

CONESCAPANHONDURAS2025paper68.pdf

 Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

Document Details

Submission ID

trn:oid:::14348:477772511

Submission Date

Jul 31, 2025, 11:24 PM CST

Download Date

Aug 12, 2025, 2:43 PM CST

File Name

CONESCAPANHONDURAS2025paper68.pdf

File Size

219.2 KB

6 Pages




4,378 Words

23,507 Characters

10% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 4%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags




0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.

Top Sources

- 10%  Internet sources
- 4%  Publications
- 0%  Submitted works (Student Papers)

Top Sources

The sources with the highest number of matches within the submission. Overlapping sources will not be displayed.

1	Internet	cbr.robocup.org.br	1%
2	Internet	hdl.handle.net	1%
3	Internet	www.coursehero.com	<1%
4	Internet	www.hfiepower.com	<1%
5	Internet	www.100re.net	<1%
6	Internet	www.osti.gov	<1%
7	Internet	www.scottmadden.com	<1%
8	Internet	quieora.ink	<1%
9	Internet	docplayer.es	<1%
10	Internet	cdn.www.gob.pe	<1%
11	Internet	dspace.espace.edu.ec	<1%

12	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
13	Internet	riull.ull.es	<1%
14	Publication	Jesús Águila León. "Modelo y desarrollo de un sistema de gestión óptima para un...	<1%
15	Internet	www.ift.org.mx	<1%
16	Internet	www.michelangelo-edu.it	<1%
17	Internet	tesis.pucp.edu.pe	<1%
18	Internet	www.mapei.com	<1%
19	Internet	www.mitosyfraudes.org	<1%
20	Internet	www.researchgate.net	<1%
21	Publication	Montenegro Sanchez, Ana Marcela. "Select Secondary Costa Rican Teachers' Perc...	<1%
22	Internet	fan.fc-anji.ru	<1%
23	Internet	mexico.emc.com	<1%
24	Internet	pc-news.com	<1%
25	Internet	pt.scribd.com	<1%

26	Internet	oa.upm.es	<1%
27	Internet	scielo.senescyt.gob.ec	<1%
28	Internet	www.proteccioncivil.org	<1%

Modelos de Energización Solar para Instituciones Públicas de zonas rurales: Experiencia en la Escuela Darío Flores Hernández

1 st Given Name Surname dept. name of organization (of Aff.) name of organization (of Aff.) City, Country email address or ORCID	2 nd Given Name Surname dept. name of organization (of Aff.) name of organization (of Aff.) City, Country email address or ORCID	3 rd Given Name Surname dept. name of organization (of Aff.) name of organization (of Aff.) City, Country email address or ORCID
---	---	---

Resumen—This study presents the proposal and design for the implementation of a solar panel system at the Darío Flores Hernández Elementary School, located in the central district of the canton of Puriscal, Costa Rica. The initiative arises from the need to reduce electricity consumption and promote economic savings for the school's education board. These savings are intended to enable a reallocation of financial resources toward infrastructure improvements and to support the institution's environmental sustainability objectives. The proposed solution involves the optimal use of available space, recommending the installation of photovoltaic panels on the school's rooftop. The system is designed to partially offset the institution's energy demand, covering approximately one-third of its average electrical consumption. The analysis indicates that the proposed implementation is both technically and economically viable, offering favorable payback periods and contributing to the institution's long-term energy efficiency goals.

Index Terms—solar energy, photovoltaic systems, energy efficiency, sustainable development, renewable energy, cost reduction.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la búsqueda de soluciones sostenibles y eficientes en el ámbito energético se ha convertido en una prioridad para muchas instituciones educativas. Este estudio se centra en la implementación de una red de paneles solares en la escuela primaria Darío Flores Hernández, ubicada en el distrito central del cantón de Puriscal, Costa Rica. La propuesta surge como respuesta a la necesidad de reducir el consumo energético.

Mediante el diálogo con la administración de la escuela se exponen sus necesidades específicas y se recopila información relevante sobre el consumo energético en el último año. Además, se analiza la radiación solar en la zona, el ángulo óptimo para la instalación del sistema y la creación de diagramas cilíndricos que representan la trayectoria solar.

Seguidamente, se procede con la selección del panel solar más adecuado y el inversor correspondiente. Posteriormente, se desarrolla la fase de planificación, calculando la cantidad de paneles necesarios, así como los límites permitidos para su instalación. Finalmente, se elabora la lista completa de

materiales, se estiman los costos asociados y se realiza una evaluación económica del proyecto.

La instalación de paneles solares en el techo de la escuela representa una solución innovadora que aprovecha el espacio disponible, contribuyendo así a las metas ambientales de la institución. Con la expectativa de lograr una reducción parcial del consumo eléctrico, se estima que esta implementación puede alcanzar cerca de un tercio del consumo promedio actual. Además, se ha realizado un análisis exhaustivo que respalda la viabilidad del proyecto, garantizando tiempos de retorno óptimos para su aplicación.

Este informe detalla los diferentes aspectos del proyecto, desde la caracterización del lugar de estudio hasta la selección de los componentes del sistema fotovoltaico, con el objetivo de proporcionar una visión integral de cómo la energía solar puede transformar la infraestructura educativa en Costa Rica.

II. OBJETIVO

Desarrollar un sistema fotovoltaico conectado a la red para la disminución del consumo eléctrico de la Escuela Darío Flores Hernández.

III. METODOLOGÍA

Se realizó una investigación de carácter mixto, contemplando la revisión documental, entrevistas y diálogo con administrativos de la institución, recopilación de datos, caracterización del sitio y utilización de software abierto.

III-A. Presentación

En el camino hacia un futuro impulsado por energías limpias y sostenibles, la energía solar se posiciona como un recurso estratégico para enfrentar la crisis energética y climática. La aplicación de sistemas fotovoltaicos en entornos educativos representa una oportunidad no solo para reducir el consumo eléctrico convencional, sino también para educar en sostenibilidad mediante el ejemplo.

Este proyecto plantea la implementación de un sistema fotovoltaico conectado a la red en la Escuela Darío Flores Hernández, ubicada en el cantón de Puriscal, Costa Rica. Se

trata de una institución pública situada en una zona rural con alto potencial de radiación solar y condiciones estructurales adecuadas para la instalación de paneles solares en cubierta.

III-B. Necesidad

En el contexto educativo actual, las instituciones no solo enfrentan retos académicos, sino también desafíos relacionados con la gestión eficiente de los recursos que respaldan el proceso de enseñanza-aprendizaje. En particular, la Escuela Darío Flores Hernández, ubicada en una zona rural de Puriscal, experimenta un consumo eléctrico elevado que representa una carga significativa para el presupuesto de su junta administrativa.

Además, la ausencia de un sistema de generación energética sostenible representa una oportunidad desaprovechada para integrar en el entorno escolar una experiencia educativa vivencial sobre energías limpias, sostenibilidad y conciencia ambiental. Siendo las principales necesidades reconocidas:

- Reducir los costos energéticos para redirigir recursos a necesidades educativas.
- Fortalecer la formación integral del estudiantado mediante la incorporación de temas de sostenibilidad en el currículo.
- Fomentar la cultura ambiental y tecnológica a través de un proyecto real y aplicable al contexto estudiantil.

III-C. Propuesta

Se propone el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico conectado a red, compuesto por 24 módulos fotovoltaicos (SILFAB SIL-400 HC+), un inversor centralizado (Growatt MIN4600 TL) y los componentes de protección y cableado adecuados para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente.

Este sistema ha sido dimensionado para generar un promedio de 1506 kWh mensuales, lo que equivale a aproximadamente el 37 % del consumo energético anual de la escuela. Entre los beneficios esperados se encuentran:

- Reducción del gasto eléctrico anual en más de 2 millones de colones.
- Retorno de inversión estimado en menos de 3 años y 7 meses, considerando el ahorro y los costos asociados.
- Preparación de la infraestructura para una futura expansión que permita alcanzar una cobertura del 100 % del consumo.
- Educación ambiental activa, al integrar el sistema al currículo educativo mediante talleres, monitoreo de generación y campañas de concientización.

III-D. Justificación teórica

III-D1. Energía solar fotovoltaica: La energía solar fotovoltaica se basa en el principio físico del *efecto fotovoltaico*, descubierto por Becquerel en 1839, mediante el cual ciertos materiales semiconductores generan corriente eléctrica al ser expuestos a la luz solar. Este efecto es la base de funcionamiento de los módulos solares que hoy se utilizan en la industria energética [9].

Los sistemas fotovoltaicos se clasifican comúnmente en sistemas aislados, sistemas conectados a red y sistemas híbridos. El presente proyecto se enfoca en un sistema *on-grid*, el cual se conecta directamente a la red eléctrica nacional y permite tanto el autoconsumo como la inyección del excedente energético a la red [10].

III-D2. Radiación solar y potencial energético: Para dimensionar un sistema solar, es fundamental conocer el recurso solar disponible, el cual se expresa mediante la *irradiancia* (W/m^2) y la *irradiación* ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$). Una unidad clave en este análisis es la *hora sol pico* (HSP), que equivale al número de horas con una irradiancia estándar de 1000 W/m^2 . La energía generada se estima con la siguiente expresión:

$$E_{\text{gen}} = P_{\text{instalada}} \times \text{HSP} \times PR \quad (1)$$

donde *PR* es el *performance ratio*, que representa las pérdidas respecto a condiciones ideales [11].

El *Performance Ratio* (PR) refleja la eficiencia global del sistema fotovoltaico, considerando pérdidas por temperatura, suciedad, desajustes (*mismatch*), caída de tensión, sombras y eficiencia del inversor. En zonas tropicales, el PR suele encontrarse entre 0.75 y 0.85 [11].

III-D3. Componentes del sistema fotovoltaico: Un sistema conectado a red requiere los siguientes componentes principales:

- **Paneles solares:** Módulos fotovoltaicos que convierten la radiación solar en corriente continua.
- **Inversor:** Convierte la corriente continua en alterna sincronizada con la red.
- **Protecciones eléctricas:** Incluyen fusibles, seccionadores, supresores de sobretensión y diferenciales. Estas protecciones están definidas por la normativa NEC 690 y IEC 61730 para garantizar seguridad en instalaciones fotovoltaicas [13], [14].
- **Cableado:** El calibre del conductor debe ser seleccionado considerando el factor de seguridad del 125 % exigido por la normativa NEC 690.

III-D4. Análisis económico: La viabilidad económica se analiza mediante indicadores como el *retorno de inversión* (ROI) y el *tiempo de recuperación* (payback). Este último se obtiene al comparar la inversión inicial total con el ahorro anual proyectado. [11], [15].

IV. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

IV-A. Caracterización del consumo eléctrico.

Se recopiló la información asociada al consumo eléctrico de la Escuela Darío Flores Hernández durante los 12 meses del año 2024 permitiendo evidenciar un resumen del consumo generado y el costo que asumieron en los meses correspondientes.

Cabe destacar que debido a un error de parte de la junta educativa de la institución los datos correspondientes para los meses de marzo, abril y mayo no fueron suministrados y se procedió con la realización de un promedio para la caracterización de dichos meses.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Pago [C]	312.750.00	475.815.34	462.065.21	462.065.21	462.065.21	584.410.00	396.955.00	498.460.00	515.345.00	504.385.00	446.165.00	423.865.00
Consumo [kWh]	1855	2461	3116.35	3116.35	3116.35	4034	2727	3446	3547	3475	3075	2913

Tabla I
CONSUMO ELÉCTRICO PARA EL AÑO 2024

IV-B. Diagramas cilíndricos del sitio

Con base en el análisis del diagrama cilíndrico generado mediante la herramienta *SunChartProgram* [2], se identifican los meses con orientación solar hacia el sur y el norte, así como aquellos en los que el Sol se encuentra perpendicular a la superficie al menos un día. En la escuela Darío Flores Hernández, los meses de enero, febrero, marzo, setiembre, octubre, noviembre y diciembre presentan orientación solar hacia el sur; abril y mayo hacia el norte; y abril y agosto con incidencia perpendicular a la superficie.

IV-C. Componentes de radiación del sistema

IV-C1. Radiación en el lugar: Para la extracción de la radiación del lugar se debe de hacer mediante el uso de bases de datos, donde para efectos del proyecto se utilizaron las bases de datos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica y de la NASA, para tener un contraste entre ellas para una visión más real de la radiación que se tiene en el lugar tal y como se observa en la imagen 1.

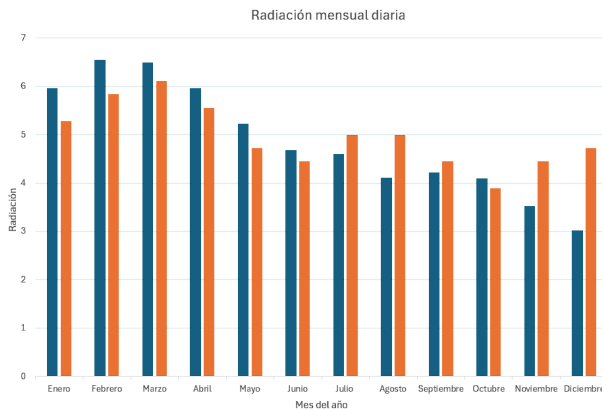


Figura 1. Radiación Mensual diaria.

Además, el dato de la radiación anual para el año 2024 se tomó de la base de datos de la NASA, cuya suma resultó en un valor total de 1781,15 kWh/m².

IV-C2. Ángulo óptimo para el sistema: Para determinar el ángulo óptimo, se calcula el promedio anual de los factores k correspondientes a la latitud del sitio, que en este caso es de 9,84, por lo que se utiliza la tabla de factores k para latitud 10. La inclinación óptima es aquella que presenta el mayor promedio anual, siendo de 5 grados para el presente caso de aplicación.

IV-D. Módulo fotovoltaico

Para la instalación del sistema fotovoltaico se propone el panel SIL-400 HC+ de la marca SILFAB SOLAR, un módulo

monocristalino con tecnología PERC y configuración de media celda, lo que permite una mayor eficiencia en la captación solar, reducción de pérdidas resistivas y mejor desempeño ante sombras. Además, cuenta con celdas tipo N dopadas con fósforo, marco de aluminio resistente y una eficiencia del 20.2 % bajo condiciones STC. Su potencia máxima es de 400 W, con una tensión de salida de 36.05 V y corriente de 11.1 A. El precio unitario es de \$275, ofreciendo una excelente relación costo-beneficio.

IV-D1. Eficiencia del panel a distintas temperaturas: Con el fin de evaluar la potencia provista por el panel seleccionado según la temperatura de la zona, se realizó un análisis considerando los casos críticos de operación: temperatura máxima y mínima. La temperatura del módulo se estimó con base en la temperatura ambiente, la irradiancia estándar de prueba (1000 W m⁻²) y el coeficiente térmico del fabricante. Como resultado, las temperaturas máximas de celda oscilan entre 59,22 °C y 63,84 °C, mientras que las mínimas varían entre 46,78 °C y 50,42 °C a lo largo del año.

Con los valores obtenidos y los coeficientes térmicos del fabricante, se estimaron las variaciones en voltaje y potencia del panel. La Tabla II muestra una leve disminución conforme aumenta la temperatura, reflejando su impacto negativo en el rendimiento fotovoltaico.

La Tabla III presenta los resultados mensuales considerando la temperatura mínima estimada, donde se observa un aumento en voltaje y potencia, evidenciando el efecto positivo de las bajas temperaturas en la eficiencia del módulo.

IV-E. Inversor

El inversor Growatt MIN4600 TL es una solución eficiente y rentable para el proyecto, diseñado para optimizar el rendimiento de sistemas fotovoltaicos medianos a grandes. Cuenta con una potencia máxima de 6440 W, dos MPPTs con corriente máxima de 13,5 A y una tensión de entrada de hasta 550 V, lo que brinda flexibilidad en la configuración. Su alta eficiencia del 98.4 % y un precio de \$1050 lo posicionan como una opción adecuada para las necesidades del sistema.

IV-E1. Dimensionamiento del inversor: Dado que el inversor posee una potencia máxima de 6440 W y cada panel SIL-400 HC+ entrega 400 W, se calcula el número de paneles permitidos mediante:

$$N^{\circ} \text{ paneles en serie} = \frac{550 \text{ V}}{36,05 \text{ V}} = 15,25 \quad (2)$$

Esto evidencia que, teóricamente, se podrían conectar hasta 15 paneles por entrada. No obstante, considerando un margen de seguridad respecto a la tensión máxima de entrada del inversor y las restricciones presupuestarias de la institución, se optó por implementar 12 paneles en serie.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
V_{oc}	32,572617	32,34247	32,20318	32,12949	32,46259	32,47874	32,51205	32,48985	32,531232	32,52518	32,590786	32,595833
P_{panel}	350,392	347,1088	345,1216	344,0704	348,8224	349,0528	349,528	349,2112	349,8016	349,7152	350,6512	350,7232

Tabla II
VOLTAJE Y POTENCIA DEL PANEL A TEMPERATURA MÁXIMA

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
V_{oc}	33,69	33,85	33,79	33,64	33,54	33,64	33,56	33,52	33,48	33,56	33,62	33,66
P_{panel}	366,33	368,64	367,86	365,71	364,14	365,58	364,49	363,87	363,39	364,46	365,34	365,1

Tabla III
VOLTAJE Y POTENCIA DEL PANEL A TEMPERATURA MÍNIMA

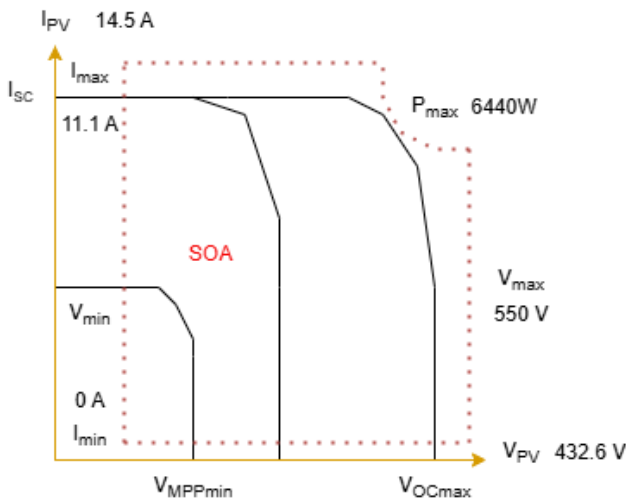


Figura 2. Diagrama de operación segura

La tensión máxima correspondiente a cada entrada se obtiene mediante el siguiente cálculo:

$$\begin{aligned} \text{Tensión por entrada} &= \text{Tensión máxima del panel} \quad (3) \\ &\times \text{N}^\circ \text{ de paneles en serie} \\ &= 36,05 \text{ V} \times 12 = 432,6 \text{ V} \end{aligned}$$

La corriente asociada a cada entrada es de 11,1 A, manteniéndose por debajo del límite máximo permitido. Utilizando las dos líneas del inversor disponibles, cada una de ellas con 12 paneles fotovoltaicos conectados en serie se obtiene una instalación total de 24 paneles fotovoltaicos dentro del sistema.

IV-F. Gráfico de operación segura

IV-G. Estimación energética generada

La configuración del sistema con 24 módulos fotovoltaicos fue dimensionada para cubrir el 37,2 % del consumo energético de la institución educativa, considerando la radiación solar del sitio y las características de los componentes. La estimación de producción se realizó con datos meteorológicos del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica (IMN) y parámetros de eficiencia del sistema.

Según estos datos, el promedio anual de irradiación solar es de 5,3 horas sol pico (HSP), incluyendo su variabilidad estacional dentro del modelo predictivo. La producción diaria estimada es de 50,07 kWh d⁻¹, lo que equivale a 1505,6 kWh/ y 18 067,2 kWh/.

La estimación incorpora seis factores de rendimiento, cuyo producto determina el *Performance Ratio*, reflejando las pérdidas frente a condiciones ideales. La pérdida por temperatura es la más significativa (8 %), atribuida al clima tropical con temperaturas promedio de 28 °C y al coeficiente térmico de -0,35 %/°C del módulo SIL-400 HC+. También se consideran pérdidas por cables (2 %) con conductores 10 AWG, *mismatch* entre módulos (3 %), suciedad (4 %) en un entorno con limpieza natural, sombras mínimas (2 %) y eficiencia del inversor (2 %).

La Tabla IV presenta el desglose mensual de la generación estimada, donde se observa claramente la variabilidad estacional característica. Los meses de marzo y abril muestran los mayores valores de HSP (6,0 – 6,1 h/día), coincidiendo con el período de menor nubosidad en la región.

Mes	Días	Rad. [MJ/día]	Factor K	HSP [h/día]	PR	kWh/día	kWh/mes
Enero	31	18,5	1,04	5,1	0,80	39,2	1,215,2
Febrero	28	19,2	1,03	5,3	0,80	40,7	1,139,6
Marzo	31	22,1	1,00	6,1	0,83	48,6	1,506,6
Abril	30	21,8	0,99	6,0	0,83	47,8	1,434,0
Mayo	31	20,3	0,98	5,6	0,79	42,4	1,314,4
Junio	30	19,7	0,98	5,5	0,79	41,6	1,248,0
Julio	31	19,9	0,98	5,5	0,79	41,9	1,298,9
Agosto	31	20,5	0,99	5,7	0,81	44,3	1,373,3
Septiembre	30	19,6	1,01	5,4	0,80	41,5	1,245,0
Octubre	31	18,2	1,03	5,0	0,78	37,4	1,159,4
Noviembre	30	17,4	1,04	4,8	0,77	35,4	1,062,0
Diciembre	31	17,8	1,04	4,9	0,77	36,2	1,122,2

Tabla IV
ESTIMACIÓN MENSUAL DE PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

$$\begin{aligned} \text{N}^\circ \text{ inversores} &= \frac{\text{Consumo mensual máximo}}{\text{Generación mensual del sistema}} \\ &= \frac{4,034 \text{ kWh}}{1,505,6 \text{ kWh}} \\ &= 2,68 \quad (4) \end{aligned}$$

Es necesario destacar, que con el aproximado de producción mensual calculado, es necesaria la implementación de un total de 3 inversores con la conexión propuesta anteriormente. Es decir, se recomienda implementar dos etapas posteriores a esta implementación inicial.

IV-H. Protecciones eléctricas

Para garantizar la seguridad tanto para el sistema como para las personas, se considera la protección en corriente continua y corriente alterna, contemplando las condiciones de operación, posibles fallos eléctricos y normativa NEC.

IV-I. Dimensionamiento del cableado

Para el diseño del sistema fotovoltaico de la escuela en estudio se determinó que la opción más adecuada para el calibre del cableado sería de 10 AWG, esto es debido a que el sistema está compuesto por dos cadenas de 12 paneles SIL-400 HC+ cada una, las cuales generan una corriente máxima de 11,1 A en condiciones estándar. Sin embargo, al aplicar el factor de seguridad del 125 % exigido por la normativa NEC 690.8, el dimensionamiento debe contemplar 13,875 A por string y 27,75 A para el circuito combinado [4]. El cable 10 AWG, con una capacidad certificada de 30 A, supera estos requerimientos con un margen de seguridad del 8.1 % en el peor escenario, lo que garantiza una operación segura incluso durante picos de producción.

IV-J. Diagrama unifilar

En la presente sección se ilustra el diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto, contemplando la cantidad de módulos de los paneles solares calculados en secciones anteriores, así como su debida conexión con el inversor escogido.

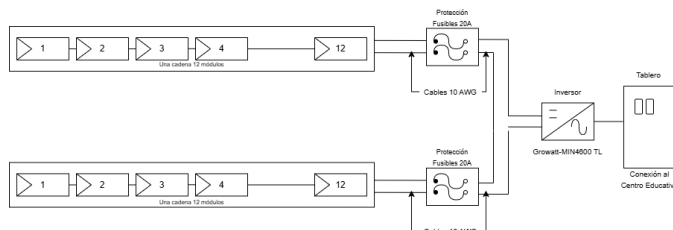


Figura 3. Diagrama unifilar

IV-K. Lista de componentes de montaje para estructuras

El diseño estructural del sistema fue ideado desde el inicio para tolerar la instalación de 80 módulos, previendo una posible expansión futura. Sin embargo, la primera etapa de implementación contempla únicamente la instalación de 24 paneles, alineándose con las necesidades energéticas actuales y el presupuesto disponible.

En la propuesta completa, se consideró un arreglo de 80 módulos SIL-400 HC+ de 400 W cada uno, sobre un techo con dimensiones aproximadas de 248,7 m² (128,08 ft × 20,91 ft). Donde la herramienta Unirac [5] generó los componentes de instalación reflejados en la Tabla VI, que sumarían un costo estimado de \$4065,6. Al incluir los elementos de protección, los módulos, el inversor y la mano de obra de instalación, el costo total asciende a aproximadamente \$14336,58.

Componente	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Rieles	40	\$54.02	\$2160.80
Clampa media	120	\$2.97	\$356.40
Clampa final	80	\$2.53	\$202.40
Terminal de puesta a tierra	20	\$7.54	\$150.80
Sellado	120	\$9.24	\$1108.80
Montaje de microinversor	80	\$1.08	\$86.40
Fusible	2	\$4.50	\$9.00
Cable	2	\$55.99	\$111.98
Módulo fotovoltaico	24	\$275.00	\$6600.00
Inversor	1	\$1050.00	\$1050.00
Mano de obra	-	\$2500.00	\$2500.00
Total			\$14,336.58

Tabla VI
COMPONENTES DE MONTAJE

La propuesta estructural de Unirac incluye montajes para microinversores en cada panel, pero al emplearse un inversor centralizado, estos pueden omitirse, reduciendo el costo del sistema para 80 paneles. Además, se definió una etapa inicial con 24 paneles, que cubre el 37 % del consumo eléctrico de la institución. Para esta configuración se ajustaron los componentes estructurales, lo que permitió reducir el costo a **\$14,336.58** para los elementos de instalación recomendados por Unirac.

RESULTADOS

IV-L. Estimación económica del retorno

El ahorro anual obtenido de la Tabla VII corresponde a 2,291,176.35. Considerando el costo calculado en la sección anterior para la instalación de la primera etapa del sistema propuesto, correspondiente a \$14,336.58, que al tipo de cambio actual equivale a 7,243,270.31, se puede estimar el retorno de la inversión realizada por el centro educativo. No obstante, es necesario incluir los costos asociados al mantenimiento y a la viabilidad de conexión.

Los costos de viabilidad, interconexión, habilitación y cargos adicionales provistos por la compañía ICE, dado que el sistema se encuentra conectado a la red, se estiman en 310,750. Además se estiman unos 552,961 en mantenimiento y seguros.

$$\begin{aligned}
 \text{Inversión}_{\text{total}} &= \text{Inversión}_{\text{inicial}} + \text{Mantenimiento} + \text{Viabilidad} \\
 &= 7,243,270.31 + 552,961 + 310,750 \\
 &= 8,106,981.31
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Este valor permite estimar un periodo de retorno de aproximadamente **3.54 años**.

Según la Tabla VII, el sistema genera en promedio 1506 kWh mensuales, cubriendo una parte significativa del consumo haciendo que los ahorros oscilan entre 217,841 y 291,173, con una reducción promedio del 37 % en la factura eléctrica, lo que mejora la sostenibilidad financiera y permite una mejor gestión de recursos institucionales.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se diseñó un sistema fotovoltaico con el propósito de reducir los costos de consumo eléctrico de la escuela Darío Flores Hernández.

Protecciones en Corriente Continua (CD)		
Tipo de protección	Modelo / Componente	Especificaciones
Fusible DC	Mersen ATMR20 600VDC 20A	20 A, 600 VDC, tipo CC
Breaker DC	Eaton PDK21M0030TFFJ	30 A, 600 VDC, corte y protección en la línea DC principal
SPD DC	DS50PVS-600	Protección contra sobretensiones tipo 2, tensión máxima 600 VDC
Seccionador DC	57PV0L01	32 A, diseñado para corte manual en circuitos de corriente continua
Protecciones en Corriente Alterna (CA)		
Tipo de protección	Modelo / Componente	Especificaciones
SPD AC	HL6IMA12C	Protección contra sobretensiones tipo 2 para red AC
Interruptor diferencial	Siemens 5SV3312-6	Tipo A, 30 mA, tensión nominal 230 V
Otras protecciones		
Tipo de protección	Modelo / Componente	Especificaciones
Puesta a tierra	Terminales y cableado equipotencial	Unión de estructuras metálicas y equipo a tierra común
Cableado DC	Cable calibre 10 AWG	Aislante XLPE, hasta 30 A, resistente a UV, baja caída de tensión

Tabla V
PROTECCIONES ELÉCTRICAS DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo cubierto (kWh/mes)	1506	1506	1506	1506	1506	1506	1506	1506	1506	1506	1506	1506
Energía no comprada (%)	18.8140162	38.8053837	51.6742343	51.6742343	51.6742343	62.0673277	44.7744774	56.2971561	57.5415844	56.6618705	51.0243902	48.3007209
Factura nueva estimada	58,840.84	1184,641.87	238,768.66	238,768.66	238,768.66	366,234.13	177,734.53	280,618.80	1296,537.68	285,733.98	227,052.97	1204,729.85
Ahorro mensual	253,909.16	291,173.47	223,296.55	223,296.55	223,296.55	218,171.87	219,220.47	217,841.20	218,807.32	218,591.02	218,512.03	219,15.15

Tabla VII
DATOS DE CONSUMO Y FACTURACIÓN CON LA TECNOLOGÍA FOTOVOLTAICA

El sistema fotovoltaico diseñado genera un consumo mensual aproximado de $1505,6\text{ kW}$ por mes y un aproximado de $18067,2\text{ kW}$ anual cubriendo 37% del consumo de la institución.

Es necesaria la implementación de 3 inversores con la configuración fotovoltaica planteada para la cobertura total del consumo de la escuela.

Finalmente se estima que el retorno de la inversión inicial necesaria para la instalación del sistema planteado se realice en aproximadamente 5 meses.

V. TRABAJOS FUTUROS

Una posible etapa siguiente o trabajo futuro a considerar es la implementación de secciones del sistema posteriores hasta alcanzar el abastecimiento energético total de la institución.

REFERENCIAS

- S. Sartore Oliver, "Diseño e Implementación de un Regulador de Carga Solar para Baterías de Litio, Universidad de La Laguna, 2021. [En línea]. Disponible en: <http://riull.ull.es/xmlui/handle/915/24758>
- "UO SRML: Sun path chart," Uoregon.edu. [En línea]. Disponible en: <https://solardata.uoregon.edu/SunPathChart.html>.
- "Cálculo de la posición del sol en el cielo para cada lugar en cualquier momento," Sunearthtools.com. [En línea]. Disponible en: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php.
- International Code Council (ICC), "Digital Codes," Iccsafe.org. [En línea]. Disponible en: <https://codes.iccsafe.org/s/ISEP2021P1/national-electrical-code-nec-solar-provisions/ISEP2021P1-NEC-Sec690.8>.
- "Ubuilder 2.0," Unirac.com. [En línea]. Disponible en: <https://design.unirac.com/>.
- Samtec. Connectors, Cables, Optics, RF, Silicon to Silicon Solutions, 2024 [En línea]. Disponible en: <https://www.samtec.com/>
- UNBONDSOLAR. Silfab Solar 400w Prime HC+ Module [En línea]. Disponible en: <https://unboundsolar.com/10000437/Silfab/solar-panels/silfab-solar-400w-prime-hc-module>
- Solar photovoltaic plant operating and maintenance costs- ScottMadden. 2024 ScottMadden. [En línea]. Disponible en: <https://www.scottmadden.com/insight/solar-photovoltaic-plant-operating-andmaintenance-costs/>
- Solar Energy International, Photovoltaics: Design and Installation Manual, Paonia, CO, USA: SEI, 2020.
- D. López and M. González, "Diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos conectados a red," Revista Energía y Tecnología, vol. 19, no. 2, pp. 65–79, 2022.
- M. Pérez and J. Méndez, "Dimensionamiento de sistemas solares en instituciones educativas rurales," Revista Tecnología en Acción, vol. 13, no. 1, pp. 34–50, 2021.
- Growatt New Energy. (2023). MIN4600 TL Technical Datasheet. Disponible en: <https://www.ginverter.com>.
- National Fire Protection Association (NFPA), NEC 690 - Solar Photovoltaic Systems, 2020.
- International Electrotechnical Commission (IEC), IEC 61730: Photovoltaic Module Safety Qualification, IEC Standard, 2021.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), La energía solar en América Latina: situación y perspectivas, Santiago de Chile: CEPAL, 2018.