 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the structure	0,00E+00
RC2 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from a direct strike to the structure	0,00E+00
RM2 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from an indirect strike to the structure	0,00E+00
RV2 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the service lines	0,00E+00
RW2 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from a direct strike to the service lines	0,00E+00
RZ2 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from an indirect strike to the service lines	0,00E+00
Category 3 - Loss of Cultural Heritage:	
RB3 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the structure	0,00E+00
RV3 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the service lines	0,00E+00
Category 4 - Economic Loss:	
RA4 - risk of dangerous touch and step potentials inside and outside the structure from a direct strike to the structure	0,00E+00
RB4 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the structure	7,99E-08
RC4 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from a direct strike to the structure	2,00E-07
RM4 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from an indirect strike to the structure	6,62E-07
RU4 - risk of dangerous touch and step potentials inside and outside the structure from a direct strike to the service lines	0,00E+00
RV4 - risk of destruction due to fire, explosion, mechanical, chemical damage from a direct strike to the service lines	4,48E-08
RW4 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from a direct strike to the service lines	1,12E-07
RZ4 - risk of electrical / electronic equipment failure due to overvoltage from an indirect strike to the service lines	7,64E-06

Figura 10.

Detalle de riesgos.

Calculated Risks:							
	Tolerable Risk (Rt)		Direct Strike Risk (Rd)	Indirect Strike Risk (Ri)	Calculated Risk (R)		
Loss of Human Life:	1,00E-05	=>	9,99E-09	+	5,60E-09	=	1,56E-08
Loss of Essential Services:	1,00E-03	=>	0,00E+00	+	0,00E+00	=	0,00E+00
Loss of Cultural Heritage:	1,00E-03	=>	0,00E+00	+	0,00E+00	=	0,00E+00
Economic Loss:	1,00E-03	=>	2,80E-07	+	8,46E-06	=	8,74E-06

Los valores de riesgo tolerable son los establecidos por la norma NTC 4552-2 en la tabla 7. Comparando estos valores, con los obtenidos en el software (Figura 21), se encuentra que el cálculo de riesgo para:

- Pérdidas de vidas humanas o lesiones permanentes
- Pérdida de servicio público
- Pérdida de patrimonio cultural

Es **menor** al Riesgo Tolerable (RT), por lo tanto, la estructura o servicio está protegido para estos tipos de pérdidas. Adicionalmente el programa calcula el riesgo para las pérdidas económicas, las cuales también son menores al riesgo tolerable.

ANALISIS DE ARMONICOS

En general, los armónicos son producidos por cargas no lineales que, a pesar de ser alimentadas con una tensión sinusoidal, absorben una intensidad no sinusoidal. Para simplificar se considera que las cargas no lineales se comportan como fuentes de intensidad que inyectan armónicos en la red. Las cargas armónicas no lineales más comunes son las que se encuentran en los receptores alimentados por electrónica de potencia tales como variadores de velocidad, rectificadores, convertidores, etc.

Otro tipo de cargas tales como reactancias saturables, equipos de soldadura, hornos de arco, etc., también inyectan armónicos. El resto de las cargas tienen un comportamiento lineal y no generan armónicos. Principales fuentes de armónicos: Son cargas que es posible distinguir según sus dominios, industriales o domésticos:

- Cargas industriales: Equipamientos de electrónica de potencia: variadores de velocidad, rectificadores, onduladores.
- Cargas que utilizan arco eléctrico: hornos de arco, máquinas de soldar, los arranques de motores con arrancadores electrónicos y los enganches de transformadores de potencia son también generadores de armónicos (temporales).

Para fines de este proyecto no se requiere un análisis preciso debido a que las cargas a instalar son de naturaleza lineal con alimentación eléctrica sinusoidal y onda de corriente de salida sinusoidal.

COORDINACIÓN DE AISLAMIENTO ELÉCTRICO

Este análisis aplica especialmente a sistemas trifásicos donde la tensión nominal es superior a 1 kV. Las normas nacionales e internacionales establecen valores que en general son aplicables solamente a estos sistemas. Sin embargo, los conceptos que presentan también son válidos para sistemas bifásicos o monofásicos.

Para el caso de baja tensión, según el **RETIE** los productos utilizados deben contar con el aislamiento apropiado acorde con el nivel de tensión de la parte energizada. Por lo tanto, los productos utilizados deben contar con el Certificado de Conformidad de Producto conforme al **RETIE**. Al cumplir esta condición se garantiza que el nivel de aislamiento sea el adecuado para evitar riesgos eléctricos por contacto directo o indirecto. Observar tabla 17, tabla 18.

Tabla 17.

Niveles de aislamiento.

NIVEL	TENSIÓN MÁS ELEVADA PARA EL MATERIAL (kV)	BIL (kV)
Baja tensión	0,6	25

Tabla 18.

Tensión al impulso.

Tabla E.3. Tensión al impulso que deben soportar los equipos

Nivel de tensión de operación de los equipos V	BIL requerido en (kV)			
	Contadores	Tableros, interruptores, cables, etc.	Electrodomésticos, herramientas portátiles	Equipo electrónico
	Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
120 – 240 ; 120 / 208	4	2,5	1,5	0,8
254 / 440 ; 277 / 480	6	4	2,5	1,5

CORTOCIRCUITO

El diseño de los elementos se debe hacer de tal forma que soporten la corriente de cortocircuito máxima del sistema. Para este caso de diseño, como el sistema fotovoltaico está conectado directamente a toda la instalación eléctrica de ALFONSO RODRÍGUEZ, la cual se alimenta de la red de baja tensión del operador de red, incluyendo la red de media tensión que alimenta el transformador, la corriente de cortocircuito máxima va a ser la que se presente en los bornes de baja tensión del transformador de distribución.

El cálculo de la corriente de cortocircuito máxima se calcula con la siguiente formula:

$$I_{cc} = 100 * I_{nZcc}$$

Donde:

I_{cc}: Corriente de cortocircuito [A]

I_n: Corriente nominal en el lado de baja tensión [A]

Z_{cc}: Impedancia de cortocircuito del transformador [%]

Tabla 19.

Cálculo de corriente de corto circuito.

	S/E
Capacidad [kVA]	225
<i>I_n</i> BT [A]	590.4718
<i>Z_{cc}</i> [%]	3
<i>I_{cc}</i> [kA]	19.682

Por lo tanto, las protecciones a utilizar en el proyecto deben tener un I_{cc} (mínimo) de 19.682 [kA] para garantizar la seguridad del sistema. Sin embargo, es importante considerar las limitaciones del mercado y debemos regirnos a ella, donde la protección más pequeña que se encuentra comúnmente disponible es de 20 [kA]. Representada en la tabla 19.

4.2.2 Análisis del nivel de tensión requerido

LADO CORRIENTE CONTINUA

Por ficha técnica, la tensión máxima de entrada para el inversor Huawei SUN2000-100KTL-M2, es de 480 VDC, y maneja un rango de tensión MPPT de 400 VDC – 480 VDC. De acuerdo con la configuración establecida para los paneles, 14 cadenas de paneles de las cuales 11 son de 17 paneles, 2 son de 11 paneles y 1 son 16 paneles respetivamente, se tiene una tensión de circuito abierto de 55.55 V, cumpliendo con el rango de tensión del inversor.

Según el artículo 690.7 de la NTC 2050, “La tensión máxima de los circuitos de C.C. del sistema FV debe ser la máxima tensión entre los conductores de circuito cualesquiera o cualquier conductor y la tierra. Se debe permitir que los circuitos de C.C. de sistema FV sobre o dentro de viviendas uni o bifamiliares tengan una tensión máxima de 600 V o menos. Se debe permitir que los circuitos de C.C. de sistema FV sobre o dentro de otros tipos de edificios tengan una tensión máxima de 1 000 V o menos.”.

La tensión nominal del sistema solar fotovoltaico en el lado de corriente continua es de 55.55 [V].

LADO CORRIENTE ALTERNA

La tensión nominal va a ser la estandarizada por las normas nacionales e internacionales, para tensiones menores a 1000 [V] y frecuencia de 60 [Hz]. El inversor debe cumplir con los niveles de tensión establecidos por el operador de Red en el sector residencial.

Para este diseño, la tensión nominal del sistema de Corriente alterna debe ser de 480/400 [V] trifásico tetrafilar.

4.2.3 Campos electromagnéticos

Según el RETIE en el artículo 3.11.2, el cálculo de campos electromagnéticos aplica para el diseño de subestaciones de tensión superior a 100 [kV], o que tengan corrientes mayores a 1000 [A], por lo tanto, para este diseño no es necesario este análisis.

4.2.4 Cálculos transformadores

El sistema de autogeneración solar fotovoltaica es para autoconsumo de la instalación eléctrica de Alfonso Rodríguez. El nivel de tensión del Operador de Red en el lado de corriente alterna del sistema solar fotovoltaico es de 480/400 [V], correspondiendo a la tensión que manejan los inversores, por lo tanto, no se necesita utilizar transformadores.

4.2.5 Puesta a tierra

El sistema de puesta a tierra de la instalación solar para el lado de corriente continua y para el lado de corriente alterna, se conecta al sistema de puesta a tierra existente en la instalación eléctrica de uso final de Alfonso Rodríguez.

LADO CORRIENTE CONTINUA

El sistema de Corriente Continua del arreglo solar fotovoltaico es una red aislada de tierra, según lo establece la NTC 2050 en la sección 250.162.(A) “Sistemas bifilares de corriente continua. Debe ser puesto a tierra un sistema de C.C. bifilar que alimenta el alambrado del inmueble y que opera a una tensión superior a 60 V, pero no mayor de 300 V.”

Según la anterior consideración y teniendo en cuenta que el generador Solar Fotovoltaico tiene una tensión nominal de 55.55 [V], no se requiere el diseño de un Sistema de Puesta a Tierra para el sistema eléctrico de corriente continua. Sin embargo, los marcos de los paneles y la estructura que los soporta, si se deben conectar a tierra, como se establece en la sección 250.134 y en la sección 690.43 de la NTC 2050. Esta conexión se hace en el barraje principal del sistema de puesta a tierra de la instalación eléctrica existente.

La estructura que se utiliza para soportar los paneles garantiza la continuidad de esta con los marcos de los paneles, por medio de un conector especial, por lo tanto, no se necesita conectar a tierra cada uno de los paneles. La conexión a tierra se hará por cadena de paneles y a la vez se incluirá la estructura, siendo esto practico a la hora de la instalación.

Se debe garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema de puesta a tierra a la hora de despejar una falla. Como se van a aterrizar las cadenas de paneles y la estructura a la vez, el calibre del conductor de puesta a tierra debe soportar la corriente más grande que maneja el circuito de corriente continua, por esto el conductor que se debe utilizar para conectar a tierra la estructura se selecciona como se dice en la sección 690.45 de la NTC 2050 y escogerlo según la tabla 250.122 de la NTC 2050.

LADO CORRIENTE ALTERNA

El lado de corriente alterna del sistema solar se conecta al sistema eléctrico existente, el cual contara con un sistema de puesta a tierra. Por lo tanto, no es necesario dimensionar un nuevo sistema de puesta a tierra para este diseño. Representada en la tabla 20.

4.2.6 Redes eléctricas del proyecto

Tabla 20.

Redes eléctricas del proyecto.

TRAMO	TENSIÓN DE LÍNEA [V]	LONGITUD [m]	CARGA [kVA]	CORRIENTE [A]	TIPO DE RED ELÉCTRICA
LADO DE CORRIENTE CONTINUA					
Paneles solares - Barraje CC - Inversor	1180,43	80	0,62	14,25	* Red Cable Solar CU, 1#4 mm (positivo) + 1#4mm (negativo) RHW-2/ RHH
LADO DE CORRIENTE ALTERNA					
Red Salida inversor- Tablero de Protecciones AC	480	10	100	167,125	** Red Cable CU, 3# 3/0 AWG (F) + 1# 3/0 AWG (N) + 1# 4 AWG (T) THHN
Tablero de protecciones AC - Tablero de distribución Principal	480	40	100	167,125	*** Red Cable CU, 3# 3/0 AWG (F) + 1# 3/0 AWG (N) + 1# 4 AWG (T) THHN

4.2.7 Medida de energía eléctrica

En este proyecto se va a tener flujo de energía en dos direcciones. Existirá importación y exportación de energía entre la Red de EBSA y la Instalación eléctrica de Alfonso Rodríguez.

Se realiza medida directa, por el lado de baja tensión del transformador 440/220 [V]. La capacidad instalada de las instalaciones de Alfonso Rodríguez corresponde a [kVA] y el consumo de energía promedio mensual es de 54237 [kW-h/mes].

En la frontera comercial se debe dar cumplimiento a la resolución CREG 174 de 2021, por la cual se modificó el Código de Medida contenido en el Anexo general del Código de Redes.

ALTERNA*Al inversor llegan 14 redes de corriente CC con las mismas características. **Del inversor sale una red de estas características. ***Del tablero de distribución principal sale una red con estas características.

CLASIFICACIÓN DEL PUNTO DE MEDICIÓN

Según la resolución CREG 038 de 2014, “los puntos de medición se clasifican acorde con el consumo o transferencia de energía por la frontera, o, por la capacidad instalada en el punto de conexión”. El punto de medición para la instalación de Alfonso Rodríguez se clasifica como se muestra en la tabla 21. Tabla 22. Tabla 23.

Tabla 21.

Clasificación por consumo.

Tipo de punto de medición	Consumo o transferencia de energía, C, [MWh-mes]
4	$50 > C \geq 5$
Tipo de punto de medición	Capacidad Instalada, CI, [MVA]
3	$1 > CI \geq 0,1$

Tabla 22.

Clasificación de punto.

Tipo de punto de medición
3

Tabla 23.

Requisitos de exactitud para medidores.

Tipo de punto de medición	Índice de clase para medidor de energía activa	Índice de clase para medidor de energía reactiva	Clase de exactitud para transformadores de corriente	Clase de exactitud para transformadores de tensión
3	0,5 S	2	0,5 S	0,5

SELECCIÓN DEL EQUIPO DE MEDICIÓN

- ✓ Medidor de energía eléctrica

Es un medidor de precisión multifuncional ideal para aplicaciones industriales y comerciales grandes y medianas. Sus funcionalidades básicas son:

- ✓ Medición de energía en dos direcciones
- ✓ Energía activa (importada/exportada) y reactiva(importada/exportada), reactiva 4Q, aparente y demandas.
- ✓ Mediciones por fase y trifásicas de energía/demandada
- ✓ Demanda máxima con periodo de integración programable.

Representada en la tabla 24.

Tabla 24.

Especificaciones técnicas del medidor.

Tensión nominal		Un	3x57,7/100 V ... 3x290/500
Rango de tensión			0,8 - 1,15 Un
Frecuencia de referencia			60 Hz ± 2%
Corriente	Corriente nominal In		2,5 A
	Corriente máxima Imax		20 A
Clase de precisión	Energía activa		Cl 0,5S (IEC 62053-22 NTC 2147)
	Energía reactiva		Clase 1 (IEC 62053-24 NTC)
	Energía aparente		Cl 2, calibrado al 1%
Reloj calendario	Precisión		Cristal: < 5 ppm = ≤± 3 min/año, 25°C
	Alimentación respaldo		Supercapacitor: > 15 días, tiempo carga 250 h + pila litio: 10 años
Alimentación externa	Valor		57,7 - 240 V AC/DC
	Tolerancia		0,8 - 1,15 Un
Rango temp. IEC 62052-11	Operación		-40°C ... +70°C
	Almacenamiento		-40°C ... +85°C
Protección ingreso polvo y agua			IP54

4.3 Presupuesto

4.3.1 Presupuesto general



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
 ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES (E³T)
 Ciudad Universitaria, Carrera 27 – Calle 9, Edificio Ingeniería Eléctrica, IE-101
 PBX: (7) 6344000 Ext. 2360 FAX: 6359622 A.A. 678 Bucaramanga, Colombia
 Correo-e: e3t@uis.edu.co URL: http://www.e3t.uis.edu.co/



pag 2/5

FECHA: 24/01/25
TIPO PROYECTO: SISTEMA DE AUTOGENERACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA A PEQUEÑA ESCALA DE 139,5 [kWp] CON CONEXIÓN A LA RED:
CLIENTE/CIUDAD: MINA DE ARENA - TASCO
POTENCIA INSTALADA (kWp): 139,5

3. PRESUPUESTO

		VALOR TOTAL SIN IVA	IVA	VALOR IVA	VALORCON IVA
1	Desarrollo de diseños e Ingeniería Sistema fotovoltaico.	\$ 27.259.619		\$ 5.179.328	\$ 32.438.947
2	Suministro, transporte, instalación y conexionado de paneles solares mono-facial module tecnología SMBB con potencia instalada de 139.5 [kWp] con estructura en aluminio sobre teja metálica y sistema puesta tierra de paneles. Garantía paneles 20 años por defecto de fábrica 25 años producción lineal. Garantía estructura aluminio 10 años por defectos de fábrica.	\$ 318.533.096		\$ 22.039.449	\$ 340.572.545
3	Suministro, transporte, instalación y conexionado de Inversor trifásicos con potencia instalada de 100 [kW] - 480/400 [V] - marca HUAWEI. Garantía 5 años por defecto de fábrica.	\$ 40.195.170		\$ 5.113.882	\$ 45.309.052
4	Suministro, transporte, instalación de sistema de monitoreo avanzado. Requiere punto de internet (no incluye suministro e instalación de cable UTP)	\$ 4.010.997		\$ 498.525	\$ 4.509.522
5	Suministro, transporte, instalación y conexionado de tableros de protecciones AC/DC	\$ 30.553.788		\$ 5.805.219	\$ 36.359.007
6	Suministro, transporte, tendido y conexionado de redes de cable AC y tubería	\$ 42.741.175		\$ 8.120.824	\$ 50.861.999
7	Certificación RETIE del sistema fotovoltaico (realizado por un ente autorizado por la ONAC).	\$ 14.756.218		\$ 2.803.682	\$ 17.559.900
8	Suministro, transporte, instalación, calibración y parametrización de medidor bidireccional	\$ 3.293.208		\$ 625.709	\$ 3.918.917
9	OBRAS CIVILES	\$ 13.145.245		\$ 2.497.597	\$ 15.642.842
TOTAL		\$ 499.853.956		\$ 53.703.649	\$ 553.557.605

4.3.2 Costes de instalación

Tabla 25.

Costo inicial de la instalación.

CI menor	\$ 8.502.000
CI mayor	\$ 10.721.000

4.3.3 Costos de operación

Tabla 26.

Costos de operación.

CJ menor	\$ 2.596.923
CJ mayor	\$ 5.732.620

4.3.4 Costos totales sección optima

Tabla 27.

Costos totales sección óptima.

CT Smenor	\$ 11.098.923
CT Smayor	\$ 16.453.620

CTme<CTma	VERDADERO
CTma<CTme	FALSO

4.4 Cálculos de regulación

A continuación, se presenta la tabla correspondiente que incluye los cálculos de regulación del sistema. Esta tabla ofrece una visión general de los parámetros evaluados, como los niveles de voltaje, las pérdidas en las líneas y las variaciones aceptables dentro del sistema eléctrico. Para un análisis más detallado, se recomienda consultar el Anexo 6 en la lista de apéndices, donde se describen de manera minuciosa cada uno de los cálculos realizados. En dicho anexo, se incluyen datos adicionales como las fórmulas aplicadas, los supuestos considerados y los resultados obtenidos para diferentes escenarios operativos, lo que permite una evaluación más precisa de la estabilidad y eficiencia del sistema, garantizando su funcionamiento óptimo dentro de los márgenes establecidos. Observar la tabla 28.

Tabla 28.

Cálculos de regulación.

PROYECTO:		ALFONSO RODRÍGUEZ			TIPO SUBESTACIÓN		Paneles e Inversor				
LONGITUDES				CARACTERÍSTICA DE LA CARGA							
TRAMO		LONG.(m)	P	S	FASES	FP	TIPO	MAT.	FS		
Inicio	Fin	Total	[kW]	[KVA]							
CORRIENTE ALTERNA											
Inversor	Barraje Principal AC		40	100,00	100,00	FFFN	1,00	Acometidas [Redes Concentradas]		Cu 1,25	

CONEXIÓN:		REVISÓ:	JUAN MARTÍNEZ			FECHA:	jueves, 23 de enero de 2025				
VALORES NOMINALES			MOMENTO ELÉCTRICO			REGULACION [%]			CALIBRE Y PROTECCION		
V	CTE [A]	CAL INICIAL	MOMENTO [KVA*m]	KG	K	PERM.	PARCIAL	TOTAL	PROT. [A]	CALIBRE	
										FASE	TIERRA
CORRIENTE ALTERNA											
440,0	167,13	Cu 10	4.000,00	367,36	1,8975E-03	3	7,5901	7,590	3X175	Cu 3/0	Cu 4

4.5 Distancias de Seguridad

Las distancias de seguridad y las medidas que se requieren para trabajos en este proyecto son las estipuladas en el artículo 13.4 DISTANCIAS MÍNIMAS PARA TRABAJOS EN O CERCA DE PARTES ENERGIZADAS del RETIE, ya que los paneles, como una fuente de generación fotovoltaica, van a estar energizados mientras exista radiación solar.

Aunque se manejen conductores aislados para llevar la energía, se tiene que estar alerta y tener siempre presente que los circuitos fotovoltaicos siempre van a estar energizados; al igual con el lado de corriente alterna, que está conectado directamente al barraje principal de CA de la instalación eléctrica. Solo personal competente puede hacer trabajos en el sistema de autogeneración fotovoltaica.

En la tabla 29 y tabla 30 se presentan las “Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna” y las “Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente continua”, donde están especificadas las distancias de seguridad para el nivel de tensión que maneja el proyecto tanto para CA como para CC.

Tabla 29.

Distancias mínimas para trabajos energizados.

Tabla 3.10.5. b. Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas en corriente alterna

Tensión nominal del sistema (fase – fase)	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta	
50 V – 300 V	3,0	1,0	0,30
301 V – 750 V	3,0	1,0	0,30
751 V – 15 kV	3,0	1,5	0,7
15,1 kV – 36 kV	3,0	1,8	0,8
36,1 kV – 46 kV	3,0	2,5	0,8
46,1 kV - 72,5 kV	3,0	2,5	1,0
72,6 kV – 121 kV	3,3	2,5	1,0

Tabla 30.

Distancias mínimas para trabajos energizados CC.

Tensión nominal	Límite de aproximación seguro [m]		Límite de aproximación restringida (m) Incluye movimientos involuntarios.
	Parte móvil expuesta	Parte fija expuesta	
100 V – 300 V	3,0 m	1,0 m	0,3
301 V – 1 kV	3,0 m	1,0 m	0,3
1,1 kV – 5 kV	3,0 m	1,5 m	0,5
5,1 kV – 15 kV	3,0 m	1,5 m	0,7
15,1 kV – 45 kV	3,0 m	2,5 m	0,8
45,1 kV – 75 kV	3,0 m	2,5 m	1,0
75,1 kV – 150 kV	3,3 m	3,0 m	1,2
150,1 kV – 250 kV	3,6 m	3,6 m	1,6
250,1 kV – 500 kV	6,0 m	6,0 m	3,5
500,1 kV – 800 kV	8,0 m	8,0 m	5,0

Figura 11.

Límites de aproximación.



Figura 12.

Distancias de seguridad.

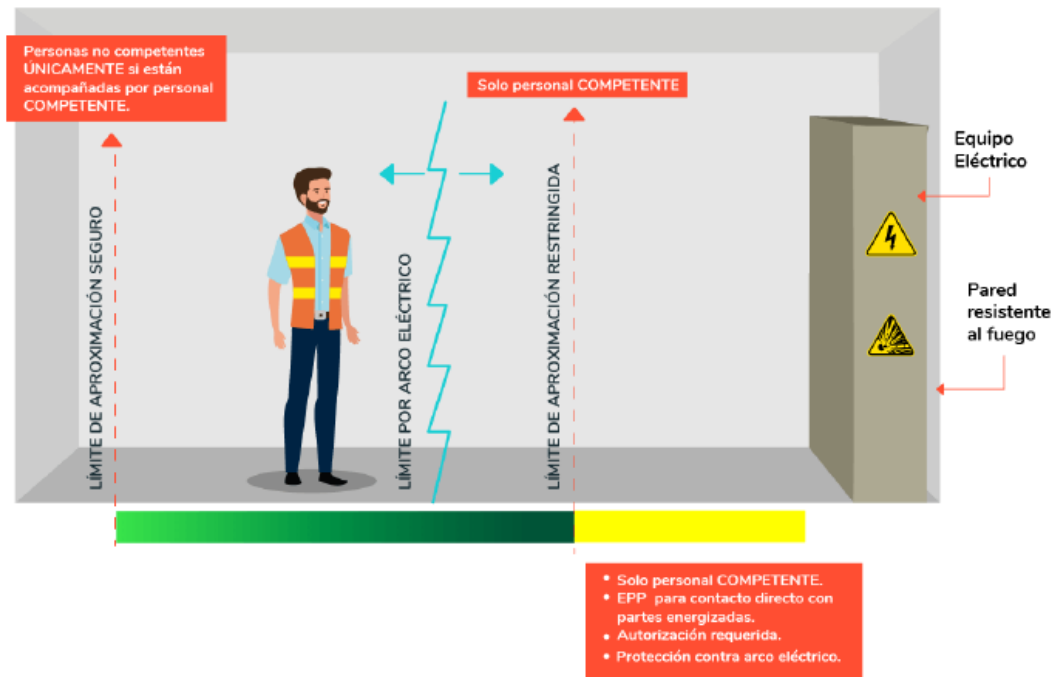


Figura 3.10.5. a. Límites de aproximación.

5. Recomendaciones

Tener en cuenta las distancias de seguridad establecidas y las medidas que se requieren para trabajos en este tipo de proyectos, ya que los paneles, como una fuente de generación fotovoltaica, van a estar energizados mientras exista radiación solar.

Aunque se manejen conductores aislados para llevar la energía, se tiene que estar alerta y tener siempre presente que los circuitos fotovoltaicos siempre van a estar energizados; al igual con el lado de corriente alterna, que está conectado directamente al barraje principal de CA de la instalación eléctrica. Solo personal competente puede hacer trabajos en el sistema de autogeneración fotovoltaica.

6. Conclusiones

El diseño e implementación del sistema eléctrico en la mina de arena, respaldado por un sistema fotovoltaico (SFV), logró cumplir con los objetivos establecidos tanto generales como específicos. En primer lugar, se desarrolló un sistema de generación fotovoltaica conectado a la red, alineado con los requisitos normativos del RETIE y la NTC, asegurando que las instalaciones cumplan con los estándares de seguridad eléctrica y eficiencia energética. Además, se implementaron las protecciones eléctricas necesarias para garantizar la seguridad de los usuarios y la fiabilidad operativa del sistema.

Se elaboraron memorias de cálculo detalladas que justifican cada decisión técnica tomada. Estas incluyen el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, selección de conductores, diseño de canalizaciones, y elección de dispositivos de protección, garantizando el estricto cumplimiento de las normativas nacionales aplicables.

Desde el punto de vista ambiental, se evaluó cuidadosamente la ubicación para la instalación del sistema fotovoltaico, priorizando áreas con mínima interferencia de sombras y reduciendo al máximo la necesidad de deforestación. El objetivo principal fue garantizar un impacto ambiental mínimo, alineado con las mejores prácticas de sostenibilidad.

El diseño demostró ser económicamente viable y sostenible, orientado a cubrir parcialmente el consumo energético de la mina. Se consideraron tanto los costos iniciales de instalación como los gastos operativos y de mantenimiento a largo plazo, asegurando un equilibrio entre inversión y rendimiento.

Referencias Bibliográficas

Ministerio de Minas y Energía. (2013). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.

Ministerio de Minas y Energía. (2024). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.

Ministerio de Minas y Energía. (2024). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas - RETIE: Artículo 13.4 Distancias mínimas para trabajos en o cerca de partes energizadas. Bogotá, Colombia: Imprenta Nacional.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (s.f.). Normas Técnicas Colombianas – NTC 2050. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (s.f.). Normas Técnicas Colombianas – NTC 4552. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (2006). Protección contra el rayo – Parte 1: Principios generales (IEC 62305). Ginebra, Suiza: IEC.

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2011). Guía Técnica Colombiana – GTC 221. Bogotá, Colombia: ICONTEC.

Comisión Electrotécnica Internacional (IEC). (1995). Cálculo de corriente en cables – Parte 3-2: Métodos para determinar temperaturas y corrientes nominales en condiciones de sobrecarga (IEC 60287-3-2). Ginebra, Suiza: IEC.