Descargado el: 14-11-2026 ISSN 2500-7718

Artículos teóricos

Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de Norte de Santander

Design of an isolated photovoltaic system for the generation of electric power in Rural Schools of Norte de Santander

Darwin Orlando Cardozo Sarmiento[1] Karla Yohana Sánchez Mojica[2]

[1]Docente Investigador Fundación de Estudios Superiores Comfanorte. Ingeniero Electrónico, Estudiante de Maestría
[2]Ingeniera en Telecomunicaciones, Directora de Investigaciones.

Cómo citar este artículo:
Cardozo Sarmiento, D., & Sánchez Mojica, K. (2017). Diseño de un sistema fotovoltaico aislado para la generación de energía eléctrica en escuelas rurales de Norte de Santander. *GestióN Ingenio Y Sociedad, 2*(1), 50-66. Recuperado de http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/43

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo realizar el diseño y presupuesto de los componentes que permitan la generación de energía eléctrica por medio de sistemas fotovoltaicos aislados para escuelas rurales del municipio de Sardinata en Norte de Santander. Para lograr este propósito, se realizó un estudio del estado del arte de los sistemas fotovoltaicos. Luego se desarrolló la definición del tipo de planta, determinación del consumo, caracterización de la localización y dimensionado de los componentes, para cumplir con la demanda de energía eléctrica de las escuelas rurales. Como resultado se fijaron las capacidades en corriente, voltaje y potencia de los componentes del sistema fotovoltaico necesario para la demanda de energía de las escuelas; se evidencia que si se ejecuta un consumo racional de energía en las escuelas se reduce la inversión inicial y al final se compara el menor presupuesto obtenido con los resultados de planeación de inversión en sistemas fotovoltaicos de investigaciones anteriores. Como conclusión se evidencia que es viable implementar el sistema fotovoltaico aislado de menor inversión para las escuelas rurales, ya que por su ubicación geográfica tienen buenas condiciones de radiación solar, los componentes seleccionados tienen mantenimiento mínimo y su duración esta entre 8 y 10 años, otorgando independencia energética a las escuelas.

Palabras clave: Diseño, Electricidad, Energía, Fotovoltaico, Sistema

Abstract

This research aims at designing and budgeting the components that allow the generation of electrical energy by means of isolated photovoltaic systems for rural schools in the municipality of Sardinata in Norte de Santander. To achieve this purpose, a study of the state of the art of photovoltaic systems was carried out. Then the definition of the type of plant, determination of the consumption, characterization of the location and dimensioning of the components was developed to meet the demand of electric power of the rural schools. As a result, the current, voltage and power capacities of the photovoltaic system components necessary for the energy demand of the schools were fixed; It is evident that if a rational consumption of energy in the school is executed the initial investment is reduced and in the end the smaller budget obtained is compared with the investment planning results in photovoltaic systems of previous researches. The conclusion is that it is feasible to implement the isolated solar PV system for rural schools, because of their geographical location, they have good solar radiation conditions, the selected components have minimal maintenance and their duration is between 8 and 10 years, granting Energy independence to schools.

Key words: Design, Electricity, Energy, Photovoltaic, System

Aprobado: 2017-09-12 18:35:19

Correspondencia: Darwin Orlando Cardozo Sarmiento. Fundación de Estudios Superiores de Confanorte do_cardozo@fesc.edu.co

INTRODUCCIÓN

El Sol es una de las fuentes más importantes de energía. Transforma la masa en energía radiante. Sin embargo, solo una parte llega a la Tierra en forma de radiación ya que 150 millones de kilómetros los separa. La potencia que llega supera unas 10.000 veces las fuentes energéticas actuales de la humanidad. Esta energía es bastante dispersa, y además presenta oscilaciones. Según la hora, clima y posición geográfica varían las cantidades de radiación solar que se reciben. La energía que llega es una radiación electromagnética, una parte se absorbe y otra se refleja en la atmósfera, disminuyendo la energía que lograr llegar a la tierra. Los sistemas fotovoltaicos producen electricidad partiendo de la luz, utilizando unos componentes denominados celdas solares (Bayod, 2009, p.11).

La distribución eléctrica es centralizada, y llevar la red a regiones remotas es costoso, las poblaciones se están extendiendo y no se puede financiar por adelantado derechos de acometida. Una gran cantidad de los países en desarrollo han iniciado programas para electrificar zonas rurales, pero el progreso es lento, debido a que no hay unidad política para mejorar la calidad de vida esas zonas. La parte financiera y técnica para efectuar operaciones a gran escala también carece de los patrocinios y los servicios públicos no tienen mucha motivación en expandir los servicios a clientes que no representan ingresos sustanciales. Llevar la red eléctrica a zonas rurales es muy costoso debido a su aislamiento, o no se logra a mediano plazo (ENERGREENCOL, 2017).

En las escuelas situadas en la vereda de San Miguel del municipio de Sardinata, este flujo de energía no es constante, debido a que dependen del apoyo de industrias cercanas que brindan electricidad únicamente cuando pueden, lo que conlleva a no aprovechar las herramientas, como computadores, que les concede el gobierno para una educación de calidad en contenidos digitales. Debido a esta problemática, la administración de cada escuela y la junta de acción comunal del sector, decidieron consultar sobre alternativas de obtener energía eléctrica, diferentes a la red de distribución local, impulsando esta investigación para conocer el presupuesto de implementación de una planta solar fotovoltaica que suministre energía eléctrica para las actividades académicas y pedir asistencia a entes gubernamentales para su implementación.

La energía solar es el inicio de toda energía renovable. La naturaleza se mueve con ella, y originando las distintas energías renovables, la hidráulica, la eólica y otras. Transformar la energía solar en energía eléctrica por medio de la conversión fotovoltaica otorga simplicidad y confiabilidad. La fuente primaria de estos sistemas es excesiva y gratis, la radiación solar en términos humanos es interminable. Otra ventaja de los sistemas fotovoltaicos es su variabilidad, empleándose desde milivatios hasta megavatios de capacidad, y su instalación es rápida, su vida útil es saliente, sin partes móviles y mantenimiento pequeño. En la parte ambiental, estos sistemas fotovoltaicos no generan combustión o gases nocivos, sin ruidos.

> Tampoco se modifican aguas superficiales, ni altera o erosiona el suelo. Las instalaciones fotovoltaicas son muy completas para lugares fuera de la red eléctrica, siendo la mejor opción en economía y operatividad, eliminando la dependencia de figuras externas en cuanto a la energía (Bayod, 2009, p.15).

DESARROLLO

La metodología para cumplir el objetivo de conocer el presupuesto de implementación de la planta fotovoltaica en una escuela piloto de las 3 existentes se basó en cuatros pasos, establecer la tipología, delimitar el consumo a cubrir, identificar los parámetros geográficos y diseñar los elementos de la instalación (Vega y Ramírez, 2014). Teniendo las características de los materiales para el sistema, se realizó una búsqueda de sus precios para elaborar el presupuesto.

Establecer la tipología:

Una planta fotovoltaica genera energía eléctrica para consumos de corriente continua y alterna mediante un depósito de energía. La instalación debe alimentar las cargas conectadas durante las horas con superior radiación solar y en el mismo instante cargar los acumuladores. La energía producida por los módulos fotovoltaicos es de corriente continua (CC) y se debe transformar en corriente alterna (CA) utilizando un inversor. Las perdidas energéticas son importantes para el rendimiento de cada elemento de una planta fotovoltaica y establecer sus características (Vega y Ramírez, 2014).

ISSN 2500-7718

Una instalación solar fotovoltaica como se observa en la figura 1, está configurada por: generador fotovoltaico, regulador de voltaje, baterías, convertidor de cc-cc o de cc-ca.

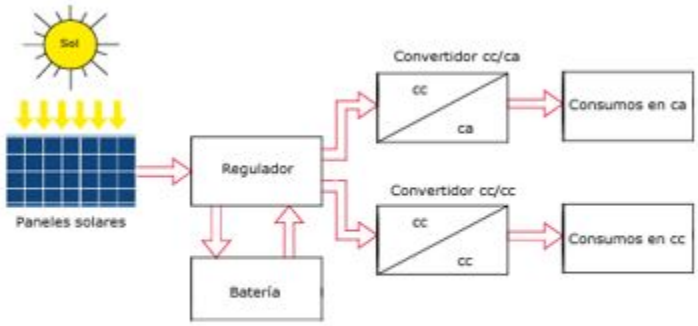


Figura 1. Instalación solar fotovoltaica.
Fuente: (Tobajas, 2015, p.34).

En partes descentralizadas de la red, cada casa está recibe energía de un generador y en las centralizadas, solo un generador fotovoltaico alimenta a varias casas (Guerrero, 2011, p.67). Las imágenes siguientes muestran un esquema de una instalación descentralizada en la figura 2 y centralizada en la figura 3.

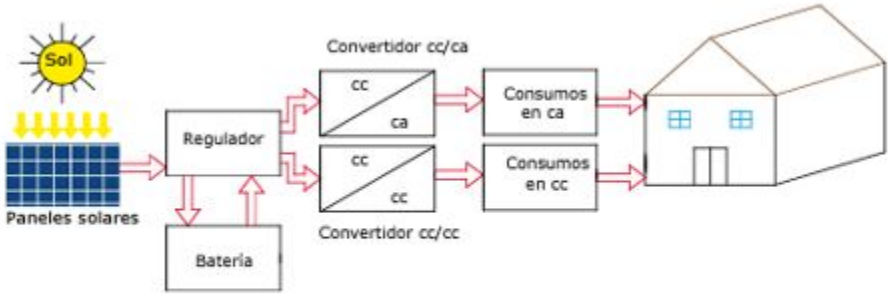


Figura 2. Instalación solar fotovoltaica descentralizada.
Fuente: (Tobajas, 2015, p.34).

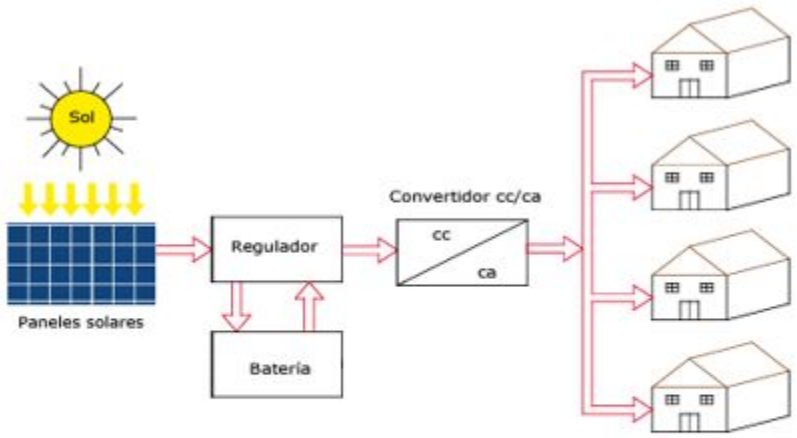


Figura 3. Instalación solar fotovoltaica centralizada.
Fuente: (Tobajas, 2015, p.34).

2. Delimitar el consumo a cubrir.

Para delimitar el consumo de una casa se debe revisar la totalidad de cargas, su potencia (W), las horas al día que trabajan (h) y la energía necesaria (W.h), considerando un margen de seguridad, generalmente el 20%. Considerando los rendimientos de los elementos son: batería 95%, regulador 100%, inversor 90% y cables 100% (Vega y Ramírez, 2014, p.289).

Los consumos medios se calculan mediante la ecuación 1.

$$Lmd = \frac{Lmd,CC + \frac{Lmd,CA}{\eta inv}}{\eta bat.\eta con}$$

Donde:

Lmd = consumo medio diario.

Lmd,CA = consumo medio CA.

Lmd,CC = consumo medio CC.

*n*bat = rendimiento batería.

*n*con = rendimiento cables.

*n*bat = rendimiento inversor.

El consumo medio de energía diario en términos de intensidad de corriente por hora (A.h) se obtiene a través de la ecuación 2.

$$Ih = Lmd/Vbat$$

3. Identificar los parámetros geográficos.

Con la latitud y longitud del lugar donde se va implementar el sistema fotovoltaico, se debe obtener la tabla de irradiaciones (I) (W.h/día)

según la inclinación. Considerando: potencia nominal FV 1,0 KW, pérdidas por temperatura 10,4%, pérdidas por reflectancia angular 2,7%, otras pérdidas 14% y las pérdidas totales 25% (Vega y Ramírez, 2014, p.292).

El atlas de radiación solar de Colombia se muestra en la figura 4.

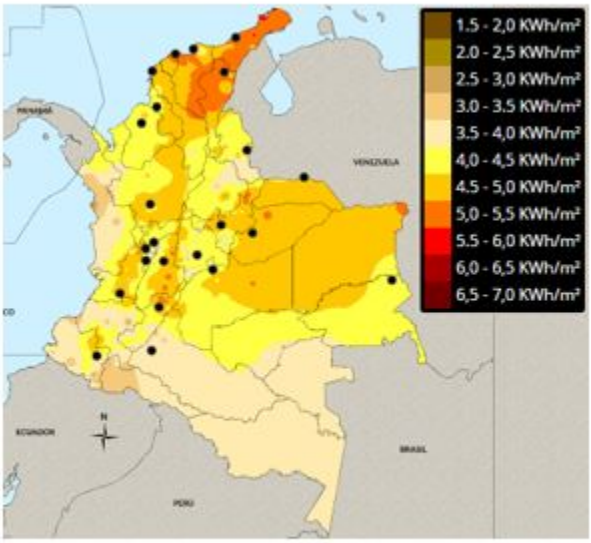


Figura 4. Atlas de radiación solar de Colombia.
Fuente: IDEAM.

El rango de disponibilidad de energía solar del país por regiones, según la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), se encuentra en la tabla 1.

Tabla 1. Rango anual de disponibilidad de energía solar por regiones.

REGIÓN	$KWh/m^2/año$
GUAJIRA	1.980-2.340
COSTA ATLÁNTICA	1.260-2.340
ORINOQUIA	1.440-2.160
AMAZONIA	1.440-1.800
ANDINA	1.080-1.620
COSTA PACIFICA	1.080-1.440

Fuente: UPME.

4. Diseñar los elementos de la instalación:

Para diseñar el sistema se usan las horas solares pico, estas son el número de horas en que se

 ISSN 2500-7718

mantiene una irradiancia solar constante de 1000 W/m2. Este valor se consigue dividiendo la irradiación incidente entre la irradiancia en condiciones estándar de medida (1000 W/m2) (Vega y Ramírez, 2014, p.293), ecuación 3.

$$HSP = I/G \quad (h)$$

Las horas solares pico también se consiguen de los datos de estaciones meteorológicas para épocas previas y así hallar las HSP mínimas en el año, para usar en el diseño de las plantas aisladas, ya que con esto se asegura la generación en el mes de menor HSP.

Los módulos necesarios para entregar la energía estimada (Nt), se toma la diaria demandada promedio mensual (Lmdcrit) y la energía entregada por cada módulo (Ep) (Vega y Ramírez, 2014), ecuación 4.

$$Nt = Lmdcrit/Ep$$

La energía entregada por el módulo se obtiene por ecuación 5.

$$Ep = Pmpp.HPSc.PR$$

Pmpp es la potencia pico del módulo según el fabricante. HSPc son las horas pico de sol más baja. PR el factor de funcionamiento del módulo considerándolo de 0,90. Si Nt resulta en decimales, se considera el número entero siguiente. Los módulos se puden conectar en serie o en paralelo y para determinar cuántos deben conectarse en serie o en paralelo se toma la tensión máxima nominal del módulo (Vmax) y la tensión de la batería. Los módulos en serie (Ns) se hallan por (Vega y Ramírez, 2014, p.293), ecuación 6.

$$Ns = Vbat/Vmod$$

Y los paralelos mediante la ecuación 7.

$$Np = Nt/Ns$$

En el regulador, el parámetro de corriente de entrada depende de la intensidad máxima que produce la planta fotovoltaica y la corriente de salida de la intensidad máxima en las cargas (Vega y Ramírez, 2014, p.296).

Las baterías se deben instalar en serie o paralelo para entregar el nivel de voltaje requerido 12, 24 o 48 V. Se puede utilizar el criterio descrito en la tabla 2 para establecer el voltaje según la potencia de las cargas (Vega y Ramírez, 2014).

Tabla 2. Criterio para definir tensión de trabajo.

POTENCIA DE LAS CARGAS (W)	TENSIÓN DE TRABAJO (V)
Menor de 1500	12
1500 - 5000	24 o 48
Mayor de 5000	120 o 300

Fuente: (Vega y Ramírez, 2014, p.296)

El tiempo en que una batería se descarga se da por ecuación 8.

$$Tiempo\ de\ descarga = Carga/Consumo$$

Para prolongar la vida útil de la batería se permite un nivel máximo de descarga antes de la desconexión del regulador, llamado profundidad de descarga máxima para ciclos diarios (PDmaxd) de 15 a 20%; para los ciclos de estación, los días máximos (Nmaxd) que una batería puede estar descargándose, es de 4 a 10 días (PDmaxe) de 70%. Se debe calcular la capacidad nominal de las baterías para la descarga diaria o estacional y escoger la mayor de ellas. Considerando un 15% de descarga máxima diaria y el factor de corrección de temperatura (Fct.) en 1, la capacidad nominal diaria, Cnd dada en W.h se da por (Vega y Ramírez, 2014, p.293), ecuación 9.

$$Cnd(W.h) = \frac{Lmd}{PDmaxd\ .\ Fct}$$

Y en amperios mediante ecuación 10.

$$Cnd(A.h) = \frac{Cnd(W.h)}{Vbat}$$

Vbat es voltaje de trabajo de la batería. Para una energía diaria Lmd, durante N días, se necesita una capacidad en la batería de (Vega y Ramírez, 2014, p.293), ecuación 11.

$$Cne(W.h) = \frac{Lmd\ .\ N}{PDmaxe\ .\ Fct}$$

Para el cálculo del número de baterías se utiliza la relación entre la capacidad nominal estacional del sistema de acumulación y la capacidad nominal Cnom de la batería por (Vega y Ramírez, 2014, p.293), ecuación 12.

$$Nbat = Cne/Cbat100$$

Nbat es el número de baterías; Cne la capacidad nominal estacional del sistema en A.h y Cbat100 es la capacidad de la batería a 100 horas, proporcionando a una carga de una potencia P amperios-hora durante 100 horas (Vega y Ramírez, 2014, p.298).

Para el regulador la corriente máxima que debe resistir depende de su entrada y salida. La corriente de entrada (Ient) se halla por (Vega y Ramírez, 2014), ecuación 13.

$$Ient = Fseg\,.Imodcc\,.Np$$

Fseg es el factor de seguridad de 1,25; Imodcc es la corriente cortocircuito del panel solar y Np es el número de conexiones en paralelo. Para la corriente de salida se calculan las potencias de las carga. Siendo la salida del regulador (ecuación 14).

$$Isal = \frac{1{,}25\,.\left(Pcc + \frac{Pca}{\eta inv}\right)}{Vbat}$$

Pcc es la potencia de las cargas en CC; Pca es la potencia de las cargas en CA; *n*inv es el rendimiento del inversor de 95% y Vbat es el voltaje de la batería (Vega y Ramírez, 2014, p.300).

El diseño del inversor debe ser 20% superior a la potencia total de las cargas de CA, funcionando todas al tiempo. Solo se tienen en cuentas las cargas en CA. Los aparatos electrodomésticos con motor requieren una potencia de 4 o 5 veces mayor a su consumo para arrancar, teniendo que sobredimensionar el inversor. Para calcular la potencia del inversor se usa la ecuación 15, (Vega y Ramírez, 2014).

$$Pinv = Mseg\,.(Pq1\,.fact1 + Pq2\,.\,fact2 + \cdots Pqn\,.factn\,)$$

Pinv es la potencia del inversor; Mseg el margen de seguridad de 20%. Las Pq son las potencia de cada dispositivo que consume energía alterna y fact los factores de sobredimensionamiento para electrodomésticos con motor (Vega y Ramírez, 2014, p.300).

Después de realizar la investigación y aplicar la metodología propuesta por el referente bibliográfico, se han obtenido los siguientes resultados:

La planta fotovoltaica generadora de energía eléctrica que se diseñó es aislada, para consumos de corriente alterna únicamente, del tipo descentralizada ya que será para una instalación de una escuela rural en una zona no interconectada.

Las pérdidas del proceso de generación de energía eléctrica se tuvieron en cuenta según el tipo de pérdida:

- Para los módulos fotovoltaicos según las especificaciones del fabricante.
- Las pérdidas por superficie sucia en los módulos se minimiza con el mantenimiento y limpieza de los módulos generalmente mensual; sin embargo al ser una zona de alta vegetación se debe efectuar semanalmente.
- Las pérdidas espectrales dependen de la

radiación solar, no hay manera de disminuirlas, esto dependerá de la condición climática.

- Generalmente los fabricantes entregan especificaciones de los módulos en pruebas estándar a temperatura de 25 °C. En norte de Santander, el horario donde se presenta la mayor irradiación es donde la temperatura se posiciona entre los 30 a 35 °C. Por ello se tomó la perdida por temperatura de un 4% de la potencia generada de los módulos fotovoltaicos.
- Las pérdidas por sombra se minimizan en las zonas rurales, mediante la observación y adecuación de ser necesario del lugar de instalación de los módulos fotovoltaicos.

El consumo diario de la escuela es de 3,5 KW/h aproximadamente, teniendo en cuenta el margen del 25% según la normatividad NTC 2050, como se observa en la tabla 3.

Tabla 3. Cuadro de consumo.

UNID.	CARGA	POTENCIA UNITARIA (W)	HORAS DÍA (h)	ENERGÍA NECESARIA (Wh)	ENERGÍA NECESARIA MARGEN DE SEGURIDAD (25%)
4	Bombillo ahorrador	30	5	600	750
8	Computador portátil	80	1,5	960	1200
3	Lámpara fluorescente	80	5	1200	1500
2	Cargador celular	12	2	48	60
TOTAL		**202**		**2808**	**3510**

Fuente: Modificado de Vega y Ramírez, 2014.

Las coordenadas geográficas del municipio de Sardinata son: latitud 8.07 y longitud -72.807. Tiene una irradiación global media entre los valores de 4,0 a 4,5 *KW. h/m²* siendo el menor promedio en el mes de diciembre de 4,3 *KW. h/m²*.

Con las coordenadas del lugar se pudo obtener la información sobre las horas solares pico, con el fin de utilizar el menor promedio para el diseño del generador fotovoltaico. Siendo el menor promedio 4.32 de radiación solar diaria en el mes de diciembre como se muestra en la figura 5.

Month	Air temperature	Relative humidity	Daily solar radiation - horizontal
	°C	%	kWh/m²/d
January	23.9	64.9%	4.67
February	25.1	59.4%	4.78
March	25.5	61.8%	4.91
April	24.5	73.7%	4.73
May	24.0	78.2%	4.96
June	23.8	75.5%	5.25
July	24.1	70.2%	5.55
August	24.4	69.3%	5.73
September	23.9	74.4%	5.44
October	23.2	79.8%	4.98
November	23.0	79.9%	4.47
December	22.9	75.2%	4.32
Annual	24.0	71.9%	4.98

Figura 5. HSP de Sardinata.
Fuente: (NASA, 2017).

Sin embargo, como lo muestra la figura 6, el municipio de Sardinata se encuentra en la región donde la radiación solar toma valores de 4,0 a 4,5 KW. h/m2. Para esta investigación, en el cálculo del dimensionado de los paneles solares se tomó el valor de 4 KW. h/m2 para el cálculo de HSP.

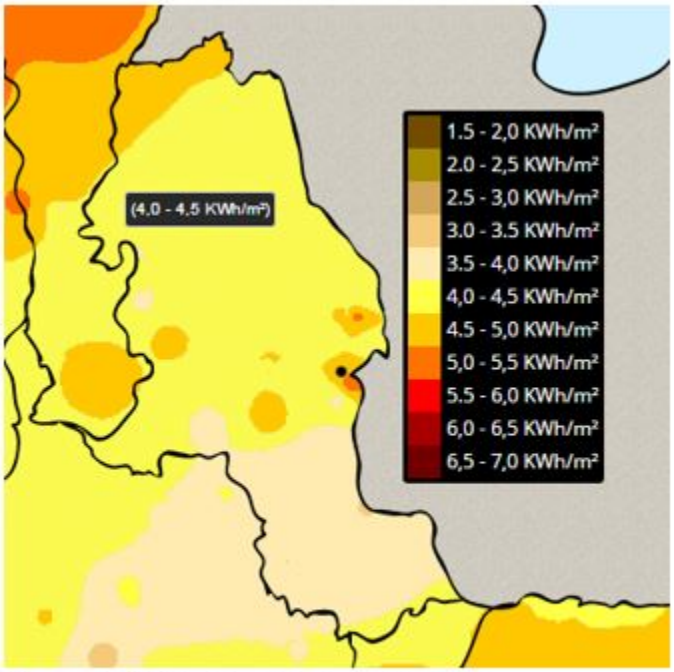


Figura 6. Radiación Norte de Santander.
Fuente: IDEAM.

Los componentes necesarios para la planta fotovoltaica en la escuela, utilizando HSP=4, paneles de 250 W, un factor de descarga de la baterías del 20% con 1 día de autonomía, se muestran en la tabla 4.

Tabla 4. Materiales implementación generación fotovoltaica por planta.

MATERIALES	CANTIDAD	FUNCIÓN
Panel solar (250W)	5	Convertir luz solar en energía.
Baterías (12V - 300 A/h)	7	Almacenar energía para consumos nocturnos
Regulador (60 A)	1	Mantener voltaje constante y controlar carga y descarga de baterías
Inversor (1100 W)	1	Convertir voltaje DC en AC para poder alimentar cargas
Soporte para 6 paneles	1	Albergar paneles y orientarlos.
Cable	50	Transmisión de energía entre dispositivos
Conectores	12	Conexiones entre cableado y baterías

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se revisaron los precios en el mercado, obteniendo la tabla 5, que muestra un valor de inversión de $ 28’811.200.

Tabla 5. Presupuesto inicial.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR
Panel solar (250W)	5	3350000
Baterías (12V – 300 A/h)	7	14000000
Regulador (60 A)	1	2500000
Inversor (1100 W)	1	2100000
Soporte para 6 paneles	1	1500000
Cable	50	350000
Conectores	14	392000
Transporte	1	2000000
Imprevistos		2619200
TOTAL		28811200

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, si se hace un plan de utilización de los dispositivos de las escuelas, como cargar los computadores en el horario de mayor irradiación en el día y cambiando el porcentaje de descarga de las baterías al 35%, los materiales necesarios para suplir la misma demanda de energía se muestran en la tabla 6.

Tabla 6. Materiales implementación generación fotovoltaica con uso eficiente.

MATERIALES	CANTIDAD	FUNCIÓN
Panel solar (250W)	5	Convertir luz solar en energía.
Baterías (12V - 300 A/h)	4	Almacenar energía para consumos nocturnos
Regulador (60 A)	1	Mantener voltaje constante y controlar carga y descarga de baterías
Inversor (800 W)	1	Convertir voltaje DC en AC para poder alimentar cargas
Soporte para 6 paneles	1	Albergar paneles y orientarlos.
Cable	50	Transmisión de energía entre dispositivos
Conectores	12	Conexiones entre cableado y baterías

Fuente: Elaboración propia.

Con los nuevos materiales de la tabla 6, se obtuvo su presupuesto en la tabla 7.

Tabla 7. Presupuesto inicial definitivo.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR
Panel solar (250W)	5	3350000
Baterías (12V - 300 A/h)	4	8000000
Regulador (60 A)	1	2500000
Inversor (800 W)	1	1293000
Soporte para 6 paneles	1	1500000
Cable	50	350000
Conectores	14	392000
Transporte	1	2000000
Imprevistos		1938500
TOTAL		21.323.500

Fuente: Elaboración propia.

Las tablas 5 y 7 solo relacionan el costo de los materiales necesarios para la implementación de la planta, su transporte al sitio de aplicación y un 10% como base de imprevistos del proyecto, sin embargo faltan dos aportes, la instalación y los posibles impuestos (16%). Tomando la tabla 7 como el costo definitivo de los materiales ya añadiendo los dos aportes faltantes, tomando como referencia los valores de instalación de 448 dólares USA (Vega y Ramírez, 2014, p.265) y tomando su cambio a moneda peso colombiana de 1 dólar = 3000 pesos aproximadamente, el valor de instalación es de 1.344.000 pesos colombianos. Resultando la tabla 8 con el valor de inversión total.

Tabla 8. Presupuesto final.

MATERIALES	CANTIDAD	VALOR
Panel solar (250W)	5	3350000
Baterías (12V - 300 A/h)	4	8000000
Regulador (60 A)	1	2500000
Inversor (800 W)	1	1293000
Soporte para 6 paneles	1	1500000
Cable	50	350000
Conectores	14	392000
Transporte	1	2000000
Imprevistos	10%	1938500
Instalación		1344000
Impuesto	16%	3626800
TOTAL		**26'294.300**

Fuente: Elaboración propia.

Según el Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas para las Zonas no Interconectadas (IPSE), en su publicación del centro de innovación tecnológica con énfasis en poli generación establece que el costo de inversión para sistemas solares fotovoltaicos para un sistema con capacidad de 300 W es de 7.480 dólares y para un sistema de 25 kW es de 6810 dólares (IPSE, 2011, p.229). Como el sistema diseñado en esta investigación no supera los 4 kW, se realizó la comparación con el sistema de 300 W del IPSE, mostrado en la tabla 9.

Tabla 9. Comparación de presupuestos. Fuente: Elaboración propia.

PRESUPUESTO CALCULADO	PRESUPUESTO IPSE DÓLAR USA (2011)	PRESUPUESTO IPSE PESO COL (2011)
26'294.300	7.480	22'440.000
DIFERENCIA		3'854.300

Como se puede observar en la tabla 9, el presupuesto del IPSE es menor en $ 3’854.300 al calculado en esta investigación, aunque las capacidades de los sistemas son diferentes, esta comparación es válida ya que en los sistemas fotovoltaicos de pequeña generación los costos son casi equivalentes porque la compra de los equipos no se considera al mayor.

También es de notar, que la diferencia entre las investigaciones es de 5 años. Teniendo en cuenta esto, se realizó la comparación con una proyección para el 2015 que el IPSE realizo en la misma publicación, donde exponen tres escenarios, optimistas, probables y pesimistas. Como la economía Colombia ha sufrido grandes inconvenientes debido al precio del petróleo y otros más, se realizó la comparación con el escenario pesimista, siendo el costo de inversión para el año 2015 de los sistemas fotovoltaicos de 6.950 dólares (IPSE, 2011, p.232), como se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Comparación de proyección. Fuente: Elaboración propia.

PRESUPUESTO CALCULADO	PROYECCIÓN IPSE DÓLAR USA (2015)	PROYECCIÓN IPSE PESO COL (2015)
26’294.300	6.950	20’850.000
DIFERENCIA		5’444.300

En la tabla 10, la diferencia crece a $ 5’444.300, siendo la proyección del 2015 mucho menor al presupuesto de esta investigación. Aunque es posible que en el escenario pesimista del IPSE no contemplara la magnitud de las consecuencias negativas del precio bajo del petróleo y dicha proyección debió ser más alta.

Teniendo en cuenta que para un sistema con 6 módulos fotovoltaicos, 6 estructuras de soporte, 1 inversor y 1 contador bidireccional, tiene una estimación económica de 4.902,51 euros (Toledo & Urbina, 2013), se realizó una comparación con ese sistema referenciando el euro a 3200 pesos colombianos y descartando el regulador y las baterías, mostrado en la tabla 11.

Tabla 11. Comparación de estimación económica. Fuente: Elaboración propia.

PRESUPUESTO CALCULADO	PRESUPUESTO EURO (2013)	PRESUPUESTO PESO COL (2013)
15’794.300	4.902,51	15’688.032
DIFERENCIA		106.268

En la tabla 11, se observa que la diferencia es solo $ 106.268 a favor del presupuesto del 2013.

CONCLUSIONES

La escuela rural del municipio de Sardinata tiene un consumo diario de 2,8 KWh, teniendo en cuenta su ubicación, nivel de radiación entre 4,0 y 4,5 4,5 KW . h/m2 y el margen de seguridad de energía del 25%, la inversión inicial necesaria

para la instalación de un sistema de generación fotovoltaica que cubra esa demanda de energía es de $ 26.294.300.

Con la realización de esta investigación, los directivos de la escuela pueden conocer el costo necesario para la implementación de generación de energía mediante un sistema fotovoltaico y explorar alternativas de patrocinio social de empresas de la región o de fondos de apoyo a zonas no interconectadas.

El presupuesto calculado supera el costo de instalación en un rango entre $100.000 a $5’500.000 al presupuesto de otras investigaciones, lo que presenta gran posibilidad al presupuesto calculado cumplir con los gastos reales de implementar el proyecto. El rango de diferencia tan alto, se debe en gran parte a que el presupuesto calculado considera un ítem de imprevistos del 10%, mientras que las 3 referencias no consideran dicho ítem.

Es viable implementar el sistema fotovoltaico aislado de menor inversión para la escuela rural, ya que por su ubicación geográfica tiene buenas condiciones de radiación solar, los componentes seleccionados tienen mantenimiento mínimo y su duración esta entre 8 y 10 años, otorgando independencia energética a la escuela durante ese tiempo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAYOD, Á.A. (2009). “Energías Renovables Sistemas Fotovoltaicos”. Zaragoza, España: Prensas Universitarias Zaragoza.

ENERGREENCOL. (2017). “Soluciones de energía para áreas rurales de Colombia”. Cartagena, Colombia. Recuperado de: http:// http://www.energreencol.com/ficheros_pdf/Energia%20para%20areas%20rurales%20en%20Colombia.pdf

TOBAJAS VÁZQUEZ, M.C. (2012). “Instalaciones Solares Fotovoltaicas”. Cano Pina, S.L. – Ediciones CeysaU.

GUERRERO PREZ, R. (2011). “Replanteo y Funcionamiento de las Instalaciones Solares Fotovoltaicas”. Antequera, España: IC Editorial.

VEGA, J.C., RAMÍREZ, S., (2014). “FUENTES DE ENERGÍA, RENOVABLES Y NO RENOVABLES APLICACIONES”. México: Alfaomega.

PERALES, T. (2005). “Guía del instalador de ENERGÍAS RENOVABLES”. España: Creaciones Copyright, S.L.

UPME (2017). “APENDICE D, Evaluación de la radiación solar en Colombia” Colombia. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Docs/Atlas_Radiacion_Solar/10-Apendice_D.pdf

IDEAM (2017). “Atlas de Radiación Solar, Ultravioleta y Ozono de Colombia” Colombia. Recuperado de: http:// http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html

PERALES, T. (2014). “El universo de las energías renovables”. Barcelona, España: Marcombo.

LÓPEZ, A. (2013). “Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares”. Antequera, España: IC Editorial.

UPME (2014). “Decreto 2469 del 2 de diciembre del 2014” Colombia. Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/sgic/sites/default/files/DECRETO%202469%20DEL%2002%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202014.pdf

UPME (2014). “Ley 1715 del 13 de mayo del 2014” Colombia. Recuperado de: http://www.upme.gov.co/Normatividad/Nacional/2014/LEY_1715_2014.pdf

UPME (2015). “Resolución 281 del 2015: Límite máximo de potencia de autogeneración a pequeña escala” Colombia. Recuperado de: http://www1.upme.gov.co/sala-de-prensa/secciones-de-interes/resoluciones/res-0281-junio-de-2015-limite-maximo-de-potencia-de

CREG (2015). “Resolución 024 del 2015: Regulación de autogeneración a gran escala en el sistema interconectado nacional (SIN)” Colombia. Recuperado de: http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/1c09d18d2d5ffb5b05256eee00709c02/67513914c35d6b8c05257e2d007cf0b0/$FILE/Creg024-2015.pdf

NASA (2017). “NASA Surface meteorology and Solar Energy”. Recuperado de: https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/retscreen.cgi

Hybritec (2017). “Paneles”. Recuperado de:

http://www.hybrytec.com/productos/item/73-paneles

LADINO R. (2011). “LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA COMO FACTOR DE DESARROLLO EN ZONAS RURALES DE COLOMBIA. CASO: VEREDA CARUPANA, MUNICIPIO DE TAURAMENA, DEPARTAMENTO DE CASANARE”. Proyecto final de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Colombia: Bogotá.

TOLEDO C. (2013). “Evaluación de la energía solar fotovoltaica como solución a la dependencia energética de zonas rurales de Colombia”. Proyecto final de maestría, Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia: Cartagena.

IPSE (2011). “Centro de innovación tecnológica con énfasis en poligeneración”. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.