



# **Suministro de energía eléctrica mediante paneles solares a escuelas de nivel básico rurales de República Dominicana**

**Master Executive en Energías Renovables y Mercado Energético**

**Resumen Ejecutivo**

Curso 2017/2018

**Integrantes:**

**Nicole Franchesca De Dios Abad**- República Dominicana  
**Raúl Ernesto Rodríguez Guillén**- Suiza  
**Víctor Miguel Cruz Olivo**- República Dominicana  
**Mario Sebastián Morán Rubiano**- Colombia  
**Dalton Angomás Adames**- República Dominicana  
**Sebastián Guzmán Díaz** - Colombia

**Profesor tutor:**

**Luis Méndez Castellanos**

## 1 OBJETIVO GENERAL DEL PROYECTO

Establecer una metodología para implementar la generación de energía eléctrica por medio de energía solar fotovoltaica que supla las necesidades de un centro educativo aislado de la red eléctrica nacional.

## 2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diagnosticar el estado actual de las necesidades de energía eléctrica de los centros educativos que se encuentran aislados de la red interconectada nacional.
- Diseñar el sistema de generación solar fotovoltaica adecuado para el centro educativo seleccionado.
- Evaluar la capacidad técnica y económica de las diferentes alternativas para suplir las necesidades de energía eléctrica en de los centros educativos que se encuentran aislados de la red interconectada nacional.
- Diseñar un plan que permita establecer los parámetros necesarios para realizar las condiciones generales de un pliego de condiciones de licitación pública para el suministro e instalación de equipos fotovoltaicos en instalaciones internas en escuelas rurales.
- Modelar un proyecto que aporte al desarrollo sostenible en República Dominicana, que genere beneficios económicos para el inversionista pero a la vez promueva a la educación de calidad como compromiso social y la energía asequible y no contaminante.

## 3 RECOLECCION DE DATOS

Mediante el trabajo de campo se pudo establecer un listado de 8 escuelas en 4 zonas principales de la República Dominicana. Para cada institución la temperatura máxima y mínima fueron estimadas a partir de la información de la base de datos de la NASA para los últimos 4 años, de 2015 a 2018. En la que las temperaturas máximas y mínimas promedio anuales son 30°C y 19,5°C, siendo las temperaturas máximas y mínimas históricas a considerar 36,6°C y 13,1°C, respectivamente.

### 3.1 Potencial de radiación solar

Para determinar el potencial de radiación solar a emplear, se comparó la información del estudio de *Consultoría para la identificación y Evaluación de proyectos de Electrificación rural sostenibles en República Dominicana* (Rodríguez, 2009) con la información de la base de datos de la NASA para la zona, a fin de corroborar la pertinencia de los datos a emplear.

El estudio de Consultoría para la identificación y Evaluación de proyectos de Electrificación rural sostenibles en República Dominicana (Rodríguez, 2009) a partir de imágenes de satélite y empleando modelos desarrollados para este proyecto, genera bases de datos de radiación para extensiones de superficie con coordenadas (longitud y latitud) definidas. A partir de las bases de datos de radiación

solar se generaron los correspondientes mapas de radiación solar para RD. La radiación solar anual promedio de RD de acuerdo al estudio mencionado previamente se muestra en la Ilustración 1.

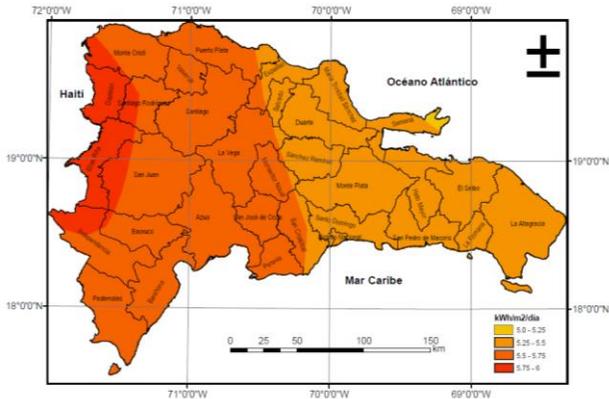


Ilustración 1. Radiación Solar Anual en RD-Promedio Anual<sup>1</sup>

A partir de la información obtenida en este estudio, los centros educativos objeto de estudio se encuentran en una zona de radiación global que oscila entre 5.5 y 5.75 (kW-hr/m<sup>2</sup>/día).

La radiación solar también fue obtenida de la base de datos de la NASA con base en los últimos 20 años (1998-2018) y comparada con el estudio.

Con base en la información mencionada se tiene un  $G_{ef} = 5.45$  (kW-hr/m<sup>2</sup>/día).

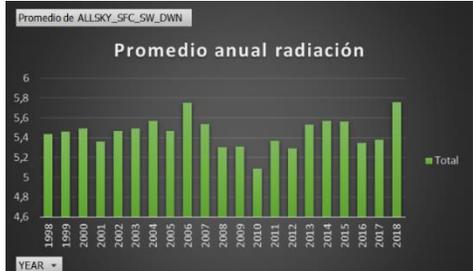


Ilustración 2. Promedio anual de radiación en la zona seleccionada<sup>2</sup>

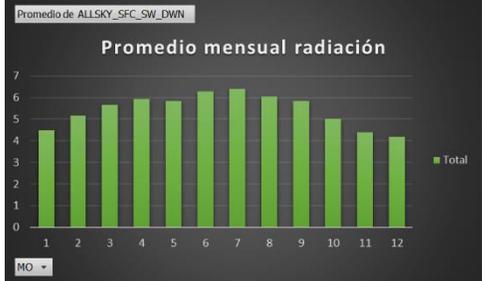


Ilustración 3. Promedio mensual de radiación en la zona seleccionada<sup>2</sup>

Para el desarrollo de este proyecto se buscará un punto medio de radiación global siendo  $G_{ef} = 5.5$  (kW-hr/m<sup>2</sup>/día) el valor que se tomará como referencia.

<sup>1</sup> Consultoría para la identificación y Evaluación de proyectos de Electrificación rural sostenibles en República Dominicana

<sup>2</sup> Fuente propia a partir de los datos obtenidos de <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>

### 3.2 Consumo por Escuela

Para establecer el consumo energético estimado de las escuelas se recolectaron diferentes consumos de diferentes escuelas del sur de República Dominicana, que se encontrasen en una situación similar a las escuelas objeto de estudio en cuanto a capacidad, tamaño, ubicación geográfica, etc.

De acuerdo al histórico de valores promedios de escuelas en zonas rurales se tienen los siguientes valores de consumo.

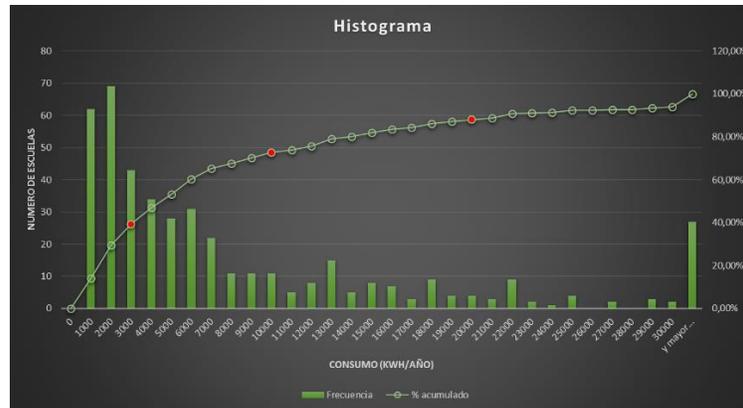


Ilustración 4. Histograma de consumo energético de las escuelas de RD<sup>3</sup>

Las escuelas fueron agrupadas en tres (3) conjuntos principales en función de su consumo. Se consideran escuelas que poseen un bajo consumo (escuelas pequeñas), a las que tienen consumos menores o iguales a 3.000 kWh/año; escuelas de consumo medio (escuelas medianas) a las que tienen consumos entre 3.000 kWh/año y 10.000 kWh/año; y escuelas de altos consumos (escuelas grandes) a las que tienen consumos entre 10.000 kWh/año y 20.000 kWh/año. Escuelas que se encuentran por encima de los 20.000 kWh/año no se consideraran para la elaboración de este proyecto.

## 4 ANALISIS DE DATOS

### 4.1 Cálculos de Kits

Para realizar el cálculo de los kits, la selección de equipos se hará de forma que los paneles, inversores, reguladores y baterías, sean del mismo tipo para todos los kits y solo variarán sus cantidades de un kit a otro, esto, hasta donde sea técnicamente posible. Esto hará más simple el proceso de diseño y selección de características técnicas de cada uno de los equipos al momento de elaborar el pliego de condiciones para la licitación.

<sup>3</sup> Fuente propia a partir de los datos obtenidos de EDESUR

Con las horas de radiación solar neta (HSN) de 1.508 kWh-m<sup>2</sup>/d, se procede a estimar la potencia necesaria AC según el tipo de kit. La corriente pico del sistema se calcula como la potencia total del sistema sobre el voltaje en DC seleccionado en cada configuración.

Tabla 1. Datos de consumo para el cálculo

TIPO DE ESCUELA	CONSUMO POR ESCUELA ANUAL (kWh/año)	POTENCIA AC (kW)	CONSUMO POR ESCUELA (Wh/día)	CONSUMO EN L (Ah/día)*	CONSUMO LF (Ah/día)**	POTENCIA AC (kW)	CORRIENTE PICO (Imax) (A)
TIPO 1	3.000	1,99	8.219,18	380,52	402,34	1,99	83,02
TIPO 2	10.000	6,64	27.397,26	634,20	670,57	6,64	138,37
TIPO 3	20.000	13,28	54.794,52	1.268,39	1.341,15	13,28	276,74

\*NOTA: Consumo L(Ah) afectado por la eficiencia de regulador y el voltaje DC del sistema.

\*\*NOTA: El rendimiento de la batería 97%, pérdidas en las líneas de 2.5% y el voltaje del sistema DC (24 Vdc para el Tipo 1 y 48 Vdc para los tipos 2 y 3)

Una vez obtenidos estos datos, se realiza el cálculo de sistema de acumulación por baterías.

Tabla 2. Cálculo de campo de acumuladores

TIPO DE ESCUELA	CONSUMO POR ESCUELA ANUAL (kWh/año)	TIEMPO MEDIO (TOM)(h)	REGIMEN DE DESCARGA MEDIO (RDM) (h)	CAPACIDAD DE BATERIAS (Ah)
TIPO 1	3.000	4,58	14,47	1.207,03
TIPO 2	10.000	2,29	7,24	2.011,72
TIPO 3	20.000	2,29	7,24	4.023,45

\*NOTA: no es necesario usar factor de corrección de temperatura según los datos la mínima es 19,5°c de la zona a instalar.

El régimen de descarga asumido es C10 y para esta temperatura no es necesario una corrección.

Con base en este cálculo, se selecciona el tipo y la cantidad de baterías que se ajustan para cada kit en base a una autonomía de 3 días.

Tabla 3. Sistemas de acumulación por baterías

TIPO DE ESCUELA	NO. BANCO DE BATERIA CALCULADAS EN PARALELO (UD)	DESCRIPCION	NO. DE BATERIAS DE CADA TIPO	CAPACIDAD DE LA BATERIA SELECCIONADA (Ah)	NO. BATERIA CALCULADAS (UD)
TIPO 1	1	SISTEMA DE ACUMULADORES @24 Vdc con 12 BATERIAS ROLLS S-1660 - 2 VOLTS CONECTADAS EN SERIE	12	1.284	0,94
TIPO 2	2	SISTEMA DE ACUMULADORES @48 Vdc con 24 BATERIAS ROLLS S-1660 - 2 VOLTS CONECTADAS EN SERIE-PARALELO	48	1.284	1,57
TIPO 3	2	SISTEMA DE ACUMULADORES @48 Vdc con 24 BATERIAS ROLLS 2 YS 27P - 2 VOLTS CONECTADAS EN SERIE-PARALELO	48	2.106	1,91

Con base en la potencia pico calculada y la potencia pico estándar del panel solar seleccionado, se realiza el cálculo de la cantidad necesaria de paneles para la configuración de cada tipo de kit

Tabla 4. Número de paneles por sistema

TIPO DE ESCUELA	CALCULO DE POTENCIA PICO DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO (kW <sub>p</sub> )	POTENCIA DEL PANEL SELECCIONADO CERTIFICACION POR CNE CANADIAN SOLAR CS6K-275P (W <sub>p</sub> )	CANTIDAD PANELES CALCULADOS	CANTIDAD PANELES SELECCIONADOS
TIPO 1	2,34	275	8,51	9
TIPO 2	7,80		28,37	29
TIPO 3	15,61		56,75	57

Posteriormente, se lleva a cabo la selección de los inversores y el regulador de carga basado en los valores típicos recomendados del factor de escalación entre  $P_g/P_{inv}$ .

Finalmente, cada uno de los equipos principales de los sistemas puede resumirse a continuación.

Tabla 5. Sistema completo por kit

TIPO DE ESCUELA	PANELES	INVERSORES /REGULADOR	ACUMULADORES
TIPO 1	9 - PANEL SOLAR CANADIAN SOLAR CS6K-275P (275 WP)	1 - INVERSOR DE 2 KW - MAGNUM MS2024 @24 VDC	1- SISTEMA DE ACUMULADORES DE 12 BATERIAS ROLLS S-1660 - 2 VOLTS CONECTADAS EN SERIE
TIPO 2	29 - PANEL SOLAR CANADIAN SOLAR CS6K-275P (275 WP)	2 - INVERSORES DE 3,6 KW - OUTBACK POWER VFX3648M @48VDC	2- SISTEMA DE ACUMULADORES DE 24 BATERIAS ROLLS S-1660 - 2 VOLTS CONECTADAS EN SERIE
TIPO 3	57 - PANEL SOLAR CANADIAN SOLAR CS6K-275P (275 WP)	3 - INVERSORES DE 4,4 KW - FOUR STAR SOLAR MS4448PAE TRIPLE MAGNUM POWER CENTER @48 VDC.	4- SISTEMA DE ACUMULADORES DE 24 BATERIAS ROLLS 2 YS 27P - 2 VOLTS CONECTADAS EN SERIE

## 4.2 PROPUESTA ECONOMICA

La propuesta económica se basa en los precios unitarios de los equipos obtenidos del portal web WholeSolar para los paneles, inversores, baterías y demás equipos principales. Los valores referencia fueron obtenidos de esta página debido a que son estimativos que pueden servir como referencia para establecer un orden de magnitud en el presupuesto del pliego de condiciones para la licitación.

Los valores de instalación, puesta en marcha y valores logísticos y de montaje como el transporte y las gruas fueron estimados con base en los valores locales de esta clase de servicios.

El monto total asciende al valor de US\$281.446,88, compuesto por 2 kits Tipo 1 con valor de \$13.119,26 cada uno, 4 Kits Tipo 2 por valor de US\$38.355,19 cada uno y 2 Kits Tipo 3 por valor de \$50.893,80 cada uno.

## 5 IMPLEMENTACION

Este proyecto surge como repuesta a las necesidades de servicios básicos presentes en las infraestructuras escolares de zonas rurales, las cuales se emplean no solo como instituciones docentes, sino también como centros comunitarios, en donde se realizan actividades de índole social de las

comunidades; tales como: reuniones, votaciones regionales y presidenciales, eventos deportivos, situaciones de emergencia, jornadas de salud, etc.

Extender entonces el servicio de energía eléctrica a las comunidades rurales se pretende realizar mediante el Artículo 133, de la Ley General de Electricidad, el cual señala: *“El Gobierno Dominicano se asegurará de que las poblaciones de escasos recursos en las zonas urbanas y rurales respectivamente, obtengan el servicio eléctrico en condiciones y precios asequibles a sus ingresos”* (Superintendencia de electricidad, 2012). Para esto la mejor forma de ejecutarse es a través de la contratación pública bajo la Ley No.340-06 sobre compras y contrataciones de Bienes, servicios, obras y concesiones.

De acuerdo con esto, es necesaria la elaboración de un pliego modelo que establezca las condiciones necesarias y delimite las características técnicas de los sistemas a instalar para poder realizar la contratación e implementación antes mencionada.

### **5.1 Pliego Modelo**

Con base en el análisis de las necesidades y una vez teniendo definidos los kits para las escuelas, se procede a realizar las características técnicas del pliego de condiciones. Este documento contractual establece las condiciones y cláusulas necesarias para la contratación de los bienes y servicios necesarios para la instalación de los sistemas fotovoltaicos en escuelas rurales de la República Dominicana; incluye la descripción general del contenido del proyecto, los bienes a suministrar, los criterios o aspectos normativos, legales y administrativos a considerar por las empresas que deseen. Este pliego de condiciones se espera pueda ser empleado como pliego modelo por el Ministerio de Educación de la República Dominicana (MINERD).

## **6 CONCLUSIONES**

La división de las escuelas en agrupaciones en función de su consumo energético ha permitido establecer en el pliego de condiciones para licitación, 3 tipos de kits fotovoltaicos con el que se abarcan de una manera sencilla la gran mayoría de las escuelas.

El gran riesgo que se incurre en este en este tipo de proyecto es darle continuidad a la operación y mantenimiento de los equipos, por lo que queda planteado como trabajo futuro una implementación rural de una cadena operación y mantenimiento de los equipos ya instalados.

Las escuelas rurales en términos generales son instituciones que tienen un bajo consumo, por lo que, en principio, según los modelos de negocios actuales para la generación de energía fotovoltaica pueden no ser rentables a primera instancia, sin embargo, la pretensión con este proyecto no gira en torno a la utilidad económica únicamente, sino que el componente social juega un rol fundamental. Es por esto que este tipo de iniciativas se debe seguir y es el estado el más indicado para darle continuidad.

Se ha diseñado una metodología que ha permitido implementar la generación de energía eléctrica por medio de la energía fotovoltaica que suplirá las necesidades de estos centros educativos aislados de la red eléctrica nacional.