



Gobernación del Cauca

REPÚBLICA DE COLOMBIA  
DEPARTAMENTO DEL CAUCA  
SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA



**Nombre del proyecto:**

IMPLEMENTACIÓN DE MINIGRANJA SOLAR TIPO 1,3MWp CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA DE  
DISTRIBUCIÓN MT EN 13.2KV EN POPAYÁN CAUCA

**POPAYAN**  
05 DE NOVIEMBRE DE 2025



Gobernación del Cauca

## Contenido

<b>LISTA DE TABLAS</b>	4
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES</b>	4
<b>CAPITULO I</b>	5
<b>1. IDENTIFICACIÓN</b>	5
<b>1.1. Datos Básicos del Proyecto</b>	5
<b>2. CONTRIBUCIÓN DEL PROYECTO A LA POLÍTICA PÚBLICA</b>	5
<b>3. ANTECEDENTES</b>	6
<b>4. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA</b>	7
<b>4.1 Identificación de problemática</b>	8
<b>4.2 Definición del problema</b>	8
<b>4.2.1 Problema Central</b>	8
<b>4.2.2 Descripción de la situación existente</b>	9
<b>4.2.3 Magnitud – Indicadores de línea de base</b>	10
<b>5. IDENTIFICACIÓN DE PARTICIPANTES</b>	10
<b>5.1 Análisis de participantes</b>	11
<b>6. POBLACIÓN AFECTADA POR EL PROBLEMA</b>	11
<b>6.1 Localización específica del proyecto</b>	12
<b>6.2 Población objetivo de la intervención</b>	13
<b>6.2.1 Características demográficas de la población objetivo</b>	13
<b>6.2.2 Selección o priorización de la población objetivo</b>	14
<b>7. OBJETIVOS</b>	14
<b>7.1 Objetivo general</b>	14
<b>7.2 Indicadores para medir el objetivo general</b>	15
<b>7.3 Relaciones entre las causas y los objetivos específicos</b>	15
<b>8. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN</b>	15
<b>8.1. Evaluaciones a realizar</b>	15
<b>9. JUSTIFICACION</b>	15
<b>10. MARCO LEGAL</b>	16
<b>CAPITULO II</b>	17
<b>11. PREPARACIÓN DE LA ALTERNATIVA</b>	18
<b>11.1 Estudio de necesidades</b>	18
<b>11.2 Análisis técnico de la alternativa</b>	18



Gobernación del Cauca

<b>11.2.1 Resumen de la Alternativa</b>	18
<b>11.3 Localización de la alternativa</b>	26
<b>11.3.1 Factores analizados</b>	26
<b>11.4 Cadena de valor</b>	27
<b>11.4.1. Costo total de la alternativa</b>	27
<b>12. DESCRIPCION DETALLADA DE LA ALTERNATIVA</b>	32
<b>12.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1</b>	32
<b>13. RIESGOS</b>	56
<b>13.1 Análisis de riesgos</b>	56
<b>14. INGRESOS Y BENEFICIOS</b>	58
<b>14.1 Ingresos/beneficios</b>	58
<b>CAPITULO III</b>	59
<b>15. PROGRAMACIÓN</b>	59
<b>15.1 Programación de productos</b>	59
<b>15.2 Programación de indicadores de gestión</b>	59
<b>15.3 Fuentes de financiación</b>	60



Gobernación del Cauca

## **LISTA DE TABLAS**

Tabla 1. Síntesis del proyecto	5
Tabla 2. Plan de Desarrollo Nacional 2022-2026	5
Tabla 3. Plan de Desarrollo Departamental	6
Tabla 4 Consumo gobernación	7
Tabla 5. Relacionamiento problema, causas y efectos	8
Tabla 7. Identificación de participantes	10
Tabla 8. Población afectada por el problema	11
Tabla 9. Localización del Proyecto	13
Tabla 10. Población Objetivo	13
Tabla 11. Localización Específica	13
Tabla 12. Caracterización de población afectada	13
Tabla 13. Indicadores para medir el objetivo general	15
Tabla 14. Relación Causa objetivos específicos	15
Tabla 15. Alternativas de solución	15
Tabla 17. Estudio de necesidades	18
Tabla 18. Análisis de Riesgos	56
Tabla 19. Ingresos/beneficios	58
Tabla 20. Indicador de Producto	59
Tabla 21. Indicador de gestión	59
Tabla 22. Fuentes de Financiación	60

## **LISTA DE ILUSTRACIONES**

Ilustración 1. Árbol de problemas	8
Ilustración 2. Municipio de Popayán respecto al Departamento del Cauca	12
Ilustración 3 Ubicación predio	12
Ilustración 4. Árbol de objetivos	14
Ilustración 5 Características generales	19
Ilustración 6 Parámetros de simulación	20
Ilustración 7 Características del generador	21
Ilustración 8 Perdidas de conjunto	21
Ilustración 9 Resultados principales	22
Ilustración 10 Emplazamiento	23
Ilustración 11 Ficha técnica celdas	24
Ilustración 12 Características inversores	24



## CAPITULO I

### 1. IDENTIFICACIÓN

#### 1.1. Datos Básicos del Proyecto

**Tabla 1. Síntesis del proyecto**

ITEM	DETALLE
<b>NOMBRE DEL PROYECTO</b>	IMPLEMENTACIÓN DE MINIGRANJA SOLAR TIPO 1,3MWp CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN MT EN 13.2KV EN POPAYÁN CAUCA
<b>FECHA DE PRESENTACIÓN:</b>	05 de noviembre de 2025
<b>VALOR TOTAL DEL PROYECTO:</b>	Diez mil ochocientos setenta y seis millones setecientos setenta y un mil cuatro pesos mc (\$10.876.771.004)
<b>VALOR TOTAL POR VIGENCIA</b>	2025: \$ 10.876.771.003 2026: \$ 1
<b>FUENTE DE FINANCIACIÓN</b>	Recursos Propios del Departamento del Cauca 2025: \$ 10.876.771.004
<b>OBJETIVO GENERAL:</b>	Mejorar la capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el departamento del cauca
<b>BENEFICIARIOS DIRECTOS</b>	352.150 Habitantes del municipio de Popayán
<b>FASE DEL PROYECTO:</b>	Fase III
<b>TIEMPO DE EJECUCIÓN (MESES)</b>	8 Meses de ejecución física

### 2. CONTRIBUCIÓN DEL PROYECTO A LA POLÍTICA PÚBLICA

A continuación, se presenta la contribución del proyecto al cumplimiento de la política pública nacional, departamental y municipal establecida en los planes de desarrollo y su gestión institucional.

**Tabla 2. Plan de Desarrollo Nacional 2022-2026**

2.1 PLAN DE DESARROLLO NACIONAL	
<b>NOMBRE:</b>	Colombia Potencia Mundial de la Vida (2022-2026)
<b>TRANSFORMACIÓN</b>	4. Transformación productiva, internacionalización y acción climática
<b>PILAR:</b>	03. Transición energética justa, segura, confiable y eficiente
<b>CATALIZADOR</b>	01. Transición energética justa, basada en el respeto a la naturaleza, la justicia social y la soberanía con seguridad, confiabilidad y eficiencia
<b>COMPONENTE</b>	b. Seguridad y confiabilidad energética
<b>PROGRAMA</b>	2102 - Consolidación productiva del sector de energía eléctrica

Fuente: Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026



Gobernación del Cauca

**Tabla 3. Plan de Desarrollo Departamental**

<b>2.1 PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTAL</b>	
<b>NOMBRE:</b>	Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027 “La Fuerza del Pueblo”.
<b>LINEA ESTRATEGICA:</b>	Competitividad para el crecimiento económico y el desarrollo social
<b>SECTOR DE INVERSIÓN:</b>	Minas y energía
<b>PROGRAMAS:</b>	Cobertura de energía eléctrica
<b>METAS:</b>	249 – 1 MW de capacidad instalada

Fuente: Plan Departamental de Desarrollo Cauca - 2024-2027

**Tabla 3. Plan de Desarrollo Municipal**

<b>2.1 PLAN DE DESARROLLO DEPARTAMENTAL</b>	
<b>NOMBRE:</b>	Plan de Desarrollo Municipal de Poapyán 2024-2027 “Alianza con Popayán”.
<b>LINEA ESTRATEGICA:</b>	Popayán habitable y sostenible
<b>SECTOR DE INVERSIÓN:</b>	Minas y energía
<b>PROGRAMAS:</b>	Alianza con Servicios Públicos de Calidad

Fuente: Plan Municipal de Desarrollo Popayán - 2024-2027

### **3. ANTECEDENTES**

La energía solar fotovoltaica se basa en la utilización de células solares o de excitación fotovoltaica estas son fabricadas con materiales semiconductores cristalinos que, por efecto fotovoltaico, generan corriente eléctrica sobre los mismos incide la radiación solar. El silicio es la base de los materiales más utilizados en el mundo para la construcción de células solares.

La corriente eléctrica generada a partir de la energía solar fotovoltaica tiene actualmente distintas aplicaciones. Por un lado, se encuentran las aplicaciones más tradicionales, cuyo objetivo es proporcionar energía eléctrica a zonas aisladas con deficiencias en el abastecimiento eléctrico convencional.

Un segundo tipo de aplicación consiste en la inyección de energía eléctrica en las redes eléctricas. En un tercer bloque pueden incluirse aquellas aplicaciones específicas, las cuales abarcarían desde el suministro de energía a satélites artificiales hasta la alimentación de automóviles, relojes, radios o calculadoras de bolsillo.

Desde el punto de vista de su capacidad para conducir la electricidad los materiales se clasifican en conductores, como los metales y metaloides y en aislantes. En los materiales denominados conductores sus átomos disponen de electrones en su capa más externa, que no están muy ligados al núcleo, por lo tanto, se pueden desplazar fácilmente de un átomo a otro. Basta que exista una pequeña diferencia de potencial.



Gobernación del Cauca

En los materiales aislantes los electrones de valencia están fuertemente atados al núcleo, por lo tanto, para poder desplazarse requieren de grandes diferencias de potencial.

Entre estas dos clases de materiales se encuentran los denominados semiconductores. Los electrones de valencia de los materiales semiconductores de una célula solar fotovoltaica presentan una cierta ligazón con el núcleo, pero son arrancados por la energía de los fotones de la radiación solar que incide sobre ellos. Este fenómeno se denomina efecto fotovoltaico. El sistema de generación de energía Fotovoltaica tiene en si unos subsistemas que en conjunto conforman los SSF.

- Subsistema de Captación.
- Subsistema de Almacenamiento.
- Subsistema de Regulación.
- Subsistema de Convertidor de corriente.

En el mundo hay dos (2) tipos de granjas fotovoltaicas. Estas son las que se conectan a la red y las autónomas. En primer lugar, se dará un vistazo a los Sistemas Autónomo Fotovoltaico (SAF). Es así como se pueden evidenciar que en las regiones rurales o aisladas los sistemas Fotovoltaicos autónomos (SAF) son ya la solución para surtir el fluido eléctrico. A diferencia de los sistemas conectados a red. Los sistemas autónomos requieren de baterías para almacenar para almacenar energía que será consumida en los ciclos diarios. Ver el esquema básico de una instalación SSF autónoma.

Los Sistemas Autónomos Fotovoltaicos (SAF) son hoy en día una solución real y económicamente viable para la sustitución de plantas eléctricas que trabajan a Full Oil (ACPM). Es así como se puede generar opción para las alcaldías de los municipios en las zonas no interconectadas y el gobierno nacional. La gobernanza debe venir de parte del IPSE para llevar el fluido eléctrico reduciendo los costos económicos y en el marco ambiental reduciendo las emisiones de gases efecto invernadero.

El segundo tipo de SSF, es el sistema que está conectado a la red. Este sistema consiste en un generador Fotovoltaico acoplado a un inversor que opera en paralelo con la red eléctrica. El concepto de inyectar energía a la red no tiene margen de tamaño desde pequeños SSF con solo uno pocos (kWp) hasta grandes centrales de varios (MWp). Vea al ejemplo en la siguiente ilustración.

Las principales partes son las siguientes:

- Modulo Fotovoltaico.
- Inversor para la conexión a red
- Dispositivo de intercambio con la red
- Contador de energía bidireccional.

#### Componentes principales de una Granja Fotovoltaica

Como descripción elemental del SSF, se menciona que al conjunto de componentes mecánicos, electrónicos y eléctricos que en conjunto captan y transforman la energía solar disponible. Transmutando en una energía eléctrica utilizable.



Gobernación del Cauca

Los componentes y materiales cumplirán los dispuesto en el RETI. Se incluirán todas las protecciones necesarias para proteger las instalaciones para cortocircuito, sobrecargas y sobretensiones. Estas protecciones deben aplicarse tanto a las líneas de generador como a la línea que carga a la red. Los materiales que están en la intemperie deben tener protección ante los agentes naturales como la radiación y la humedad.

La conexión del generador fotovoltaico a la red general no deberá provocar daños a esta, ni disminución de las condiciones de seguridad o alteraciones superiores a las permitidas a la norma aplicable. Los equipos deben cumplir con las normas para que no se comprometan la seguridad física y los componentes de la red.

#### **PANEL**

Los paneles utilizados deben satisfacer las normas técnicas vigentes en el RETI y RETILAB. Deben estar calificados con un laboratorio certificado. Este requisito se acreditará con el certificado correspondiente del laboratorio. Todos los paneles deben llevar de manera visible el modelo, nombre o logotipo del fabricante, número de serie y fecha de fabricación. Así se identificará individualmente cada panel. Del mismo modo, la potencia máxima, la corriente de corto circuito reales de los módulos fotovoltaicos deberán estar comprendidas en un rango máximo de variación entre más o menos un 10%. Se debe instalar dispositivos para desconectar individualmente el panel en ambos terminales.

#### **Inversores**

Los inversores se instalarán en la parte posterior de los módulos fotovoltaicos, fijados a la propia estructura soporte de los paneles, a una altura mínima de 1,5 m del suelo. Serán del tipo conexión a la red eléctrica con una potencia de entrada variable para que sean capaces de extraer en todo momento la máxima potencia que el generador fotovoltaico pueda proporcionar a lo largo de cada día. Las características básicas de los inversores serán las siguientes:

- Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- Auto conmutado.
- Seguimiento automático del punto de máxima potencia del generador.
- No funcionará en isla o modo aislado.

Los inversores, cumplirán con las Normas Colombianas de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad Electromagnética (ambas serán certificadas por el fabricante), incorporando protecciones frente a:

- Cortocircuitos en alterna.
- Tensión de red fuera de rango.
- Frecuencia de red fuera de rango.
- Sobretensiones mediante varistores o similares.
- Perturbaciones presentes en la red como micro cortes, pulsos, defectos de ciclos, ausencia y retorno de la red.

#### **Líneas eléctricas**



Gobernación del Cauca

Los positivos y negativos de cada grupo de módulos se conducirán separados y protegidos de acuerdo a la normativa vigente. Los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para evitar las caídas de tensión y calentamientos, según se establece en el RETI concretamente. Para cualquier condición de trabajo, los conductores de la parte DC deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior a 0,5%. El mismo valor se utilizará para el dimensionamiento de conductores de la parte AC, teniendo en cuenta en ambos casos como referencia las correspondientes cajas de conexiones. Todo el cableado de continua será de doble aislamiento y adecuados para su uso en intemperie, al aire o enterrado de acuerdo con la norma vigente. El montaje del cableado se realizará sin torsiones ni esfuerzos, disponiéndose mediante trazados horizontales y verticales, y conduciéndose con la debida protección en los lugares que discurren por el exterior y con la debida atención para no invertir las polaridades de los circuitos. Los fusibles se instalarán, preferentemente, en las líneas de polaridad positiva. Como norma general.

#### ¶ Dispositivos de Protección y seguridad.

Las protecciones que proporciona el inversor nos permiten eliminar el cuadro de protecciones con descargadores, fusibles, diodos. Se debe recordar que las protecciones que incorpora el inversor son: protección contra polarización inversa, seccionador de carga, resistencia al cortocircuito, monitorización de toma a tierra, monitorización de red y protección diferencial integrada. Todas las instalaciones deben cumplir con lo dispuesto en las normas vigentes del RETI sobre protecciones de instalaciones FV conectadas a la red en particular. En conexiones a red trifásicas; las protecciones para la interconexión de máxima y mínima frecuencia y de máxima y mínima tensión, serán para cada fase. Así mismo, cumplirán en cuanto a armónicos y compatibilidad electromagnética.

#### ¶ Contadores de Energía, Sistemas de Control.

Para la instalación de contadores se seguirán instrucciones que suministre el fabricante, prestando especial interés al aislamiento electromagnético por interferencia de equipos electrónicos. Los Sistema Eléctrico de Control (SEC). El sistema eléctrico y de control cumplirá con el RETI en todos aquellos puntos que sean de aplicación. Los cuadros serán diseñados siguiendo los requisitos de las especificaciones dadas por el proveedor y se construirán acuerdo con el RETI además de las recomendaciones del diseñador, protegidos contra posibles contactos directos e indirectos. El sistema de monitorización permitirá la visualización de los datos de funcionamiento y del rendimiento actual. Con un mínimo de 2 y un máximo de 16 caracteres, comutación en intervalos de 2 segundos. Estos con una tensión AC y DC, rendimiento diario y total (Wh, kWh), temperatura generadora SSF y radiación, indicación de fallos. Para distancias superiores a 50 m y para la conexión de inversores de conexión a red adicionales, se conectarán a través de un software como el (Sunny Boy Control Plus o similares). Se instalará de la misma manera, un MODEM para el control remoto de los datos a través de una red de telecomunicaciones hacia un PC, un registrador de datos con almacenamiento de valores de medidos a lo largo de un tiempo determinado de la tensión DC, tensión AC, intensidad AC, temperatura del disparador. En una memoria con capacidad suficiente almacenar valores.

#### Tipos de Sistemas Solar Fotovoltaicas (SSF)



Gobernación del Cauca

Según las características de las SSF que están conectadas a la red se pueden dividir en tres (3) diferentes tipos:

- Instalaciones con aprovechamiento de estructuras.
- Planta Fotovoltaica
- Granja Fotovoltaicas

#### Instalaciones con aprovechamiento de estructuras

Este tipo están todos los aprovechamientos solares que se apoyan directamente o indirecta sobre estructuras, fachadas, tejados, voladizos, y demás estructuras existentes. De este tipo sobresale la instalación sobre el edificio de telefónica en Madrid; ya que, es la instalación más grande de Europa sobre una estructura.

Esta instalación cuenta con las siguientes características:

- Número de Paneles 16.200
- Capacidad instalada 2.8 MW
- 1 Km de longitud de instalación.
- Genera el 15% del consumo dentro del Distrito C.
- Reducción de 1.600 TonCO<sub>2</sub>equivalente anuales.

Este tipo de instalación resulta útil para uso industrial, comercial y residencial. Dado que, cuentan con el respaldo de la red eléctrica y su generación será un ahorro a la factura generada por el consumo y sus excedentes pueden ser inyectados a la red generando mayores beneficios. Sin embargo, para un sistema aislado la solución para tener su soberanía energética no es económicamente viable.

#### Plantas Fotovoltaicas.

Las plantas Fotovoltaicas tienen la característica que pueden ser fijas o con seguidores y para el caso especial de los seguidores a su vez pueden ser de uno o dos ejes.

- Plantas Fijas: La estructura fija no deja al panel seguir el recorrido del sol. Estas tienen una inclinación fija para recibir la mayor radiación a lo largo del año. Esto estará sujeto a la altitud en que se instale el panel. La instalación óptima es la convencional en este tipo de instalaciones. Su tasa de generación es de 1 MW equivalen al 1.4 ha para radiaciones promedio de 2.120kWh/m<sup>2</sup>año.
- Plantas con Seguidores: Esta tecnología permite seguir durante todo el año el sol y esto incrementa los rendimientos. Esta tecnología es apta para zonas de media y alta radiación. La tecnología óptima para la instalación de estas plantas es thin film. El terreno requerido para general 1MW es de 4,6 ha para un eje y de 5 ha para dos ejes.

Esto conlleva a una decisión para la instalación de una u otra tipo de planta fotovoltaica. Las consideraciones son las siguientes:

- Área del terreno (1.4, 4.6, 0 5) hectáreas por cada MW instalado.
- Aumento respecto a la fija contra un eje (15% al 20%) de energía extra anual y de dos ejes un incremento contra la fija de (30% al 35%).

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 10 de 85



Gobernación del Cauca

- Los costos de mantenimiento también tienen un incremento exponencial a medida que aumenta la complejidad de los sistemas de seguimiento.

### Granjas Solares.

Una central de generación fotovoltaica (comúnmente conocida como granja solar) es una agrupación de instalaciones solares ubicadas en una misma localización. cada instalación posee una potencia aproximada de 5 kWp, y es posible la adquisición de una o varias instalaciones, que en su evolución han pasado a grupos de 15 kWp y 35 kWp. La central ofrece a particulares y empresas la posibilidad de convertirse en propietarios de pequeñas instalaciones solares fotovoltaicas agrupadas en una parcela. De esta manera, los costos se reducen al compartir el terreno y los gastos de instalación, vigilancia, infraestructuras o mantenimiento. Normalmente, son fincas rústicas ofrecidas por una empresa promotora con todos los trámites y legalizaciones ya realizados.

Los elementos comunes en una central son, en primer lugar, los paneles solares. Estos pueden ser fijos, pero en la actualidad se están imponiendo los paneles con rotores giratorios que siguen el movimiento de sol, aumentando así su capacidad de captación de radiación solar, el aumento proporcionado por el rotor sobre un panel solar fijo es de un 35%. La vida media de un panel solar en la actualidad, existen paneles solares que sobrepasan los 30 años de edad, según las empresas fabricantes, los paneles solares instalados en las granjas solares, pueden sobrepasar hoy en día los 40 años de uso.

Algunos fabricantes de paneles solares garantizan que la producción de energía no bajará del 80% durante los primeros 25 años de vida; en caso contrario, cambiarían los paneles. La electricidad generada por los paneles solares fotovoltaicos es electricidad continua, esta electricidad debe ser convertida en electricidad alterna para poder ser injectada en la red común, esta conversión es realizada primero por los inversores y después por transformadores.

### Energía Fotovoltaica en Colombia

Aunque en Colombia el uso de energías virtualmente contaminantes está reglamentadas desde la Ley 99 de 1993. Solo hasta la expedición de los instrumentos normativos Decreto 1076 de 2014 y la Ley 1715 de 2015 es cuando se empieza a desarrollar las tecnologías FNCER en Colombia. Sin embargo, la primera tecnología que fue impulsada fue la energía hidráulica a filo de agua y las pequeñas centrales hidroeléctricas (PCH). El crecimiento de los sistemas solar fotovoltaicos (SSF) se da a finales de la década pasada y comienzo de esta.

La razón principal es que la tecnología comienza a ser competitiva en precio, ciclo de vida y rapidez de instalación. Además, se cuenta con el impulso que generó los incentivos tributarios por las Leyes 1715 de 2014 y 2099 de 2021, la excepción de los Diagnóstico Ambiental Alternativas DAA por el Decreto 2462 de 2018 y la excepción a proyectos menores de 10 MW del trámite de licenciamiento ambiental. Estos instrumentos normativos impulsaron la instalación de los Sistemas Solares Fotovoltaicos (SSF).

En el mes junio se rompió el hito de instalar el primer 1(GW) de energía solar fotovoltaica. Al julio del 2024 se tienen registrados en la UPME un total de 1864 proyectos con un potencial de 92 GW entre todas tecnologías y proyectos.



Gobernación del Cauca

De estos 1864 proyectos se tienen que el 1111 son proyectos de sistemas solares fotovoltaicos para un 59,6% de los proyectos de generación de energía en Colombia son SSF. En relación a la potencia instalada de los posibles 92,2 GW en todas las tecnologías, los SSF cuentan con un potencial según los proyectos de 31,9 GW. Estos 31,9GW son equivalentes al 34,6% del potencial según los proyectos del país.

La tendencia de nuevos proyectos de generación con una mayoría de proyectos hidráulicos y térmicos en Colombia ha cambiado y hoy en día son los proyectos de generación Eólicos y Solares. Sin embargo, por el momento son solamente proyectos en ejecución en diferentes etapas de maduración y no en operación. El número de proyectos en operación es de 82 con una capacidad instalada de 1,2 (GW).

La matriz energética de Colombia ha sufrido un cambio en los últimos años. Donde ha pasado de un 68,4% hidráulica 30,6% térmica y 1% FNCER en el año 2018 según el BID con datos de XM. Hoy en día, según datos de XM la matriz de generación a migrado a un 63,7% hidráulico, 29,3% térmica y un 6,9% FNCER.

#### Promotores de SSF de Relevancia a nivel Nacional

En el último año se han desarrollado y puesto en operación varios parques solares de gran escala. Estos parques solares de gran relevancia tienen como factor común la región donde se están desarrollando. La región con los proyectos más relevantes es la región atlántica, con los parques de Guayepo I y II y El Paso en los departamentos de Atlántico y Cesar son los parques proyectados más grandes en Colombia.

Las empresas líderes en Colombia en generación de energía Solar Fotovoltaica se encuentran las siguientes:

- ENEL Green Power. Esta empresa cuenta con 4 de los 6 proyectos con mayor capacidad de Colombia, con un total del 688 MW instalados y en operación.
- SPK La Unión. La empresa cuenta con 1 parque entre los más importantes con 100 MW instalados en el departamento de Córdoba.
- EPM. Tiene el parque más grande en el interior país se llama “Tepuy” y está ubicado en La Dorada, Caldas.
- Celsia. Celsia cuenta con un total de 17 proyectos que suman 300 MW instalados en los departamentos de Valle, Tolima y Antioquia.

#### Proyectos con mayor impacto Nacional

El proyecto de mayor capacidad instalada en Colombia es el complejo de Guayepo I y II con una capacidad combinada de 486,7 MW instalados. Esta localizado en los municipios de Ponedera y Sabanalarga en el departamento del Atlántico. Tiene un total de 820.600 paneles instalados y entrará en operación a finales del 2024. El área de instalación es de 1110 hectáreas con una razón de 2,28 hectáreas por cada 1MW instalado. Su promotor es ENEL Green Power.

El mercado de energía en Colombia está en crecimiento, con un aumento constante de la demanda, especialmente en el sector residencial (mercado regulado) y con fluctuaciones en el sector industrial y comercial (mercado no regulado). La participación de fuentes no



Gobernación del Cauca

convencionales, como la solar y eólica, aumenta gradualmente, aunque la hidroeléctrica sigue siendo la principal fuente, con la complejidad de las sequías. Se proyecta un crecimiento en la capacidad instalada y se observa una inversión privada significativa en la oferta y demanda energética.

#### Comportamiento de la demanda

Crecimiento general: La demanda de energía ha crecido en los últimos años, y para junio de 2025 se registró un aumento del 4.53% respecto a junio de 2024, según informes de XM. Mercado regulado vs. no regulado: El crecimiento en el consumo residencial y de pequeños negocios (mercado regulado) es un motor importante. Por otro lado, el mercado no regulado (industria y comercio) ha mostrado una desaceleración en algunos períodos, aunque también se recupera. Influencia del clima: El fenómeno de El Niño ha impactado la demanda, incrementando el consumo en el sector regulado por el uso de aire acondicionado y ventiladores, mientras que la generación hidroeléctrica se ve afectada por la baja de los embalses.

#### Oferta y generación

Dependencia hidroeléctrica: La generación hidroeléctrica sigue siendo clave, representando más del 50% del suministro firme, lo que la hace vulnerable a sequías. Desarrollo de renovables: Hay un creciente interés en la expansión de energías renovables no convencionales (eólica, solar, etc.), lo que se espera que incremente la participación de estas fuentes en la matriz energética. Capacidad instalada: Se proyecta un crecimiento en la capacidad de producción, de 22.77 GW en 2025 a 28 GW en 2030, con una tasa de crecimiento anual del 4.22%.

#### Desafíos y retos

Dependencia de las lluvias: La variabilidad climática representa un desafío para la estabilidad del suministro, pues afecta directamente a la generación hidroeléctrica. Dificultades en proyectos eólicos: Algunos proyectos eólicos han enfrentado retrasos y sobrecostos debido a factores sociales, lo que ha llevado a la reconfiguración del mercado y a un impulso hacia la energía solar en distritos menos conflictivos. Costos de respaldo: Las sequías elevan los costos de la electricidad, pues se incrementa la dependencia de la energía térmica de respaldo. Incertidumbre en inversión: La inversión en el sector depende en gran medida de la iniciativa privada, con un crecimiento del 5.7% para optimista y 7.2% para el escenario moderado en la demanda de energía, según Ministerio de Minas y Energía.

#### Implicaciones financieras

Mercado mayorista: Las transacciones en el Mercado de Energía Mayorista – MEM han fluctuado, registrando una disminución en el último período analizado por XM. Contratos a largo plazo: La liquidación de contratos a largo plazo también ha disminuido, influenciada por la baja en precios y cantidades, según el informe de XM.

#### Mercado Regulado

El mercado Regulado lo opera la compañía XM. XM es una compañía mixta y quien es la encargada de administrar cerrar valor diario en bolsa y operar el sistema. Esto lo realiza



Gobernación del Cauca

mediante las directrices expedidas por la CREG. Que a su vez toma las decisiones en la información de expansión, demanda y generación que proyecta la UPME en las vigencias preestablecidas.

La CREG incentivó el desarrollo de las tecnologías FNCER. Por esta razón las primeras que serán despachadas, para suplir la demanda, son las plantas de generación mediante estas fuentes:

- Energía de los mares.
- Energía Geotérmica.
- Energía por pequeños aprovechamientos hidráulicos PCH.
- Energía Solar Fotovoltaicos.
- Energía Eólica.
- Energía Biomasa.

Una vez despachada toda la energía FNCER se entra a despasar la energía que se tiene en PPA, contratos a futuros de los proyectos de generación. Se continua con la evaluar el costo de las plantas de generación térmicas e hidráulicas de gran envergadura. Que serán ofertados por valor de kWh. Con esta energía se cumple la demanda día con un día de antelación y se fija el valor del kWh de las FNCER con el último valor ofertado de los proyectos térmicos y de gran envergadura. Cerrando con 24 horas de anticipación la generación colombiana. Si la demanda tiene picos que no fue calculado el día anterior sale el valor SPOT que el kWh mas alto con el fin de cumplir con el pico de la demanda.

Estos valores normalmente son cubiertos por los suministradores que no son asignados en la subasta el día y que tienen los recursos disponibles. El precio SPOT puede llegar a ser 300% más altos que los ofertados.

El Departamento del Cauca enfrenta retos estructurales en materia de abastecimiento, costos y estabilidad del servicio de energía eléctrica. La alta dependencia de la generación hidroeléctrica nacional y la vulnerabilidad de esta frente a fenómenos climáticos como El Niño generan incrementos tarifarios, riesgo de desabastecimiento y variabilidad en el precio del kWh para los usuarios. Al mismo tiempo, la infraestructura energética local es limitada y la mayoría del suministro proviene de plantas ubicadas fuera del territorio, lo que incrementa los costos asociados a transporte, distribución y pérdidas técnicas.

Frente a este contexto, las Fuentes No Convencionales de Energía Renovable (FNCER), especialmente la energía solar fotovoltaica, se consolidan como una alternativa eficiente, limpia y económicamente competitiva. La rápida reducción de costos de esta tecnología, su bajo mantenimiento y su capacidad para complementar la generación nacional hacen que su adopción se convierta en una estrategia prioritaria para mejorar la resiliencia y sostenibilidad del suministro eléctrico.

En los últimos años, el Cauca ha avanzado en la formulación de proyectos solares, inventarios energéticos, estudios prediales y articulación con actores locales y nacionales. Sin embargo, aún existe una brecha significativa para lograr una matriz energética más diversificada que reduzca la dependencia externa y genere beneficios económicos tangibles para la población.



Gobernación del Cauca

La implementación de una granja solar a escala departamental no solo fortalece el sistema eléctrico, sino que genera impactos directos sobre los usuarios del Cauca, quienes se benefician de tres maneras:

#### *Reducción del costo del kWh*

Al entrar en operación, la planta solar inyectará energía al sistema interconectado en condiciones altamente competitivas. Esto contribuye a:

- Disminuir los costos marginales de generación.
- Reducir la presión tarifaria derivada del uso de plantas térmicas durante sequías.
- Estabilizar precios en el mercado regulado mediante mayor oferta disponible.
- Bajar el costo del kWh para hogares de estratos 1, 2 y 3, y para micronegocios y actividades productivas sensibles al costo energético.

#### *Provisión directa de energía limpia y estable*

La energía generada será inyectada a la red y consumida directamente en el departamento, lo cual permite:

- Mejorar la confiabilidad del suministro en Popayán y municipios cercanos.
- Reducir interrupciones causadas por variabilidad de generación hidroeléctrica.
- Aportar a la seguridad energética regional al contar con un generador local.
- Facilitar la electrificación de sectores rurales y productivos.

En determinados esquemas, parte de la energía podría destinarse para autoconsumo institucional, beneficiando directamente a entidades públicas, centros comunitarios o proyectos sociales.

#### *Ingresos por la venta de energía en la bolsa (Mercado de Energía Mayorista – MEM)*

El proyecto incorpora un componente de sostenibilidad financiera basado en la comercialización de la energía generada:

- La planta podrá vender su producción en el mercado spot, obteniendo ingresos según el precio horario del kWh en la bolsa.
- En momentos de altos precios (sequías, picos de demanda), la energía solar —al ser priorizada en el despacho por CREG— se comercializa a precios altamente favorables, generando mayor rentabilidad.
- Estos ingresos pueden reinvertirse en:
  - Programas sociales de electrificación,
  - Subsidios al consumo básico de energía,
  - Expansión de infraestructura renovable,
  - Fondos de transición energética departamental.

De esta manera, la población no solo se beneficia como consumidora, sino también como receptora indirecta de los ingresos que el proyecto produce.

El Cauca ha tenido experiencias previas de generación solar de pequeña y mediana escala, que han demostrado:

- La excelente radiación solar promedio del departamento.
- La viabilidad tecnológica y operativa de sistemas fotovoltaicos.
- Reducciones efectivas en costos de energía para entidades públicas y empresas.
- La aceptación comunitaria de las tecnologías limpias.

El proyecto de la granja solar se apoya en estos antecedentes y los amplifica, pasando de experiencias aisladas a una infraestructura de generación a escala capaz de transformar el comportamiento tarifario local.

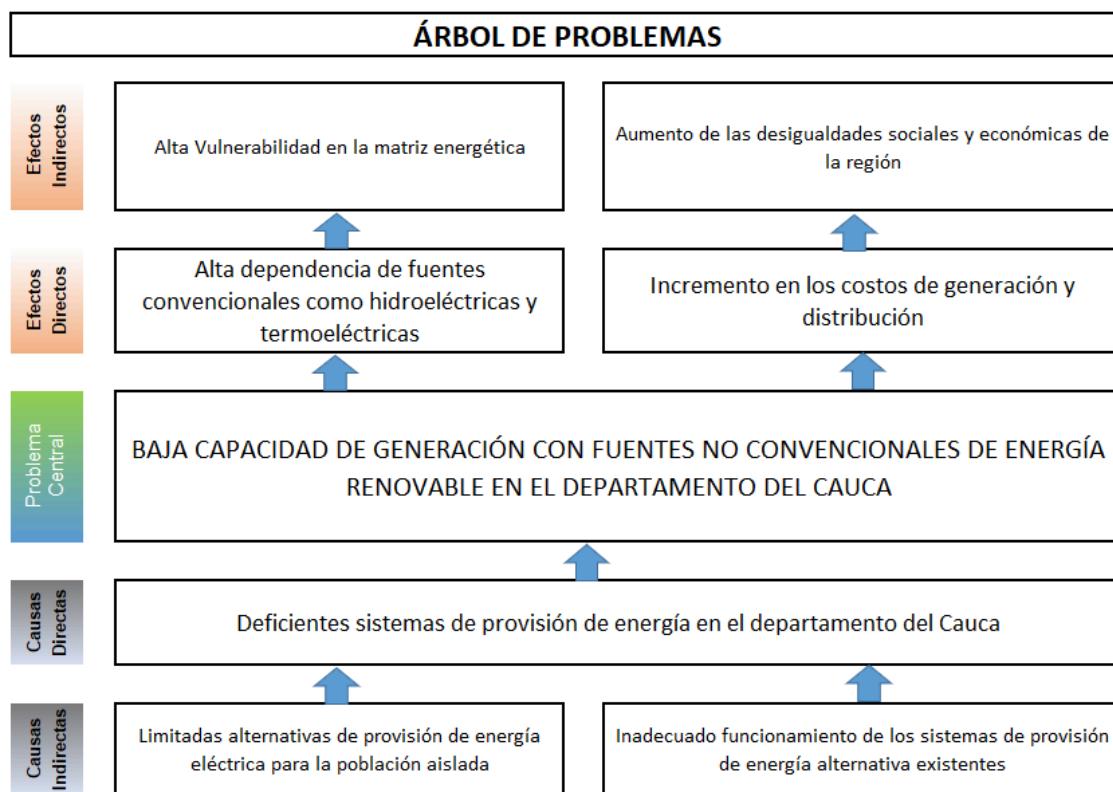
## **4. ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA**



#### 4.1 Identificación de problemática

Es importante resaltar que el problema central – **BAJA CAPACIDAD DE GENERACIÓN CON FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGÍA RENOVABLE EN EL DEPARTAMENTO DEL CAUCA** - es un problema latente generado por diversos factores y con múltiples causas asociadas; no obstante, las capacidades técnicas, administrativas y financiera obligan a focalizar la intervención de acuerdo con las necesidades actuales y las metas establecidas en el Plan de Desarrollo Departamental 2024-2027. En consideración a lo anterior, se demarca la gobernabilidad del proyecto sobre la(s) causa(s) focalizada(s) de intervención como se ilustra en el siguiente árbol de problemas:

**Ilustración 1. Árbol de problemas**



Fuente: Elaboración propia 2025

#### 4.2 Definición del problema

##### 4.2.1 Problema Central

Baja capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el departamento del Cauca



Gobernación del Cauca

**Tabla 5. Relacionamiento problema, causas y efectos**

CAUSA INDIRECTA	CAUSA DIRECTA	PROBLEMA CENTRAL	EFFECTO DIRECTO	EFFECTO INDIRECTO
Ausencia de estudios y diseños para la implementación de energías no convencionales	Deficientes sistemas de provisión de energía en el departamento del Cauca	Baja capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el departamento del Cauca	Alta dependencia de fuentes convencionales como hidroeléctricas y termoeléctricas	Alta vulnerabilidad en la matriz energética
Inadecuado funcionamiento de los sistemas de provisión de energía alternativa existentes			Incremento en los costos de generación y distribución	Aumento de las desigualdades sociales y económicas de la región

Fuente: Elaboración Propia - Marco Lógico del proyecto

#### 4.2.2 Descripción de la situación existente

La matriz energética del país está dominada por la generación hidroeléctrica (alrededor del 66% de la capacidad instalada), seguida por energía termoeléctrica basada en gas y carbón. Este sistema entra en vulnerabilidad, por los eventos climáticos adversos que afectan la disponibilidad de agua, como los fenómenos del niño y la niña que pone en peligro la capacidad de abastecimiento a todo el país.

Las fuentes no convencionales de energías renovables - FNCER como solar, eólica, biomasa y pequeñas hidroeléctricas, representan solo un pequeño porcentaje (2.8% en 2022) de la capacidad instalada del país; lo que limita la diversificación y expansión necesaria para una matriz más sostenible y segura.

Las zonas no interconectadas en el país se caracterizan por la gran dificultad de accesibilidad, porque enfrentan costos logísticos y de conexión significativamente superiores a los promedios mundiales, lo que incrementa la inversión necesaria para conectar nuevos usuarios.

Adicionalmente, la gran inversión que se requiere para el despliegue masivo de FNCER supera la capacidad fiscal pública, haciendo crucial el desbloqueo y la atracción de inversión privada, así como la mejora en la percepción de riesgos y costos operativos para los inversionistas.

La incorporación efectiva de proyectos renovables a la red eléctrica, incluyendo problemas burocráticos y rezagos en proyectos clave (ejemplo La Guajira), afecta la capacidad de ampliar la generación renovable en los tiempos previstos.

La diversificación de la matriz energética hacia FNCER contribuye a la sostenibilidad ambiental, frente al cambio climático y a la universalización del servicio eléctrico, especialmente en comunidades apartadas y vulnerables.



Gobernación del Cauca

El departamento del Cauca actualmente carece de proyectos orientados a la integración de energía solar en sus edificaciones, lo que refleja un desaprovechamiento de esta fuente inagotable. Al igual que muchas otras regiones, la generación eléctrica en el Cauca depende principalmente de centrales hidroeléctricas, consideradas renovables; sin embargo, este tipo de energía presenta múltiples retos, ya que la construcción de grandes represas altera significativamente los ecosistemas acuáticos y afecta directamente a las comunidades locales.

Además, la dependencia de la energía hidroeléctrica hace que las comunidades sean vulnerables frente a la variabilidad climática derivada del calentamiento global. En épocas de sequía, la capacidad de generación disminuye, lo que provoca cortes en el suministro eléctrico y desequilibrios en la provisión de energía. Por otro lado, durante temporadas de lluvias intensas, existe el riesgo de inundaciones, afectando la economía local y la calidad de vida de la población.

Esta situación conlleva a un aumento en los costos energéticos, mayores niveles de contaminación ambiental y una menor seguridad en el abastecimiento eléctrico. Por ello, resulta fundamental buscar y adoptar alternativas energéticas más sostenibles. En este sentido, la gobernación del Cauca debe impulsar estrategias orientadas a una transición progresiva desde el modelo convencional hacia el uso de energías limpias, promoviendo el aprovechamiento del recurso solar para avanzar hacia una matriz energética más sostenible.

En síntesis, la problemática se centra en un círculo vicioso que debe romperse: aprovechar el potencial renovable nacional requiere superar barreras financieras, técnicas, regulatorias y logísticas, para así ampliar la matriz energética de manera sostenible y segura, garantizando la seguridad energética y la universalización del acceso eléctrico.

#### 4.2.3 Magnitud – Indicadores de línea de base

- Cobertura de energía eléctrica: Número de viviendas que cuentan con la infraestructura eléctrica disponible, sobre el total de las viviendas: 90,42%  
Meta: 92,42%

### 5. IDENTIFICACIÓN DE PARTICIPANTES

Los participantes de un proyecto son todas las personas, grupos y organizaciones que están relacionados tanto con el problema identificado como con la ejecución de acciones que se deriven de su posible solución.

**Tabla 6. Identificación de participantes**

Actores	ENTIDAD	POSICIÓN	TIPO DE CONTRIBUCIÓN A LA GESTIÓN O RAZÓN DEL DESACUERDO	INTERÉS DE PARTICIPAR EN EL PROYECTO
Departamental	Gobernación del Cauca	Cooperante	Aportar los recursos económicos necesarios para la construcción	Contribuir en la producción con fuentes de energías

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 18 de 85



Gobernación del Cauca

			de las granjas solares	renovables no convencionales
Otros	Cauca Futura	Cooperante	Aportar los diseños de ingeniería de detalle para la construcción de las granjas tipo Realizar la construcción y puesta en funcionamiento de las granjas solares	Liderar procesos para en la producción con fuentes de energías renovables no convencionales
Otros	Población beneficiaria	Beneficiario	Realizar veeduría ciudadana durante el proceso de construcción de las granjas solares.	Mejorar su calidad de vida al contar con fuentes de energía limpia y a bajo costo.

Fuente: Elaboración Propia - Marco Lógico

### 5.1 Análisis de participantes

Partiendo de los lineamientos del Plan de Desarrollo Nacional 2024 - 2027, cuyo propósito es de alcanzar las metas para la “Transición energética justa, segura, confiable y eficiente” en especial en lo relacionado en su literal C. -Cierre de brechas energéticas. La Gobernación del Cauca en conjunto con el fondo mixto Cauca Futura. Pretende llevar a cabo la construcción de 2 mini granjas solares las cuales generarán energía limpia la cual será integrada a la red local. Buscando de esta manera reducir los costos energéticos para la población residente del Departamento del Cauca.

La gobernación del Cauca aportará un predio ubicado en el parque industrial de la ciudad de Popayán en el cual se construirán dos mini granjas solares y aportará el costo total del proyecto. Cauca futura aportará los diseños de ingeniería de detalle y realizará la ejecución física del mismo.

El proyecto “*Implementación de Minigranja Solar Tipo 1,3 MWp conectada a la red eléctrica de distribución en 13,2 kV en el Departamento del Cauca*” involucra un conjunto estratégico de actores institucionales, privados y comunitarios, cuyos intereses y capacidades se articulan para viabilizar la transición energética del departamento. La correcta coordinación entre estos actores es determinante para garantizar la sostenibilidad técnica, financiera y social del proyecto.



Gobernación del Cauca

### Cauca Futura (Accionistas y plataforma empresarial) – Actor central y priorizado

Los accionistas de Cauca Futura constituyen un actor clave para la estructuración, puesta en marcha y sostenibilidad del proyecto. Su participación concentra elementos de financiación, know-how técnico, experiencia en proyectos energéticos y capacidad operativa, que resultan determinantes para garantizar la viabilidad de la infraestructura solar.

#### Rol e intereses

- Cooperante técnico y estratégico: aporta los *diseños de ingeniería de detalle*, estudios de predio, modelaciones energéticas y la estructuración técnica requerida para la construcción de las minigranjas solares.
- Promotor del modelo de generación distribuida: dinamiza la integración de infraestructura solar a la matriz energética del Cauca.
- Operador y constructor: representa la capacidad empresarial para ejecutar la instalación, montaje, pruebas, puesta en servicio y gestión de operación.
- Interés financiero y social:
  - Obtener ingresos mediante la comercialización de la energía en el Mercado de Energía Mayorista (bolsa).
  - Reinvertir parte de dichos ingresos en modelos de beneficio comunitario, fortaleciendo su legitimidad territorial y los lineamientos de responsabilidad social.
  - Consolidarse como actor líder de la transición energética regional.

#### Contribución estratégica

La participación de Cauca Futura reduce costos de ingeniería, acorta tiempos de ejecución y asegura estándares técnicos alineados con la regulación vigente (RETIE, RETILAB, CREG). Además, su presencia articuladora facilita la integración tecnológica y la conexión al sistema del operador de red.

### Gobernación del Cauca – Socio institucional y garante del proyecto

La Gobernación actúa como ente financiador, administrador territorial y articulador institucional.

#### Rol e intereses

- Aporta el predio y los recursos económicos para la infraestructura energética.
- Lidera la política pública de transición energética departamental.
- Busca reducir la vulnerabilidad energética, estabilizar el costo del kWh e incrementar la cobertura del servicio.
- Garantiza las condiciones administrativas, jurídicas y comunitarias para la ejecución del proyecto.

#### Contribución clave

- Gestión institucional con operadores de red, UPME, CREG y entidades de control.
- Acompañamiento técnico y supervisión del avance del proyecto.
- Articulación con alcaldías, juntas de acción comunal y entes territoriales.

### Operador de Red (OR), UPME, CREG y XM – Actores reguladores y técnicos

Estos actores constituyen el núcleo regulatorio y técnico del proyecto.

#### Roles principales

- UPME: habilitación de la capacidad de transporte y análisis de conexión.
- CREG: regulación tarifaria, reglas de comercialización y condiciones del mercado.
- Operador de Red: conexión, pruebas, sincronización y supervisión de operación segura.
- XM: liquidación de energía y administración del mercado mayorista.

#### Contribución al proyecto

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 20 de 85



Gobernación del Cauca

- Facilitan el marco normativo para la comercialización de energía, condición esencial para la sostenibilidad financiera del proyecto y para las rentas que pueden beneficiar a la comunidad.

Comunidad ubicada en el Departamento del Cauca – Población beneficiaria

La población — más de 1.590.171 personas — es el actor que mayor beneficio recibe del proyecto.

Intereses y beneficios

- Reducción del costo del kWh por mayor oferta energética local y menor dependencia de plantas térmicas costosas.
- Mejora en la estabilidad del suministro, especialmente en municipios con alta variabilidad por clima.
- Beneficios indirectos derivados de la comercialización de energía:
  - posible creación de programas de subsidio al consumo básico,
  - inversiones en electrificación rural,
  - mejora de infraestructura pública mediante fondos generados.
- Participación social mediante veeduría ciudadana durante el proceso constructivo y de puesta en operación.
- Generación de empleo temporal en fases de obra.

Sector privado local y proveedores técnicos

Incluye empresas de ingeniería, instaladores certificados RETIE, transportadores, proveedores de equipos y servicios especializados.

Intereses

- Acceder a contratos de obra, suministro y mantenimiento.
- Dinamizar economías locales vinculadas a energía renovable.

## 6. POBLACIÓN AFECTADA POR EL PROBLEMA

**Tabla 7. Población afectada por el problema**

Tipo de población	Número	Fuente
Personas	1.590.171	DANE CNV 2018 proyección 2025

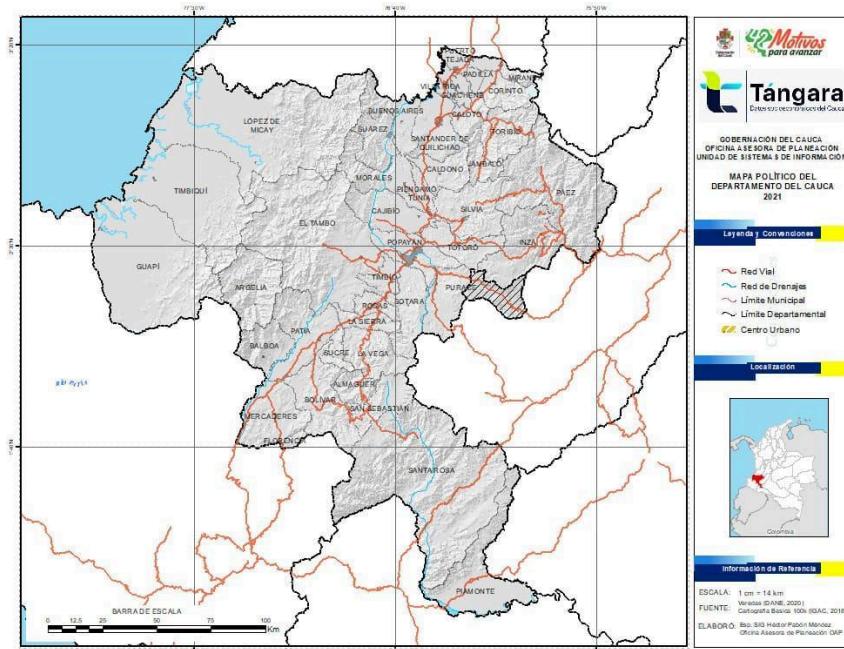
### 6.1 Localización específica del proyecto

La construcción de las mini granjas solares se llevará a cabo en un predio de la gobernación del Cauca ubicado en el parque industrial de la ciudad de Popayán.

**Ilustración 2. Municipio de Popayán respecto al Departamento del Cauca**



Gobernación del Cauca



Fuente:

<https://www.tangara.gov.co/wp-content/uploads/2023/12/MAPA-POLITICO-DEPARTAMENTO-CAUCA.jpg>

### Ilustración 3 Ubicación predio



Fuente: volumen ubicación



Gobernación del Cauca

**Tabla 8. Localización del Proyecto**

Región	Departamento	Municipio	Área	Resguardo	Localización específica
Pacifico	Cauca	Popayán	Urbana	No Aplica	Latitud: 2°30'25.24" N Longitud: 76°33'49.28"

Fuente: Elaboración Propia

## 6.2 Población objetivo de la intervención

**DIRECTAS:** 352.150 habitantes del municipio de Popayán

**INDIRECTAS:** 1.590.171 habitantes del departamento del Cauca

**Tabla 9. Población Objetivo**

Número	Descripción	Fuente
Personas	352.150	DANE CNV 2018 proyección 2025

**Tabla 10. Localización Específica**

Región	Departamento	Municipio	Área	Resguardo	Localización específica
Pacifico	Cauca	Popayán	Urbana	No Aplica	Latitud: 2°30'25.24" N Longitud: 76°33'49.28"

Fuente: Elaboración Propia

### 6.2.1 Características demográficas de la población objetivo

**Tabla 11. Caracterización de población afectada**

DETALLE	NÚMERO DE PERSONAS	FUENTE
0 -14 años	65.512	DANE CNV 2018 proyección 2025
15 – 19 años	25.795	
20 – 59 años	203.644	
Mayor de 60 años	57.199	
<b>Total por edad</b>	<b>352.150</b>	
Indígenas	N/A	N/A
Afrocolombianos	N/A	
Población Mestiza	N/A	
<b>Total por etnia</b>	<b>1.590.171</b>	
Masculino	170.402	DANE CNV 2018 proyección 2025
Femenino	181.748	
<b>Total por genero</b>	<b>352.150</b>	

Fuente: DANE CNV 2018 proyección 2025

### 6.2.2 Selección o priorización de la población objetivo

Dado que la producción energética de las granjas solares a construir será incorporada a la red del operador y la implementación de las mini granjas solares se realizará en el municipio de

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 23 de 85

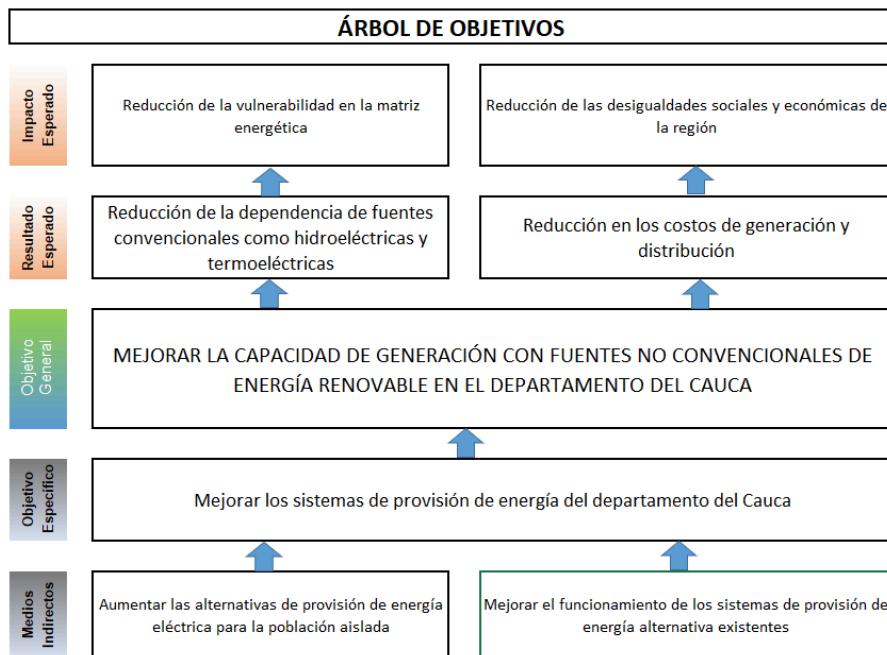


Gobernación del Cauca

Popayán, su población serán los beneficiarios directos. La población residente en el departamento será la población indirecta, dado que constituyen los usuarios del operador y verán una reducción en los costos por concepto de consumo de energía eléctrica

## 7. OBJETIVOS

### Ilustración 4. Árbol de objetivos



Fuente: Elaboración propia 2025

#### 7.1 Objetivo general

Mejorar la capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el Departamento del Cauca

#### 7.2 Indicadores para medir el objetivo general

Tabla 12. Indicadores para medir el objetivo general

Indicador objetivo General	Descripción		Fuente de verificación
Cobertura de energía eléctrica: Número de viviendas que cuentan con infraestructura eléctrica disponible, sobre el total de viviendas	Unidad de medida	Porcentaje	Informes de seguimiento al proyecto
	Meta	92.42	
	Línea base	90,42	

Fuente: Elaboración Propia 2025

#### 7.3 Relaciones entre las causas y los objetivos específicos

Tabla 13. Relación Causa objetivos específicos



Gobernación del Cauca

<b>Tipo de Causa</b>	<b>Causa relacionada</b>	<b>Objetivos específicos/Actividades</b>
DIRECTA	Deficientes sistemas de provisión de energía en el departamento del Cauca	Mejorar los sistemas de provisión de energía en el departamento del Cauca
INDIRECTA	Ausencia de estudios y diseños para la implementación de energías no convencionales	Realizar estudios y diseños para la implementación de energías no convencionales
INDIRECTA	Inadecuado funcionamiento de los sistemas de provisión de energía alternativa existentes	Mejorar el funcionamiento de los sistemas de provisión de energía alternativa existentes

Fuente: Elaboración propia

## 8. ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

**Tabla 14. Alternativas de solución**

<b>Nombre de la alternativa</b>	<b>Se evaluará con esta</b>	<b>Estado</b>
1. Instalación de minigranjas solares	SI	Completo
2. Fortalecimiento de los sistemas de producción de energía convencionales.	NO	Vacío

La alternativa 2: Fortalecimiento de sistemas de producción convencionales, requieren de intervenciones de alto costo que no pueden ser asumidas con recursos propios del Departamento, por lo que se hace más viable seleccionar la alternativa 1: Instalación de minigranjas solares.

En este sentido se proyecta el desarrollo de la alternativa 1, teniendo en cuenta que la minigranja solar contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo la dependencia de fuentes fósiles y minimizando el impacto ambiental, lo que alinea el proyecto con metas de sostenibilidad y transición energética.

Además, Socialmente, fomenta el desarrollo local al crear empleos sostenibles y mejorar el acceso a energía segura y moderna, lo que impacta positivamente la calidad de vida de las comunidades.

### 8.1. Evaluaciones a realizar

<b>Rentabilidad*:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Costo - Eficiencia y Costo mínimo**:</b>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Evaluación multicriterio**</b>	<input type="checkbox"/>

## 9. JUSTIFICACIÓN

El propósito de un proyecto tipo de una minigranja solar de 1,3 MWh radica en la generación de energía eléctrica limpia y sostenible a escala local, utilizando paneles solares fotovoltaicos instalados en un terreno específico. Este proyecto permite abastecer comunidades, empresas o

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 25 de 85



Gobernación del Cauca

instituciones cercanas mediante un modelo de generación distribuida, que consiste en producir energía próxima a los puntos de consumo, reduciendo pérdidas por transmisión y optimizando el uso de recursos energéticos.

Además, la minigranja solar contribuye a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, disminuyendo la dependencia de fuentes fósiles y minimizando el impacto ambiental, lo que alinea el proyecto con metas de sostenibilidad y transición energética. Socialmente, fomenta el desarrollo local al crear empleos sostenibles y mejorar el acceso a energía segura y moderna, lo que impacta positivamente la calidad de vida de las comunidades.

Técnicamente, este tipo de proyecto evalúa la viabilidad de implementar sistemas fotovoltaicos con monitoreo constante para garantizar un rendimiento óptimo, que puede incluir la venta de excedentes energéticos a la red local, generando además beneficios económicos para los propietarios y usuarios. En conjunto, una minigranja solar de 1,3 MWh representa una herramienta estratégica para avanzar hacia una matriz energética más diversificada y resiliente, con impactos ambientales, económicos y sociales positivos.

La implementación de minigranjas solares de 1,3 MWh para abastecer la necesidad energética de la gobernación del Cauca se justifica por varios factores clave. Primero, el departamento del Cauca, al igual que otras regiones de Colombia, enfrenta desafíos relacionados con la dependencia de fuentes hidroeléctricas, que son vulnerables a la variabilidad climática y a la ocurrencia de fenómenos como sequías, afectando la estabilidad del suministro eléctrico. Las minigranjas solares ofrecen una alternativa energética renovable, limpia y sostenible que contribuye a la diversificación de la matriz energética, aumentando la seguridad y confiabilidad del suministro.

Además, proyectos similares en la región del Valle del Cauca y en el mismo Cauca han demostrado que las granjas solares pueden generar una cantidad significativa de energía para comunidades, industrias e instituciones, al tiempo que reducen sustancialmente las emisiones de gases contaminantes. Por ejemplo, la granja solar Grupo Familia en Puerto Tejada, Cauca, con una potencia de casi 20 MW, abastece y reduce notablemente la huella ambiental de la producción industrial en la región, evidenciando el potencial local para energías limpias.

Desde una perspectiva social y económica, la instalación de minigranjas solares impulsa el desarrollo local mediante la generación de empleos, la reducción de costos energéticos y la creación de capacidades técnicas en el territorio. También contribuye a promover una transición energética justa, segura y sostenible, alineada con las políticas nacionales de desarrollo y la agenda ambiental regional, fortaleciendo el bienestar comunitario y la protección del medio ambiente.

En suma, una minigranja solar de 1,3 MWh para la gobernación del Cauca representa una inversión estratégica que permite garantizar el acceso a energía renovable, reducir la vulnerabilidad frente a condiciones climáticas cambiantes, y promover el desarrollo económico y social sostenible de la región.

## 10. MARCO LEGAL



Gobernación del Cauca

La Ley 1665 del 2013, aprueba el Estatuto de la Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA), con el que Colombia asume compromisos en materia de energías renovables, gestión eficiente de la energía y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero -GEI-.

CONPES 3934 estableció la política de crecimiento verde para el País y en los decretos del Ministerio de Minas y Energía 2469 de 2014, 038 de 2017 y 348 2017 se definieron los lineamientos de política descritos en la Ley 1715 (CIDET, 2019).

La ley 1715 de 2014: Esta ley es la base para la promoción y regulación de las fuentes no convencionales de energía renovable (FNCER), incluyendo la energía solar. Establece incentivos tributarios como la exención de IVA en equipos solares, exoneración de aranceles, y deducciones tributarias por inversión para fomentar la adopción de tecnologías limpias.

Decreto 2025 (decreto reciente de 2025): Reglamenta el Programa Colombia Solar, que busca promover la autogeneración de energía solar especialmente en estratos socioeconómicos 1, 2 y 3, como alternativa progresiva al subsidio tradicional de energía. Este decreto define los lineamientos para la implementación, medición, facturación y vigilancia del programa.

Resoluciones de la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG): Por ejemplo, la Resolución CREG 174 de 2021 y la Resolución CREG 101 de 2025, que establecen regulaciones para la conexión de proyectos de generación distribuida, esquemas tarifarios aplicables, y funcionamiento de comunidades energéticas.

Ley 2099 de 2021, conocida como la ley de transición energética en Colombia, tiene por objeto modernizar la legislación vigente y dictar otras disposiciones para la transición energética, la dinamización del mercado energético a través de la utilización, desarrollo y promoción de fuentes no convencionales de energía, la reactivación económica del país y, en general dictar normas para el fortalecimiento de los servicios públicos de energía eléctrica y gas combustible

Decreto 1033 del 30 de septiembre de 2025: Por el cual se adiciona el capítulo 10, del Título 2, de la Parte 2, del Libro 2 del Decreto 1076 de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Licencia Ambiental Solar con Diseño Optimizado -LASolar- para impulsar la Transición Energética Justa y se dictan otras disposiciones.

Regulación Técnica: Los proyectos deben cumplir con el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), las normas técnicas colombianas para construcción sismorresistente (NSR-10), y normas específicas para sistemas fotovoltaicos establecidas por la UPME y otros entes técnicos.

Aspectos Ambientales: La Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) implementa la Licencia Ambiental Solar para proyectos solares de ciertas capacidades, buscando un licenciamiento ágil y sostenible alineado con la Transición Energética Justa, regulando la protección ambiental, uso del suelo y manejo de impactos.

Esquemas de Financiamiento y Sostenibilidad: Considera normativas que permiten acceso a fondos públicos y privados como FENOGE, FAZNI, FINDETER, y mecanismos de aportes estatales que facilitan la financiación de proyectos comunitarios o asociativos.



**CAPITULO II**  
**11. PREPARACIÓN DE LA ALTERNATIVA**

**11.1 Estudio de necesidades**

**Tabla 15. Estudio de necesidades**

Bien o servicio	Medido a través de	Descripción	Inicio Historia	Fin Historia	Último Año
Producción de energía eléctrica	Mw	OFERTA: corresponde a la oferta de producción del sistema a instalar. DEMANDA: Corresponde a la demanda de consumo de energía eléctrica del Departamento del Cauca	2022	2025	2027
ITEM	TIPO DE ANALISIS	AÑO	OFERTA	DEMANDA	DÉFICIT
SITUACIÓN SIN PROYECTO	HISTÓRICO	2022	20.000	72.000	-52.000
		2023	20.000	72.000	-52.000
		2024	20.000	72.000	-52.000
SITUACIÓN SIN PROYECTO	PROYECTADO	2025	20.000	72.000	-52.000
		2026	20.000	72.000	-52.000
		2027	20.000	72.000	-52.000

Fuente: Construcción propia

**11.2 Análisis técnico de la alternativa**

La alternativa 01 comprende la instalación de dos mini granjas solares en un predio de la gobernación del cauca ubicado en el parque industrial de la ciudad de Popayán, dichas granjas permitirán generar una producción de 1,3 Mw la cual será incorporada directamente a la red del operador. En paralelo, la alternativa 02 comprende el fortalecimiento de los sistemas de generación de energía convencionales. Una vez realizado el proceso de análisis, se opta por la alternativa 01, partiendo de la primicia de que los sistemas de producción de energía existente poseen una alta vulnerabilidad de los cambios en las condiciones climáticas, colocando en alta riesgo el suministro continuo de energía eléctrica, a diferencia de la producción de energía a través de la luz solar, el cual es un recurso continuo.

**Alternativa 1.**

- Instalación de minigranjas solares

**Alternativa 2.**

- Fortalecimiento de los sistemas de producción de energía convencionales.



Gobernación del Cauca

### 11.2.1 Resumen de la Alternativa

El proyecto contempla la instalación de dos sistemas solares fotovoltaicos modulares, con capacidad máxima de 1.328,4 KWp y una potencia de corriente alterna (CA) de 900 kW, con una ratio de capacidad del 147,6% cada uno, el cual será instalado en un área de 12.000 m<sup>2</sup>. La energía se inyectará directamente a la red eléctrica.

Los componentes técnicos esenciales incluyen:

- Estructuras de soporte para paneles: Cada rama de módulos se monta sobre perfiles de estructura fija conectados a la estructura de la mesa por medio de un sistema de anclaje apropiado, en configuración 3x30.
- Cableado eléctrico: Las conexiones eléctricas entre los distintos módulos fotovoltaicos se realizan en serie y mediante conectores multi-contacto. Éstos también se utilizan para conectar las ramas que están conectadas de la misma manera al inversor.
- Instalación de puesta a tierra: La puesta a tierra apropiada se logra conectando el (los) marco (s) del módulo y los elementos estructurales continuamente entre sí utilizando un conductor de tierra de cobre adecuado.
- Módulos Fotovoltaicos: Se instalarán 2.160 módulos del modelo JA Solar/JAM66D45-615/LB.
- Inversores: El sistema cuenta con 3 inversores del modelo SUN2000-330KTL-H1.
- Transformador: Se incluye un transformador de potencia de 800V/13,2KV que se conecta a la red de media tensión para elevar el voltaje de la energía generada.
- Reconectador: ubicado antes de la conexión del proyecto, que provee protección contra fallas.
- Protecciones: Las protecciones típicas del circuito han sido garantizadas con magnetotérmicos, DPS y/o fusibles eficientes que cumplen regulación.

#### PRODUCCIÓN Y CONFIGURACIÓN:

- La inclinación de los módulos es de 10° con un azimut de -38°.
- Se estima una producción de 2.391,12 MWh de energía FV, con una inyección a la red de 2.000,89 MWh al considerar las pérdidas del sistema.
- El esquema unifilar muestra que la planta está diseñada para interconectarse con un circuito existente de 34,5 kV.

La infraestructura incluye la construcción de salas de control, subestaciones, y centros de transformación que aseguren calidad y estabilidad eléctrica. La conexión a la red se hará mediante equipos de protección y transformadores, cumpliendo con la normativa vigente para garantizar la interconexión segura y eficiente con el sistema eléctrico nacional.

El análisis contempla un procedimiento estructurado que inicia con la preparación del terreno, construcción de soporte para paneles, instalación eléctrica, configuración de inversores y sistemas de almacenamiento, finalizando con pruebas de funcionamiento, protocolos de seguridad y trámite para conexión formal a la red.

Los elementos principales de cada minigranja son:

#### Ilustración 5 Características generales



<b>PLANTA SOLAR SISTEMA FIJO 1,3 MWp</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>
Panel 615 Wp	Panel	2160,0
Inversor 330 kW	Und	3,0
Estructura Configuración 3V	Und	1,0
Instalaciones eléctricas DC	Global	1,0
Instalaciones Eléctricas AC	Global	1,0
Obras Civiles, Cerramiento y Pruebas PO	Global	1,0
Sistema SCADA, medición y Monitoreo SSAA y CCTV	Global	1,0
Montaje estructura y páneles solares	Global	1,0
Centros de Transformación	Und	1,0
Instalaciones complementarias	Global	1,0
Línea MT 13,2 + Reconectador (400 m)	Und	1,0
Comisionamiento (RETIE, Pruebas CNO, FAT, CREG 164)	Und	1,0

Fuente: Elaboración propia

Las bases de diseño del proyecto sigue la normatividad RETIE 2024, sigue las normativas y apartados de la NTC 2050 última revisión para la implementación de proyectos fotovoltaicos, estudia y aplica las experiencia exitosas de proyectos de escala similar en SIN y ZNI implementados en el país bien proyectos del gobierno nacional o privados, estudia la mejor tecnología actual disponible en el mercado y la obtención de precios competitivos, todo esto enmarcado en modelos que permitan sostenibilidad al proyecto en la vida útil presupuestada.

Este tipo de SSFV con las capacidades cercanas a 1.328,4 KWp, está siendo generalizado su inclusión en las redes de distribución locales por varias compañías operadoras en todo el país e inclusive por empresas privadas industriales o de servicios, se pueden mencionar a CELSIA, CEO, ENEL entre otras. Las ventajas de este tipo de sistemas son, que siendo una unidad integrada en su parte de potencia inclusive en su totalidad de fabricación nacional, pueden ser montadas en un tiempo récord inferior inclusive a 6 meses si se realiza una buena planeación desde los contactos con el operador asociado, pasando por la gestión objetiva de compras y la etapa final de instalación, comisionado y la integración de la generación al SIN local.

Una vez corrida la simulación en el programa PVsyst V8.0.15 (Software autorizado por la UPME), arrojó los siguientes datos:

#### Ilustración 6 Parámetros de simulación



Gobernación del Cauca

Parámetros generales								
Sistema conectado a la red			Cobertizos ilimitados					
<b>Orientación #1</b>								
<b>Cobertizos</b>		<b>Configuración de cobertizos</b>		<b>Tamaños</b>				
Inclinación	10 °	Núm. de cobertizos	12 unidades	Espaciado entre cobertizos	9.15 m			
Azimut	-38 °	Cobertizos ilimitados		Ancho de sensor	7.15 m			
<b>Ángulo límite de sombreado</b>		<b>Ángulo límite de perfil</b>		PCS Sombreado	78.4 %			
Ángulo límite de perfil		30.8 °		Banda inactiva superior	0.02 m			
				Banda inactiva inferior	0.02 m			
<b>Modelos usados</b>			<b>Horizonte</b>			<b>Sombreados cercanos</b>		
Transposición	Perez		Horizonte libre			Sombreados mutuos de cobertizos		
Difuso	Perez, Meteonorm							
Circunsolar	separado							
<b>Necesidades del usuario</b>								
Carga ilimitada (red)								

Como se ve en el gráfico se realizó la simulación en las coordenadas indicadas, terreno que presenta una inclinación del 10° y un ángulo de Azimuth de -38°, entre otros. Las características específicas del generador fotovoltaico son:

### Ilustración 7 Características del generador

Características del generador FV								
Módulo PV			Inversor					
Fabricante	JA Solar		Fabricante	Huawei Technologies				
Modelo	JAM66D45-615/LB		Modelo	SUN2000-330KTL-H1				
(Definición de parámetros personalizados)			(Definición de parámetros personalizados)					
JAM66D45-615_LB (3).PAN			Unidad Nom. Potencia	300 kWca				
Unidad Nom. Potencia	615 Wp		Número de inversores	3 unidades				
Número de módulos FV	2160 unidades		Potencia total	900 kWca				
Nominal (STC)	1328 kWp		Voltaje de funcionamiento	500-1500 V				
Módulos	72 cadena x 30 En serie		Potencia máx. ( $=>30^{\circ}\text{C}$ )	330 kWca				
En cond. de funcionam. (50°C)			Proporción Pnom (CC:CA)	1.48				
Pmpp	1233 kWp		Reparto de potencia en este inversor					
U mpp	1114 V							
I mpp	1107 A							
<b>Potencia FV total</b>			<b>Potencia total del inversor</b>					
Nominal (STC)	1328 kWp		Potencia total	900 kWca				
Total	2160 módulos		Potencia máx.	990 kWca				
Área del módulo	5835 m²		Número de inversores	3 unidades				
Área celular	5449 m²		Proporción Pnom	1.48				

En este cuadro podemos observar las cantidades en cuanto a los módulos fotovoltaicos (2.160), Inversores con Potencia nominal de 300kWca (3 unidades). En el siguiente cuadro se realiza el cálculo de las pérdidas del conjunto:

### Ilustración 8 Perdidas de conjunto

Pérdidas del conjunto																										
Pérdidas de suciedad del conjunto			Factor de pérdida térmica			Pérdidas de cableado CC																				
Frac. de pérdida	2.0 %		Temperatura módulo según irradiancia			Res. conjunto global	5.2 mΩ																			
			Uc (const)	10.0 W/m²K		Frac. de pérdida	0.48 % en STC																			
			Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s																						
Pérdida de calidad módulo			Pérdidas de desajuste de módulo																							
Frac. de pérdida	-0.75 %		Frac. de pérdida	0.50 % en MPP																						
<b>Factor de pérdida IAM</b>																										
Efecto de incidencia (IAM): Perfil definido por el usuario																										
<table border="1"> <tr> <td>0°</td><td>60°</td><td>65°</td><td>70°</td><td>75°</td><td>80°</td><td>85°</td><td>90°</td><td></td></tr> <tr> <td>1.000</td><td>1.000</td><td>0.988</td><td>0.965</td><td>0.942</td><td>0.874</td><td>0.744</td><td>0.000</td><td></td></tr> </table>									0°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°		1.000	1.000	0.988	0.965	0.942	0.874	0.744	0.000	
0°	60°	65°	70°	75°	80°	85°	90°																			
1.000	1.000	0.988	0.965	0.942	0.874	0.744	0.000																			

Dependencia: Secretaría de infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 31 de 85



Gobernación del Cauca

#### Pérdidas de cableado CA

##### Línea de salida del inv. hasta transfo MV

Voltaje inversor	800 Vca tri
Frac. de pérdida	0.16 % en STC

##### Inversor: SUN2000-330KTL-H1

Sección cables (3 Inv.)	Cobre 3 x 3 x 400 mm <sup>2</sup>
Longitud media de los cables	50 m

##### Línea MV hasta inyección

Voltaje MV	13.2 kV
Cables	Cobre 3 x 700 mm <sup>2</sup>
Longitud	1000 m
Frac. de pérdida	0.02 % en STC

#### Pérdidas de CA en transformadores

##### Transfo MV

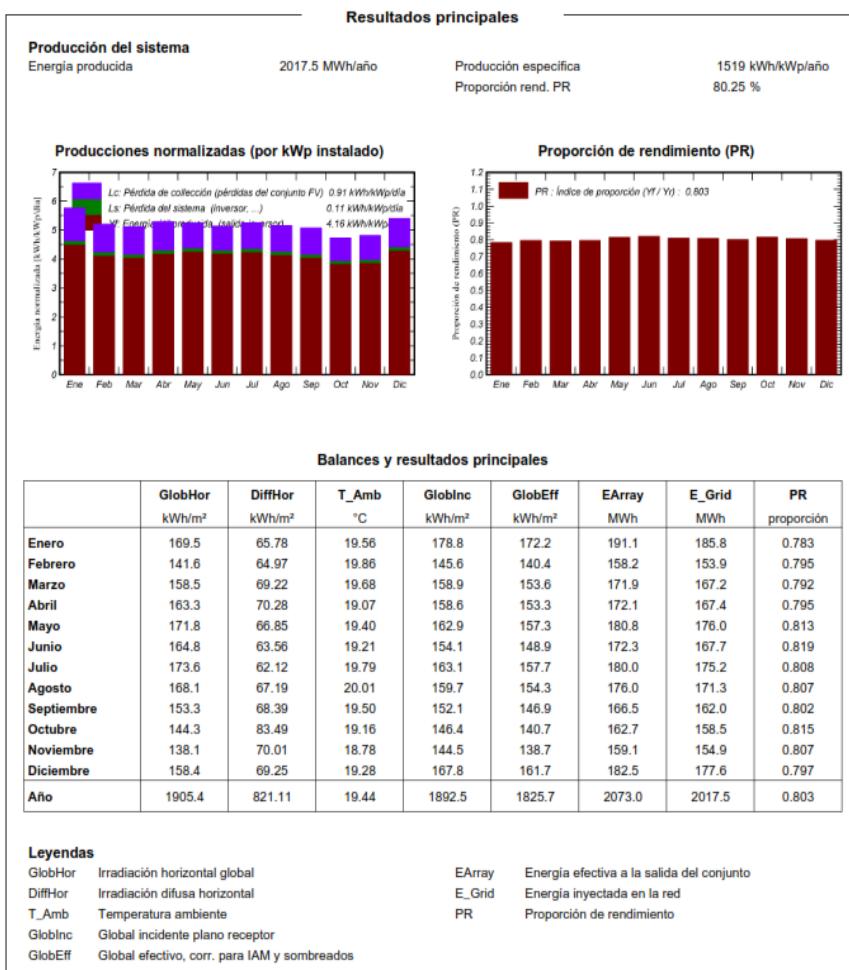
Voltaje medio	13.2 kV
---------------	---------

##### Parámetros del transformador

Potencia nominal en STC	1.31 MVA
Iron Loss ( Conexión 24/24)	0.90 kVA
Fracción de pérdida de hierro	0.07 % en STC
Pérdida cobre	18.95 kVA
Fracción de pérdida de cobre	1.45 % en STC
Resistencia equivalente de bobinas	3 x 7.11 mΩ

Los resultados arrojados son los siguientes:

#### Ilustración 9 Resultados principales



Dependencia: Secretaría de infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 32 de 85

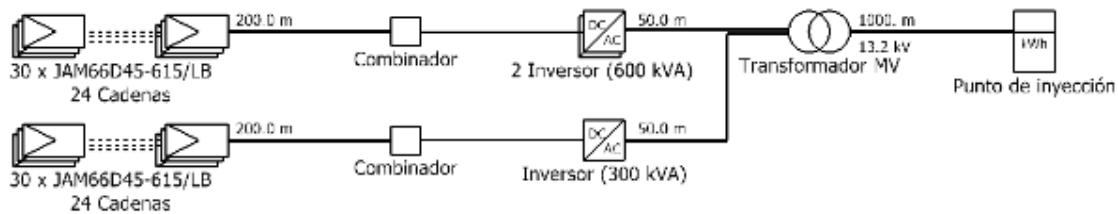


Gobernación del Cauca

Los resultados generales arrojados para el proyecto son:

- Energía producida 2017.5 MWh/año
- Producción específica 1519 kWh/kWp/año
- Proporción rend. PR 80.25 %

El diagrama unifilar es:



La disposición de las celdas fotovoltaicas se realizará de la siguiente manera:

**Ilustración 10 Emplazamiento**



Fuente: Elaboración Propia

Las características técnicas de las celdas fotovoltaicas son:

**Ilustración 11 Ficha técnica celdas**



Gobernación del Cauca

## MECHANICAL PARAMETERS

Cell	Mono
Weight	33.1kg
Dimensions	2382±2mm×1134±2mm×30±1mm
Cable Cross Section Size	4mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG(UL)
No. of cells	132(6×22)
Junction Box	IP68, 3diodes
Connector	QC 4.10-351/ MC4-EVO2A
Cable Length (Including Connector)	Portrait: 300mm(+) /400mm(-) Landscape: 1500mm(+)/1500mm(-)
Front Glass/Back Glass	2.0mm/2.0mm
Packaging Configuration	36pcs/Pallet, 720pcs/40HQ Container

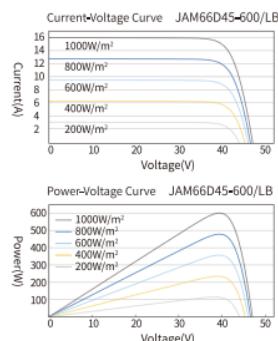
Remark: customized frame color and cable length available upon request

## ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM66D45					
	595/LB	600/LB	605/LB	610/LB	615/LB	620/LB
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	595	600	605	610	615	620
Open Circuit Voltage (Voc) [V]	47.50	47.70	47.90	48.10	48.30	48.50
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	39.27	39.44	39.60	39.77	39.96	40.21
Short Circuit Current(Isc) [A]	15.90	15.95	16.00	16.05	16.10	16.13
Maximum Power Current(Imp) [A]	15.15	15.21	15.28	15.34	15.39	15.42
Module Efficiency [%]	22.0	22.2	22.4	22.6	22.8	23.0
Power Tolerance	0~+3%					
Temperature Coefficient of Isc( $\alpha_{Isc}$ )	+0.045%/ $^{\circ}$ C					
Temperature Coefficient of Voc ( $\beta_{Voc}$ )	-0.250%/ $^{\circ}$ C					
Temperature Coefficient of Pmax( $\gamma_{Pmp}$ )	-0.290%/ $^{\circ}$ C					
STC	Irradiance 1000W/m <sup>2</sup> , cell temperature 25 $^{\circ}$ C, AM1.5G					

Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer.  
They only serve for comparison among different module types.

## CHARACTERISTICS



## ELECTRICAL CHARACTERISTICS WITH 10% SOLAR IRRADIATION RATIO

TYPE	JAM66D45					
	595/LB	600/LB	605/LB	610/LB	615/LB	620/LB
Rated Max Power(Pmax) [W]	643	648	653	659	664	670
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	47.50	47.70	47.90	48.10	48.30	48.50
Max Power Voltage(Vmp) [V]	39.27	39.44	39.60	39.77	39.96	40.21
Short Circuit Current(Isc) [A]	17.17	17.23	17.28	17.33	17.39	17.42
Max Power Current(Imp) [A]	16.36	16.43	16.50	16.56	16.62	16.65
Irradiation Ratio (rear/front)	10%					

\* For Nextracker installations, maximum static load please take compatibility approve letter between JA Solar and Nextracker for reference.  
\*\* Bifaciality=Pmax\_rear/Rated Pmax\_front

## OPERATING CONDITIONS

Maximum System Voltage	1500V DC
Operating Temperature	-40 $^{\circ}$ C~+85 $^{\circ}$ C
Maximum Series Fuse Rating	35A
Maximum Static Load, Front*	5400Pa(112 lb/ft <sup>2</sup> )
Maximum Static Load, Back*	2400Pa(50 lb/ft <sup>2</sup> )
NOCT	45±2 $^{\circ}$ C
Bifaciality**	80%±10%
Safety Class	Class II
Fire Performance	UL Type 29/Class C

Las características de los inversores son:

## Ilustración 12 Características inversores

Power	330K: The power level is 330 kW.
Topology	TL: transformerless
Design code	H1/H2: product series with the 1500 V DC input voltage

Eficiencia:

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 34 de 85



Gobernación del Cauca

Item	SUN2000-330KTL-H1	SUN2000-330KTL-H2
Maximum efficiency	≥ 99.0%	
European efficiency	≥ 98.8%	

Entrada:

Item	SUN2000-330KTL-H1	SUN2000-330KTL-H2
Maximum input voltage	1500 V	
Maximum input current (per MPPT)	65 A	
Maximum short-circuit current (per MPPT)	115 A	
Minimum operating voltage/startup voltage	500 V/550 V	
MPP voltage range	500–1500 V	
Rated input voltage	1080 V	
Number of inputs	28	
Number of MPPTs	6	

Salida:

Item	SUN2000-330KTL-H1	SUN2000-330KTL-H2
Rated output power	300 kW	275 kW <sup>[1]</sup>
Maximum apparent power	330 kVA	330 kVA
Maximum active power ( $\cos\phi = 1$ )	330 kW	330 kW
Rated output voltage	800 V AC, 3W+PE	800 V AC, 3W+PE
Rated output current	216.6 A	198.5 A <sup>[1]</sup>
Adapted power grid frequency	50 Hz/60 Hz	50 Hz/60 Hz
Maximum output current	238.2 A	240.3 A
Power factor	0.8 leading and 0.8 lagging	0.8 leading and 0.8 lagging
Maximum total harmonic distortion (rated power)	< 1%	< 1%

Display de comunicación:

Item	SUN2000-330KTL-H1	SUN2000-330KTL-H2
Display	LED indicators	
RS485	Supported	
MBUS	Supported	
USB	Supported	
WLAN+App	Supported	

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 35 de 85



Gobernación del Cauca

### Protección:

Item	SUN2000-330KTL-H1	SUN2000-330KTL-H2
Input DC switch	Supported	
Anti-islanding protection	Supported	
Output overcurrent protection	Supported	
Input reverse connection protection	Supported	
PV string fault detection	Supported	
DC surge protection	Type II	
AC surge protection	Type II	
Insulation resistance detection	Supported	
Residual current monitoring unit (RCMU)	Supported	

### 11.3 Localización de la alternativa

Región	Departamento	Municipio	Área	Resguardo	Localización específica
Pacifico	Cauca	Popayán	Urbana	No Aplica	Latitud: 2°30'25.24" N Longitud: 76°33'49.28"O

Fuente: Elaboración Propia

#### 11.3.1 Factores analizados

<input checked="" type="checkbox"/>	Aspectos administrativos y políticos	<input checked="" type="checkbox"/>	Cercanía a la población objetivo
<input type="checkbox"/>	Cercanía de fuentes de abastecimiento	<input type="checkbox"/>	Comunicaciones
<input checked="" type="checkbox"/>	Disponibilidad de servicios públicos (agua, energía, otros)	<input type="checkbox"/>	Costo y disponibilidad de terrenos
<input checked="" type="checkbox"/>	Estructura impositiva y legal	<input checked="" type="checkbox"/>	Disponibilidad y costo de mano de obra
<input type="checkbox"/>	Impacto para la equidad de genero	<input checked="" type="checkbox"/>	Factores ambientales
<input type="checkbox"/>	Orden Público	<input checked="" type="checkbox"/>	Medios y costos de transporte
<input type="checkbox"/>	Topografía	<input type="checkbox"/>	Otros



Gobernación del Cauca

#### 11.4 Cadena de valor

##### Anexo No 1. Cadena de Valor

###### 11.4.1. Costo total de la alternativa

Objetivo Específico	PRODUCTO	Unidad de medida	Cantidad	Costo: \$	ACTIVIDAD	Costo: \$
Mejorar los sistemas de provisión de energía en el departamento del Cauca.	Servicios de apoyo a la implementación de fuentes no convencionales de energía	Número de usuarios	352.150	\$10.876.771.004	1. Localización y replanteo electromecanico 2. Estructura granja solar para 90 paneles solares, incluye accesorios de armado, de sujeción de paneles y memorias de cálculo 3. Estructura para soporte de inversor y caseta abierta 4. Sistema de protección contra rayos 5. Suministro, transporte e instalación de Módulo solar bifacial de 615W, tecnología n-type con 132 celdas monocristalinas, doble vidrio de alta durabilidad, eficiencia del 22.8% y potencia adicional por reflexión trasera (hasta 664W). Dimensiones: 2382×1134×30 mm, peso: 33.1 kg, con conectores MC4-EVO2A y caja de conexiones IP68. Ideal para proyectos de alta exigencia energética, con garantía de producto de 12 años y garantía de	\$38.837.952,00 \$2.361.957.422,00 \$95.762.966,00 \$83.547.625,00 \$4.359.009.353,00

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 37 de 85



Gobernación del Cauca

					rendimiento lineal de 30 años. Certificación de conformidad de producto RETIE	
					6. Acometida principal eléctrica POR STRING subterránea desde estructura de los módulos solares hasta CAJA DE DISTRIBUCION EN PISO (1...12 dos(2) por inversor) . Incluye: tubería PVC de 3/4" adosada a la pared del perfil d e la estructura y subterránea, tubería IMC de 3/4" a la vista hasta llegar al gabinete, curvas PVC de 3/4", terminales para tubo IMC de 3/4", curvas galvanizada IMC de 3/4" y hasta 140 m de CABLE SOLAR CU XLPE 6 MM <sup>2</sup> 90°C y accesorios de conexión. Conexion de tierra de la estructura al inversor en # 6 CU_CU desnudo ,20 metros.	\$764.248.053,00
					7. Acometida principal eléctrica INVERSORES a 800 VAC pasando por cajas de conexion ( 1... 6 cajas de piso ) de AC hasta el CENTRO DE TRANSFORMACION, (1..3 conductores por fase) y tubería de PVC electrica subterránea , tubería IMC a la vista para llegada al CENTRO DE TRANSFORMACION, curvas PVC , curvas galvanizadaS IMC,Cable de cobre COBRE # 6 para tierra y accesorios de conexión.	\$298.769.702,00
					8. Suministro e instalación de inversor 330 KW ,800VAC	\$275.716.325,00

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 38 de 85



Gobernación del Cauca

					<p>9. Suministro e instalación de subestación electrica 800VAC/13.2KVAC con transformador trifásico tipo pedestal radial, con potencias de 1000 kVA, diseñado para montaje exterior de acuerdo con las normas IEEE C57.12.34 y NTC 3997, con voltajes primarios de 13200V, y un voltaje secundario de hasta 800V a una frecuencia de 60 Hz. Este equipo cuenta con refrigeración ONAN/KNAN utilizando aceite mineral , un grupo de conexión Dyn- , y un cambiador de TAPS sin tensión de <math>(+1-3)\times 2.5\%</math> o <math>(+2-2)\times 2.5\%</math>. Incluyen un seccionador On-Off , protecciones con fusible de expulsión y fusible limitador de corriente , terminales de alta tensión premoldeados , terminales de baja tensión , válvula de alivio de sobrepresión , e indicador de nivel de aceite , todo contenido dentro de un gabinete con puertas de acceso para alta y baja tensión.</p> <p>10. Sistema de puesta a tierra , malla en cakibre # 2/0 Cu_Cu desnudo de 10 *10 , espaciamiento vertical y horizontal cada 1 metro, con 6 varillas de coper well de 5/8" , 2, 44 metros cobre cobre, soldadura exotermica en Ts ,X y colas de derivaciones ,profundidad 0,6 metros minimo.</p>	\$630.400.839,00
					\$84.042.642,00	



Gobernación del Cauca

11. Sistema de protección contra rayos	\$83.547.625,00
12. Red de 13,2 KV hasta punto de conexión, calibre 1/0 + Reconector automático 13,2kV con Operaciones Electromecánicas. Disparo Trifásico. Interrupción en vacío. Aislamiento Dieléctrico Sólido. Contención de Fallas de Arco Interno. Grado de Protección IP 65.	\$329.467.103,00
13. Sistema de Control y Medicion	\$198.597.303,00
14. Plataforma /losa de instalación estación de potencia	\$42.343.123,00
15. Cajas de derivación de DC	\$10.464.123,00
16. Cajas de derivación de AC	\$6.401.988,00
17. Malla de protección	\$433.862.823,00
18. Iluminación perimetral	\$12.007.381,00
19. Campamento de Obras y otros	\$30.104.444,00

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 40 de 85



Gobernación del Cauca

					20. Interventoría	\$ 737.682.212,00
<b>TOTAL, OBJETIVO ESPECIFICO #1</b>						<b>\$10.876.771.004</b>
<b>GRAN TOTAL</b>						<b>\$10.876.771.004</b>

Fuente: Este documento, tomado de la MGA del proyecto, detallado en documento anexo Cadena de Valor.



## 12. DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ALTERNATIVA

### 12.1 OBJETIVO ESPECÍFICO 1

Mejorar los sistemas de provisión de energía en el departamento del Cauca.

#### ACTIVIDAD 1 Localización y replanteo:

Una ejecución precisa de esta fase es indispensable para garantizar que la IMPLEMENTACIÓN DE MINIGRANJA SOLAR TIPO 1,3 MW<sub>p</sub> CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN MT EN 13.2 KV EN POPAYÁN, CAUCA, se construya exactamente según los planos de ingeniería de detalle.

Durante esta fase, se realizarán ajustes en el diseño preliminar según las condiciones reales del terreno y las necesidades locales, definiendo con precisión la ubicación exacta de cada minigranja solar dentro del área seleccionada. También se coordinará con las autoridades locales, propietarios de terrenos y actores comunitarios para validar el replanteo y obtener los permisos requeridos para la ejecución.

El objetivo principal del replanteo es trasladar con precisión milimétrica los parámetros de diseño bidimensionales (planos) y tridimensionales (cotas de elevación) al terreno. Esto incluye establecer las bases para la instalación de la estructura y la ubicación exacta de los equipos de potencia y la subestación elevadora interna, asegurando el cumplimiento de las tolerancias requeridas para un montaje mecánico exitoso.

Se procede a la verificación del levantamiento topográfico inicial del sitio. El equipo de topografía debe establecer y verificar los puntos de control utilizando equipos de alta precisión, como estaciones totales o sistemas GPS de Doble Frecuencia (RTK). La georreferenciación debe realizarse bajo el sistema oficial de coordenadas de Colombia (MAGNA-SIRGAS), garantizando que la ubicación del proyecto sea precisa y que los planos "AsBuilt" futuros sean consistentes. Estos puntos de control primarios sirven como referencia única para todas las mediciones subsecuentes.

Una vez establecidos los puntos de control, se procede al replanteo detallado de cada elemento estructural:

- Trazado de Filas: Se marcan los ejes longitudinales y transversales de las filas de paneles, respetando las distancias entre estructuras para evitar sombras mutuas y optimizar el cableado.
- Marcación de Pilotes: Se define y marca el punto central exacto donde se ejecutará el hincado directo de cada pilote.
- Control de Cota: Se establece la cota de corte o de terminación para cada pilote, lo cual es fundamental para el proceso de hincado. El control de altura es crítico, ya que asegura que la estructura mantenga el nivel de inclinación de diseño y evita esfuerzos innecesarios en el montaje mecánico.



Gobernación del Cauca

## **ACTIVIDAD 2 Estructura granja solar para 90 paneles solares, incluye accesorios de armado, de sujeción de paneles y memorias de cálculo:**

Esta actividad detalla el procedimiento constructivo de cimentación profunda mediante el método de incado directo, que es el pilar de la estabilidad mecánica de la Minigranja. Esta fase comienza inmediatamente después de la liberación del área por el equipo de Topografía y QA/QC, tal como se establece en el punto 10.6. La precisión en el incado es determinante para el éxito del posterior montaje de la estructura y la instalación de los módulos fotovoltaicos.

El incado directo es un método de cimentación que consiste en introducir el pilote metálico (perfil de acero estructural) directamente en el terreno mediante golpes o vibración controlada, sin necesidad de realizar excavaciones ni utilizar concreto. Este método es idóneo para este tipo de proyectos, debido a su rapidez, bajo impacto ambiental y alta eficiencia, siempre y cuando la naturaleza geotécnica del suelo lo permita (suelos cohesivos o granulares con resistencias adecuadas). La estructura está diseñada para trabajar con esta técnica, utilizando perfiles optimizados para la penetración y el anclaje.

La operación de hincado de pilotes se realiza de manera precisa mediante la alineación inicial de la máquina sobre la marca topográfica previamente establecida, posteriormente, el sistema hidráulico eleva el martillo y lo deja caer de manera repetitiva sobre el cabezal del pilote o aplica vibración de alta frecuencia, generando la fuerza necesaria para que el pilote penetre el suelo hasta alcanzar la profundidad de diseño o la cota de rechazo definida por el estudio geotécnico; durante todo el proceso, el operador controla en tiempo real la verticalidad y la profundidad, garantizando que el pilote se instale dentro de las tolerancias especificadas.

La secuencia operativa se ejecuta por bloques, siguiendo el orden definido en la planificación de frentes de trabajo:

- Verificación Previa: Confirmación de la liberación del área por Topografía.
- Posicionamiento del Pilote: El pilote de la estructura se sitúa en la marca de replanteo y se asegura en el cabezal de la hincadora.
- Alineación Inicial: Se utiliza el sistema de nivelación de la hincadora para establecer la verticalidad (plomada) del pilote.
- Inicio del Hincado: Se inicia el golpeo a baja potencia para las primeras fases de penetración, asegurando que el pilote se mantenga en el eje.
- Aceleración y Monitoreo: Una vez estabilizado el eje, se incrementa la potencia para alcanzar la profundidad o la resistencia de rechazo definida. El operador y el topógrafo monitorean continuamente la verticalidad.
- Corte de Cota: El hincado se detiene al alcanzar la cota de diseño especificada. Si la cabeza del pilote supera la cota o queda por debajo, se aplican los procedimientos de corrección.

### **Parámetros de Instalación (Profundidad, Verticalidad, Tolerancias)**

El control estricto de estos parámetros es esencial para que la estructura pueda ensamblarse correctamente y para la distribución uniforme de cargas:



Gobernación del Cauca

- Profundidad: La profundidad final debe coincidir con la determinada por el estudio geotécnico y el diseño estructural, la cual está asociada al criterio de rechazo.
- Verticalidad: La inclinación máxima permitida (plomada) es típicamente de +/- 1% sobre la altura de la parte emergida del pilote.
- Tolerancias de Eje: La desviación horizontal máxima entre el punto de replanteo topográfico y el centro del pilote hincado no debe exceder los +/- 2 cm.
- Tolerancias de Cota: La desviación de la cota final de la cabeza del pilote debe ser inferior a +/- 1 cm para garantizar que las vigas de la estructura se asienten sin tensiones indebidas.

#### Pruebas Pull-Out – Procedimiento y Criterios de Aceptación

Los ensayos Pull-Out (o Pruebas de Tracción) se realizan para validar la capacidad portante y el anclaje de los pilotes hincados ante cargas de levantamiento (succión por viento o nieve, según aplique).

- Procedimiento: Se selecciona una muestra representativa de pilotes por bloque. Se instala un marco de reacción, un gato hidráulico y un sensor de carga. Se aplica una fuerza de tracción creciente al pilote hasta alcanzar la carga de diseño o la carga máxima de prueba, monitoreando el desplazamiento vertical del pilote.
- Criterios de Aceptación: El criterio principal de aceptación es que el desplazamiento del pilote bajo la carga de diseño no supere el límite especificado por la ingeniería civil/geotécnica (típicamente entre 5 mm y 10 mm). Si el pilote falla, se deben implementar acciones correctivas, como el aumento de la profundidad de hincado en los pilotes subsiguientes o la modificación del diseño en esa sección del terreno.

La validación final de la fase de hincado es un requisito previo para la movilización de la brigada de montaje estructural.

- Registro Topográfico Final: Se realiza un levantamiento topográfico de la posición (eje) y la cota de la cabeza de todos los pilotes hincados.
- Protocolo de Validación Mecánica: El control de calidad compara los datos del levantamiento final con las tolerancias de diseño.
- Acta de Liberación para Montaje: Una vez que el levantamiento confirma que los pilotes están correctamente hincados y que los ensayos Pull-Out son satisfactorios, se emite un acta de Liberación formal que autoriza el inicio del montaje de la estructura portante.

El procedimiento de ensamble de la estructura, la cual se fija a los pilotes previamente hincados. La precisión en esta fase es crucial para garantizar que las filas de paneles mantengan la geometría de diseño, lo cual impacta directamente la eficiencia fotovoltaica y la resistencia estructural en la IMPLEMENTACIÓN DE MINIGRANJA SOLAR TIPO 1,3MWp CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN MT EN 13.2KV EN POPAYÁN CAUCA. La brigada mecánica es responsable de la ejecución y el control de calidad de las uniones atornilladas.

#### Descargue y Despliegue de Material



Gobernación del Cauca

- Transporte desde Acopio: Los perfiles longitudinales, diagonales, rieles y tornillería de la estructura se transportan desde el área de acopio hasta el frente de trabajo liberado.
- Despliegue Secuencial: El material debe ser desplegado de manera organizada, agrupando los componentes por tipo y por mesa. Se evita colocar material directamente sobre las rutas de tránsito o sobre las cabezas de los pilotes hincados, manteniendo la limpieza y el orden en el área de montaje.
- Inspección Pre-Montaje: Se realiza una inspección visual de cada perfil para asegurar que no existan daños en el galvanizado ni deformaciones resultantes del manejo en sitio que comprometan la integridad estructural o el ajuste de las conexiones.

#### Ensamble de Perfiles Longitudinales

- Montaje Inicial: Se comienza con la fijación de los perfiles principales (vigas) a las cabezas de los pilotes. Esta fijación puede realizarse mediante uniones atornilladas o placas de ajuste, dependiendo del diseño específico de la estructura.
- Unión de Secciones: Se ensamblan los perfiles longitudinales de las mesas, asegurando que las juntas se realicen exactamente en los puntos designados por la ingeniería, generalmente sobre los pilotes o en puntos de apoyo específicos.
- Instalación de Arriostramientos: Se instalan los arriostramientos y diagonales requeridos. Estos componentes son fundamentales para la rigidez lateral de la estructura y su resistencia a las cargas de viento, siendo críticos para la estabilidad de la minigranja.

#### Alineación y Cuadratura

El proceso de montaje inicial requiere verificación topográfica constante antes del torque final.  
Alineación Longitudinal: Se utiliza un hilo guía o un nivel láser para verificar la alineación perfecta de las cabezas de las filas, corrigiendo cualquier desviación residual del proceso de hincado.

- Verificación de Cuadratura: Se comprueba que cada mesa o rack individual cumpla con la geometría de diseño, asegurando los ángulos de 90 grados en las esquinas. Una correcta cuadratura es vital para que los rieles y los paneles solares se asienten sin forzar la estructura.
- Control de Cota y Pendiente: Se verifica que la pendiente (inclinación) de la estructura sea uniforme en toda la fila y que la cota de la parte inferior cumpla con el diseño, especialmente para asegurar la altura libre mínima de operación y mantenimiento.

#### Torque y Verificación Mecánica

Una vez que la alineación y la cuadratura han sido aprobadas, se procede al ajuste definitivo de la estructura.



Gobernación del Cauca

- Torque Inicial (Pre-apriete): Se realiza un ajuste inicial de toda la tornillería, garantizando que todos los elementos estructurales queden firmemente unidos.
- Torque Final Calibrado: El ajuste final debe realizarse utilizando llaves de torque calibradas y certificadas. La aplicación del torque debe coincidir con el valor (en Newton-metros o libras-pie) especificado por el fabricante de la estructura.
- Secuencia de Apriete: Se recomienda aplicar el torque final en una secuencia predefinida, generalmente desde el centro hacia los extremos de la mesa, para evitar la introducción de tensiones excesivas o deformaciones indeseadas en la estructura.

#### Control de Calidad de Fijaciones

- Muestreo de Torque: Se realiza un muestreo aleatorio (típicamente entre 5% y 10%) de las uniones críticas (vigas-pilotes, arriostramientos) para verificar que el torque aplicado se encuentre dentro de la tolerancia aceptable del valor de diseño.
- Inspección Visual de Fijaciones: Se inspeccionan visualmente todos los tornillos y tuercas para verificar la correcta inserción de los pernos, el uso de arandelas planas y de presión (si aplica), y la integridad de los elementos de fijación.
- Registro de Calidad: Los resultados del muestreo de torque y la inspección visual se documentan en un Protocolo de Torque Estructural. Este protocolo, una vez aprobado, constituye el Acta de Liberación que permite el ingreso de la brigada de la Fase 4 para la Instalación de Módulos Fotovoltaicos.

#### **ACTIVIDAD 3 Estructura para soporte de inversor y caseta abierta**

Al igual que en la anterior actividad se realiza el mismo procedimiento que soporte los inversores, el cual se describe a continuación

El incado directo es un método de cimentación que consiste en introducir el pilote metálico (perfil de acero estructural) directamente en el terreno mediante golpes o vibración controlada, sin necesidad de realizar excavaciones ni utilizar concreto. Este método es idóneo para este tipo de proyectos, debido a su rapidez, bajo impacto ambiental y alta eficiencia, siempre y cuando la naturaleza geotécnica del suelo lo permita (suelos cohesivos o granulares con resistencias adecuadas). La estructura está diseñada para trabajar con esta técnica, utilizando perfiles optimizados para la penetración y el anclaje.

La operación de hincado de pilotes se realiza de manera precisa mediante la alineación inicial de la máquina sobre la marca topográfica previamente establecida, posteriormente, el sistema hidráulico eleva el martillo y lo deja caer de manera repetitiva sobre el cabezal del pilote o aplica vibración de alta frecuencia, generando la fuerza necesaria para que el pilote penetre el suelo hasta alcanzar la profundidad de diseño o la cota de rechazo definida por el estudio geotécnico; durante todo el proceso, el operador controla en tiempo real la verticalidad y la profundidad, garantizando que el pilote se instale dentro de las tolerancias especificadas.

La secuencia operativa se ejecuta por bloques, siguiendo el orden definido en la planificación de frentes de trabajo:



Gobernación del Cauca

- Verificación Previa: Confirmación de la liberación del área por Topografía.
- Posicionamiento del Pilote: El pilote de la estructura se sitúa en la marca de replanteo y se asegura en el cabezal de la hincadora.
- Alineación Inicial: Se utiliza el sistema de nivelación de la hincadora para establecer la verticalidad (plomada) del pilote.
- Inicio del Incado: Se inicia el golpeo a baja potencia para las primeras fases de penetración, asegurando que el pilote se mantenga en el eje.
- Aceleración y Monitoreo: Una vez estabilizado el eje, se incrementa la potencia para alcanzar la profundidad o la resistencia de rechazo definida. El operador y el topógrafo monitorean continuamente la verticalidad.
- Corte de Cota: El incado se detiene al alcanzar la cota de diseño especificada. Si la cabeza del pilote supera la cota o queda por debajo, se aplican los procedimientos de corrección.

#### Parámetros de Instalación (Profundidad, Verticalidad, Tolerancias)

El control estricto de estos parámetros es esencial para que la estructura pueda ensamblarse correctamente y para la distribución uniforme de cargas:

- Profundidad: La profundidad final debe coincidir con la determinada por el estudio geotécnico y el diseño estructural, la cual está asociada al criterio de rechazo.
- Verticalidad: La inclinación máxima permitida (plomada) es típicamente de +/- 1% sobre la altura de la parte emergida del pilote.
- Tolerancias de Eje: La desviación horizontal máxima entre el punto de replanteo topográfico y el centro del pilote hincado no debe exceder los +/- 2 cm.
- Tolerancias de Cota: La desviación de la cota final de la cabeza del pilote debe ser inferior a +/- 1 cm para garantizar que las vigas de la estructura se asienten sin tensiones indebidas.

#### Pruebas Pull-Out – Procedimiento y Criterios de Aceptación

Los ensayos Pull-Out (o Pruebas de Tracción) se realizan para validar la capacidad portante y el anclaje de los pilotes hincados ante cargas de levantamiento (succión por viento o nieve, según aplique).

- Procedimiento: Se selecciona una muestra representativa de pilotes por bloque. Se instala un marco de reacción, un gato hidráulico y un sensor de carga. Se aplica una fuerza de tracción creciente al pilote hasta alcanzar la carga de diseño o la carga máxima de prueba, monitoreando el desplazamiento vertical del pilote.
- Criterios de Aceptación: El criterio principal de aceptación es que el desplazamiento del pilote bajo la carga de diseño no supere el límite especificado por la ingeniería civil/geotécnica (típicamente entre 5 mm y 10 mm). Si el pilote falla, se deben implementar acciones correctivas, como el aumento de la profundidad de incado en los pilotes subsiguientes o la modificación del diseño en esa sección del terreno.



Gobernación del Cauca

La validación final de la fase de incado es un requisito previo para la movilización de la brigada de montaje estructural.

- Registro Topográfico Final: Se realiza un levantamiento topográfico de la posición (eje) y la cota de la cabeza de todos los pilotes hincados.
- Protocolo de Validación Mecánica: El control de calidad compara los datos del levantamiento final con las tolerancias de diseño.
- Acta de Liberación para Montaje: Una vez que el levantamiento confirma que los pilotes están correctamente hincados y que los ensayos Pull-Out son satisfactorios, se emite un acta de Liberación formal que autoriza el inicio del montaje de la estructura portante.

El procedimiento de ensamble de la estructura, la cual se fija a los pilotes previamente hincados. La precisión en esta fase es crucial para garantizar que las filas de paneles mantengan la geometría de diseño, lo cual impacta directamente la eficiencia fotovoltaica y la resistencia estructural en la IMPLEMENTACIÓN DE MINIGRANJA SOLAR TIPO 1,3MWp CONECTADA A LA RED ELÉCTRICA DE DISTRIBUCIÓN MT EN 13.2KV EN POPAYÁN CAUCA. La brigada mecánica es responsable de la ejecución y el control de calidad de las uniones atornilladas.

#### Descargue y Despliegue de Material

- Transporte desde Acopio: Los perfiles longitudinales, diagonales, rieles y tornillería de la estructura se transportan desde el área de acopio hasta el frente de trabajo liberado.
- Despliegue Secuencial: El material debe ser desplegado de manera organizada, agrupando los componentes por tipo y por mesa. Se evita colocar material directamente sobre las rutas de tránsito o sobre las cabezas de los pilotes hincados, manteniendo la limpieza y el orden en el área de montaje.
- Inspección Pre-Montaje: Se realiza una inspección visual de cada perfil para asegurar que no existan daños en el galvanizado ni deformaciones resultantes del manejo en sitio que comprometan la integridad estructural o el ajuste de las conexiones.

#### Ensamble de Perfiles Longitudinales

- Montaje Inicial: Se comienza con la fijación de los perfiles principales (vigas) a las cabezas de los pilotes. Esta fijación puede realizarse mediante uniones atornilladas o placas de ajuste, dependiendo del diseño específico de la estructura.
- Unión de Secciones: Se ensamblan los perfiles longitudinales de las mesas, asegurando que las juntas se realicen exactamente en los puntos designados por la ingeniería, generalmente sobre los pilotes o en puntos de apoyo específicos.
- Instalación de Arriostramientos: Se instalan los arriostramientos y diagonales requeridos. Estos componentes son fundamentales para la rigidez lateral de la estructura y su resistencia a las cargas de viento, siendo críticos para la estabilidad de la minigranja.

#### Alineación y Cuadratura



Gobernación del Cauca

El proceso de montaje inicial requiere verificación topográfica constante antes del torque final. Alineación Longitudinal: Se utiliza un hilo guía o un nivel láser para verificar la alineación perfecta de las cabezas de las filas, corrigiendo cualquier desviación residual del proceso de hincado.

- Verificación de Cuadratura: Se comprueba que cada mesa o rack individual cumpla con la geometría de diseño, asegurando los ángulos de 90 grados en las esquinas. Una correcta cuadratura es vital para que los rieles y los paneles solares se asienten sin forzar la estructura.
- Control de Cota y Pendiente: Se verifica que la pendiente (inclinación) de la estructura sea uniforme en toda la fila y que la cota de la parte inferior cumpla con el diseño, especialmente para asegurar la altura libre mínima de operación y mantenimiento.

#### Torque y Verificación Mecánica

Una vez que la alineación y la cuadratura han sido aprobadas, se procede al ajuste definitivo de la estructura.

- Torque Inicial (Pre-apriete): Se realiza un ajuste inicial de toda la tornillería, garantizando que todos los elementos estructurales queden firmemente unidos.
- Torque Final Calibrado: El ajuste final debe realizarse utilizando llaves de torque calibradas y certificadas. La aplicación del torque debe coincidir con el valor (en Newton-metros o libras-pie) especificado por el fabricante de la estructura.
- Secuencia de Apriete: Se recomienda aplicar el torque final en una secuencia predefinida, generalmente desde el centro hacia los extremos de la mesa, para evitar la introducción de tensiones excesivas o deformaciones indeseadas en la estructura.

#### Control de Calidad de Fijaciones

El control de calidad es obligatorio al finalizar el montaje estructural.

- Muestreo de Torque: Se realiza un muestreo aleatorio (típicamente entre 5% y 10%) de las uniones críticas (vigas-pilotes, arriostramientos) para verificar que el torque aplicado se encuentre dentro de la tolerancia aceptable del valor de diseño.
- Inspección Visual de Fijaciones: Se inspeccionan visualmente todos los tornillos y tuercas para verificar la correcta inserción de los pernos, el uso de arandelas planas y de presión (si aplica), y la integridad de los elementos de fijación.
- Registro de Calidad: Los resultados del muestreo de torque y la inspección visual se documentan en un Protocolo de Torque Estructural. Este protocolo, una vez aprobado, constituye el Acta de Liberación que permite el ingreso de la brigada de la Fase 4 para la Instalación de Módulos Fotovoltaicos.

#### ACTIVIDAD 4 Sistema de protección contra rayos:



Gobernación del Cauca

## Protección contra Descargas Atmosféricas (SPCR)

- Instalación de Pararrayos: Si el análisis de riesgo dictamina la necesidad, se instalan dispositivos de captación de descargas atmosféricas (pararrayos o puntas captoras) en las ubicaciones definidas (ej. en el cuarto de control o en estructuras altas).
- Sistema de Baja Impulso (SPD): Se verifica que la instalación de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (SPD), tanto en el lado DC de los inversores (Capítulo 10) como en el lado AC (Capítulo 11) y en la Media Tensión (Capítulo 12), esté correctamente ejecutada y conectada al SPT, asegurando una rápida derivación de la corriente de impulso a tierra.

**ACTIVIDAD 5 Suministro, transporte e instalación de Módulo solar bifacial de 615W, tecnología n-type con 132 celdas monocristalinas, doble vidrio de alta durabilidad, eficiencia del 22.8% y potencia adicional por reflexión trasera (hasta 664W). Dimensiones: 2382×1134×30 mm, peso: 33.1 kg, con conectores MC4-EVO2A y caja de conexiones IP68. Ideal para proyectos de alta exigencia energética, con garantía de producto de 12 años y garantía de rendimiento lineal de 30 años. Certificación de conformidad de producto RETIE:**

El primer paso de esta actividad es el proceso de manipulación, montaje y sujeción de los módulos fotovoltaicos en la estructura portante. El objetivo es garantizar la integridad física de los módulos y asegurar una fijación mecánica y eléctrica conforme a las especificaciones del fabricante y del diseño estructural del proyecto.

### Preparación del Área de Montaje

- Liberación de Estructura: Se debe confirmar la liberación del bloque de trabajo mediante el protocolo de torque estructural, asegurando que el montaje de la estructura portante haya sido validado.
- Organización Logística: Los módulos fotovoltaicos se transportan desde el área de acopio hasta el frente de trabajo de forma manual, evitando al máximo el riesgo de golpes o daños en el vidrio y el marco.
- Inspección Pre-Instalación: Se realiza una inspección visual de cada módulo inmediatamente antes de su colocación. Se busca evidencia de daños en el embalaje, fisuras en el vidrio, roturas en el laminado, o marcos deformados. Cualquier módulo dañado se aísla y se registra para su gestión de garantía.

#### Montaje y Sujeción de Módulos

- Izaje y Posicionamiento: Los módulos se suben a la estructura y se posicionan sobre los rieles, siguiendo el patrón de diseño (portrait o landscape) y respetando las tolerancias de separación entre paneles y el marco exterior de la fila. La manipulación de los módulos se realiza siempre por el marco, evitando aplicar presión sobre la superficie celular.
- Fijación con Clamps: Los módulos se sujetan a los rieles de la estructura utilizando clamps (abrazaderas) de extremo (end clamps) y clamps centrales (mid clamps), según el diseño.
- Conexión Eléctrica Preliminar: Durante la instalación, se inicia la conexión de los jumpers entre módulos dentro de cada string. Se verifica la correcta polaridad de cada conexión.



Gobernación del Cauca

**Etiquetado Técnico y Trazabilidad:** Esta subactividad es esencial para la gestión de activos del proyecto.

- **Etiquetado de String:** Se procede a la instalación de etiquetas permanentes en el punto de inicio y fin de cada string de módulos, indicando su número de identificación único (ID) según los planos eléctricos.
- **Trazabilidad Serializada:** Se captura y registra el número de serie de cada uno de los módulos fotovoltaicos en la base de datos de trazabilidad. Dicho serial se asocia a su ubicación física precisa dentro de la Minigranja (bloque, fila y posición), siendo un requisito fundamental para futuras gestiones de garantías por fallas de rendimiento o defectos de fábrica.

**Torque Recomendado:** La sujeción mecánica es un punto crítico de calidad que afecta la resistencia al viento y la integridad del módulo.

- **Uso de Herramientas Calibradas:** El torque de apriete en los clamps se aplica utilizando llaves de torque calibradas y certificadas.
- **Especificación de Torque:** El valor del torque aplicado debe seguir estrictamente la especificación proporcionada por el fabricante del módulo o por el fabricante del clamp si este es más restrictivo. Un torque insuficiente puede causar fallas por deslizamiento o vibración, mientras que un torque excesivo puede deformar el marco del módulo o el riel de la estructura, afectando el rendimiento.
- **Criterios de Calidad de Instalación**
- **El equipo de control de calidad realiza las siguientes verificaciones antes de la liberación para el cableado DC:**
- **Inspección Visual de Alineación:** Se verifica que los módulos estén alineados de forma uniforme, que las separaciones entre filas sean consistentes y que no existan gap o voladizos no deseados.
- **Muestreo de Torque:** Se realiza un muestreo aleatorio de las fijaciones (clamps) para verificar que el torque aplicado se encuentre dentro de las tolerancias de diseño (ej. +/- 10% del valor nominal).
- **Verificación de Polaridad:** Se verifica que las conexiones de los strings dentro del bloque mantengan la polaridad correcta para la posterior conexión a los inversores.
- **Protocolo de Liberación:** Los resultados de la inspección y el muestreo se documentan en el Protocolo de Instalación de Módulos FV. La aprobación de este protocolo autoriza el inicio de la fase de cableado DC - Strings y MC4.

**ACTIVIDAD 6 Acometida principal eléctrica POR STRING subterránea desde estructura de los módulos solares hasta CAJA DE DISTRIBUCION EN PISO (1...12 dos(2) por inversor) . Incluye: tubería PVC de 3/4" adosada a la pared del perfil d e la estructura y subterránea, tubería IMC de 3/4" a la vista hasta llegar al gabinete, curvas PVC de 3/4", terminales para tubo IMC de 3/4", curvas galvanizada IMC de 3/4" y hasta 140 m de CABLE SOLAR CU XLPE 6 MM^2 90°C y accesorios de conexión. Conexión de tierra de la estructura al inversor en # 6 CU\_CU desnudo ,20 metros:**

Este capítulo describe el proceso de conexionado eléctrico en Corriente Directa (DC) que une los módulos fotovoltaicos en series (strings) y conecta estos conjuntos al lado DC de los inversores. El objetivo es asegurar una baja resistencia eléctrica, una protección adecuada contra el medio ambiente y el cumplimiento estricto de los estándares eléctricos de seguridad y calidad.



Gobernación del Cauca

## Selección de Cableado y Conectores

- Especificación del Cableado: Se debe utilizar exclusivamente cable de cobre electrolítico diseñado específicamente para aplicaciones fotovoltaicas. Este cable debe poseer aislamiento doble (doble capa) y cumplir con la norma UL 4703 o equivalente, garantizando resistencia a la radiación ultravioleta (UV), la intemperie, la humedad y la capacidad de no propagación de llama. El calibre (típicamente 4 mm<sup>2</sup> o 6 mm<sup>2</sup>) debe seleccionarse con base en la ingeniería, considerando la máxima corriente de cortocircuito y las mínimas pérdidas por caída de tensión.
- Selección de Conectores: Los conectores deben ser de tipo MC4 y proceder del mismo fabricante que el cableado o ser estrictamente compatibles y certificados. El uso de conectores no compatibles o de baja calidad compromete la estanqueidad y la resistencia de contacto de toda la instalación.

## Configuración de Rutas DC

Orden y Limpieza: El tendido del cableado DC se debe realizar de manera ordenada, siguiendo las rutas definidas por la ingeniería (generalmente por debajo de los rieles o a través de bandejas portacables y/o ductos), evitando la acumulación desorganizada de cable.

Protección Mecánica: Los cables DC deben ser asegurados a la estructura utilizando amarres resistentes a UV y deben protegerse de bordes afilados, posibles roces o compresión que puedan dañar el aislamiento. En el recorrido entre las mesas y los inversores, se emplean canalizaciones rígidas o flexibles que cumplan con la normativa RETIE y garanticen la protección contra daños físicos y la segregación de circuitos.

Segregación de Circuitos: Se debe mantener una separación física entre el cableado de Corriente Directa (DC), la Corriente Alterna (AC) y los cables de comunicación/datos, a fin de prevenir interferencias electromagnéticas (EMI) y facilitar las labores de mantenimiento.

## Armado de Strings FV

- Definición de Serie: Un string se define como la conexión en serie de un número específico de módulos fotovoltaicos. La cantidad de módulos por string se determina rigurosamente por el diseño, basándose en el voltaje de operación óptimo y los límites de voltaje máximo de entrada del inversor (ej. Huawei 330 kW).
- Uniformidad: Se debe asegurar que todos los strings conectados a un mismo seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) del inversor posean exactamente el mismo número de módulos. La falta de uniformidad puede resultar en pérdidas significativas de potencia y desequilibrios en el sistema.
- Etiquetado y Marcación: Se verifica el etiquetado de los strings y se asegura que la conexión entre el string y el inversor corresponda con el circuito designado en los planos eléctricos.

Conexionado MC4 – Estándares: El proceso de conexionado de los terminales MC4 es un punto crítico de calidad eléctrica.



Gobernación del Cauca

- Crimpeado Profesional: El crimpeado de los conectores debe ejecutarse utilizando pinzas crimpeadoras especializadas. Un crimpeado deficiente genera alta resistencia de contacto, lo que resulta en puntos calientes (hotspots) y riesgo de incendio.
- Hermeticidad: Se verifica la correcta inserción del cable y el ajuste del sello de goma del conector para garantizar la estanqueidad (grado de protección IP), evitando la entrada de humedad y polvo que degradarían la conexión.
- Verificación de Polaridad: Es obligatorio que la polaridad de cada string sea verificada antes de la conexión final al inversor. La inversión de polaridad puede causar daños graves e irreversibles a los equipos.

**Pruebas Preliminares de Continuidad y Aislamiento:** Antes de la energización o conexión a los inversores, cada string y cada grupo de strings deben ser probados y validados.

- Prueba de Voltaje y Polaridad: Se mide el voltaje en circuito abierto (Voc) de cada string. El valor medido debe ser comparado con el valor teórico esperado, ajustado por temperatura. Se confirma que el terminal positivo y negativo coincidan con los planos.
- Prueba de Resistencia de Aislamiento (Megado): Se aplica la prueba de Megado utilizando un megohmetro calibrado. Se aplica un voltaje de prueba (típicamente 1000 V DC) entre los conductores activos (positivo y negativo) y la tierra (estructura/malla de tierra). El valor de resistencia de aislamiento debe cumplir con lo estipulado por el RETIE.
- Registro de Protocolos: Los resultados de voltaje, polaridad y Megado se registran formalmente en el Protocolo de Pruebas DC.
- 

#### CANALIZACIÓN Y CABLEADO AC – BAJA TENSIÓN

Este capítulo define los estándares para el tendido, la protección y el conexionado de la infraestructura de Corriente Alterna (AC) en el lado de Baja Tensión. El objetivo es asegurar que la energía generada sea transmitida con mínimas pérdidas, cumpliendo con las exigencias del RETIE y la ingeniería de detalle antes de ser elevada a Media Tensión (13.2 kV).

##### Tendido de Tubería y Bandejas

- Definición de Rutas: Se verifica la liberación de las rutas de canalización definidas durante la planificación. Estas rutas pueden ser subterráneas (zanjas) o aéreas (bandejas y/o ductos portacables), dependiendo del diseño específico del sitio y la ubicación del Centro de Transformación.
- Instalación de Canalización Subterránea: Para las rutas soterradas, se instalan ductos rígidos de PVC o tubería de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), con diámetros y profundidades suficientes para soportar las cargas de los cables AC. Se debe asegurar el correcto sello de los ductos al entrar en tableros, skids de inversores o cajas de paso, garantizando el grado de protección IP necesario contra la humedad.
- Instalación de Bandejas Aéreas: Si se utilizan bandejas portacables, estas deben ser de material adecuado (ej. acero galvanizado) y dimensionadas para el factor de llenado máximo permitido. Las bandejas deben instalarse a alturas de seguridad que eviten el contacto con el personal y permitan un acceso fácil para futuras inspecciones.

**ACTIVIDAD 7 Acometida principal eléctrica INVERSORES a 800 VAC pasando por cajas de conexión ( 1... 6 cajas de piso ) de AC hasta el CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, (1.3 conductores por fase) y tubería de PVC eléctrica subterránea , tubería IMC a la vista para**



Gobernación del Cauca

## Ilegada al CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, curvas PVC , curvas galvanizadas IMC,Cable de cobre COBRE # 6 para tierra y accesorios de conexión.

- Definición de Rutas: Se verifica la liberación de las rutas de canalización definidas durante la planificación. Estas rutas pueden ser subterráneas (zanjas) o aéreas (bandejas portacables), dependiendo del diseño específico del sitio y la ubicación del Centro de Transformación.
- Instalación de Canalización Subterránea: Para las rutas soterradas, se instalan ductos rígidos de PVC o tubería de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), con diámetros y profundidades suficientes para soportar las cargas de los cables AC. Se debe asegurar el correcto sellado de los ductos al entrar en tableros, skids de inversores o cajas de paso, garantizando el grado de protección IP necesario contra la humedad.
- Instalación de Bandejas Aéreas: Si se utilizan bandejas portacables, estas deben ser de material adecuado (ej. acero galvanizado) y dimensionadas para el factor de llenado máximo permitido. Las bandejas deben instalarse a alturas de seguridad que eviten el contacto con el personal y permitan un acceso fácil para futuras inspecciones.
- Selección y Calibre del Cableado: El cableado AC de Baja Tensión (BT) se selecciona para transportar la potencia nominal de los inversores (ej. 330 kW) hasta el transformador, considerando la tensión de salida (típicamente entre 600V y 800V AC). El calibre debe calcularse para minimizar la caída de tensión (generalmente mantenida por debajo del 2% total) y cumplir con la capacidad de transporte de corriente (ampacidad) exigida por el RETIE. Se utiliza cable tripolar o conductores unipolares en configuración trifásica, con aislamiento apto para la intemperie y la tensión nominal.
- Identificación de Fases: Es obligatorio el uso de codificación de colores para la identificación de fases (R, S, T o L1, L2, L3) y el conductor de neutro (N) si aplica, y el conductor de protección (PE), según los estándares RETIE.
- Conexión en Inversor: Se verifica que el borne de conexión AC en el inversor (ej. Huawei 330 kW) esté limpio. Los terminales del cable se deben crimppear con terminales adecuados, asegurando un contacto de baja resistencia. El apriete debe realizarse con torque calibrado según las especificaciones del fabricante del inversor.
- Recorrido y Soporte: El tendido se realiza a través de la canalización, asegurando que no haya tensión mecánica ni doblado excesivo del cable que pueda comprometer el aislamiento.

### Tableros de Protección y Seccionamiento

- Instalación de Tableros Agrupadores: Si la arquitectura requiere tableros agrupadores de AC (AC Combiner Box) antes del transformador, estos se deben fijar sobre bases sólidas o en el skid del transformador.
- Componentes Internos: Los tableros deben contener los dispositivos de protección requeridos (interruptores automáticos termomagnéticos o de caja moldeada) dimensionados para la corriente máxima de cortocircuito y de operación. Se incluyen los dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (SPD), dimensionados para la tensión de operación.
- Montaje y Cableado: El montaje de los dispositivos debe ser ordenado, asegurando el acceso para maniobra. El cableado interno se realiza con etiquetas, manteniendo la fase correcta.



Gobernación del Cauca

**Puesta a Punto de Protecciones:** La correcta operación de las protecciones AC es indispensable para la seguridad de la Minigranja y su coordinación con la red de MT - 13.2 kV.

- Configuración de Interruptores: Se verifica la configuración y el setting de los interruptores de protección. En el caso de interruptores ajustables, se programa la curva de disparo para coordinar selectivamente con las protecciones del lado de Media Tensión.
- Verificación de Aislamiento: Se realiza la prueba de Megado al cableado AC de Baja Tensión, aplicando la tensión de prueba requerida entre fases y entre fases y tierra (PE). El valor de resistencia de aislamiento debe cumplir con los criterios de liberación eléctrica.
- Pruebas Funcionales SPD: Se verifica la continuidad de las conexiones de los SPD y la correcta conexión a la barra de tierra, asegurando su funcionalidad.
- Protocolo de Liberación: Los resultados de las pruebas de aislamiento y la configuración de protecciones se registran en el Protocolo de Pruebas AC (Baja Tensión). La aprobación de este protocolo autoriza la conexión de estos circuitos al lado de baja tensión del transformador, procediendo a la Puesta a Tierra.

#### **ACTIVIDAD 8 Suministro e instalación de inversor 330 KW ,800VAC**

Este capítulo describe el procedimiento técnico para la instalación, conexionado, puesta a tierra y verificación funcional de los inversores string que hacen parte de la minigranja solar, responsables de la conversión de corriente continua (DC) generada por los módulos fotovoltaicos en corriente alterna (AC) para su inyección a la red de baja tensión (BT) y posterior elevación a 13.2 kV.

previo a la instalación de los inversores, se debe verificar:

- Finalización del cableado DC y comprobación de continuidad entre strings y cajas combinadoras.
- Integridad estructural de la base de montaje o skid metálico nivelado y anclado.
- Disponibilidad del sistema de puesta a tierra, con valores medidos inferiores a  $10\ \Omega$  conforme a RETIE e IEEE 80.
- Revisión de documentación técnica del fabricante, incluyendo manual de instalación, torque de apriete y conexiones recomendadas.
- Revisión de número de serie y correspondencia con plan de instalación.
- Verificación ambiental: temperatura y humedad dentro del rango de operación del fabricante.
- Realizar el descargue mediante grúa o montacarga con eslingas certificadas.
- Manipular los inversores en posición vertical, evitando golpes o inclinaciones mayores a  $15^\circ$ .
- Revisar embalaje y componentes incluidos.
- Ubicar temporalmente los equipos en área techada o protegida.
- Montaje y Fijación Mecánica
- Posicionar los inversores sobre bases metálicas o skids nivelados.
- Alinear los equipos según plano de implantación aprobado por ingeniería.
- Anclar mediante pernos de expansión M10 o M12 según recomendación del fabricante.
- Mantener distancias mínimas de mantenimiento: 0.6 m laterales y 0.8 m posteriores.
- Verificar nivel con plomada o nivel digital ( $\pm 3\text{ mm}$ ).



Gobernación del Cauca

- Conexionado DC (Entradas de Strings)
- Identificar polaridades positiva y negativa en cada entrada DC.
- Utilizar conectores MC4 o equivalentes certificados IP68.
- Etiquetar cada entrada con el número de string y bloque de generación.
- Verificar tensión en vacío (Voc) y corriente de cortocircuito (Isc) antes del acople.
- Asegurar que los cables DC no presenten torsión ni tensión mecánica.
- Conexión de inversores al tablero agrupador AC
- Cada inversor trifásico se conecta individualmente mediante un interruptor termomagnético tripolar calibrado conforme a su corriente nominal.
- Los conductores se identifican por fase (L1, L2, L3) y tierra (PE), con marcación termoencogible permanente.
- Las terminales deberán ser prensadas con herramientas calibradas y protegidas mediante tapas dieléctricas.
- La conexión se realiza siguiendo la secuencia de fases estándar del sistema (A-B-C) y el sentido horario de rotación de la red del transformador.
- Todos los inversores convergen en una barra colectora de cobre electrolítico del tablero agrupador AC, dimensionada para soportar la corriente total del bloque de generación.
- Conexión del tablero agrupador al transformador elevador
- Desde el tablero agrupador parte un alimentador principal en baja tensión (0.8 kV) hacia el lado de baja tensión del transformador 1.25 MVA.
- Dicho alimentador estará compuesto por varias corrientes en paralelo por fase, según diseño, para garantizar la caída de tensión  $\leq 1.5\%$  entre inversores y transformador.
- La canalización se realiza por ductos subterráneos con separación mínima de 30 cm entre fases y profundidad mínima de 0.8 m, protegidos con cinta de advertencia eléctrica.
- En el tablero agrupador se instalarán protecciones principales tipo breaker o fusible NH, y en el transformador, un interruptor de potencia con seccionador en carga, garantizando coordinación selectiva.
- Se instalará un conductor de protección PE (equipotencial) a lo largo de toda la canalización.
- Pruebas y verificaciones
- Medir continuidad y resistencia de conductores por fase y tierra.
- Verificar torque de apriete en terminales según hoja técnica del fabricante (mínimo 35–50 N·m en barras de cobre).
- Realizar prueba de aislamiento con megóhmímetro de 1000 VDC, obteniendo resistencia  $\geq 1 \text{ G}\Omega$ .
- Validar correcta secuencia de fases entre la salida del tablero agrupador y las bornas BT del transformador (rotación A-B-C).
- Documentar resultados en el formato de control de calidad QA/QC.

**ACTIVIDAD 9 Suministro e instalación de subestación eléctrica 800VAC/13.2KVAC con transformador trifásico tipo pedestal radial, con potencias de 1000 kVA, diseñado para montaje exterior de acuerdo con las normas IEEE C57.12.34 y NTC 3997, con voltajes primarios de 13200V, y un voltaje secundario de hasta 800V a una frecuencia de 60 Hz. Este equipo cuenta con refrigeración ONAN/KNAN utilizando aceite mineral , un grupo de conexión Dyn-, y un cambiador de TAPS sin tensión de  $(+1-3)\times 2.5\%$  o  $(+2-2)\times 2.5\%$ . Incluyen un seccionador On-Off , protecciones con fusible de expulsión y fusible limitador de corriente , terminales de alta tensión premoldeados , terminales de baja tensión , válvula de alivio de**



Gobernación del Cauca

**sobrepresión , e indicador de nivel de aceite , todo contenido dentro de un gabinete con puertas de acceso para alta y baja tensión.**

#### Instalación de Cuarto o Área MT

**Validación de Obra Civil:** Se verifica la correcta finalización y liberación de las obras civiles de la subestación interna, incluyendo la base de concreto (Pad) para el transformador de 1.25 MVA y el cuarto o área designada para las celdas de protección y maniobra de 13.2 kV. El área debe estar adecuadamente nivelada, contar con los drenajes requeridos y estar preparada para la instalación de los sistemas de puesta a tierra (SPT) y cerramiento perimetral.

**Preparación de Puesta a Tierra:** Se debe asegurar la instalación previa de la malla de puesta a tierra específica para el área de Media Tensión, garantizando que los puntos de conexión a tierra del transformador, las celdas y la estructura metálica (si aplica) estén disponibles y cumplan con la resistencia óhmica requerida según RETIE para subestaciones.

#### Montaje del Transformador Elevador (1.25 MVA)

- **Logística y Posicionamiento:** El transformador de elevador es movilizado desde el área de acopio hasta su base definitiva utilizando grúas o plumas, como se planificó en la gestión de recursos críticos. Esta maniobra debe ejecutarse bajo un estricto Plan de Izaje para evitar daños al equipo y garantizar la seguridad del personal.
- **Inspección Final:** Una vez posicionado, se realiza una inspección física para confirmar la integridad del equipo, el nivel de aceite (si es de inmersión en aceite), la instalación de accesorios (válvulas, termómetros, manómetros) y el correcto estado de los bushings de MT y BT.
- **Conexión de Baja Tensión (BT):** Se realiza la conexión del cableado AC de Baja Tensión proveniente de los inversores a los terminales del lado de BT del transformador. Esta conexión debe ser apriete con torque y verificarse la correcta secuencia de fases.

La instalación de una estación central que integra el transformador elevador de potencia, las protecciones de media y baja tensión, y los servicios auxiliares necesarios para la operación automática de la central.

Esta unidad funcional, también llamada Power Station, está concebida como un sistema compacto certificado bajo normativas como RETIE, que reúne el transformador principal de 2000 kVA nominales a 13.2 kV y 800 V, interruptores principales (ACB y MCCB), un RMU (Interruptor de Sección en Gas SF6) para protección en media tensión y un transformador auxiliar para servicios auxiliares.

La instalación requiere colocar la estación en un sitio preparado con la infraestructura civil adecuada (plataforma, base y cerramiento) y con accesibilidad para mantenimiento y operación.

Se deben efectuar conexiones eléctricas seguras siguiendo los estándares técnicos, con cableados de media y baja tensión, canalizaciones y un sistema de puesta a tierra diseñado para manejar las corrientes de falla previstas, acorde a la resistencia de tierra medida en el sitio (5.3 ohmios).

También implica la integración del sistema con las redes existentes, en este caso la red de media tensión local a 13.2 kV propiedad del operador CEO, para inyectar la energía generada.



Gobernación del Cauca

El sistema cuenta con protecciones específicas para evitar fallas, incluyendo dispositivos para manejar armónicos y evitar sobrecargas, garantizando así la confiabilidad y seguridad de la operación.

**ACTIVIDAD 10 Sistema de puesta a tierra , malla en calibre # 2/0 Cu\_Cu desnudo de 10 \*10 , espaciamiento vertical y horizontal cada 1 metro, con 6 varillas de coper well de 5/8" , 2, 44 metros cobre , soldadura exotermica en Ts ,X y colas de derivaciones ,profundidad 0,6 metros mínimo.**

Se debe asegurar la instalación previa de la malla de puesta a tierra específica para el área de Media Tensión, garantizando que los puntos de conexión a tierra de las celdas y la estructura metálica estén disponibles y cumplan con la resistencia óhmica requerida según RETIE para subestaciones.

El diseño debe garantizar la seguridad de los usuarios (tensiones de paso y contacto) y proporcionar un camino de baja impedancia para las corrientes de falla y las descargas atmosféricas, cumpliendo con los requisitos del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y las normas internacionales.

#### Diseño del Sistema de Puesta a Tierra

- Criterios de Diseño: El diseño del SPT se basa en los resultados del estudio de resistividad del suelo y debe calcularse para limitar las tensiones de paso y de contacto a valores seguros y, simultáneamente, obtener una resistencia total que cumpla con los requisitos operativos.
- Resistencia Objetivo: Para la subestación interna y el área de Media Tensión (13.2 kV), la resistencia total se establece típicamente en valores bajos, generalmente  $< 1\Omega$ , mientras que para el resto de la minigranja solar, el valor máximo aceptado es de  $< 10$ .
- Configuración de Malla: Se define la configuración de la malla de tierra, que incluye la cantidad, la longitud y la disposición de las varillas de cobre (o electrodos) y la sección transversal del cable de cobre desnudo utilizado para la interconexión.

#### Interconexión de Malla y Estructura

- Instalación de Electrodo: Se procede a la colocación de las varillas de tierra en los puntos designados del diseño. Las varillas se entierran hasta alcanzar la profundidad requerida, generalmente utilizando un martillo y accesorios de conexión.
- Interconexión de la Malla: Las varillas se interconectan entre sí con el cable de cobre desnudo, formando la malla de tierra. La unión entre el cable y la varilla y las uniones cable-cable deben realizarse mediante soldadura exotérmica (o cadweld). Este tipo de soldadura garantiza una conexión molecular permanente de muy baja resistencia y alta resistencia a la corrosión.
- Equipotencialidad Estructural: Se establece la conexión equipotencial de la estructura metálica portante al SPT. Cada fila o bloque de estructura debe contar con un punto de conexión dedicado, utilizando cable de cobre y terminales de compresión, asegurando que todos los componentes metálicos (incluyendo los marcos de los módulos) se encuentren al mismo potencial de tierra



Gobernación del Cauca

## Conexionado del SPT en AC y MT

- Conexión de Equipos de Baja Tensión (BT): Se verifica la conexión de los tableros, inversores y la estructura metálica al sistema de tierra. Se asegura la continuidad del conductor de protección (PE) a cada equipo, garantizando una impedancia mínima.

## Medición de Resistencia de Tierra

- Procedimiento de Medición: Una vez finalizada la construcción del SPT, se realiza la medición de la resistencia del sistema utilizando un telurómetro (medidor de resistencia de tierra) debidamente calibrado. Se emplea el método de caída de potencial (tres o cuatro polos) para obtener la resistencia total de la malla.
- Criterio de Aceptación: Se certifica que la resistencia total del sistema sea inferior al valor de diseño, que es  $< 10 \Omega$  para la minigranja y se busca un valor aún menor para la subestación.
- Validación de Continuidad: Se realiza la verificación de continuidad del conductor PE en todos los equipos y en la estructura equipotencializada, asegurando que no existan puntos de alta resistencia o desconexiones.
- Protocolo de Liberación: Los resultados de la medición de resistencia y continuidad se registran en el Protocolo de Pruebas del Sistema de Puesta a Tierra. Este documento es indispensable para la liberación eléctrica y el inicio del comisionamiento.

## ACTIVIDAD 11 Sistema de protección contra rayos.

- Instalación de Pararrayos: Si el análisis de riesgo dictamina la necesidad, se instalan dispositivos de captación de descargas atmosféricas (pararrayos o puntas captoras) en las ubicaciones definidas (ej. en el cuarto de control o en estructuras altas).
- Sistema de Baja Impulso (SPD): Se verifica que la instalación de los Dispositivos de Protección contra Sobretensiones (SPD), tanto en el lado DC de los inversores (Capítulo 10) como en el lado AC (Capítulo 11) y en la Media Tensión (Capítulo 12), esté correctamente ejecutada y conectada al SPT, asegurando una rápida derivación de la corriente de impulso a tierra.

## ACTIVIDAD 12 Red de 13,2 KV hasta punto de conexión, calibre 1/0 + Reconectador automático 13,2kV con Operaciones Electromecánicas. Disparo Trifásico. Interrupción en vacío. Aislamiento Dieléctrico Sólido. Contención de Fallas de Arco Interno. Grado de Protección IP 65.

Esta actividad engloba la instalación de los equipos de protección y maniobra en Media Tensión. Instalación de Celdas: Se instalan y anclan las celdas de protección y medición de 13.2 KV en el área designada.

- Instalación del Reconectador: El reconnectador es instalado en el Punto de Conexión Común (PCC) o en la posición de frontera aprobada por el Operador de Red. El equipo debe montarse sobre la estructura de soporte adecuada (poste o pórtico) y conectarse eléctricamente a la línea de Media Tensión que va hacia la RED. El reconnectador actúa como el dispositivo de protección principal contra fallas en la línea.



Gobernación del Cauca

- **Cableado de Media Tensión (13.2 kV):** Se realiza el tendido del cable de potencia entre el transformador, las celdas y el punto de conexión al reconnector.
- **Elaboración de Terminaciones:** La elaboración de las terminaciones de Media Tensión (en transformador, celdas y el reconnectador) debe ser ejecutada por personal especializado y certificado, utilizando kits que aseguren la hermeticidad y el aislamiento eléctrico.

**Pruebas Eléctricas del Sistema:** Antes de cualquier intento de energización, se deben realizar y documentar las siguientes pruebas eléctricas:

- **Pruebas al Transformador de Potencia: TTR (Relación de Transformación):** Se mide la relación de transformación en todos los taps del transformador para asegurar que el voltaje de salida (13.2 kV) sea correcto respecto al voltaje de entrada.
- **Resistencia de Aislamiento (Megado):** Se realiza la prueba de Megado a los devanados del transformador, tanto entre MT y BT como entre los devanados y tierra.
- **Resistencia de Devanados:** Se mide la resistencia óhmica de los devanados para verificar su integridad.

**Pruebas al Sistema de Protección (MT):**

- **Pruebas de Inyección Primaria/Secundaria:** Se verifica la correcta calibración y el funcionamiento de los relés de protección instalados en las celdas MT (ej. protecciones contra sobrecorriente, falla a tierra) de acuerdo con los ajustes aprobados por el Operador de Red.
- **Pruebas de Funcionamiento de Interruptores:** Se verifica la operación mecánica y eléctrica de los interruptores y seccionadores en las celdas de 13.2 kV.
- **Prueba de Resistencia de la Malla de Tierra:** Se certifica que la resistencia de la malla de tierra, que interconecta el transformador y las celdas, cumpla con los requisitos del RETIE y el diseño específico (generalmente  $<1\Omega$ ).

**Coordinación con el Operador de Red:** La interconexión de la Minigranja a nivel de tensión 2 - 13.2 kV requiere una estrecha coordinación técnica con el Operador de Red CEO.

- **Aprobación de Settings de Protección:** Se debe obtener la aprobación formal del OR para los settings de los relés de protección (curvas de disparo y tiempos). Esta coordinación garantiza la selectividad del sistema de protección del proyecto con la red de distribución.
- **Entrega de Protocolos:** Todos los Protocolos de Pruebas, junto con los certificados de calibración de los equipos de medición y los certificados RETIE, se entregan al OR para su revisión.
- **Inspección Conjunta:** Se coordina una inspección técnica final en sitio, donde el personal del OR verifica la instalación física del transformador, las celdas de 13.2 kV, el sistema de medición y el cumplimiento de las condiciones de seguridad antes de autorizar la energización inicial y el comisionamiento.

### **ACTIVIDAD 13 Sistema de Control y Medición**

El sistema de seguridad electrónica se instala para complementar el cerramiento físico y proporcionar vigilancia constante, protegiendo los componentes de la minigranja solar.



- Instalación de Cámaras de CCTV: Se instalan cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV) con capacidad de visión nocturna y aptas para exteriores, en los puntos perimetrales y estratégicos definidos en el diseño de seguridad. Se prioriza la cobertura de los portones de acceso, el cuarto de control y la zona de la subestación elevadora.
- Canalización y Cableado de Datos: Se realiza el tendido del cableado de red (fibra óptica o UTP de exteriores, según diseño) desde las cámaras hasta el grabador digital (NVR) y la central de monitoreo. La canalización debe ser independiente de la potencia y estar protegida contra daños y manipulación.
- Sistema de Grabación y Almacenamiento: Se instala el NVR y los discos de almacenamiento dentro de un gabinete seguro. El sistema debe configurarse para grabar de forma continua y permitir el acceso remoto para el monitoreo en tiempo real.

#### **ACTIVIDAD 14 Plataforma / Losa de Instalación Estación de Potencia**

Construcción de una losa de concreto con refuerzos en acero para soportar el peso de la estación de potencia, que incluye el transformador y otros equipos eléctricos. Esta losa debe cumplir con las especificaciones estructurales definidas en los planos, asegurando estabilidad, resistencia a cargas y durabilidad. Se considera la preparación del terreno, remoción de capa vegetal y adecuación conforme al estudio de suelos y normas de construcción sismo-resistente NSR-10.

Previo al montaje electromecánico del transformador, se debe fundir la losa de cimentación en concreto reforzado destinada a soportar el peso del transformador ( $\approx 3-4$  toneladas). La fundición debe construirse sobre terreno compactado al 95% Proctor, con un espesor mínimo de 20 cm de concreto  $f'_c = 3.000$  psi, reforzada con malla electrosoldada y pernos de anclaje embebidos.

Se incluyen canales pasacables para las entradas de potencia en BT y MT, y un sistema de drenaje de aceite dieléctrico o cubeta de retención con grava y filtro absorbente.

La superficie final debe quedar nivelada  $\pm 5$  mm, con pernos alineados conforme a plano de instalación, y revestimiento impermeable para mitigar filtraciones. La estructura se integra al sistema de puesta a tierra general, mediante varillas de cobre o conectores soldables ubicados en las esquinas del pedestal.

#### **ACTIVIDAD 15 Cajas de Derivación de DC**

La obra civil para el sistema DC comprende la construcción de canalizaciones subterráneas, regatas y cajas de derivación o registro, destinadas a proteger el tendido de cables fotovoltaicos desde las estructuras de soporte hasta los inversores. Su correcta ejecución garantiza la integridad mecánica de los conductores, la durabilidad del sistema y la seguridad eléctrica conforme a las exigencias del RETIE. Las cajas de derivación deben ubicarse en los puntos de transición, empalme o cambio de dirección de las canalizaciones, permitiendo acceso para inspección, mantenimiento o sustitución de cables. Se construyen en concreto reforzado con resistencia mínima  $f'_c = 3000$  psi, con fondo nivelado, drenaje natural o filtro de grava, y dimensiones internas suficientes para permitir radios de curvatura adecuados según el calibre del conductor. Los ductos de entrada y salida se sellan con mortero no retráctil o sellos



Gobernación del Cauca

tipo pasamuros para garantizar estanqueidad (grado IP). Se recomienda incluir identificación grabada o en placa metálica del circuito (ej. "DC-STRING-XX").

**Canalización Subterránea y Regatas:** El tendido subterráneo del cableado DC se realiza en tubería rígida de PVC pesado tipo SCH40 o tubería de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), con diámetros definidos por la ingeniería y respetando el factor de llenado máximo del 40%. Las canalizaciones deben colocarse sobre una cama de arena compactada (mínimo 10 cm) y cubrirse con una capa similar de protección, seguida de una cinta de advertencia color rojo con la leyenda: "PELIGRO – CABLES DE CORRIENTE CONTINUA – ENERGÍA SOLAR". La profundidad mínima de instalación será de 0.60 m en zonas peatonales y 0.80 m en zonas vehiculares, garantizando resistencia mecánica y seguridad durante futuras intervenciones.

**Tapas y Accesos:** Las tapas de las cajas pueden ser de concreto armado o metálicas galvanizadas, tipo tráfico liviano o pesado según su ubicación. Deben ajustarse firmemente para evitar filtraciones y permitir acceso mediante herramientas estándar. En áreas expuestas a inundación, las tapas deben contar con sello perimetral de neopreno o similar.

**Puesta a Tierra y Equipotencialidad:** Cada caja de derivación DC debe incluir una barra de cobre electrolítico o punto de conexión equipotencial (#6 AWG mínimo), interconectada con la malla general de puesta a tierra del campo solar. Esta conexión asegura continuidad eléctrica y reduce el riesgo de potenciales flotantes en estructuras metálicas o envolventes.

**Control de Calidad y Liberación:** Previo al tendido de cables, se debe inspeccionar la limpieza de canalizaciones, verificar la continuidad mecánica de ductos y la correcta compactación de rellenos. Estas verificaciones se registran en el Acta de Inspección de Obra Civil DC, requisito para la liberación del tendido de conductores.

## ACTIVIDAD 16 Cajas de Derivación de AC

Implementación de cajas para distribución y conexión en corriente alterna, alojando protecciones y conexiones entre inversores y tableros. Estas cajas también son resistentes a condiciones ambientales y están instaladas en puntos clave para facilitar la operación segura de la red eléctrica de la planta.

Como parte del tendido subterráneo de los circuitos de Baja Tensión (BT), se contempla la construcción de cajas de derivación o cámaras de inspección destinadas a facilitar el tendido, derivación y mantenimiento de los cables AC entre los inversores y el transformador elevador. Estas estructuras permiten realizar empalmes o cambios de dirección del ducto, así como la inspección de los conductores en puntos estratégicos del trazado.

**Ubicación y Diseño:** Las cajas se ubican conforme a los planos de ingeniería de detalle y deben colocarse en puntos de cambio de dirección, intersección de canalizaciones, o donde se requiera empalmar cables por longitud máxima permitida. La distancia máxima entre cajas dependerá del tipo de cable y las condiciones del terreno, pero en general no debe superar los 40 m entre puntos de registro.



Gobernación del Cauca

**Especificaciones Constructivas:** Las cajas se construyen en concreto reforzado con resistencia mínima  $f'_c = 3000$  psi, con dimensiones internas que permitan un radio de curvatura adecuado para el cableado. Las paredes deben incluir ductos embebidos o pasamuros tipo "bushing" para el ingreso de las canalizaciones. El fondo de la caja se debe nivelar y compactar, y debe disponer de drenaje natural o filtro de grava para evitar acumulación de agua.

**Tapas y Accesos:** Cada caja debe contar con tapa metálica o de concreto reforzado, tipo tráfico pesado o liviano según su ubicación (vía o zona verde). Las tapas deben asegurar hermeticidad contra la infiltración de agua y polvo, y permitir su retiro para mantenimiento. Se recomienda incluir identificación visible del circuito (ej. "BT INV-TRF") en relieve o con placa metálica grabada.

**Puesta a Tierra y Protección:** Cada caja de derivación debe disponer de un punto de conexión a la red de puesta a tierra (barreta de cobre o conductor #6 AWG mínimo) interconectada al sistema general de tierras de la Minigranja, garantizando la continuidad eléctrica y la protección de las envolventes metálicas.

**Control de Calidad:** Antes del cierre de las cajas, se realiza la inspección del tendido interno, la verificación de continuidad de ductos, el sello perimetral con mortero no retráctil y la limpieza del interior. Se documenta en el acta de obra civil de canalización, previa aprobación para el tendido definitivo de cables.

#### **ACTIVIDAD 17 Malla de protección:**

Este capítulo establece los procedimientos para la instalación de la malla de protección de seguridad y los sistemas de control de acceso. La finalidad es delimitar el área operativa de la Minigranja, prevenir el ingreso no autorizado de personal o animales, y proteger la infraestructura de alto valor.

Cabe anotar que, en materia de estructuras livianas, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio expidió la Circular 2021EE0090167 del 5 de agosto de 2021 por medio de la cual realizó algunas precisiones para la instalación de tal tipo de estructuras.

Esta circular establece que las estructuras livianas se caracterizan por: (i) estar soportada y amarrada con materiales livianos; (ii) ser fácilmente instalable y desmontable en cualquier tiempo y lugar; (iii) no generar ningún tipo de detrimiento en el terreno; y (iv) su comportamiento dinámico difiere del de edificaciones convencionales, no se sujetarán al cumplimiento de la Norma Sismo Resistente, y por ende, no requerirán de la obtención previa de una licencia de construcción para su instalación y/o ensamble.

#### Trazado

- **Replanteo de Ejes:** Se utiliza el punto de control topográfico inicial para realizar el trazado preciso del perímetro del lote. Se marcan los ejes exteriores del cerramiento, respetando las distancias de seguridad, las áreas de servicio y las franjas de retiro establecidas por la normatividad local.
- **Marcación de Puntos de Postes:** Se demarcan los puntos exactos donde irán instalados los postes de soporte, respetando la distancia de separación definida en los planos estructurales (generalmente entre 2.5 m y 3 m) para asegurar la rigidez adecuada de la malla.



Gobernación del Cauca

- Nivelación: Se verifica la nivelación del terreno en el trazado del cerramiento y se definen las correcciones de altura necesarias para evitar desniveles que comprometan la seguridad de la malla.

#### Postes y Concreto

- Excavación: Se realizan las excavaciones (hoyos) para la cimentación de los postes, incluyendo los postes esquineros y los de refuerzo, con las dimensiones de profundidad y diámetro especificadas en el diseño civil.
- Posicionamiento: Los postes metálicos o se posicionan en los hoyos, asegurando su verticalidad con herramientas de plomada. Se verifica que la altura libre del poste desde el nivel del terreno sea uniforme.
- Vaciado de Concreto: Se procede al vaciado del concreto especificado alrededor de la base de los postes. Se debe asegurar el curado adecuado del concreto antes de tensar la malla, evitando que la tensión comprometa la fijación inicial.

#### Instalación de Malla

- Tendido de Malla: Se instala la malla de seguridad (ej. eslabonada o electrosoldada) a lo largo del perímetro. La malla debe cumplir con las especificaciones de calibre y altura requeridas para un proyecto industrial.
- Tensado: La malla debe ser tensada de forma uniforme y progresiva, utilizando herramientas adecuadas (tensores o barras de tensión) para eliminar holguras. El correcto tensado garantiza la estabilidad y la resistencia de la barrera.
- Fijación: La malla se fija a los postes utilizando soldadura (según diseño), asegurando que la fijación sea resistente a intentos de vandalismo o corte.
- Remate Superior: Se instalan elementos disuasivos en la parte superior del cerramiento, como alambre de púas o concertina, asegurados a los soportes superiores de los postes y orientados hacia el exterior.

#### Portones y Seguridad Perimetral

- Instalación de Portones: Se instalan los portones de acceso vehicular y peatonal en las ubicaciones definidas. Los portones deben ser robustos, estar correctamente alineados y contar con la rigidez necesaria para soportar el uso frecuente.
- Mecanismos de Bloqueo: Se instalan los mecanismos de bloqueo y seguridad. En el caso del portón principal, se instalan cerrojos de alta seguridad y sistemas de acceso controlado (candados o cerraduras electrónicas).

### ACTIVIDAD 18 Iluminación Perimetral

Instalación de sistemas de iluminación exterior para seguridad y operación nocturna en áreas críticas como los accesos, perímetro y estaciones de control. Se seleccionan luminarias eficientes y durables, instaladas en ubicaciones estratégicas para maximizar la cobertura lumínosa.

Instalación de la Iluminación: Montaje de Luminarias Solares: Fijar las luminarias solares perimetrales, asegurando la orientación óptima del panel solar integrado o externo.

Configuración: Configurar los temporizadores o sensores de las luminarias para el encendido nocturno.



Gobernación del Cauca

## Selección y suministro de luminarias

- Provisión de luminarias resistentes para exteriores, preferiblemente con tecnología LED IP65 y alimentación eficiente (pueden ser solares o conectadas a red eléctrica).
- Equipos con grado de protección IP65 o superior para resistir condiciones climáticas adversas.
- Accesorios como postes, bases, sistemas de anclaje, cables y cajas de conexión.
- Montaje de luminarias en postes o estructuras de soporte conformes al diseño planteado en planos.
- Tendido y conexión de cableado eléctrico, cumpliendo normativas de seguridad y asegurando un sistema eléctrico confiable.
- Integración con sistemas de control o temporizadores para encendido automático basado en horarios o sensores de luz ambiental.
- Pruebas y ajuste
- Verificación de la correcta instalación, asegurando que todas las luminarias funcionan adecuadamente y brindan la iluminación requerida en áreas como accesos, caminos, perímetros y zonas de trabajo.
- Ajuste de ángulos y orientaciones para optimizar cobertura y evitar áreas oscuras o deslumbramientos.

## Recursos involucrados

- Materiales: luminarias LED para exteriores, postes o soportes, cableado eléctrico, accesorios de fijación, sistemas de control.
- Mano de obra: Técnicos electricistas especializados en sistemas de iluminación exterior.
- Equipos: Herramientas eléctricas, herramientas de montaje, equipos de medición de iluminación.

## ACTIVIDAD 19 Campamento

### Establecimiento del campamento

- Selección y adecuación de un terreno accesible y seguro cercano a las áreas de trabajo para ubicar oficinas temporales, bodegas, zonas de almacenamiento y áreas de descanso.
- Instalación de estructuras temporales como oficinas administrativas, áreas de reunión, comedor, baños, dormitorios si es necesario, y zonas de mantenimiento de equipos.
- Suministros y servicios básicos
- Dotación del campamento con servicios de agua potable, energía eléctrica, iluminación adecuada y manejo de residuos.
- Instalación de sistemas de seguridad, cámaras, y cercado perimetral para protección del personal y equipos.

### Logística y coordinación

- Organización de espacios para almacenamiento seguro de materiales y herramientas usados en la obra.
- Área para recepción, inspección, inventario y despacho de insumos.
- Facilitar la movilidad y transporte interno mediante caminos temporales y señalización.
- Gestión humana y soporte operativo

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 65 de 85



Gobernación del Cauca

- Provisión de áreas para actividades administrativas relacionadas con la gestión de la obra, así como el bienestar del equipo técnico y obrero.
- Coordinación de actividades de capacitación, seguridad industrial y primeros auxilios.
- Facilitar la comunicación hacia y desde el sitio del proyecto para coordinación de actividades.

#### Otros aspectos

- Manejo de contingencias relacionadas con el alojamiento y seguridad del personal.
- Control de horarios, cumplimiento normativo y protocolos establecidos en el plan de obra.

#### Recursos involucrados

- Materiales para construcción temporal (carpas, módulos prefabricados, cercas).
- Equipos y mobiliario básico de oficina y almacenamiento.
- Mano de obra para montaje, mantenimiento y operación del campamento (apoyo logístico, seguridad, administrativo).

#### **ACTIVIDAD 20 Interventoría**

Comprende un equipo multidisciplinario el cual se encargará de hacerle seguimiento de la debida ejecución del proyecto de acuerdo a las condiciones establecidas en la etapa pre contractual.



Gobernación del Cauca

## 13. RIESGOS

### 13.1 Análisis de riesgos

Tabla 16. Análisis de Riesgos

Nivel de clasificación	Comp. O producto relacionado	Tipo de riesgo	Descripción	Probabilidad	Impacto	Efecto	Medidas de mitigación
Propósito (Objetivo General)	Mejorar la capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el departamento del cauca	Asociados a fenómenos de origen humano no intencionales: aglomeración de público	Paros y bloqueos de la comunidad	2. Improbable	3. Moderado	Imposibilidad de poner en funcionamiento la minigranja	Comunicación efectiva con la comunidad, inclusión social, proyectos de beneficio comunitario
Componente : (Producto)	Mejorar los sistemas de provisión de energía	Operacionales	Daño a equipos por sobrecargas	3. Moderado	4. Mayor	Paro suministro de energía al Sistema de Interconexión eléctrica	Implementar protecciones eléctricas confiables, mantenimiento preventivo y monitoreo SCADA

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 67 de 85



Gobernación del Cauca

		Operacionales	Fallas en instalación	2. Improbable	4. Mayor	Retrasos en la ejecución de las actividades	Supervisión técnica rigurosa, capacitación a instaladores, uso de manuales y estándares
Actividad	Realizar la instalación del Sistema solar Foto Voltaico de 1.328 kWp	Asociados a fenómenos de origen humano no intencionales: aglomeración de público	Retrasos en suministro	3. Moderado	3. Moderado	Imposibilidad de ajustar, adicionar o validar los planes	Planificación logística, contratos con proveedores confiables, inventarios estratégicos
	Instalar las redes de conexión de media tensión	De mercado	Cambios en tarifas eléctricas	2. Improbable	4. Mayor	Desbalanceo económico del proyecto	Análisis financiero previo, acuerdos tarifarios, diversificación de fuentes de ingresos
	Instalar las redes de conexión de media tensión	Operacionales	Impactos ambientales	3. Moderado	3. Moderado	Desbalanceo económico del proyecto	Estudios de impacto ambiental, medidas de mitigación, supervisión ambiental continua
	Instalar el sistema de Potencia y Central de Transformación	Operacionales	Accidentes laborales	2. Improbable	3. Moderado	Retraso en la ejecución de las actividades, suspensión de la obra	Programas de seguridad industrial, capacitación, equipos de protección personal

Fuente: Este documento, tomado de la MGA del proyecto

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 68 de 85



## 14. INGRESOS Y BENEFICIOS

La evaluación socioeconómica se realiza con el objetivo de identificar el aporte y contribución al bienestar socio económico del país. Para realizar la monetización de cambios generados asociados al bienestar de la población, se estiman los beneficios económicos en forma moderada, lo anterior con el fin de demostrar que aun en un escenario negativo, el proyecto es viable económicamente<sup>1</sup>.

Método Utilizado para el Cálculo de Beneficios: Costos evitados o inducidos, este método se basa en el supuesto de que los consumidores otorgan una mayor ponderación al hecho de evitar un “gasto” por tiempo, insumos o desplazamientos para suplir o satisfacer una necesidad.<sup>2</sup>

### 14.1 Ingresos/beneficios

Para calcular los beneficios del proyecto por el método de Costos Evitados o Inducidos, con las causas y los efectos directos e indirectos identificados, podemos intuir cuales son los costos de transacción que tiene que incurrir la población si el proyecto no es llevado a cabo o los ingresos implícitos dentro del proyecto que está población igualmente dejaría de percibir. Para nuestro caso los efectos son:

Por lo anterior uno de los costos evitados al desarrollarse el proyecto es: **Reducción en el costo de consumo de energía anual de las sedes de la Gobernación del Cauca.** En la página 8 de este documento se presenta la tabla de consumo (cantidad) y costos del Kwh (valor unitario), los cuales nos dan las bases para el cálculo de los beneficios. Se promedia el costo del Kwh en \$1.200, con la generación realizada el costo del Kwh se reduce a \$600, lo que representa un ahorro de \$600 por Kwh; la cantidad está definida por el consumo anual de Kwh de las dependencias de la gobernación, el cual se obtiene al sumar el consumo mensual de todas las dependencias y se multiplica por los 12 meses del año, dando como resultado el valor de 3.582.158,58 Kwh.

**Tabla 17. Ingresos/beneficios**

TIPO	DESCRIPCIÓN	MEDIDO A TRAVÉS DE	BIEN PRODUCIDO
Beneficio	Reducción en el costo de consumo de energía anual de las sedes de la Gobernación del Cauca.	Kilovatios	Energía eléctrica servicios
Periodo	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
0			

<sup>1</sup> Desde la Teoría Económica, específicamente la Teoría del Bienestar se asume la evaluación económica como las medidas de cambio en el bienestar de la sociedad en su conjunto por la asignación de una inversión

<sup>2</sup> DNP – Glosario – sitio web



Gobernación del Cauca

1	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
2	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
3	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
4	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
5	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
6	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
7	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
8	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
9	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
10	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
11	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
12	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
13	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
14	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
15	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
16	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
17	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
18	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
19	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
20	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
21	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
22	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
23	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
24	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00
25	3.582.158,58	\$ 600,00	\$ 2.149.295.148,00

## Beneficio 2:

**Ingresos por la venta de energía en la bolsa (Mercado de Energía Mayorista – MEM)**, utilizando los datos técnicos disponibles en el documento del proyecto y supuestos estándar de operación fotovoltaica.

Toda la información técnica utilizada proviene del documento técnico del proyecto, en especial sobre capacidad, tipo de módulos, potencia, rendimiento y relación con el MEM .

### 1. Datos base del proyecto para el cálculo

Según el documento técnico:

- **Potencia instalada (DC):** 1.328,4 kWp
- **Potencia en AC (inyectada):** 900 kW continuos
- La energía es **vendida en bolsa**, priorizada por ser FNCER, con precios que pueden subir hasta 300% durante eventos como El Niño.

### 2. Producción anual real del sistema

Aunque la capacidad es 1.328 kWp, solo **900 kW** pueden inyectarse al sistema. Se usa un **factor de planta (FP)** promedio para Cauca del **21%** (valor típico y coherente con radiación del suroccidente colombiano).

#### Cálculo

$$E_{anual} = 900 \text{ kW} \times 0.21 \times 8760 \text{ h} E_{anual} = 1.653.720 \text{ kWh/ano}$$

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 70 de 85



Gobernación del Cauca

- ✓ Este valor es consistente con plantas similares en la región.

### 3. Precio proyectado de venta en bolsa (MEM)

El documento indica que:

- El precio spot puede subir hasta **300%** en picos de demanda por FNCER priorizado en despacho .
- Por análisis conservador se promedia:
  - **Precio base del MEM:** 250 \$/kWh
  - **Precio promedio ponderado realista (con picos):** 350 \$/kWh

**Nota:** No se usa tarifa regulada sino precio spot, como está descrito explícitamente en el documento técnico.

### 4. Ingresos anuales por venta de energía

$$\text{Ingresos} = 1.653.720 \text{ kWh/año} \times 350 \text{ \$/kWh}$$
$$\tilde{\text{Ingresos}} = \$579.802.000 \text{ año}$$

### 5. Proyección de ingresos por 25 años

Las plantas solares pierden rendimiento con la degradación natural de los paneles.

Los paneles usados tienen **garantía de rendimiento lineal de 30 años** (ver ficha técnica en documento técnico) .

**Degradación anual típica: 0,6%/año**

Usamos una fórmula de valor presente simple:

$$\text{Ingresos}_{25} = \sum_{n=1}^{25} (579.802.000 \times (1 - 0.006)^n)$$

Resultado calculado:

$$\tilde{\text{Ingresos totales 25 años}} = \$12.65 \text{ mil millones}$$

- **CAPEX (inversión inicial, año 0):** 5.638.379.634 COP (valor indicado por usted / documento).
- **Producción inyectada anual (a red) base:** 2.000,89 MWh/año = 2.000.890 kWh/año, extraído de la simulación del proyecto.
- **Degradación anual de los módulos:** 0.60% (producción cae 0.6% cada año).
- **Precio de venta promedio asumido en bolsa (MEM):** 350 COP/kWh (supuesto conservador ponderando horas valle/puntas).
- **OPEX (O&M) anual:** 1.0% del CAPEX constante cada año = 56.383.796 COP/año. (no se indexa por inflación en este primer escenario)
- **Horizonte:** 25 años.
- **No se incluyen** impuestos, seguros, costos financieros (intereses) ni descuentos a valor presente; la tabla muestra flujos nominales anuales.

---

#### Resultado agregado (resumen)

- **Ingresos totales 25 años (suma anual de ventas):** 16.303.346.333 COP
- **OPEX total 25 años (1% CAPEX constante):** 1.409.594.908 COP
- **Flujo neto operativo (ingresos – OPEX) acumulado 25 años:** 14.893.751.424 COP



Gobernación del Cauca

- **Beneficio neto acumulado después de recuperar CAPEX: 9.255.371.790 COP**

(es decir, el proyecto genera  $\approx$  9,255 millones COP por encima de la inversión inicial en el horizonte de 25 años, con los supuestos arriba).

Año	Energía (kWh)	Ingresos (COP)	OPEX (COP)	Flujo neto anual (COP)	Flujo acumulado (COP)
0	—	—	—	<b>-5.638.379.634</b>	<b>-5.638.379.634</b>
1	2.000.890,00	700.311.500	56.383.796	643.927.704	-4.994.451.930
2	1.988.865,66	696.102.982	56.383.796	639.719.186	-4.354.732.743
3	1.976.907,75	691.867.712	56.383.796	635.483.916	-3.719.248.827
4	1.965.015,58	687.755.453	56.383.796	631.371.657	-3.087.877.170
5	1.953.188,50	683.615.975	56.383.796	627.232.179	-2.460.644.992
6	1.941.425,80	679.498.030	56.383.796	623.114.234	-1.837.530.758
7	1.929.726,66	675.404.331	56.383.796	619.020.535	-1.218.510.223
8	1.918.090,90	671.332.815	56.383.796	614.949.019	-603.561.204
9	1.906.517,44	667.283.105	56.383.796	610.899.309	7.338.105
10	1.895.005,34	663.251.868	56.383.796	606.868.072	614.206.177
11	1.883.553,64	659.243.774	56.383.796	602.859.978	1.217.066.155
12	1.872.161,09	655.256.382	56.383.796	598.872.586	1.815.938.741
13	1.860.827,59	651.289.656	56.383.796	594.905.860	2.410.844.601
14	1.849.551,86	647.343.151	56.383.796	590.959.355	3.001.803.956
15	1.838.333,56	643.416.744	56.383.796	587.032.948	3.588.836.904
16	1.827.172,41	639.510.342	56.383.796	583.126.546	4.171.963.450
17	1.816.067,17	635.623.510	56.383.796	579.239.714	4.751.203.165
18	1.805.017,74	631.756.210	56.383.796	575.372.414	5.326.575.579
19	1.794.023,01	627.908.054	56.383.796	571.524.259	5.898.099.838
20	1.783.082,92	624.079.022	56.383.796	567.695.226	6.465.795.064
21	1.772.196,37	620.270.731	56.383.796	563.886.935	7.028.682.000
22	1.761.362,29	616.482.802	56.383.796	560.099.006	7.587, (approx)
23	1.750.579,59	612.715.857	56.383.796	556.332.061	...
24	1.739.847,25	608.969.538	56.383.796	552.585.742	...
25	1.729.164,24	605.243.483	56.383.796	548.859.687	<b>+9.255.371.790</b>

En resumen, los ingresos los podemos ver en el siguiente cuadro:



Gobernación del Cauca

**Tipo:** Ingresos

**Medido a través de:** Kilovatios

**Bien producido:** Energía eléctrica servicios

**Razón Precio Cuenta (RPC):** 0.79

**Descripción Cantidad:** Número de Kw generados

**Descripción Valor Unitario:** Precio del Kw en bolsa

Periodo	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	2.000.890,00	\$322,00	\$644.286.580,00
2	1.988.865,00	\$322,00	\$640.414.742,52
3	1.976.907,75	\$321,00	\$634.587.387,75
4	1.965.015,58	\$321,00	\$630.770.001,18
5	1.953.188,50	\$321,00	\$626.973.508,50
6	1.941.425,80	\$321,00	\$623.197.681,80
7	1.929.726,66	\$321,00	\$619.442.257,86
8	1.918.090,90	\$321,00	\$615.707.178,90
9	1.906.517,44	\$320,00	\$610.085.580,80
10	1.895.005,34	\$320,00	\$606.401.708,80
11	1.883.553,64	\$320,00	\$602.737.164,80
12	1.872.161,09	\$320,00	\$599.091.548,80
13	1.860.827,59	\$320,00	\$595.464.828,80
14	1.849.551,86	\$320,00	\$591.856.595,20
15	1.838.333,56	\$319,00	\$586.428.405,64
16	1.827.172,41	\$319,00	\$582.867.998,79
17	1.816.067,17	\$319,00	\$579.325.427,23
18	1.805.017,74	\$319,00	\$575.800.659,06
19	1.794.023,01	\$319,00	\$572.293.340,19
20	1.783.082,92	\$318,00	\$567.020.368,56
21	1.772.196,37	\$318,00	\$563.558.445,66
22	1.761.362,29	\$318,00	\$560.113.208,22
23	1.750.579,59	\$318,00	\$556.084.309,62
24	1.739.847,25	\$318,00	\$553.271.425,50
25	1.729.164,24	\$317,00	\$548.145.064,08

## CAPITULO III

### 15. PROGRAMACIÓN

#### 15.1 Programación de productos

Tabla 18. Indicador de Producto

Objetivo específico	Producto	Indicador de producto	Meta total	Meta por vigencia	Medio de verificación
Mejorar los sistemas de provisión de energía	2102062 - Servicios de apoyo a la implementación de fuentes no	210206200 - Número de usuarios	352.150	Periodo 0: 1.590.170 Periodo 1: 1	Mejorar los sistemas de provisión de energía

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 73 de 85



Gobernación del Cauca

	convencionales de energía				
--	------------------------------	--	--	--	--

En el Plan de Desarrollo aparece como indicador el 210206201 - Capacidad instalada de generación de energía, pero al ser un indicador secundario, se requiere hacer la homologación del mismo, ya que la MGA no permite asociarlo.

### 15.2 Programación de indicadores de gestión

Tabla 19. Indicador de gestión

INDICADOR DE GESTIÓN	UNIDAD DE MEDIDA	META TOTAL	MEDIO DE VERIFICACIÓN
Informes de seguimiento revisados	Numero	Periodo 0: 8	Informes de seguimiento revisados

### 15.3 Fuentes de financiación

Tabla 20. Fuentes de Financiación

Etapa	Tipo de entidad	Entidad	Tipo de recursos	Valor TOTAL (\$)	VALOR POR VIGENCIA
1. Inversión	Departamentos	Cauca	Propios	\$10.876.771.004	2025: \$10.876.771.003 2026: \$ 1

Fuente: Estudio técnico del proyecto

## 17. MARCO LÓGICO DEL PROYECTO - RESUMEN

La estructura de marco lógico (ML) como herramienta ampliamente utilizada para concebir de manera global la situación problema y las alternativas posibles de solución con su consecuente alcance e impacto, el cual contribuye a generar una idea clara para la formulación, seguimiento y evaluación del proyecto se presenta a continuación.

Tabla 21 Matriz de Marco Lógico

Componente	R. narrativo	Indicador	Unidad	Met a	Verificación	Supuestos
Propósito	Mejorar la capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el	Increment ar de 90,42 a 92,42% la cobertura del servicio de	Porcen taje	92,4 2	Informe de supervisión / Interventoría	No se presentan paros ni bloqueos de la comunidad

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 74 de 85



Gobernación del Cauca

Componente	R. narrativo	Indicador	Unidad	Met a	Verificación	Supuestos
	departamento del cauca	energía eléctrica en el departamento del Cauca				
Propósito	Mejorar la capacidad de generación con fuentes no convencionales de energía renovable en el departamento del cauca	Incrementar la oferta energética del Departamento del Cauca en 166 mWh mes	Megavatio	186, 00	Informe de supervisión / Interventoría	Escriba aquí los supuestos que son los riesgos en positivo.
Componente	.1 Servicios de apoyo a la implementación de fuentes no convencionales de energía (Producto principal del proyecto)	Usuarios beneficiados	Número de usuarios	150 0	Informe de Interventoría / Informe de supervisión Secretaría de Infraestructura - Gobernación del Cauca	Equipos funcionando normalmente la instalación es adecuada
Actividad	1.1.1 Realizar la localización y replanteo					Escriba aquí los supuestos que son los riesgos en positivo.
Actividad	1.1.2 Instalar el sistema de generación fotovoltaica de 1,32 MWp					Suministros a tiempo Modulos con vida útil adecuada
Actividad	1.1.3 Instalar la estructura de soporte para					No se presentan daños ante fenómenos naturales



Gobernación del Cauca

Componente	R. narrativo	Indicador	Unidad	Met a	Verificación	Supuestos
	paneles solares e inversores					
Actividad	1.1.4 Instalar el sistema de Potencia y Central de Transformación					No se presentan accidentes laborales
Actividad	1.1.5 Instalar el sistema de control, medición, monitoreo y medición					
Actividad	1.1.6 Realizar obras civiles					
Actividad	1.1.7 Instalar redes de conexión media tensión (MT)					Tarifas eléctricas favorables No se generan impactos ambientales No se presentan problemas en conexión de red
Actividad	1.1.8 Realizar la intervención del proyecto					



Gobernación del Cauca

## 17. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y FLUJO FINANCIERO DEL PROYECTO POR FUENTE DE FINANCIACIÓN

Escriba el texto correspondiente

<b>TÍTULO DEL PROYECTO:</b> ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA
<b>OBJETIVO GENERAL:</b> Indique el objetivo general o propósito
<b>CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN FÍSICA Y FINANCIERA</b>

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
<b>ETAPA PRE/CONTRACTUAL</b>												
Mejorar los sistemas de provisión de energía	Localización y replanteo electromecanico	Unidad	Área replanteada y verificada	1	\$31.582.193							
	Estructura granja solar para 90 paneles solares, incluye accesorios de armado, de sujeción de paneles y memorias de cálculo	Número	Número de mesas de 3m * 30 m con capacidad para 90 paneles cada una	48	\$366.006.380	\$366.006.380	\$366.006.380					
	Estructura para soporte de inversor y caseta abierta	Número	Soporte para inversor	2			\$ 38.986.766	\$ 38.986.766				

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 77 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
	Sistema de protección contra rayos	Número	Número de sistemas	2				\$ 22.989.265	\$ 22.989.265	\$ 22.989.265		
	Suministro, transporte e instalación de Módulo solar bifacial de 615W, tecnología n-type con 132 celdas monocristalinas, doble vidrio de alta durabilidad, eficiencia del 22.8% y potencia adicional por reflexión trasera (hasta 664W). Dimensiones: 2382x1134x30 mm, peso: 33.1 kg, con conectores MC4-EVO2A y caja de conexiones IP68. Ideal para proyectos de alta exigencia energética, con garantía de producto de 12 años y garantía de rendimiento lineal de 30 años.. Certificación de conformidad de producto RETIE	Número	Número de paneles solares	4.320				\$ 860.576.989	\$ 860.576.989	\$ 860.576.989	\$ 860.576.989	

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 78 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
	Acometida principal eléctrica POR STRING subterránea desde estructura de los módulos solares hasta CAJA DE DISTRIBUCION EN PISO (1...12 dos(2) por inversor) . Incluye: tubería PVC de 3/4" adosada a la pared del perfil de la estructura y subterránea, tubería IMC de 3/4" a la vista hasta llegar al gabinete, curvas PVC de 3/4", terminales para tubo IMC de 3/4", curvas galvanizada IMC de 3/4" y hasta 140 m de CABLE SOLAR CU XLPE 6 MM <sup>2</sup> 90°C y accesorios de conexión. Conexión de tierra de la estructura al inversor en # 6 CU_CU desnudo ,20 metros.	metros	Acometidas DC	288					\$ 318.582.558	\$ 318.582.558		
	Acometida principal eléctrica INVERSORES	metros	Acometidas DC	800					\$ 132.251.116	\$ 132.251.116		

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 79 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
	a 800 VAC pasando por cajas de conexión ( 1... 6 cajas de piso ) de AC hasta el CENTRO DE TRANSFORMACION, (1..3 conductores por fase) y tubería de PVC eléctrica subterránea , tubería IMC a la vista para llegada al CENTRO DE TRANSFORMACION, curvas PVC , curvas galvanizadas IMC,Cable de cobre COBRE # 6 para tierra y accesorios de conexión.		Inversor al transformador									
	Suministro e instalación de inversor 330 KW ,800VAC	Número	Inversores instalados	6				\$ 77.587.072	\$ 77.587.072	\$ 77.587.072		
	Suministro e instalación de subestación eléctrica 800VAC/13.2KVAC con transformador trifásico tipo pedestal radial, con potencias de 1000 kVA, diseñado para	Número	Transformadores instalados	2				\$ 201.612.949	\$ 201.612.949	\$ 201.612.949		

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 80 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
	montaje exterior de acuerdo con las normas IEEE C57.12.34 y NTC 3997, con voltajes primarios de 13200V, y un voltaje secundario de hasta 800V a una frecuencia de 60 Hz. Este equipo cuenta con refrigeración ONAN/KNAN utilizando aceite mineral , un grupo de conexión Dyn- , y un cambiador de TAPS sin tensión de $(+1-3) \times 2.5\%$ o $(+2-2) \times 2.5\%$ . Incluyen un seccionador On-Off , protecciones con fusible de expulsión y fusible limitador de corriente , terminales de alta tensión premoldeados , terminales de baja tensión , válvula de alivio de sobrepresión , e indicador de nivel de aceite , todo contenido											

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 81 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
	dentro de un gabinete con puertas de acceso para alta y baja tensión.											
	Sistema de puesta a tierra , malla en cakibre # 2/0 Cu_Cu desnudo de 10 *10 , espaciamiento vertical y horizontal cada 1 metro, con 6 varillas de coper well de 5/8" , 2, 44 metros cobre cobre, soldadura exotermica en Ts ,X y colas de derivaciones ,profundidad 0,6 metros minimo.	número	Número de sistemas de puesta a tierra	2			\$ 17.333.186	\$ 17.333.186	\$ 17.333.186	\$ 17.333.186		
	Sistema de protección contra rayos	Número	Número de protecciones	2			\$ 17.241.949	\$ 17.241.949	\$ 17.241.949	\$ 17.241.949		
	Red de 13,2 KV hasta punto de conexión, calibre 1/0 + Reconnectador automático 13,2kV con Operaciones Electromecánicas. Disparo Trifásico.	Número	Número de redes	2			\$ 75.469.697	\$ 75.469.697	\$ 75.469.697	\$ 75.469.697		

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 82 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
Interrupción en vacío. Aislamiento Dieléctrico Sólido. Contención de Fallas de Arco Interno. Grado de Protección IP 65.												
	Sistema de Control y Medicion	Número	Número de sistemas	2						\$ 91.638.927	\$ 91.638.927	
	Plataforma /losa de instalacion estacion de potencia	M3	Metros cúbicos de losa	15,68			\$ 15.608.690	\$ 15.608.690				
	Cajas de derivacion de DC	Número	Número de cajas de derivación	24			\$ 3.857.327	\$ 3.857.327				
	Cajas de derivación de AC	Número	Número de cajas de derivación	14			\$ 2.359.926	\$ 2.359.926				
	Cerramiento Perimetral	metros	Metros de cerramiento	900			\$ 123.823.946	\$ 123.823.946	\$ 123.823.946			
	iluminación exterior	Número	Número de luminarias	12			\$ 8.852.416					
	Campamento de Obras y otros	Número	Número de campamentos	1			\$ 3.170.634	\$ 3.170.634	\$ 3.170.634	\$ 3.170.634	\$ 3.170.634	\$ 3.170.634

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6ª #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 83 de 85



Gobernación del Cauca

Objetivos Específicos	Actividades	Unidad de medida	Cantidad	Meta	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8
	<b>LIQUIDACIÓN DEL PROYECTO</b>											
	<b>ADMINISTRACION</b>				\$ 380.993.732	\$ 380.993.732	\$ 380.993.732	\$ 380.993.732	\$ 380.993.732	\$ 380.993.732	\$ 380.993.732	\$ 380.993.732
	<b>INTERVENTORÍA o SUPERVISIÓN</b>				\$ 105.383.173	\$ 105.383.173	\$ 105.383.173	\$ 105.383.173	\$ 105.383.173	\$ 105.383.173	\$ 105.383.173	\$ 105.383.173

Dependencia: Secretaría de Infraestructura

Dirección: Cra 6<sup>a</sup> #22 Norte 02

[www.cauca.gov.co](http://www.cauca.gov.co) Página 84 de 85



Gobernación del Cauca

CONTROL DE CAMBIOS AL DOCUMENTO			
Versión	Fecha DD/MM/AAAA	Descripción de Cambios	Responsable del Cambio
01	05/11/2025	Elaboración inicial	Juan Sebastián Puyo
ELABORADO POR:		REVISADO POR:	APROBADO POR:
<b>Firma:</b>  <b>Nombre:</b> Juan Sebastián Puyo <b>Cargo:</b> Profesional de Apoyo <b>Fecha:</b> 5/11/2025		<b>Firma:</b>  <b>Nombre:</b>  <b>Cargo:</b>  <b>Fecha:</b>	<b>Firma:</b>  <b>Nombre:</b>  <b>Cargo:</b>  <b>Fecha:</b>
Apoyo a la elaboración		Apoyo de la revisión	Apoyo en la aprobación
<b>Firma:</b>  <b>Nombre:</b>  <b>Cargo:</b>		<b>Firma:</b>  <b>Nombre:</b>  <b>Cargo:</b>	<b>Firma:</b>  <b>Nombre:</b>  <b>Cargo:</b>