

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO OFF-GRID (AISLADO DE LA RED ELÉCTRICA) PARA INSTITUCIONES EDUCATIVAS RURALES EN ZONA NO INTERCONECTADA (ZNI) DEL MUNICIPIO DE HATO COROZAL, DEPARTAMENTO DE CASANARE

DOCUMENTO TÉCNICO TIPO

Diseño técnico único, replicable en diez (10) sedes educativas rurales

Municipio de Hato Corozal, Casanare

Julio de 2026

CONTENIDO

CONTENIDO	2
1. Resumen Ejecutivo.....	3
2. Alcance y Objeto del Documento Técnico	4
3. Proyección de Consumo Energético Tipo de las Sedes Educativas Rurales.....	5
4. Criterios de Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico.....	6
4.1 Criterio de Radiación Solar Adoptado para el Diseño	6
4.2 Dimensionamiento del Arreglo Fotovoltaico	7
4.3 Dimensionamiento del Inversor Híbrido	8
4.4 Dimensionamiento del Banco de Baterías de Litio	9
5. Especificaciones Técnicas Mínimas de los Componentes del Sistema	10
5.1 Estructura Metálica Autosoportada	10
5.2 Paneles Solares Fotovoltaicos (PSFV).....	11
5.3 Inversor Híbrido	11
5.4 Banco de Baterías.....	13
5.5 Gabinete Metálico	13
5.6 Instalación Eléctrica Interior Off-Grid	14
5.7 Protecciones Eléctricas	14
5.8 Conductores y Canalizaciones Eléctricas	15
5.9 Sistema de Puesta a Tierra.....	16
6. Proceso Constructivo por Etapas	16
7. Garantías Mínimas Exigibles de los Componentes.....	17
8. Plan de Mantenimiento Preventivo	18
9. Marco Normativo Aplicable.....	18
10. Conclusiones y Recomendaciones Técnicas.....	20
Referencias.....	21
Anexo 1. Diagrama Unifilar del Sistema.....	23

1. Resumen Ejecutivo

El presente documento técnico sustenta, con carácter de diseño tipo único y replicable, el sistema solar fotovoltaico off-grid proyectado para diez (10) sedes educativas rurales del municipio de Hato Corozal, departamento de Casanare, ubicadas en Zona No Interconectada (ZNI). Cada sistema opera de manera autónoma, sin conexión a la red eléctrica convencional, mediante un arreglo de paneles monocristalinos, un banco de baterías de litio LiFePO₄ y un inversor híbrido, dimensionados para atender la carga estimada de iluminación, equipos de cómputo y demás dispositivos de uso escolar propios de cada sede.

El arreglo fotovoltaico entrega, en bornes, una energía bruta cercana a 9,2 kWh/día; descontadas las pérdidas propias del sistema (temperatura, cableado, eficiencia de conversión), cuantificadas mediante un factor de rendimiento (performance ratio) de 0,93, la energía neta disponible para la carga se sitúa en 8,6 kWh/día. El banco de baterías, de 51,2 VDC y 150 Ah (7,68 kWh de capacidad nominal de placa), ofrece un almacenamiento útil de diseño de 7,5 kWh; esta última cifra es la que gobierna el respaldo energético nocturno del sistema y coincide con la capacidad de almacenamiento fijada en el aviso de convocatoria del proceso SAMC-MHC-008-2026.

El documento desarrolla, en su orden, la proyección de consumo energético tipo, los criterios de dimensionamiento del sistema, las especificaciones técnicas mínimas de cada componente (formuladas con cláusula de equivalencia técnica para no restringir la pluralidad de oferentes), el proceso constructivo por etapas, las garantías mínimas exigibles, el plan de mantenimiento preventivo y el marco normativo vigente, incluyendo el régimen propio de los proyectos de energización en Zona No Interconectada.

2. Alcance y Objeto del Documento Técnico

El presente documento técnico define los criterios de diseño, la proyección de consumo energético, el dimensionamiento del sistema, las especificaciones técnicas mínimas de los componentes, el proceso constructivo, las garantías mínimas exigibles, el plan de mantenimiento preventivo y el marco normativo aplicable a un sistema solar fotovoltaico off-grid destinado a instituciones educativas rurales en Zona No Interconectada del municipio de Hato Corozal, Casanare.

Las diez (10) sedes objeto del proyecto (entre ellas las correspondientes a las veredas Corocito, Las Cruces, Girasoles, Guayacanes, Villa Julia, Cañales, El Oso y Matapalito) presentan características constructivas, población estudiantil y perfil de carga eléctrica equivalentes entre sí. Por esa razón, el presente documento constituye un diseño técnico tipo, único, aplicable de manera idéntica en las diez sedes, sin perjuicio de los ajustes puntuales de campo que cada localización particular pueda exigir: longitud real de las acometidas interiores, condiciones de acceso vehicular y orientación exacta del terreno disponible, entre otros.

El alcance comprende la descripción técnica de los componentes principales del sistema (estructura de soporte, módulos fotovoltaicos, inversor híbrido, banco de baterías, gabinete metálico e instalación eléctrica interior), los criterios técnicos de dimensionamiento, el proceso constructivo asociado a su montaje, las garantías mínimas exigibles, el plan de mantenimiento preventivo y las conclusiones sobre la pertinencia técnica de la solución para el contexto rural del municipio. Este documento no incluye el presupuesto de obra, el análisis de precios unitarios (APU) ni las cantidades de obra; esa información se desarrolla en los documentos económicos independientes del proceso de contratación.

3. Proyección de Consumo Energético Tipo de las Sedes Educativas Rurales

El dimensionamiento del sistema parte de una proyección de cargas tipo, representativa de las diez sedes educativas rurales, que agrupa iluminación, equipos de cómputo, dispositivos de conectividad y equipos periféricos de uso escolar. La tabla 1 detalla, dispositivo por dispositivo, la cantidad instalada, la tensión y potencia nominal, la corriente resultante, las horas de uso día y el consumo diario, tanto en energía como en amperios-hora.

Tabla 1

Proyección de cargas tipo por sede educativa rural

N.º	Dispositivo	Cant.	V (AC)	P (W)	I (A/h)	h/día	Wh/d	Ah/d
1	Bombillo LED 12 W	10	110-120	12	0,12	2,50	360	3,0
2	Cargador de celular	4	110-120	8	0,08	1,50	58	0,5
3	Licuadaora	1	110-120	600	6,00	0,10	72	0,6
4	Nevera clase A	1	110-120	50	0,50	24,00	1.440	12,0
5	Televisor LED + decodificador	1	110-120	200	2,00	3,00	720	6,0
6	Impresora multifuncional	1	110-120	450	4,50	1,00	540	4,5
7	Computador portátil	15	110-120	65	0,65	2,50	2.925	24,4
8	Equipos de conectividad (internet)	1	110-120	22	0,22	24,00	634	5,3
	TOTAL			1.407	14,1		6.748	56,3

La proyección de cargas de la tabla 1 corresponde a un perfil de consumo tipo y promedio, representativo de la composición estándar de equipos de una sede educativa rural del municipio; no está atada a la fecha específica en que se sensó la información de campo, sino a la tipología de carga que comparten, por diseño, las diez sedes objeto del proceso. El sistema incorpora, además, márgenes de escalabilidad explícitos que absorben variaciones futuras de la demanda sin requerir rediseño: un margen del 28 % en la potencia instalada del arreglo fotovoltaico frente al mínimo calculado (numeral 4.2), y un factor de 3,4 veces en la potencia nominal del inversor frente a la demanda instantánea máxima (numeral 4.3). Si la institución educativa requiere en el futuro

ampliar la generación fotovoltaica o el banco de baterías, el inversor seleccionado admite esa ampliación sin necesidad de reemplazo, conforme se explica en el numeral 4.3. Por esa razón, la actualización de este documento a julio de 2026 se concentra en el marco normativo vigente y en las precisiones técnicas de los componentes, sin modificar la línea base de consumo que sustenta el diseño avalado para el proceso.

La potencia total conectada asciende a 1.407 W (14,1 A), suma de la potencia unitaria de cada dispositivo relacionado, con independencia de su horario de uso real. Esta magnitud representa la demanda instantánea máxima teórica del sistema y constituye, más adelante, el valor de referencia contrastado en el numeral 4.3 frente a la potencia nominal del inversor. El consumo diario agregado, de 6.748 Wh/día (6,75 kWh/día), es la cifra que sustenta el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico desarrollado en el numeral 4.2.

En una instalación de Zona No Interconectada no existe red pública de respaldo. La generación y el almacenamiento deben cubrir, por sí solos, la totalidad de la demanda diaria proyectada, más un margen prudente de autonomía que absorba las jornadas de menor radiación solar propias del régimen de nubosidad del piedemonte llanero.

4. Criterios de Dimensionamiento del Sistema Solar Fotovoltaico

4.1 Criterio de Radiación Solar Adoptado para el Diseño

La irradiación promedio del Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia (UPME–IDEAM) para el municipio de Hato Corozal es de 4,3 horas sol pico (HSP) al día. Trabajar el dimensionamiento con ese promedio anual, sin embargo, deja el sistema expuesto a los meses de menor radiación (octubre y noviembre, principalmente), en los que la nubosidad reduce de

forma sensible la captación solar. Se adopta, en consecuencia, un valor de diseño más conservador de 4,0 HSP/día; se trata de un criterio de uso extendido en proyectos fotovoltaicos aislados de esta escala, que introduce un margen de seguridad razonable frente al promedio real de la zona sin sobredimensionar el sistema de forma innecesaria.

4.2 Dimensionamiento del Arreglo Fotovoltaico

Con la demanda diaria de 6.748 Wh/día, un factor de rendimiento del sistema (performance ratio) de 0,93 (que descuenta pérdidas por temperatura, cableado y eficiencia de conversión) y la radiación de diseño de 4,0 HSP definida en el numeral anterior, la potencia pico requerida se determina así:

$$Wp_{requerido} = 6.748 \text{ Wh/día} \div (4,0 \text{ HSP} \times 0,93) \approx 1.814 \text{ Wp} \approx 1,81 \text{ kWp}$$

El arreglo tipo, con los cuatro paneles de 580 Wp descritos en el numeral 5.2, suma 2,32 kWp instalados. Frente a los 1,81 kWp calculados, esto representa un margen cercano al 28 %, coherente con el criterio de escalabilidad del inversor desarrollado en el numeral 4.3 y con la necesidad de cubrir picos de consumo que el promedio diario no captura del todo: el arranque de la nevera, el uso simultáneo de la licuadora y de varios computadores portátiles, entre otros.

Conviene precisar aquí dos magnitudes que, en la práctica, suelen confundirse. La energía bruta que entrega el arreglo, calculada sin descontar pérdidas ($2,32 \text{ kWp} \times 4,0 \text{ HSP} \approx 9,28 \text{ kWh/día}$, que redondeamos a 9,2 kWh/día por coherencia con la capacidad de generación fijada en el aviso de convocatoria del proceso), corresponde a la producción en bornes del generador fotovoltaico. La energía neta disponible en el punto de consumo, aplicando de manera consistente el mismo performance ratio de 0,93 usado para calcular la demanda de diseño, es distinta:

$$\text{Energía neta} = 2,32 \text{ kWp} \times 4,0 \text{ HSP} \times 0,93 \approx 8,6 \text{ kWh/día}$$

Esta última cifra, de 8,6 kWh/día, es la técnicamente rigurosa para evaluar si el sistema cubre la demanda proyectada de 6,75 kWh/día; frente a ella, el margen de generación efectiva es del 27 % aproximadamente, consistente con el margen del arreglo fotovoltaico frente al mínimo calculado. En el resto de este documento, cuando se hable de capacidad de generación se entenderá el valor bruto de 9,2 kWh/día, salvo que se indique expresamente que se trata de energía neta.

4.3 Dimensionamiento del Inversor Híbrido

La validación de la potencia del inversor parte de la demanda instantánea máxima teórica del sistema, de 1.407 W (1,4 kW), según la sumatoria del numeral 3. Contrastar esa cifra de forma directa no basta: conviene aplicar un factor de seguridad que absorba la simultaneidad de arranque de cargas con componente inductiva o resistiva alta (la nevera y la licuadora, principalmente), cuya corriente de arranque supera, de forma transitoria, su corriente nominal de régimen permanente. Con un factor de seguridad de 1,25, habitual en el dimensionamiento de inversores para cargas residenciales e institucionales de esta naturaleza, la potencia mínima requerida se determina así:

$$P_{inv,mín} = 1.407 \text{ W} \times 1,25 \approx 1.759 \text{ W} \approx 1,76 \text{ kW}$$

El inversor seleccionado, con una potencia nominal de 6 kW (numeral 5.3), supera ampliamente ese mínimo requerido: un factor de 3,4 veces frente al mínimo calculado, o de 4,3 veces frente a la carga conectada total ($6.000 \text{ W} \div 1.407 \text{ W}$). No se trata de un sobredimensionamiento sin sustento técnico; responde a un criterio de escalabilidad. El equipo queda con capacidad suficiente para que la institución educativa, en una etapa posterior, amplíe el arreglo fotovoltaico y el banco de baterías (nuevos strings de paneles, módulos adicionales de litio) sin necesidad de reemplazar el inversor, o para que absorba el crecimiento natural de la demanda

energética asociado al aumento de la población estudiantil. En zonas no interconectadas esta previsión pesa: el costo y la logística de cambiar el equipo central de un sistema ya instalado superan, con creces, los de una ampliación incremental sobre una base que contempló ese crecimiento desde el diseño.

4.4 Dimensionamiento del Banco de Baterías de Litio

La capacidad del banco se calcula distinguiendo dos magnitudes que, igual que en el numeral 4.2, conviene no confundir: la capacidad nominal de placa y el almacenamiento útil de diseño. El banco tipo instalado, de 51,2 VDC y 150 Ah, tiene una capacidad nominal de 7,68 kWh ($51,2 \text{ V} \times 150 \text{ Ah}$). El almacenamiento útil de diseño, sin embargo, es de 7,5 kWh, cifra ligeramente inferior a la nominal por criterio de conservación de la vida útil de la celda, y es, además, la que fija el aviso de convocatoria del proceso como capacidad de almacenamiento exigida. Sobre este valor de 7,5 kWh, no sobre los 7,68 kWh nominales, se desarrolla todo el cálculo de respaldo y autonomía que sigue.

Aplicando un margen de reserva adicional del 10 %, criterio de diseño habitual para baterías de litio en ciclado diario rutinario, el respaldo diario aprovechable resulta:

$$\textit{Respaldo diario aprovechable} = 7,5 \text{ kWh} \times (1 - 10 \%) = 6,75 \text{ kWh/día}$$

El banco respalda los equipos de operación continua y el consumo en las horas sin generación solar; las cargas propias de la jornada escolar (computadores portátiles, impresora, licuadora) se atienden de forma directa con el arreglo fotovoltaico. Según el estudio de cargas tipo, la nevera (1.440 Wh/día) y los equipos de conectividad (634 Wh/día) operan las 24 horas; con un ciclo día-noche de 12 horas, su fracción nocturna es de 720 Wh y 317 Wh respectivamente, para una demanda nocturna mínima de 1,04 kWh/noche. Sumando, como cota superior, la iluminación,

el televisor y los cargadores (1.138 Wh/día), en el supuesto de que operaran íntegramente en horario nocturno, la demanda nocturna máxima asciende a 2,18 kWh/noche.

$$\textit{Autonomía} = 6,75 \text{ kWh} \div 2,18 \text{ kWh/noche} \approx 3,1 \text{ noches}$$

El banco tipo instalado satisface, bajo el escenario de demanda nocturna máxima, el criterio de diseño de dos a tres noches de respaldo sin generación solar; bajo demanda nocturna mínima, la autonomía se extiende a 7,4 noches. El margen del 10 % aplicado al almacenamiento útil queda como colchón de seguridad frente a variaciones reales de consumo, dentro del rango de profundidad de descarga (DoD) del 95 % al 98 % recomendado por los fabricantes de baterías de litio LiFePO4 con BMS integrado.

5. Especificaciones Técnicas Mínimas de los Componentes del Sistema

Nota metodológica: las especificaciones que siguen se formulan como características técnicas mínimas, con banda de tolerancia donde resulta aplicable. Todo oferente podrá acreditar equipos de igual o mejor especificación técnica (cláusula de equivalencia), siempre que cumpla o supere los valores mínimos aquí definidos y acredite la conformidad normativa exigida. Esta formulación responde al principio de libre concurrencia y selección objetiva propio de los procesos de contratación estatal.

5.1 Estructura Metálica Autosoportada

Estructura en acero galvanizado, con capacidad para alojar mínimo cuatro (4) paneles solares monocristalinos de 580 Wp o de mayor potencia unitaria equivalente. Dimensiones de referencia: 4,50 m de largo por 1,70 m de ancho y 2,00 m de alto (± 10 % según el diseño particular del oferente), que garanticen el ángulo de inclinación de diseño y un gálibo libre suficiente para

labores de mantenimiento sin interferir con la dinámica escolar. Orientación: sur geográfico. Ángulo de inclinación: 10°, ajustado a la latitud del municipio de Hato Corozal (aproximadamente 6° N).

La estructura debe garantizar resistencia frente a la carga de viento de diseño de la zona, en sus elementos y en sus anclajes, conforme al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10, Título B), en los casos en que la normativa aplicable a este tipo de estructura, dadas sus dimensiones, así lo exija; de aplicar, esta verificación debe estar documentada antes del inicio del montaje en cada una de las diez sedes. Omitir dicha verificación en estructuras autosoportadas expuestas al régimen de vientos del piedemonte llanero es una de las causas más frecuentes de patologías tempranas en este tipo de instalaciones.

5.2 Paneles Solares Fotovoltaicos (PSFV)

- Tipo: monocristalinos, mínimo 580 Wp por unidad, o equivalente de mayor potencia.
- Cantidad mínima: cuatro (4) unidades por sede.
- Potencia instalada mínima: 2,32 kWp.
- Configuración: dos strings en paralelo de dos paneles en serie cada uno (90 VDC / 25,6 A de arreglo), o configuración equivalente que preserve la potencia y la tensión de diseño del sistema.
- Certificación de producto exigible: IEC 61215 (desempeño) e IEC 61730 (seguridad), o normas equivalentes reconocidas por el RETIE.

5.3 Inversor Híbrido

El inversor híbrido debe cumplir, como mínimo, las especificaciones técnicas que resume la tabla 2, verificables mediante ficha técnica y certificado de conformidad del fabricante.

Tabla 2

Especificaciones técnicas mínimas del inversor híbrido

Parámetro	Especificación mínima	Referencia normativa
Potencia nominal	6 kW (mínimo)	Ficha técnica del fabricante
Tensión de entrada DC	48 VDC nominal (banco de litio)	NTC 2050, artículo 690
Corriente del controlador MPPT	Mínimo 80 A	Ficha técnica del fabricante
Configuración de salida AC	Monofásica, 2 hilos + tierra (L-N-T)	RETIE, NTC 2050
Tensión de salida AC	110-120 VAC (regulación de fábrica)	NTC 1340 / Res. CREG 024 de 2005
Frecuencia	60 Hz $\pm$ 0,5 Hz	RETIE
Forma de onda	Senoidal pura, THD < 5 %	IEEE 519-2022
Caída de tensión (salida–punto de conexión)	Máximo 3 %	RETIE
Grado de protección	IP20 mínimo, instalación bajo techo	NTC-IEC 60529
Certificación de producto	IEC 62109 (seguridad de convertidores)	IEC / RETIE

El inversor debe instalarse en pared o en estructura tipo riel-canal, bajo techo y protegido de la lluvia y de la radiación solar directa; no se aloja dentro del gabinete metálico del numeral 5.5, reservado para el banco de baterías y las protecciones. Esta ubicación es la que sustenta el grado de protección IP20 exigido en la tabla anterior, inferior al que exigiría una instalación a la intemperie. La potencia nominal de 6 kW, muy superior a la demanda instantánea de 1,4 kW calculada en el numeral 4.3, responde a un criterio de escalabilidad y no a un sobredimensionamiento sin sustento técnico.

Aclaración técnica sobre el tipo de inversor: la exigencia de inversor híbrido en este numeral responde a la naturaleza aislada (off-grid) del sistema. El equipo debe integrar, en una sola unidad o en un conjunto certificado por el fabricante, el controlador de carga MPPT para el

arreglo fotovoltaico, la interfaz de gestión con el banco de baterías de litio y el inversor de salida AC, con capacidad de operación autónoma en modo isla, sin sincronización con una red pública de referencia. Un inversor exclusivamente de conexión a red (on-grid o string inverter sin gestión de baterías) no cumple esta especificación, dado que ese tipo de equipo requiere la presencia de una red eléctrica externa para sincronizar su frecuencia y tensión de salida, condición que no existe en las diez sedes por tratarse de Zona No Interconectada. La cláusula de equivalencia técnica del numeral 5 permite, en todo caso, que cualquier oferente acredite un inversor híbrido de marca o configuración distinta a la de referencia, siempre que cumpla o supere los parámetros mínimos de la tabla 2 (potencia nominal, tensión de entrada DC, corriente del controlador MPPT, configuración de salida AC y certificación IEC 62109), y que demuestre mediante ficha técnica su capacidad de operación autónoma sin red de respaldo.

5.4 Banco de Baterías

- Tipo: litio LiFePO₄, con sistema de gestión de batería (BMS) integrado, con protección contra sobrecarga, sobredescarga y cortocircuito.
- Capacidad mínima: dos unidades de 150 Ah a 25,6 VDC cada una, para un banco a 51,2 VDC, o equivalente en energía útil (mínimo 7,5 kWh).
- Vida útil mínima: 5.000 ciclos de carga-descarga al 90 % de profundidad de descarga (DoD).
- Garantía mínima: la establecida en el numeral 7 de este documento.

5.5 Gabinete Metálico

Gabinete independiente del inversor, en acero galvanizado, de dimensiones de referencia 0,60 m de largo por 0,60 m de ancho y 1,00 m de alto ($\pm 10\%$), dotado de cerrojo de seguridad y

de rodachines que faciliten su desplazamiento durante labores de mantenimiento. La estructura recibe tratamiento anticorrosivo y pintura de acabado, condición necesaria dado el ambiente de humedad y temperatura propio de la región de Casanare. Su grado de protección mínimo, IP54 conforme a la NTC-IEC 60529, responde a una exposición ambiental mayor que la del inversor.

5.6 Instalación Eléctrica Interior Off-Grid

Comprende mínimo cuarenta y cuatro (44) puntos eléctricos distribuidos en las áreas de cada sede educativa, un sistema de puesta a tierra con varilla tipo Copperweld y el cableado de protección y conexión DC-AC. La totalidad de la instalación se ejecuta conforme al RETIE y a la NTC 2050 vigentes.

5.7 Protecciones Eléctricas

El sistema incorpora protecciones dimensionadas de forma independiente para cada tramo del circuito, desde el arreglo fotovoltaico hasta el punto eléctrico final, de manera que una falla en un segmento no comprometa la totalidad de la instalación.

- Lado DC, arreglo fotovoltaico: fusibles tipo gPV, uno por string, dimensionados según la corriente de cortocircuito del panel con el factor de seguridad de la NTC 2050, artículo 690; seccionador o interruptor de desconexión DC entre el arreglo y el inversor; dispositivo de protección contra sobretensiones (DPS) tipo 2 en el lado DC, en la entrada del inversor.
- Lado DC, banco de baterías: fusible o breaker DC dedicado, independiente de la protección interna del BMS; desconectador manual DC accesible para mantenimiento y parada de emergencia.

- Lado AC, inversor y tablero de distribución: interruptor termomagnético principal monofásico, dimensionado a la corriente nominal de salida del inversor; interruptor diferencial de 30 mA para protección contra contacto indirecto, conforme al RETIE; DPS tipo 2 en el tablero de distribución, del lado AC.
- Interruptores termomagnéticos individuales por circuito ramal, según la carga conectada a cada uno.

5.8 Conductores y Canalizaciones Eléctricas

- Conductores DC, paneles–inversor: cable solar tipo PV o USE-2, mínimo calibre 8 AWG, doble aislamiento, resistente a la radiación UV, dimensionado con el factor 1,56 de la NTC 2050, artículo 690 ($25,6 \text{ A} \times 1,56$).
- Conductores DC, baterías–inversor: cable tipo THWN-2 o cable de batería de doble aislamiento, mínimo calibre 4 AWG, dimensionado para la corriente de descarga del controlador MPPT de 80 A.
- Conductores AC, inversor–tablero–puntos eléctricos: cable THHN/THWN-2, mínimo calibre 10 AWG en el alimentador principal y calibre 12 AWG en los circuitos ramales, con conductor de puesta a tierra del mismo calibre que el de fase. La caída de tensión entre la salida del inversor y el punto de conexión no debe superar el 3 %, conforme al RETIE, verificación que el contratista debe confirmar en función de la longitud real del tramo en cada sede.
- Tubería interior: conduit EMT galvanizado, fijado con abrazaderas cada 1,50 m.
- Tubería exterior o a la intemperie: conduit tipo IMC o RGS galvanizado pesado, con accesorios herméticos y uniones selladas.

- Todas las canalizaciones metálicas se conectan al sistema de puesta a tierra mediante conectores de continuidad (bonding), conforme al RETIE.

5.9 Sistema de Puesta a Tierra

El sistema de puesta a tierra es único por sede y referencia, en un mismo punto, la estructura metálica de los paneles, el gabinete del banco de baterías, el chasis del inversor y el tablero de distribución; esta unicidad evita diferencias de potencial entre masas metálicas, causa frecuente de fallas por contacto indirecto en instalaciones fotovoltaicas rurales.

- Electrodo: varilla tipo Copperweld de 5/8 de pulgada por 2,40 m de longitud mínima, con recubrimiento de cobre de 254 micras.
- Conductor de puesta a tierra: cobre desnudo o aislado (verde/amarillo), calibre 6 AWG como mínimo.
- Resistencia de puesta a tierra: menor o igual a 25 Ω , medida con telurómetro conforme al RETIE, numeral 15.7; de no alcanzarse este valor con un solo electrodo, se instalan varillas adicionales en paralelo, separadas entre sí un mínimo de 3 m.
- Verificación: medición de continuidad y de resistencia de puesta a tierra antes de la energización del sistema, con acta de prueba suscrita por el instalador, en cada una de las diez sedes.

6. Proceso Constructivo por Etapas

El proceso constructivo se ejecuta de manera idéntica en cada una de las diez sedes, conforme a las etapas y duraciones estimadas que resume la tabla 3.

Tabla 3*Etapas del proceso constructivo por sede*

Etapas	Actividad	Duración estimada	Punto de control
1	Preparación del sitio	1 día	Acta de inicio en sede
2	Instalación de la estructura metálica	1 a 2 días	Verificación de nivelación y anclaje
3	Instalación de los paneles solares FV	1 día	Registro fotográfico de montaje
4	Instalación del inversor híbrido	0,5 día	Verificación de configuración monofásica
5	Instalación del banco de baterías	0,5 día	Verificación del BMS
6	Instalación del gabinete metálico	0,5 día	Verificación de grado IP54
7	Instalación eléctrica interior (44 puntos)	2 a 3 días	Verificación de circuitos ramales
8	Sistema de puesta a tierra	0,5 día	Medición de resistencia ($\leq 25 \Omega$)
9	Pruebas y verificación	1 día	Medición 110-120 VAC / 60 Hz con multímetro
10	Entrega y capacitación	0,5 día	Acta de recibo a satisfacción

La duración total estimada por sede oscila entre 8 y 10 días hábiles, sujeta a las condiciones de acceso propias de cada localización rural. Dada la dispersión geográfica de las diez sedes en el municipio de Hato Corozal, se recomienda programar visitas de verificación en las etapas 2, 7 y 9 como mínimo; son, según la experiencia registrada en proyectos de esta naturaleza, los puntos donde con mayor frecuencia se originan hallazgos de interventoría.

7. Garantías Mínimas Exigibles de los Componentes

El contratista debe acreditar, para cada componente principal del sistema, una garantía mínima acorde con los estándares vigentes de la industria fotovoltaica, verificable mediante la ficha técnica y la póliza o certificado del fabricante:

- Paneles solares fotovoltaicos: 12 años de garantía de producto y 25 años de garantía de potencia lineal, con rendimiento mínimo del 80 % al final del periodo.

- Inversor híbrido: mínimo 2 años de garantía de fábrica.
- Banco de baterías de litio: 10 años o 5.000 ciclos de carga-descarga, lo que ocurra primero.
- Estructura metálica y gabinete: 5 años contra corrosión, condicionados al mantenimiento del recubrimiento anticorrosivo.
- Garantía de correcto funcionamiento post-instalación mano de obra e integración del sistema: mínimo 2 años, independiente de las garantías de fábrica de cada componente.

Todas las garantías deben quedar consignadas en el acta de entrega y recibo a satisfacción de cada sede, como soporte documental para la supervisión y la interventoría del contrato.

8. Plan de Mantenimiento Preventivo

El plan de mantenimiento preventivo que resume la tabla 4 debe quedar a cargo de la entidad responsable de la operación de las sedes educativas, con soporte técnico del contratista durante el período de garantía de correcto funcionamiento definido en el numeral 7.

Tabla 4

Plan de mantenimiento preventivo

Frecuencia	Actividad
Mensual	Limpieza de la superficie de los paneles solares; inspección visual de conexiones y canalizaciones.
Trimestral	Verificación del apriete de terminales DC/AC; inspección del estado del gabinete y de los sellos IP54.
Semestral	Medición de la resistencia de puesta a tierra; verificación de los parámetros de salida del inversor (tensión, frecuencia, THD).
Anual	Revisión integral del BMS del banco de baterías; verificación de protecciones (DPS, diferencial, termomagnéticos); informe técnico de estado del sistema.

9. Marco Normativo Aplicable

El diseño y la instalación del sistema se rigen por el siguiente marco normativo:

- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), Resolución 40284 del 23 de junio de 2026, del Ministerio de Minas y Energía, en particular las disposiciones sobre generación distribuida y autogeneración a pequeña escala (AGPE), inversores y clasificación de los niveles de tensión.
- NTC 2050, Código Eléctrico Colombiano, segunda actualización.
- NTC-IEC 60529, Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP).
- IEC 61215 e IEC 61730, normas de desempeño y seguridad de producto para módulos fotovoltaicos.
- IEC 62109, seguridad de convertidores de potencia para sistemas fotovoltaicos.
- IEEE 519-2022, Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems.
- Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia, UPME–IDEAM.
- Ley 143 de 1994 y Ley 855 de 2003, régimen de energización de Zonas No Interconectadas; lineamientos del IPSE y del Fondo de Apoyo Financiero para la Energización de las Zonas No Interconectadas (FAZNI).
- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10, Título B, para las cargas de viento aplicables a la estructura de soporte.
- Ley 80 de 1993, Ley 1150 de 2007 y Decreto 1082 de 2015, junto con los lineamientos de Colombia Compra Eficiente, en lo relativo al proceso de selección abreviada de menor cuantía.

Conforme al RETIE, el inversor híbrido y el banco de baterías de litio pueden demostrar transitoriamente su conformidad mediante declaración del proveedor; en todo caso, el contratista

debe conservar y entregar dicha declaración junto con la ficha técnica y los certificados IEC de cada equipo, como soporte documental de cada acta de recibo por sede.

10. Conclusiones y Recomendaciones Técnicas

- El sistema tipo propuesto resuelve, de forma técnicamente sólida, la necesidad de energía eléctrica de instituciones educativas rurales que hoy carecen de conexión al SIN (Sistema Interconectado Nacional), mediante una configuración monofásica a 110-120 VAC ajustada con precisión al tipo de carga real que atenderá.
- Se recomienda verificar, en cada una de las diez sedes y mediante equipo de medición, que la tensión de salida del inversor corresponda efectivamente a 110-120 VAC monofásicos, y que la resistencia de puesta a tierra sea menor o igual a $25\ \Omega$, antes de suscribir cada acta de recibo final.
- Exigir, cuando la normativa aplicable a la estructura así lo determine, la memoria de cálculo estructural por viento como requisito previo al montaje (numeral 5.1); y exigir, en todo caso, los certificados IEC de producto de paneles e inversor (numerales 5.2 y 5.3), como soporte documental de cada sede.

Referencias

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). Reglamento colombiano de construcción sísmo resistente NSR-10, Título B. AIS.
- Comisión de Regulación de Energía y Gas [CREG]. (2005). Resolución CREG 024 de 2005, por la cual se aprueba el Reglamento de Distribución de Energía Eléctrica. CREG.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2022). IEEE 519-2022. Recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. IEEE.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2013). NTC 1340. Electrotecnia. Tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público (3.^a actualización). ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (s.f.). NTC 2050. Código eléctrico colombiano (2.^a actualización). ICONTEC.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (s.f.). NTC-IEC 60529. Grados de protección proporcionados por las envolventes (código IP). ICONTEC.
- International Electrotechnical Commission. (s.f.). IEC 61215. Terrestrial photovoltaic (PV) modules - Design qualification and type approval. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (s.f.). IEC 61730. Photovoltaic (PV) module safety qualification. IEC.
- International Electrotechnical Commission. (s.f.). IEC 62109. Safety of power converters for use in photovoltaic power systems. IEC.

Ministerio de Minas y Energía. (2026). Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE),
Resolución 40284 del 23 de junio de 2026. Ministerio de Minas y Energía.

Unidad de Planeación Minero-Energética e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios
Ambientales. (s.f.). Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia. UPME-
IDEAM.



Responsable técnico del documento

JAVIER ANDRES BARON PEREZ

Ingeniero(a) Electricista

Matrícula profesional COPNIA N.º CN205-142928

Anexo 1. Diagrama Unifilar del Sistema

El diagrama unifilar que se presenta a continuación es único para el diseño tipo y aplicable a las diez sedes educativas rurales objeto del proyecto, sin perjuicio de los ajustes de trazado que la longitud real de cada acometida interior pueda exigir en obra.

