



REPÚBLICA DOMINICANA

**PRÉSTAMO BIRF 7217- DO
PROYECTO DE ASISTENCIA TÉCNICA AL SECTOR ENERGÍA**

**CONSULTORÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y
EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE
ELECTRIFICACIÓN RURAL SOSTENIBLES EN
REPÚBLICA DOMINICANA**

INFORME FINAL

(Versión con Observaciones Levantadas)

VOLUMEN 1 DE 2

Santo Domingo, Octubre de 2009

Preparado para la UERS por

Humberto Rodríguez M.

humberto.rodriguez.m@gmail.com

Las opiniones y conceptos expresados en este documento son los del autor y no necesariamente representan el punto de vista de la UERS de la República Dominicana

CONTENIDO

<u>0. RESUMEN EJECUTIVO.....</u>	<u>0-1</u>
<u>1. ANTECEDENTES</u>	<u>1-1</u>
1.1 ANTECEDENTES DE LA UERS.....	1-1
1.2 ANTECEDENTES DE LA CONSULTORÍA.....	1-2
1.3 OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA.....	1-3
1.4 PRODUCTOS ESPECÍFICOS ESPERADOS.....	1-3
1.5 ACTIVIDADES SECUENCIALES A REALIZAR	1-4
1.6 METODOLOGÍA.....	1-4
<u>2. RECURSOS DE ENERGÍA SOLAR, EÓLICA Y PCH'S</u>	<u>2-1</u>
2.1 POTENCIAL SOLAR.....	2-1
2.1.1 Conceptos básicos.....	2-1
2.1.2 Componentes de la radiación solar	2-1
2.1.3 Caracterización de la energía solar	2-3
2.1.4 Tecnologías solares e información solar requerida.....	2-3
2.1.5 Caracterización del recurso solar para ingeniería solar	2-6
2.1.6 Fuentes de información.....	2-6
2.1.6.1 <i>INDOTEC</i>	2-6
2.1.6.2 <i>SWERA</i>	2-6
2.1.7 Potencial solar de RD	2-7
2.1.7.1 <i>Metodología de SWERA</i>	2-7
2.1.7.2 <i>Mapas de radiación solar</i>	2-7
2.1.7.3 <i>Tablas de radiación</i>	2-12
2.2 POTENCIAL EÓLICO.....	2-17
2.2.1 Conceptos fundamentales	2-17
2.2.2 Caracterización de la energía eólica	2-18
2.2.2.1 <i>Extrapolación de la velocidad a otras alturas</i>	2-18
2.2.2.2 <i>Dependencia de la densidad de potencia en el viento en función de la altura</i>	2-20
2.2.2.3 <i>Distribución de velocidades del viento</i>	2-21
2.2.2.4 <i>Distribución de Weibull</i>	2-22

REPÚBLICA DOMINICANA

2.2.2.5	<i>Comportamiento diurno del viento</i>	2-25
2.2.2.6	<i>Clasificación del potencial de la energía eólica</i>	2-25
2.2.3	Aplicaciones de la energía eólica.....	2-26
2.2.3.1	<i>Bombeo de agua</i>	2-26
2.2.3.2	<i>Generación de electricidad</i>	2-26
2.2.4	Caracterización del recurso eólico para ingeniería eólica	2-27
2.2.4.1	<i>Información del recurso eólico</i>	2-27
2.2.4.2	<i>Curva de potencia de los aerogeneradores</i>	2-28
2.2.5	Fuentes de información para RD	2-28
2.2.6	Potencial Eólico de RD.....	2-29
2.3	POTENCIAL HIDROENERGÉTICO	2-34
2.3.1	Conceptos fundamentales	2-34
2.3.2	Demanda de Energía.....	2-35
2.3.3	Tipos de PCH.....	2-36
2.3.4	PCH con captación derivadora	2-37
2.3.5	Aplicaciones de la hidroenergía.....	2-39
2.3.6	Desarrollo de proyectos de PCH's.....	2-39
2.3.7	Estimación de la demanda	2-43
2.3.8	Demanda máxima por vivienda	2-44
2.3.9	Demanda promedio por vivienda.....	2-44
2.3.10	Proyección de la demanda de potencia de una comunidad rural	2-46
2.3.11	Demanda promedio por tipo de establecimiento	2-47
2.3.12	Evaluación del recurso hidroenergético para desarrollos hidroeléctricos	2-47
2.3.12.1	<i>Determinación de la caída</i>	2-47
2.3.12.2	<i>Medición del caudal</i>	2-48
2.3.12.3	<i>Estudio hidrológico y meteorológico</i>	2-48
2.3.13	Fuentes de información para RD	2-48

3. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS GEOGRÁFICAS NO ELECTRIFICADAS **3-1**

3.1	INFORMACIÓN DISPONIBLE.....	3-1
3.1.1	UERS	3-1

REPÚBLICA DOMINICANA

3.1.2	EDEESTE	3-1
3.1.3	ONE	3-2
3.1.3.1	<i>Censo 2002</i>	3-2
3.1.3.2	<i>ENIGH 2007</i>	3-2
3.2	DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS GEOGRÁFICAS NO ELECTRIFICADAS.....	3-4
3.2.1	Etapa 1. Grado de electrificación por parajes	3-4
3.2.2	Etapa 2. Extensión de redes	3-6
3.3	‘GRADO DE ELECTRIFICACIÓN DE RD A PARTIR DE INFORMACIÓN DEL CENSO DE 2002.....	3-12
3.3.1	A nivel de nación	3-12
3.3.2	A nivel de provincias	3-12
3.3.3	A nivel de municipios	3-17
3.4	LIMITACIONES DEL ANÁLISIS DEL GRADO DE ELECTRIFICACIÓN	3-23
4.	<u>TECNOLOGÍAS SOLAR, EÓLICA Y PCH</u>	<u>4-1</u>
4.1	SFV STANDARD PARA VIVIENDAS	4-1
4.1.1	Introducción	4-1
4.1.2	Diagrama de bloque de los SFV autónomos.....	4-2
4.1.3	Servicios básicos a suministrar con SFV Standard.....	4-3
4.1.4	Localización del SFV Standard	4-4
4.1.5	Energía solar disponible.....	4-4
4.1.6	Dimensionamiento del SFV Standard.....	4-6
4.1.7	Especificaciones PRELIMINARES del SFV Estándar para RD.....	4-7
4.1.8	Especificaciones DEFINITIVAS del SFV Estándar para RD.....	4-8
4.2	SFV PARA ESCUELAS.....	4-8
4.2.1	Servicios básicos a suministrar con SFV Escuelas	4-8
4.2.2	Localización del SFV Escuelas.....	4-9
4.2.3	Energía solar disponible.....	4-9
4.2.4	Dimensionamiento del SFV Escuelas.....	4-10
4.2.5	Especificaciones PRELIMINARES del SFV Escuelas para RD.....	4-12

REPÚBLICA DOMINICANA

4.2.6	Especificaciones DEFINITIVAS del SFV Escuelas para RD	4-13
4.2.7	Sistemas Fotovoltaicos instalados en RD a 2009	4-13
4.3	SISTEMAS EÓLICOS PARA VIVIENDAS	4-16
4.3.1	Diagrama de bloque de los SE autónomos	4-16
4.3.2	Servicios básicos a suministrar con “SE Vivienda”	4-16
4.3.3	Localización del SE Vivienda.....	4-17
4.3.4	Energía generada en Guzmancitos.....	4-18
4.3.5	Energía generada en Las Galeras	4-20
4.3.6	Especificaciones DEFINITIVAS del SE Vivienda para RD	4-22
4.4	SISTEMAS EÓLICOS PARA ESCUELAS.....	4-22
4.4.1	Diagrama de bloque de los SE autónomos	4-22
4.4.2	Servicios básicos a suministrar con “SE Escuela”	4-22
4.4.3	Localización del SE Escuela.....	4-23
4.4.4	Energía generada en Guzmancitos.....	4-23
4.4.5	Energía generada en Las Galeras	4-26
4.4.6	Especificaciones DEFINITIVAS del SE Escuela para RD	4-28
4.5	PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS.....	4-28
5.	<u>CARTERA DE PROYECTOS.....</u>	<u>5-1</u>
5.1	INTRODUCCIÓN	5-1
5.1.1	Demanda de energía eléctrica en el sector rural	5-1
5.1.2	Demanda de energía de las comunidades rurales	5-4
5.1.3	Limitaciones al suministro con energías renovables en RD	5-4
5.1.4	Parámetros de evaluación	5-5
5.1.5	Costos internacionales y nacionales	5-6
5.2	METODOLOGÍA	5-8
5.3	IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS	5-10
5.4	PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS	5-11
5.4.1.1	<i>Lugares de utilización de los SFV</i>	<i>5-11</i>
5.4.2	SFV Estándar para Viviendas	5-11
5.4.2.1	<i>Demanda</i>	<i>5-11</i>

REPÚBLICA DOMINICANA

5.4.2.2	<i>SFV Standard propuesto</i>	5-13
5.4.2.3	<i>Desempeño técnico del SFV Standard</i>	5-14
5.4.2.4	<i>Costos del SFV Estándar</i>	5-14
5.4.3	SFV Escuelas	5-15
5.4.3.1	<i>Demanda</i>	5-15
5.4.3.2	<i>SFV Escuela propuesto</i>	5-15
5.4.3.3	<i>Desempeño técnico del SFV Escuela</i>	5-16
5.4.3.4	<i>Costos del SFV Escuela</i>	5-16
5.4.4	Aspectos ambientales.....	5-17
5.4.5	Potencial de usuarios de SFV	5-17
5.4.5.1	<i>Potencial de usuarios del SFV Standard</i>	5-17
5.4.5.2	<i>Potencial de usuarios del SFV Escuela</i>	5-19
5.5	PROYECTOS EÓLICOS	5-19
5.5.1	Lugares de utilización de los SE.....	5-19
5.5.2	SE Standard para Viviendas	5-20
5.5.2.1	<i>Demanda</i>	5-20
5.5.2.2	<i>SE Standard propuesto</i>	5-20
5.5.2.3	<i>Desempeño técnico del SE Standard</i>	5-22
5.5.2.4	<i>Costos del SE Standard</i>	5-22
5.5.3	Aspectos ambientales.....	5-23
5.5.4	Potencial de usuarios del SE Standard.....	5-23
5.5.4.1	<i>Lugares de utilización del SE Standard</i>	5-23
5.5.4.2	<i>Potencial de usuarios de los Guzmancitos</i>	5-24
5.5.4.3	<i>Potencial de usuarios de las Galeras 1 y 2</i>	5-26
5.5.4.4	<i>Potencial de usuarios de los Cacaos</i>	5-27
5.5.4.5	<i>Potencial de usuarios de Nueva Rosa e Isla Beata</i>	5-28
5.6	PROYECTOS CON PCH'S.....	5-30
5.7	COSTOS COMPARATIVOS DE ER, ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO Y GEOREFERENCIACIÓN DE ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO	5-30
5.7.1	Costos comparativos de alternativas de ER.....	5-30
5.7.2	Solución de mínimo costo.....	5-33
5.7.3	Georeferenciación de alternativas de mínimo costo	5-33

6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO PARA LA UERS6-1

REPÚBLICA DOMINICANA

6.1	CARPETA CARTERA DE PROYECTOS.....	6-1
6.2	CARPETA EÓLICO.....	6-2
6.3	CARPETA LAYERS BASE DE RD.....	6-3
6.4	CARPETA MAPAS.....	6-3
6.5	CARPETA PCH APROVECHAMIENTOS.....	6-4
6.6	CARPETA PCH PPS.....	6-5
6.7	CARPETA RED ELECTRIFICACIÓN.....	6-5
6.8	CARPETA RED PARAJES.....	6-6
6.9	CARPETA REDES.....	6-7
6.10	CARPETA SOLAR_ RADIACIÓN SOLAR.....	6-7
6.11	CARPETA SOLAR_ SISTEMAS INSTALADOS.....	6-8
<u>7.</u>	<u>SOSTENIBILIDAD DE LOS PROYECTOS DE ER.....</u>	<u>7-1</u>
7.1	VISIÓN.....	7-1
7.1.1	Visión de largo plazo.....	7-1
7.1.2	Visión de mediano plazo.....	7-1
7.1.3	Interacción de los dos sistemas de suministro.....	7-2
7.2	MISIÓN.....	7-3
7.3	BENEFICIOS.....	7-3
7.3.1	Beneficios para los usuarios y el gobierno.....	7-3
7.3.1.1	<i>Desarrollo económico.....</i>	<i>7-3</i>
7.3.1.2	<i>Justificación.....</i>	<i>7-4</i>
7.3.2	Beneficios para los desarrolladores.....	7-5
7.3.3	Aseguramiento de los beneficios.....	7-5
7.4	PROPUESTA DE MODELO DE NEGOCIOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS CON SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE.....	7-6
7.4.1	Modelo de negocios propuesto.....	7-6
7.4.2	Formulación del Proyecto.....	7-6
7.4.2.1	<i>Interacción con la comunidad.....</i>	<i>7-7</i>
7.4.2.2	<i>Formulación de proyectos.....</i>	<i>7-9</i>
7.4.2.3	<i>Implementación del proyecto.....</i>	<i>7-10</i>
7.4.2.4	<i>Evaluación y seguimiento.....</i>	<i>7-10</i>

REPÚBLICA DOMINICANA

7.4.3	Constitución de la RESCO	7-10
7.4.3.1	<i>Qué es una RESCO?</i>	7-10
7.4.3.2	<i>Funciones de la RESCO</i>	7-10
7.4.3.3	<i>Organización básica de la RESCO</i>	7-11
7.4.4	Fuentes de financiamiento	7-12
7.4.4.1	<i>Composición de la inversión</i>	7-12
7.4.4.2	<i>Tipos y costos de créditos</i>	7-13
7.4.5	Estructura tarifaria	7-13
7.4.5.1	<i>Cargo de conexión</i>	7-13
7.4.5.2	<i>Cargo fijo por servicio</i>	7-13
7.4.6	Esquema operacional y financiero	7-14
7.4.6.1	<i>Reposición de las Baterías y Repuestos</i>	7-14
7.4.6.2	<i>Costos operacionales de la RESCO</i>	7-14
7.4.6.3	<i>Número de clientes</i>	7-15
7.4.6.4	<i>Costos de arranque</i>	7-15
7.4.6.5	<i>Sistema Contable</i>	7-15
7.4.6.6	<i>Sistema Comercial</i>	7-15
7.4.7	Etapas en el desarrollo de la RESCO.....	7-15
7.4.7.1	<i>Participación de la comunidad</i>	7-16
7.4.7.2	<i>Inscripción de la RESCO ante la SIE</i>	7-16
7.4.7.3	<i>Solicitud de Asistencia Técnica</i>	7-16
7.4.7.4	<i>Aportes de los usuarios y otros recursos</i>	7-16
7.4.7.5	<i>Proyecto para financiación ante la UERS</i>	7-18
7.4.7.6	<i>Solicitud financiamiento ante la UERS</i>	7-18
7.4.7.7	<i>Implementación del proyecto</i>	7-18
7.4.8	Operación de la RESCO	7-18
7.4.8.1	<i>Manejo y control de fondos (parte contable)</i>	7-18
7.4.8.2	<i>Operación y mantenimiento de los sistemas</i>	7-19
7.4.8.3	<i>Aspectos ambientales</i>	7-19
7.4.9	Adquisición y montaje de equipos.....	7-19
7.5	BARRERAS AL DESARROLLO DE LA ELECTRIFICACIÓN RURAL CON ER	7-20
7.6	POLÍTICAS	7-21
7.6.1	Medidas de fortalecimiento	7-21
7.6.2	Políticas de orden regulatorio	7-22

REPÚBLICA DOMINICANA

7.6.3	Políticas de aseguramiento de la sostenibilidad.....	7-23
7.6.4	Políticas de tipo ambiental.....	7-23
7.6.5	Recursos.....	7-23
7.6.6	Reducción de Costos Iniciales	7-24
7.6.7	Utilización de Fondos de beneficio público	7-24
7.6.8	Creación y desarrollo de un mercado para las FER.....	7-25
8.	<u>PROCEDIMIENTOS.....</u>	8-1
8.1	RECURSOS ENERGÉTICOS - RENER.....	8-1
8.2	DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR EN RD	8-8
8.2.1	Ejemplo de aplicación RENER_RD_V1.0.XLS.....	8-8
8.3	DIMENSIONAMIENTO DE LOS SFV	8-11
8.3.1	Ejemplo de aplicación RENER_RD_V1.0.XLS.....	8-11
8.4	DETERMINACIÓN DEL RECURSO EÓLICO EN RD	8-15
8.5	GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA EN UNA LOCALIDAD	8-16
8.6	INFORMACIÓN PARA HOMER.....	8-18
8.7	SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS	8-21
8.8	SIMULACIÓN DE SISTEMAS EÓLICOS	8-21
8.9	SELECCIÓN DE PARAJES A MÁS DE 5 KM DE LA RED	8-22
8.10	MINIMO COSTO DE ALTERNATIVAS DE ER	8-22
8.11	CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES	8-23
8.12	FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN INFORMACIÓN	8-28
8.12.1	FORMULARIO A	8-31
8.12.2	Formulario B.....	8-34
8.12.3	Formulario C1.....	8-40
9.	<u>ANEXO 1 – DVD.....</u>	9-1
10.	<u>ANEXO 2. SIMULACIÓN SFV STANDARD PARA VIVIENDAS</u>	10-1
10.1	CONFIGURACIÓN DEL SFV STANDARD	10-1
10.2	SIMULACIÓN DEL SFV ESTÁNDAR PARA VIVIENDAS EN RD	10-1
10.2.1	Parámetros técnicos para la simulación en HOMER.....	10-2

REPÚBLICA DOMINICANA

10.2.1.1	<i>Recurso de energía solar</i>	10-2
10.2.1.2	<i>Caracterización de la demanda</i>	10-3
10.2.1.3	<i>Capacidades preliminares del SFV vivienda para RD</i>	10-4
10.2.1.4	<i>Factores de diseño empleados</i>	10-4
10.2.2	Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER.....	10-4
10.2.3	Configuración optimizada técnico-económicamente del SFV vivienda para RD	10-7
10.2.4	Desempeño energético del SFV vivienda.....	10-7
10.2.4.1	<i>Sistema como un todo</i>	10-7
10.2.4.2	<i>Generación Solar</i>	10-8
10.2.4.3	<i>Banco de baterías</i>	10-9
10.2.4.4	<i>Regulador/Inversor</i>	10-11
10.2.5	Costo anualizado de la energía generada.....	10-12
10.2.6	Análisis de sensibilidad a Costo del Sistema Fotovoltaico.....	10-12
10.3	CONCLUSIÓN	10-16

11. ANEXO 3. SIMULACIÓN SFV STANDARD PARA ESCUELAS 11-1

11.1	CONFIGURACIÓN DEL SFV ESCUELAS	11-1
11.2	SIMULACIÓN DEL SFV PARA ESCUELAS EN RD	11-1
11.2.1	Parámetros técnicos para la simulación en HOMER.....	11-2
11.2.1.1	<i>Recurso de energía solar</i>	11-2
11.2.1.2	<i>Caracterización de la demanda</i>	11-2
11.2.1.3	<i>Capacidades preliminares del SFV Escuelas</i>	11-3
11.2.1.4	<i>Factores de diseño empleados</i>	11-4
11.2.2	Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER.....	11-4
11.2.3	Configuración optimizada técnico-económicamente del SFV Escuelas para RD	11-6
11.2.4	Desempeño energético del SFV Escuelas.....	11-7
11.2.4.1	<i>Sistema como un todo</i>	11-7
11.2.4.2	<i>Generación Solar</i>	11-8
11.2.4.3	<i>Banco de baterías</i>	11-9
11.2.4.4	<i>Regulador/Inversor</i>	11-11
11.2.5	Costo anualizado de la energía generada.....	11-12
11.2.6	Análisis de sensibilidad al Costo del Sistema Fotovoltaico	11-12
11.3	CONCLUSIÓN	11-16

12. ANEXO 4. SIMULACIÓN DEL “SE STANDARD PARA VIVIENDAS - GUZMANCITOS” 12-1

12.1 CONFIGURACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GUZMANCITOS”	12-1
12.2 SIMULACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GUZMANCITOS”	12-1
12.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER.....	12-2
12.2.1.1 <i>Recurso de energía eólica.....</i>	<i>12-2</i>
12.2.1.2 <i>Caracterización de la demanda.....</i>	<i>12-2</i>
12.2.1.3 <i>Factores de diseño empleados.....</i>	<i>12-4</i>
12.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER	12-4
12.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-7
12.2.4 Desempeño energético del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-7
12.2.4.1 <i>Sistema como un todo</i>	<i>12-7</i>
12.2.4.2 <i>Generación Eólica</i>	<i>12-8</i>
12.2.4.3 <i>Banco de baterías</i>	<i>12-9</i>
12.2.4.4 <i>Regulador/Inversor.....</i>	<i>12-11</i>
12.2.5 Costo anualizado de la energía generada.....	12-12
12.2.6 Análisis de sensibilidad a Costo del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-12
12.3 CONCLUSIÓN	12-16

13. ANEXO 5. SIMULACIÓN DEL “SE ESTÁNDAR PARA VIVIENDAS - GALERAS” 13-1

13.1 CONFIGURACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GALERAS”	13-1
13.2 SIMULACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GALERAS”	13-1
13.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER.....	13-2
13.2.1.1 <i>Recurso de energía eólica.....</i>	<i>13-2</i>
13.2.1.2 <i>Caracterización de la demanda.....</i>	<i>13-2</i>
13.2.1.3 <i>Factores de diseño empleados.....</i>	<i>13-4</i>
13.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER	13-4
13.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del “SE Viviendas Galeras”	13-6
13.2.4 Desempeño energético del “SE Viviendas Galeras”	13-7
13.2.4.1 <i>Sistema como un todo</i>	<i>13-7</i>
13.2.4.2 <i>Generación Eólica</i>	<i>13-8</i>

REPÚBLICA DOMINICANA

13.2.4.3	<i>Banco de baterías</i>	13-9
13.2.4.4	<i>Regulador/Inversor</i>	13-11
13.2.5	Costo anualizado de la energía generada.....	13-12
13.2.6	Análisis de sensibilidad a Costo del “SE Viviendas Galeras”	13-12
13.3	CONCLUSIÓN	13-16
14.	<u>ANEXO 6. SIMULACIÓN DEL “SE STANDARD PARA ESCUELAS - GALERAS”</u>	<u>14-1</u>
14.1	CONFIGURACIÓN DEL “SE ESCUELAS GALERAS”	14-1
14.2	SIMULACIÓN DEL “SE ESCUELAS GALERAS”	14-1
14.2.1	Parámetros técnicos para la simulación en HOMER.....	14-2
14.2.1.1	<i>Recurso de energía eólica</i>	14-2
14.2.1.2	<i>Caracterización de la demanda</i>	14-2
14.2.1.3	<i>Factores de diseño empleados</i>	14-4
14.2.2	Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER.....	14-4
14.2.3	Configuración optimizada técnico-económicamente del “SE Escuelas Galeras”	14-6
14.2.4	Desempeño energético del “SE Comunitario Galeras”	14-7
14.2.4.1	<i>Sistema como un todo</i>	14-7
14.2.4.2	<i>Generación Eólica</i>	14-8
14.2.4.3	<i>Banco de baterías</i>	14-9
14.2.4.4	<i>Regulador/Inversor</i>	14-11
14.2.5	Costo anualizado de la energía generada.....	14-12
14.2.6	Análisis de sensibilidad a Costo del “SE Comunitario Galeras”	14-12
14.3	CONCLUSIÓN	14-16
15.	<u>ANEXO 7. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS</u>	<u>15-1</u>
	<u>ÚLTIMA PÁGINA</u>	<u>15-5</u>

TABLAS

Tabla 2.1.	Factores de conversión de energía	2-3
Tabla 2.2.	Clasificación del tipo de información solar requerida para diferentes tecnologías solares.....	2-4

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 2.3. Tipos de información solar y sus aplicaciones.....	2-5
Tabla 2.4. Información de radiación solar por aplicación y su magnitud en RD.....	2-12
Tabla 2.5. Radiación Solar Global (kWh/m ² /día).....	2-13
Tabla 2.6. Radiación Solar Directa Normal (kWh/m²/día).....	2-14
Tabla 2.7. Radiación Solar Sobre Superficie con Inclinación Igual a la Latitud (kWh/m ² /día).....	2-15
Tabla 2.8. Radiación Solar Difusa (kWh/m ² /día).....	2-16
Tabla 2.9. Factor de rugosidad para diferente tipo de terrenos.....	2-19
Tabla 2.10. Dependencia del exponente a del tipo de superficie.....	2-20
Tabla 2.11. Clasificación y características de la potencia de viento.....	2-26
Tabla 2.12. Clasificación del Potencial Eólico de República Dominicana para generación de electricidad.....	2-30
Tabla 2.13 Potencial eólico de RD para la generación conectada a la red.....	2-32
Tabla 2.14. Caracterización del potencial eólico por provincias de RD.....	2-33
Tabla 2.15. Clasificación de las PCH por potencia, según OLADE.....	2-37
Tabla 2.16. Clasificación de las PCH según caída (m), según OLADE.....	2-37
Tabla 2.17. Demanda máxima por vivienda.....	2-44
Tabla 2.18. Tenencia de equipos por vivienda en una comunidad.....	2-44
Tabla 2.19. Simultaneidad del uso de los equipos en una vivienda en una comunidad.....	2-45
Tabla 2.20. Demanda máxima promedio por vivienda en función del tiempo.....	2-45
Tabla 2.21. Demanda promedio por tipo de establecimiento.....	2-47
Tabla 3.1. Información recibida de la UERS para la determinación de las ZNE.....	3-1
Tabla 3.2. Información suministrada por EDEESTE.....	3-2
Tabla 3.3. Total absoluto y distribución porcentual de las viviendas, por fuente de energía utilizada para el alumbrado, según tipo de vivienda, ENIGH 2007.....	3-3
Tabla 3.4. Muestra de la base de datos del Censo 2002.....	3-5
Tabla 3.5. Muestra de la base de datos del layer de parajes de la UERS.....	3-5
Tabla 3.6. Tipo de iluminación de las viviendas por provincia (Censo de 2002).....	3-13
Tabla 3.7. Viviendas con y sin electricidad de la red por provincia y nacional (Censo de 2002 y UERS 2008).....	3-14
Tabla 3.8. Tipo de iluminación de las viviendas por municipio (Censo de 2002).....	3-18
Tabla 4.1. Demanda de energía por servicios básicos SFV Standard.....	4-4
Tabla 4.2. Energía solar disponible en El Seibo- Naranjo Dulce.....	4-5
Tabla 4.3. A. Dimensionamiento del SFV Standard (para El Seibo- Naranjo Dulce).....	4-6
Tabla 4.4. B. Dimensionamiento del SFV Standard (para El Seibo- Naranjo Dulce).....	4-7
Tabla 4.5. Especificaciones PRELIMINARES del SFV Standard.....	4-7
Tabla 4.6. Características del SFV Standard Optimizado para RD.....	4-8

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 4.7. Demanda de energía por servicios básicos SFV Escuelas	4-9
Tabla 4.8. Energía solar disponible en El Seibo- Naranjo Dulce.....	4-10
Tabla 4.9. Dimensionamiento del SFV Escuelas (para El Seibo- Naranjo Dulce)	4-11
Tabla 4.10. Dimensionamiento del SFV Escuelas (para El Seibo- Naranjo Dulce)	4-12
Tabla 4.11. Especificaciones PRELIMINARES del SFV Escuelas.....	4-12
Tabla 4.12. Características del SFV Escuelas Optimizado para RD.....	4-13
Tabla 4.13. Demanda de energía por servicios básicos SE Vivienda	4-17
Tabla 4.14. Velocidad del viento disponible en Guzmancitos	4-18
Tabla 4.15. Generación estimada de aerogenerador AIR X de 0.4 kW en Guzmancitos	4-19
Tabla 4.16. Velocidad del viento disponible en Las Galeras	4-20
Tabla 4.17. Generación estimada de aerogenerador AIR X de 0.4 kW en Las Galeras	4-21
Tabla 4.18. Características del “SE Vivienda” Optimizado para RD	4-22
Tabla 4.14. Velocidad del viento disponible en Guzmancitos	4-24
Tabla 4.15. Generación estimada de aerogenerador Bornay 1.5 kW en Guzmancitos	4-25
Tabla 4.16. Velocidad del viento disponible en Las Galeras	4-26
Tabla 4.17. Generación estimada de aerogenerador BORNAY de 1.5 kW en Las Galeras	4-27
Tabla 4.18. Características del “SE Escuela” Optimizado para RD	4-28
Tabla 5.1. Servicios y equipos en uso en el sector rural, versus opciones de prestación de servicios con otras fuentes de energía	5-3
Tabla 5.2. Carga sugerida por las UERS vs suministro con ER	5-4
Tabla 5.3. Información actualmente disponible en RD y aprovechabilidad de los recursos renovables.....	5-5
Tabla 5.4. Tabla comparativa de costos para proyectos fotovoltaicos de 100 W	5-6
Tabla 5.5. Tabla comparativa de costos para proyectos eólicos de 400 W	5-7
Tabla 5.6. Costos de proyectos de MCH’s en Dominicana	5-7
Tabla 5.7. Demanda de energía por servicios básicos SFV Standard	5-13
Tabla 5.8. Características del SFV Standard Optimizado para RD	5-14
Tabla 5.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV Standard.....	5-14
Tabla 5.10. Demanda de energía por servicios básicos SFV Escuelas	5-15
Tabla 5.11. Características del SFV Escuelas Optimizado para RD.....	5-16
Tabla 5.12. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV Escuela	5-17
Tabla 5.13. Número de parajes y viviendas sin Energía Eléctrica fuera del buffer de 5 km de la red, por provincias	5-18
Tabla 5.14. Demanda de energía por servicios básicos SE Vivienda	5-20
Tabla 5.15. Características del “SE Vivienda” Optimizado para RD	5-21
Tabla 5.16. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Guzmancitos”	5-22

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 5.17. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Galeras”	5-23
Tabla 5.18. Información de la Estación Meteorológica	5-24
Tabla 5.19. Parajes que cubre la estación meteorológica.....	5-25
Tabla 5.20. Información de la Estación Meteorológica Las Galeras 1 y 2	5-26
Tabla 5.21. Parajes que cubre la estación meteorológica.....	5-27
Tabla 5.22. Información de la Estación Meteorológica Los Cacaos.....	5-27
Tabla 5.23. Parajes que cubre la estación meteorológica los Cacaos	5-28
Tabla 8.1. Valores mensuales de radiación directa, global, inclinada y difusa – Celda 285433	8-10
Tabla 10.1. Disponibilidad de energía solar en El Seibo, Naranja Dulce.....	10-3
Tabla 10.2. Curva de carga del SFV viviendas	10-3
Tabla 10.3. Especificaciones PRELIMINARES del SFV vivienda.....	10-4
Tabla 10.4. Factores de diseño empleados	10-4
Tabla 10.5. Costos unitarios del SFV vivienda para RD	10-5
Tabla 10.6. Parámetros del SVF vivienda para el HOMER.....	10-6
Tabla 10.7. SFV vivienda Optimizado para RD	10-7
Tabla 10.8. Características del SFV vivienda Optimizado para RD.....	10-7
Tabla 10.9. Desempeño eléctrico del SFV vivienda	10-8
Tabla 10.10. Resumen de costos del SFV vivienda para RD.....	10-13
Tabla 10.11. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV vivienda.....	10-15
Tabla 11.1. Disponibilidad de energía solar en El Seibo, Naranja Dulce.....	11-3
Tabla 11.2. Curva de carga del SFV Escuelas para RD.....	11-3
Tabla 11.3. Especificaciones PRELIMINARES del SFV Escuelas.....	11-4
Tabla 11.4. Factores de diseño empleados	11-4
Tabla 11.5. Costos unitarios del SFV Escuelas para RD	11-5
Tabla 11.6. Parámetros del SVF Escuelas para el HOMER	11-6
Tabla 11.7. SFV Escuelas Optimizado para RD	11-7
Tabla 11.8. Características del SFV Escuelas Optimizado para RD.....	11-7
Tabla 11.9. Desempeño eléctrico del SFV Escuelas	11-8
Tabla 11.10. Resumen de costos del SFV Escuelas para RD	11-13
Tabla 11.11. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV Escuelas ...	11-15
Tabla 12.1. Velocidad de Vientos en Guzmancitos	12-3
Tabla 12.2. Curva de carga del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-3
Tabla 12.3. Factores de diseño empleados	12-4
Tabla 12.4. Costos unitarios de los “SE Viviendas Guzmancitos”	12-5

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 12.5. Parámetros del “SE Viviendas Guzmancitos” para el HOMER	12-6
Tabla 12.6. Evaluación de “SE Viviendas Guzmancitos”	12-7
Tabla 12.7. Desempeño eléctrico del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-8
Tabla 12.8. Resumen de costos del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-13
Tabla 12.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Guzmancitos”	12-15
Tabla 13.1. Velocidad de Vientos en Galeras	13-3
Tabla 13.2. Curva de carga del “SE Viviendas Galeras”	13-3
Tabla 13.3. Factores de diseño empleados	13-4
Tabla 13.4. Costos unitarios de los “SE Viviendas Galeras”	13-5
Tabla 13.5. Parámetros del “SE Viviendas Galeras” para el HOMER	13-6
Tabla 13.6. Evaluación de “SE Viviendas Galeras”	13-7
Tabla 13.7. Desempeño eléctrico del “SE Viviendas Galeras”	13-8
Tabla 13.8. Resumen de costos del “SE Viviendas Galeras”	13-13
Tabla 13.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Galeras”	13-15
Tabla 14.1. Velocidad de Vientos en Galeras	14-3
Tabla 14.2. Curva de carga del “SE Escuelas Galeras”	14-3
Tabla 14.3. Factores de diseño empleados	14-4
Tabla 14.4. Costos unitarios de los “SE Escuelas Galeras”	14-5
Tabla 14.5. Parámetros del “SE Escuelas Galeras” para el HOMER	14-6
Tabla 14.6. Evaluación de “SE Escuelas Galeras”	14-7
Tabla 14.7. Desempeño eléctrico del “SE Escuelas Galeras”	14-8
Tabla 14.8. Resumen de costos del “SE Escuelas Galeras”	14-13
Tabla 14.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Escuelas Galeras”	14-15

FIGURAS

Figura 2.1 Relación entre las tres cantidades solares fundamentales.....	2-2
Figura 2.2. Mapa de Radiación Solar Global	2-8
Figura 2.3. Mapa de Radiación Directa Normal	2-9
Figura 2.4. Mapa de Radiación Solar sobre Superficie con Inclinación igual a la latitud ...	2-10
Figura 2.5. Mapa de Radiación Solar Difusa	2-11
Figura 2.6. Potencia en Función de la velocidad del viento (altura como parámetro).....	2-20
Figura 2.7. Figura .Distribución de velocidades medidas durante 1 año en el Parque de Tejona, Costa Rica.	2-21
Figura 2.8. Distribución de frecuencia de velocidad de viento medidas durante 18 años en Valkenburg, Holanda (1983-2001)	2-24
Figura 2.9. Comportamiento diario de la velocidad del viento	2-25
Figura 2.10. Aerogenerador Bergey XL.1 y su respectiva curva de potencia a 10 m.....	2-28
Figura 2.11. Potencial eólico de RD	2-31
Figura 2.12. Demanda de potencia de una comunidad	2-35
Figura 2.13. PCH en derivación	2-38
Figura 2.14. Metodología para el desarrollo de una PCH a nivel de Factibilidad	2-40
Figura 2.15. Hidrografía y localización de presas.....	2-49
Figura 3.1. Tres casos de intersección del buffer de ACSEE y un paraje.....	3-7
Figura 3.2. Parajes con redes y posibilidad de extensión de redes (buffer de 5 km)	3-9
Figura 3.3. Parajes no incluidos en la posibilidad de extensión de redes (buffer de 5 km) ..	3-10
Figura 3.4. Parajes no incluidos en la posibilidad de extensión de redes (buffer de 5 km) con zonas protegidas	3-11
Figura 3.5. Grado de electrificación por provincia (Censo de 2002).....	3-15
Figura 3.6. Grado de electrificación por provincia (UERS de 2008).....	3-16
Figura 3.7. Grado de electrificación con redes por provincia (Censo de 2002 y UERS 2008) 3-	17
Figura 3.8. Grado de electrificación por municipio (Censo de 2002).....	3-22
Figura 4.1. Componentes de un SFV	4-1
Figura 4.2. Componentes de un SFV para suministro DC	4-2
Figura 4.3. Componentes de un SFV para suministro AC	4-3
Figura 4.4. Sistemas Fotovoltaicos instalados por SEIC y UERS por provincia.....	4-14
Figura 4.5. Potencia Instalada de los Sistemas Fotovoltaicos instalados por SEIC y UERS por provincia.....	4-15
Figura 4.6. Componentes de un SE para suministro AC.....	4-16
Figura 4.7. Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas a 2008	4-29

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 5.1. Esquema metodológico para la toma de decisiones.....	5-9
Figura 5.2. Disponibilidad de Radiación Solar Global y Parajes sin Red.....	5-12
Figura 5.3. Diagrama de bloque del SFV Standard.....	5-13
Figura 5.4. Diagrama de bloque del SFV Escuela	5-16
Figura 5.5. Componentes de un SE para suministro AC.....	5-21
Figura 5.6. Estación Meteorológica Guzmancitos y parajes próximos a la estación (< 5km) ..	5-25
Figura 5.7. Estación Meteorológica Las Galeras 1 y 2 y parajes próximos a la estación (< 5km)	5-26
Figura 5.8. Estación Meteorológica Los Cacaos y parajes próximos a la estación (< 5km).	5-28
Figura 5.9. Estaciones meteorológicas con datos de viento y Parajes sin Red	5-29
Figura 5.10. Caracterización del paraje Guayajayuco.....	5-31
Figura 5.11. Comparación de costos, carga entregada por alternativas de ER en Guayajayuco	5-31
Figura 5.12. Comparación de costos y carga entregada por alternativas de ER en Guayajayuco	5-32
Figura 5.13. Mapa de proyectos de proyectos de mínimo costo presente neto.....	5-34
Figura 5.14. Mapa de proyectos de proyectos de mínimo costo de capital.....	5-35
Figura 5.15. Mapa de proyectos de proyectos de mínimo costo de energía	5-36
Figura 6.1. Constitución del SIG.....	6-1
Figura 6.2. Contenido Carpeta Cartera de Proyectos	6-2
Figura 6.3. Contenido Carpeta Eólico	6-3
Figura 6.4. Contenido Carpeta Layers Base RD	6-3
Figura 6.5. Contenido Carpeta Mapas.....	6-4
Figura 6.6. Contenido Carpeta PCH_Aprovechamientos	6-5
Figura 6.7. Contenido Carpeta PCH_PPS	6-5
Figura 6.8. Contenido Carpeta Red_Electrificacion	6-6
Figura 6.9. Contenido Carpeta Red_Parajes	6-6
Figura 6.10. Contenido Carpeta Redes.....	6-7
Figura 6.11. Contenido Carpeta Solar_Radiacion Solar	6-7
Figura 6.12. Contenido Carpeta Solar_Sistemas_Instalados	6-8
Figura 7.1. Expansión del servicio de electricidad rural con red y FER.....	7-2
Figura 7.2. Organización básica de la RESCO	7-11
Figura 7.3. Diagrama de flujo para la ejecución del proyecto	7-17
Figura 8.1. Página de Inicio de RENER.....	8-1
Figura 8.2. Menú Principal.....	8-2
Figura 8.3. Menú de Opción Energía Solar.....	8-2

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 8.4. Opción Recurso Solar	8-3
Figura 8.5. Opción Dimensionamiento del SFV	8-4
Figura 8.6. Opción Costos de los SFV	8-5
Figura 8.7. Opción Ficha Resumen	8-6
Figura 8.8. Opción Energía Eólica	8-7
Figura 8.9. Imagen Google Earth del lugar donde se realizará el proyecto y la celda más próxima al lugar del proyecto.....	8-9
Figura 8.10. Valores mensuales de radiación directa, global, inclinada y difusa – Celda 285433	8-10
Figura 8.11. Input para carga DC	8-11
Figura 8.12. Input para carga AC	8-11
Figura 8.13. Ficha de dimensionamiento del SFV	8-12
Figura 8.14. Ficha resumen del proyecto con SFV	8-13
Figura 8.15. Pantalla de Recurso Eólico de RENER	8-15
Figura 8.16. Producción estimada de energía	8-17
Figura 8.17. Archivos para HOMER .sol.....	8-19
Figura 8.18. Archivos para HOMER .wnd.....	8-20
Figura 8.19. Archivos para HOMER .xml	8-21
Figura 8.20. Posicionamiento GPS de la Comunidad	8-24
Figura 8.21. Presentación inicial de la base de datos COMUNIDADES	8-25
Figura 8.22. Menú de Inicio de la base de datos	8-25
Figura 8.23. Opción de Caracterización de la Comunidad	8-26
Figura 8.24. Opción de Infraestructura básica	8-27
Figura 8.25. Opción de Usuarios de la comunidad	8-28
Figura 10.1. Arquitectura del SFV viviendas para RD	10-2
Figura 10.2. Estructura de costos de los SFV vivienda.....	10-5
Figura 10.3. Desempeño del generador solar del SFV vivienda.....	10-9
Figura 10.4. Desempeño de la batería del SFV vivienda.....	10-10
Figura 10.5. Desempeño del conversor del SFV vivienda.....	10-11
Figura 10.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial	10-15
Figura 11.1. Arquitectura del SFV Escuelas para viviendas en RD	11-2
Figura 11.2. Estructura de costos de los SFV Escuelas	11-5
Figura 11.3. Desempeño del generador solar del SFV Escuelas.....	11-9
Figura 11.4. Desempeño de la batería del SFV Escuelas.....	11-10
Figura 11.5. Desempeño del conversor del SFV Escuelas.....	11-11

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 11.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial	11-15
Figura 12.1. Arquitectura del “SE vivienda Guzmancitos”	12-2
Figura 12.2. Estructura de costos de los “SE Viviendas Guzmancitos”	12-5
Figura 12.3. Desempeño del aerogenerador de “SE Viviendas Guzmancitos”	12-9
Figura 12.4. Desempeño de la batería del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-10
Figura 12.5. Desempeño del convertor del “SE Viviendas Guzmancitos”	12-11
Figura 12.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial	12-15
Figura 13.1. Arquitectura del “SE Viviendas Galeras”	13-2
Figura 13.2. Estructura de costos de los “SE Viviendas Galeras”	13-5
Figura 13.3. Desempeño del aerogenerador de “SE Viviendas Galeras”	13-9
Figura 13.4. Desempeño de la batería del “SE Viviendas Galeras”	13-10
Figura 13.5. Desempeño del convertor del “SE Viviendas Galeras”	13-11
Figura 13.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial	13-15
Figura 14.1. Arquitectura del “SE Escuelas Galeras”	14-2
Figura 14.2. Estructura de costos de los “SE Escuelas Galeras”	14-5
Figura 14.3. Desempeño del aerogenerador de “SE Escuelas Galeras”	14-9
Figura 14.4. Desempeño de la batería del “SE Escuelas Galeras”	14-10
Figura 14.5. Desempeño del convertor del “SE Escuelas Galeras”	14-11
Figura 14.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial	14-15

REPÚBLICA DOMINICANA

ABREVIATURAS

AT	Asistencia Técnica
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BIRF	Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento
BNEN	Balance Nacional de Energía Neta
CD-	Compact Disk
CDEEE-	Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales
CER	Certificados de Reducción de Emisiones
CNE	Comisión Nacional de Energía
CPN	Costo Presente Neto (o Net Present Cost)
EESRP	Programa de Reestructuración del Sector Eléctrico
EGEHID	Empresa de Generación Hidroeléctrica Dominicana
ETED	Empresa de Transmisión Eléctrica Dominicana
FAURE	Gerencia de Fuentes Alternas y Uso Racional de Energía
FAER	Fuentes Alternas de Energía y Renovables
GEF	Global Environment Facility
GRD	Gobierno de la República Dominicana
GTZ	Cooperación Técnica Alemana
GWEC	Global Wind Energy Council
HOMER	Software de simulación desarrollado por NREL
IAD	Instituto Agrario Dominicano
IIBI	Instituto de Innovación en Biotecnología e Industria
INDRHI	Instituto Dominicano de Recursos Hidráulicos
INDOTEC	Instituto Dominicano de Tecnología (transformado en IIBI)
LGE	Ley General de Electricidad 125-01
MDL	Mecanismo de Desarrollo Limpio
NRECA	Asociación Nacional de Cooperativas Rurales de Electricidad de USA
NORMATIVA VIGENTE	LGE, RLGE, Decretos, Resoluciones de la SIE y otras disposiciones legales.
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OC	Organismo Coordinador
ONE	Oficina Nacional de Estadística de RD
ONG	Organizaciones No Gubernamentales
PARA	Programa Nacional de Reducción de Apagones
PCH	Pequeña Central Hidroeléctrica
PEN	Plan Energético Nacional
PNUD	Programa de Naciones Unidas
PPS	Programa de Pequeños Subsidios del PNUD
PROFER	Proyecto Fomento de Energía Renovables

REPÚBLICA DOMINICANA

PROTECOM	Oficina de Protección al Consumidor de la SIE
RD	República Dominicana
RLGE	Reglamento para aplicación de la LGE
SEIC	Secretaría de Estado de Industria y Comercio
SIE	Superintendencia de Electricidad
SFV	Sistema Fotovoltaico
SHS	Solar Home System (Sistema Solar Doméstico)
SIG	Sistema de Información Geográfico
SWERA	Solar and Wind Energy Resource Assessment
TDR	Términos de Referencia
UIP	Unidad de Implementación del Proyecto
UNEP	United Nations Environmental Programme

Tasa cambio: 35.00 Pesos Dominicanos = 1 US\$ (23 Marzo 2009)

UNIDADES

bbl	barril
g	gramo
Ha	hectárea = 10.000 m ² = 16 tareas
kWh	kilovatio hora
kW	kilovatio
MWh	megavatio hora
lb corta	=454.5 g
MW	megavatio
ton= t=T	tonelada métrica (1000 kg)
tarea	tarea=625 m ²
Tep	tonelada equivalente de petróleo
qq	quintal = 100 lb cortas = 45.45 kg
Wp	vatio pico (en sistemas solares fotovoltaicos)

0. RESUMEN EJECUTIVO

Con la formulación de la Ley 125-01 del 26 de julio del 2001 y la disolución de la Corporación Dominicana de Electricidad se crea la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) y se le asigna a esta última entre sus funciones, la de llevar a cabo los programas del estado en materia de electrificación rural y sub-urbana, a favor de las comunidades de escasos recursos económicos. En virtud de la mencionada ley 125-01 y el Decreto Presidencial 16-06 se crea la Unidad de Electrificación Rural y Sub-Urbana (UERS), cuyos objetivos generales y específicos son:

- Desarrollar y ejecutar programas de electrificación en las zonas rurales y suburbanas más apartadas que carecen de servicios eléctricos, para así contribuir con el desarrollo energético a nivel nacional.
- Llevar la electricidad a las zonas rurales y periféricas a nivel nacional.
- Planificar y ejecutar levantamiento de las necesidades de electrificación en las diferentes zonas del país.
- Diseñar y dibujar los planos de los proyectos identificados y levantados.
- Evaluación de los proyectos levantados.
- Realización de planes de ejecución de obras
- Asignación de los proyectos a los contratistas
- Supervisión de la ejecución de los proyectos contratados
- Entregar los proyectos culminados a las comunidades correspondientes.

En cuanto se refiere a las energías renovables, la UERS no ha desarrollado o implementado estudios sobre energías renovables. La UERS ha recibido información de diferentes instituciones:

- Mapa de energía solar
- En el caso de la energía fotovoltaica, la Secretaría de Industria y Comercio tiene un programa de instalación de más de diez mil paneles solares en la zona fronteriza.
- En el caso de la energía hidráulica, tanto el INDRHI como la empresa hidroeléctrica de CDEEE, así como el programa de pequeños subsidios (PPS), tienen información sobre zonas con potenciales hidráulicos.
- En el caso de energía eólica, existe un mapa de viento que define los valores de la fuerza o velocidad del viento en la isla (República Dominicana) (NREL).

Objetivos de la Consultoría.

El *objetivo general* de la consultoría es la identificación y evaluación de proyectos cuya ubicación este fuera del alcance de las redes eléctricas y puedan ser ejecutados al menor costo con energía renovable como la energía fotovoltaica, eólica ó mini y micro hidroeléctrica. Estas tres últimas son las Energías Alternativas (EA) que se considerarán.

REPÚBLICA DOMINICANA

Como *objetivos específicos* de la consultoría se tienen:

- Identificar y evaluar proyectos de electrificación rural sostenibles usando recursos renovables como fotovoltaicos, eólicos y mini y micro hidroeléctrico, en todo el territorio nacional.
- Disponer de alternativas con energía renovables evaluadas racionalmente para aquellas poblaciones que no se encuentran al alcance de las redes de las distribuidoras.

Como *Productos específicos esperados de la consultoría*:

- Crear una cartera de proyectos usando energía fotovoltaica, eólica, mini y micro hidroeléctrico en zonas donde no existen redes eléctricas.
- Evaluar cual alternativa es más económica en cada proyecto identificado.
- Los proyectos evaluados tendrán su ubicación y localización georeferenciada e introducidos en el sistema de información geográfico (GIS) de la UERS.
- Los proyectos serán estudiados y detallados a nivel de factibilidad con análisis comparativos por fuentes.
- Crear procedimientos para la identificación y evaluación de los proyectos.

Como *actividades secuenciales a realizar se indican*:

- Identificación de las zonas geográficas donde no llegan las redes eléctricas y que están habitadas; El nivel de energía requerida por las áreas identificadas o poblaciones aisladas, consideramos 70 kWh/mes para viviendas y 120 kWh/mes para escuelas y dispensarios médicos.
- Correlacionar el potencial fotovoltaico, eólico e hídrico con las zonas previamente identificadas;
- Levantamiento y evolución de los proyectos por fuentes y zonas;
- Introducir los proyectos al sistema de información geográfica (GIS) UERS;
- Redactar procedimientos

La metodología para adelantar el estudio consistió en la recolección de información, visitas de campo, análisis y generación de resultados.

Identificación y evaluación de proyectos de Energía Alternativa (EA) en las áreas rurales de RD.

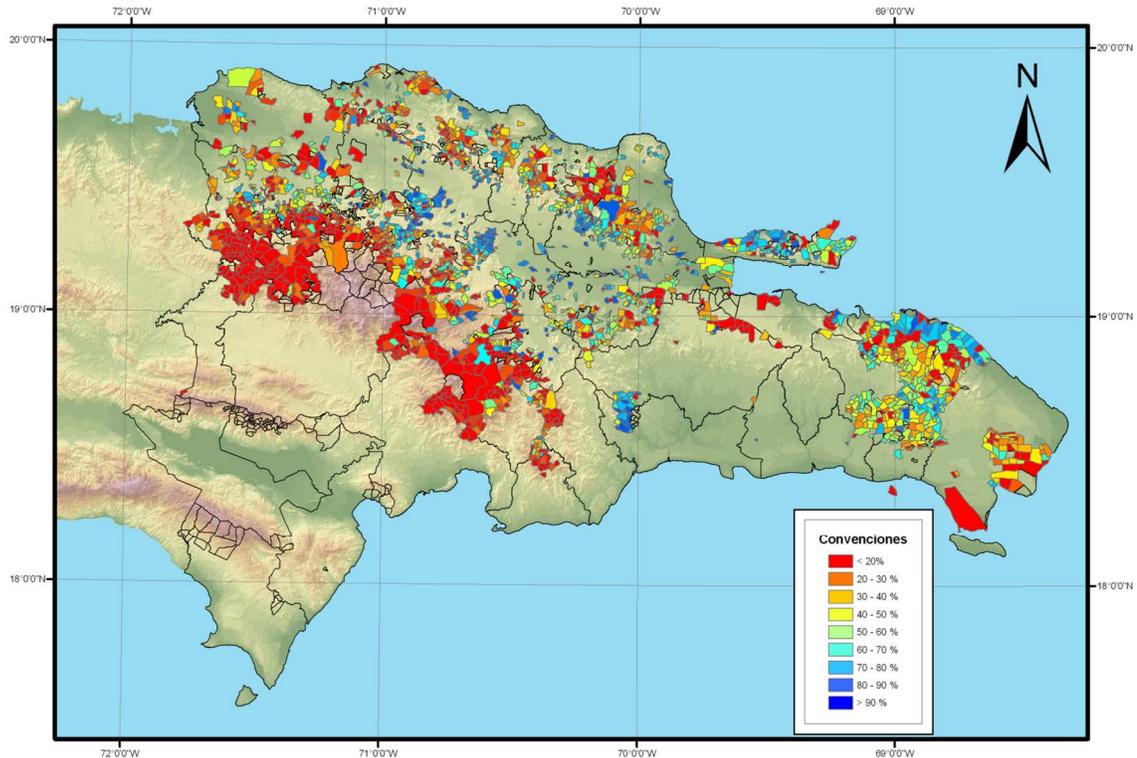
El punto de partida es la apreciación de que el mejor servicio de energía eléctrica es el de la red. Por lo tanto, la actual cobertura de las redes en el país permite establecer un área más allá de la cual se considera que los usuarios no tienen en la actualidad servicio de red ni lo tendrán en un futuro inmediato.

Para establecer la cobertura de la red, se integraron todas las redes (EdeNorte, EsdeSur y EdeEste, mas otros circuitos aislados) en una sola red y se le agregó un buffer de 5 km.

REPÚBLICA DOMINICANA

Puesto que no existe un geo-posicionamiento de cada usuario rural en el país, se empleó entonces el geo-posicionamiento de cada paraje y del layer de todos los parajes del país, se filtraron los que están por fuera de la red con el buffer de 5 km.

Parajes no incluidos en la posibilidad de extensión de redes (redes+5 m de buffer)



De acuerdo al CENSO del 2002 había en total de 111.230 viviendas en estos parajes fuera del buffer de 5 km de la red actual. De este número, de 104.937 viviendas se obtuvo información sobre la forma de energía empleada para la iluminación y de allí se obtuvo que hubiera 44.278 viviendas sin energía eléctrica. La tabla siguiente muestra el número de parajes por provincia y el número de viviendas sin energía eléctrica.

En este nuevo layer, el número total de parajes es de 3132 y el número de viviendas sin electricidad de red es de 44278. La información sobre el número de viviendas y su acceso a la red proviene del Censo del 2002. Es importante observar que esta información no solamente es de hace 7 años sino que también no considera otros tipos de electrificación alternativa como son la energía solar fotovoltaica, la eólica y las MCH /PCH. En la práctica se encuentra. Cuando se considera que la energía solar es una opción para una comunidad en un paraje determinado, al visitarlo se encuentra con frecuencia que varias viviendas ya disponen de esta solución. Además, hay aún parajes con un % de electrificación elevado ya a 2002, lo que indica que la información de redes está incompleta.

REPÚBLICA DOMINICANA

Para evaluar las posibilidades de las EA en cada comunidad es preciso entonces realizar los siguientes estudios:

Estudio de demanda

Es preciso caracterizar la demanda de potencia y energía del proyecto, y considerar el crecimiento de la demanda con el tiempo (demanda futura). La UERS ha solicitado como nivel de suministro 70 kWh/mes para viviendas y 120 kWh/mes para escuelas y dispensarios médicos. Estos niveles de demanda, fácilmente suministrables a usuarios interconectados a la red, cuando se consideran las EA como alternativa de suministro, tropiezan con el *problema fundamental del costo de la inversión inicial y el costo de suministro de la energía*, el cual se ve a su vez afectado por la disponibilidad del recurso de energía renovable porque cuando el recurso es insuficiente es necesario aumentar la capacidad de generación con EA, elevándose con ello los costos de inversión y el costo de la energía generada. En el caso de las PCH, estos si pueden suministrar en general 70 kWh/vivienda y 120 kWh/escuela. La tabla siguiente muestra de manera resumida la viabilidad de suministro en términos de costos que se considerarán más adelante.

CARGA	SOLAR	EOLICO	PCH
70 kWh/mes por vivienda	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	Si
120 kWh/mes para escuelas y dispensarios médicos	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	Si

Para los sistemas fotovoltaicos para vivienda individuales, se supuso una carga diaria de 280 Wh/día que permite atender las necesidades básicas de iluminación, radio y TV. Para los SFV escuelas (y también aplicable a dispensarios médicos) se supuso una carga de 1536 Wh/día que permite atender las necesidades iluminación, 1 TV de 21" y 2 computadores, para 4 h/día de servicios de todos estos equipos. Para los sistemas eólicos individuales se supusieron cargas de 615 Wh/día (18.45 Wh/mes, ¼ de los solicitado por la UERS) para viviendas y 3.5 kWh/día, 1277 kWh/año para escuelas, en razón a que los aerogeneradores comerciales más pequeños son del orden de 400 W y permiten una mayor generación de electricidad.

Para las PCH, se estimo una carga máxima de 300 W/usuario que en operación de 720 h/mes permitiría entregar hasta 216 Wh/mes/usuario. Esta cifra de 300 W es similar con la instalada en el sector rural en proyectos en RD y en otros países.

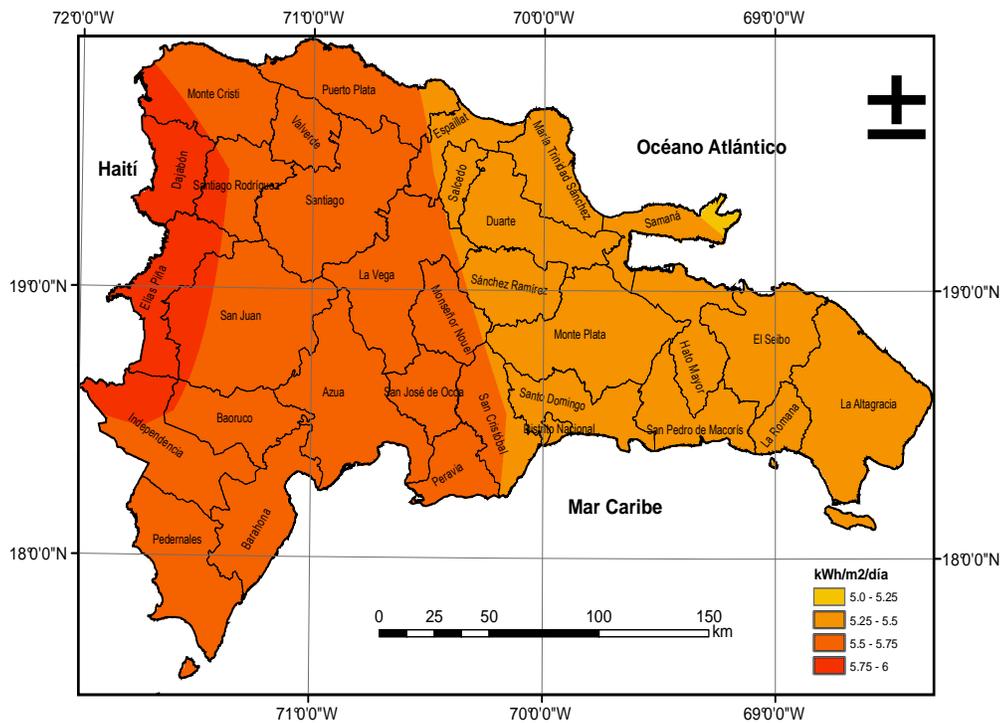
REPÚBLICA DOMINICANA

Potencial de recursos de EA

Es necesario caracterizar la oferta de energía de recursos renovables localmente o en la vecindad. Lo anterior significa: radiación solar global mensual (kWh/m2/día), velocidades medias mensuales (m/s) a una altura determinada y caudal disponible (m3/s) con las respectivas curvas de duración de caudales.

Potencial solar. A partir de información de SWERA, este estudio ha generado la información de energía solar para todo el país que incluye valores mensuales de radiación solar global diaria, directa normal, inclinada con inclinación igual a la latitud y difusa.

**República Dominicana
Radiación Solar Global - Promedio Anual**



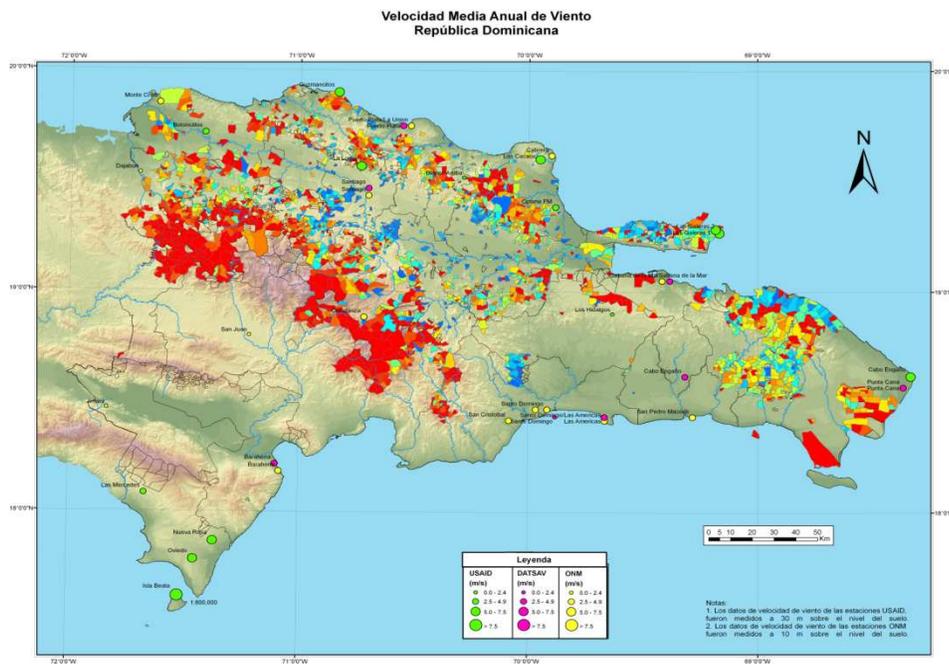
También desarrolló un software que permite generar las tablas de radiación para cualquier lugar del país que permite hacer ingeniería solar. Además se generaron los archivos de radiación de todo el país para ser empleados con el software de simulación de sistemas HOMER¹.

¹HOMER es un software desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab, USA). Este es un software de optimización para generación distribuida. <https://analysis.nrel.gov/homer/>

REPÚBLICA DOMINICANA

Potencial eólico. Del estudio de NREL se consideraron las estaciones para las cuales se tiene información mensual para poder realizar simulaciones del comportamiento de viento. Se generó un archivo de información con esas estaciones. El mapa siguiente muestra las velocidades medias anuales de las estaciones mencionadas.

Velocidad media anual del viento (m/s) a diferentes alturas según estación

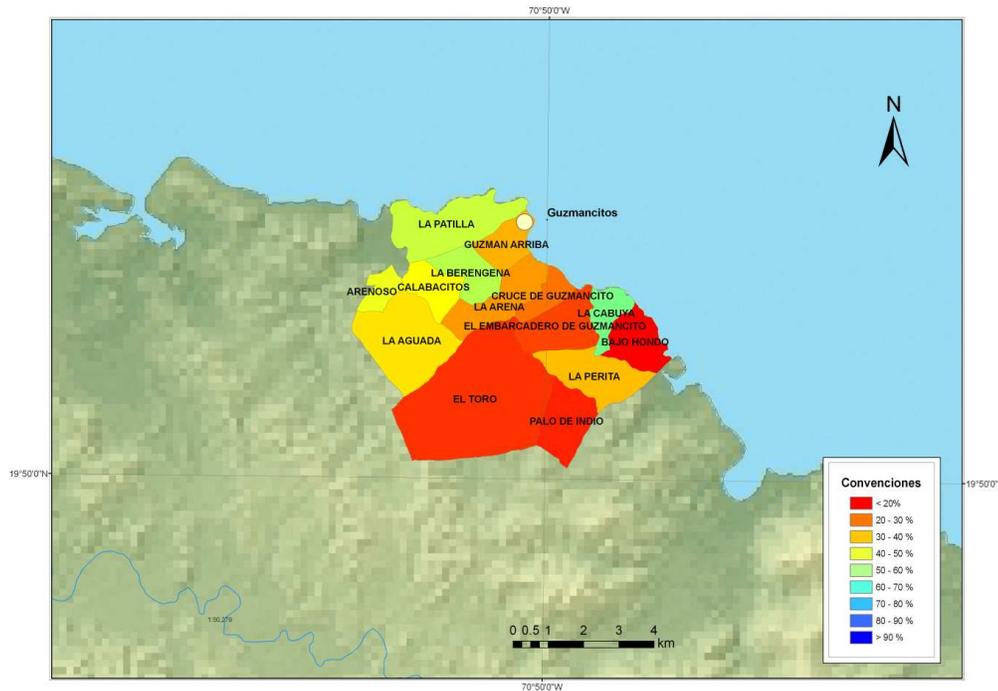


Ahora bien, este potencial es muy localizado y solamente es aplicable a los parajes donde se encuentran las estaciones que tienen potencial desarrollable y extensible a los parajes más próximos, siempre verificando que la información sea extrapolable de la estación al lugar (no colinas elevadas entre estación y lugar, entre otras). Por consiguiente, al limitar el potencial a parajes dentro de un radio de 5 km, el aprovechamiento se reduce notablemente.

La figura siguiente muestra la aplicación de la consideración a la estación Guzmancitos, una de las que arroja un mejor potencial eólico en el país. Se puede observar que a 2002 el índice de electrificación rural era bajo en la mayoría de los parajes.

REPÚBLICA DOMINICANA

Estación Meteorológica Guzmancitos y parajes próximos a la estación (< 5km)



La tabla siguiente muestra el nombre de los parajes de los 14 parajes próximos a Guzmancitos, el número de viviendas y el grado de electrificación a 2002. La información de la tabla si bien permite estimar un potencial de viviendas a 2002, *se considera mejor levantar la información de usuarios en esos parajes.*

Parajes que cubre la estación meteorológica Guzmancitos

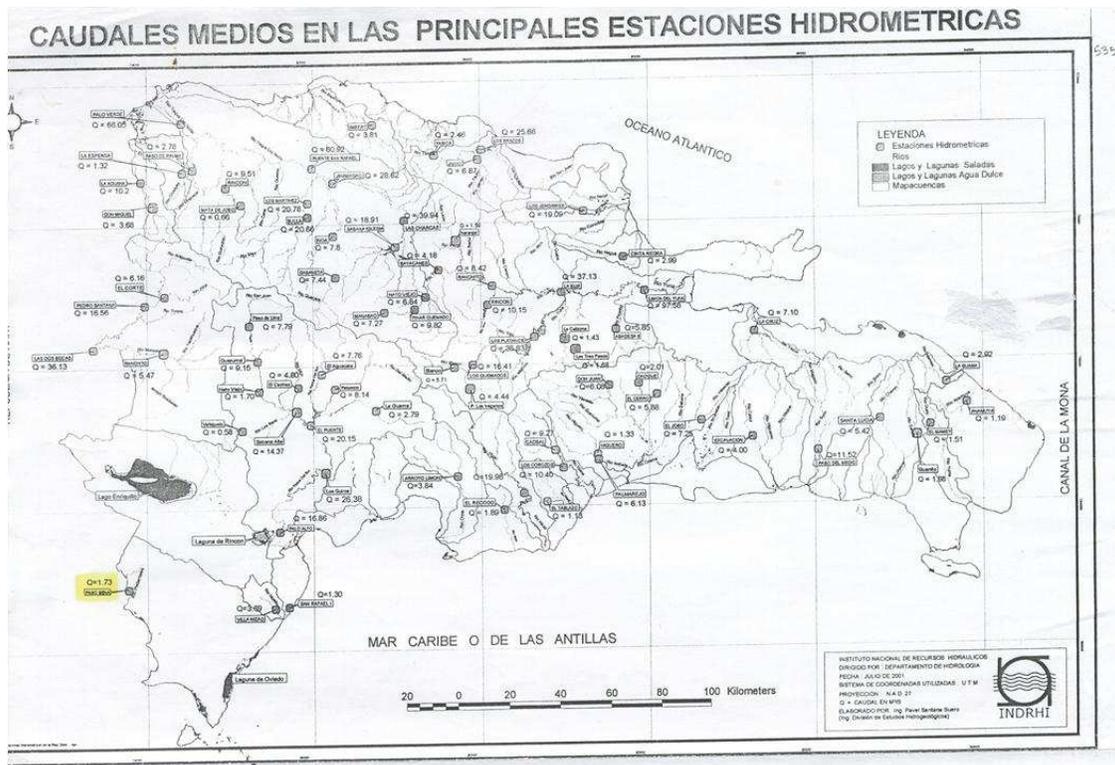
Paraje	Provincia	Municipio	Sección	Viviendas Censo 2002	Índice de Electrificación
LA PATILLA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	35	20.0%
GUZMAN ARRIBA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	47	12.8%
LA BERENJENA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	14	21.4%
LA ARENA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	29	10.3%
CALABACITOS	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	12	16.7%
ARENOSO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	71	16.9%
CRUCE DE GUZMANCITO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	13	7.7%
EL EMBARCADERO DE GUZMANCITO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	18	5.6%
LA CABUYA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	15	33.3%
LA AGUADA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	51	15.7%
LA PERRITA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	45	13.3%
BAJO HONDO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	6	0.0%
EL TORO	Puerto Plata	SAN FELIPE DE PUERTO PLATA	EL TORO	60	5.0%
PALO DE INDIO	Puerto Plata	SAN FELIPE DE PUERTO PLATA	EL TORO	64	4.7%

Se desarrolló un software que muestra esta información y además, seleccionando un aerogenerador de una base de datos de especificaciones de aerogeneradores, se estima la

REPÚBLICA DOMINICANA

generación anual. Además se generaron los archivos de velocidades de todo el país para ser empleados con el software de simulación de sistemas HOMER.

Potencial hidroeléctrico. El potencial hidroeléctrico es la combinación de información de caudales con caídas o diferencias de niveles. Actualmente se tiene información y un mapa que da los caudales medios anuales en las mayores cuencas del país pero la información sobre micro cuencas es muy limitada.



Para las micro cuencas, se trata de un potencial muy localizado que debe ser determinado. Para los tres lugares visitados en este proyecto (Los Guineos, Rio Limpio y Guayajayuco) y los cauces visitados *no existen sino aforos ocasionales* que ofrecen una garantía muy limitada sobre el caudal que se podría emplear. Esta *falta de información debe corregirse con mediciones en los aprovechamientos durante mínimo un año y otros análisis, como lo recomienda también el reglamento a la Ley 57-07*, y técnicamente solamente permite a partir de un caudal de diseño preliminar estimar la capacidad de generación de un aprovechamiento.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tecnología disponible y costos

Sistemas Solares Fotovoltaicos. La tecnología de los SFV es ampliamente conocida y utilizada en RD. Se diseñaron sistemas individuales para dos aplicaciones. El *SFV vivienda* es un sistema que provee 300 Wh & para cargas de iluminación, radio y TV. Empleando la información de la carga, la información de radiación del extremo oriental de RD (el lugar con más baja radiación del país), se diseñó un sistema cuya configuración optimizada por HOMER se da en la tabla siguiente.

Características del SFV Standard Vivienda Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	280	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	100	Wp
Capacidad del banco de baterías	2*55 = 110	Ah
Regulador de carga	>7.7	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 100 Wp, 2 baterías de 12 VDC de 55 Ah en paralelo del tipo “Absorbent glass mat (AGM) sealed deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 7.7 Ah (preferiblemente de 10A o más para que corresponda con productos comerciales) y un inversor de 400 W.

La tabla siguiente muestra el sistema optimizado para escuelas (aplicable también a puestos de salud).

Características del SFV Escuelas Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1536	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	500	Wp
Capacidad del banco de baterías	450	Ah
Regulador de carga	50	A
Inversor	1000	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 500 Wp, 4 baterías de 6 VDC de 225 Ah * 2, un regulador de carga de capacidad superior o igual a 50 A a 12 VDC (se puede elevar la tensión para reducir la corriente) y un inversor de 1000 W.

 REPÚBLICA DOMINICANA

La simulación HOMER indica que los sistemas tienen una elevada confiabilidad de suministro de la energía. La configuración del sistema y los indicadores económicos del SFV escuela se dan en las tablas siguientes.

Ambos sistemas solares fotovoltaicos se pueden emplear en todo el país en todos los lugares y dado que la radiación aumenta 10% hacia el oeste, entonces estos sistemas ofrecerán hasta 10% más de servicio en el extremo occidental del país.

Sistemas Eólicos. La tecnología de los Sistemas Eólicos (SE) ha sido empleada a nivel demostrativo en RD de manera muy limitada. Se diseñaron sistemas individuales para dos aplicaciones. El *SE vivienda* es un sistema que provee 615Wh/día para cargas de iluminación, radio y TV. Empleando la información de la carga, la información de velocidades de viento de las estaciones con información mensual, se diseñó un sistema cuya configuración se da en la tabla siguiente.

Características del “SE Vivienda” Optimizado para RD

Característica	SE Vivienda Guzmancitos y Las Galeras	
		Unidad
Tensión del sistema eólica	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	615	Wh AC
Capacidad del generador eólico	400	W nominales
Capacidad del banco de baterías	450	Ah a 12 VDC
Regulador de carga	20	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador eólico de 400 W, 2 baterías de 6 VDC de 225 Ah en serie deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 20 A y un inversor de 400 W.

Este sistema fue evaluado para dos localidades (Guzmancitos y Las Galeras). La simulación HOMER indica que este sistema permite un suministro confiable de la carga durante todo el año.

Para las escuelas se supuso una demanda de 1277 Wh/día. La simulación HOMER indica que los sistemas tienen una elevada confiabilidad de suministro de la energía. La configuración del sistema y los indicadores económicos del SE escuela se dan en las tablas siguientes.

REPÚBLICA DOMINICANA

Características del “SE Escuela” Optimizado para RD

Característica	SE Escuela Guzmancitos y	
		Unidad
Tensión del sistema eólico	24	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1277	Wh AC
Capacidad del generador eólico	1500	W nominales
Capacidad del banco de baterías	21.6	kWh
Regulador de carga	60	A
Inversor	2	kW

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador eólico de 1500 W, 16 baterías de 6 VDC (4 en serie, 4 strings) del tipo deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 60 A (puede considerarse la opción de elevar la tensión del bus a 48 V para reducir la corriente al regulador a la mitad) y un inversor de 2000 W.

Los SE están limitados a las proximidades de las estaciones con información de vientos mensual. Para determinar en qué parajes se puede emplear los SE, del layer de parajes se filtraron los que están dentro de un radio de 5 km alrededor de la estación. De esta manera se delimitaron las zonas del país donde estos sistemas pueden emplearse. Sin embargo, es indispensable la visita a esos lugares a fin de verificar que las condiciones del viento sean similares a las de las estaciones.

PCHs. Se visitaron dos localidades, Los Guineos, y Guayajayuco en donde se encontró recurso hídrico para adelantar proyecto. En las tres localidades (las anteriores más Rio Limpio) se procedió a levantar un inventario de usuarios por tipo (vivienda, escuelas, UNAP –Unidades de Atención Primaria -y fines productivos).

La potencia media a instalar por cada usuario es de 300 W/vivienda y superior para establecimientos, de tal suerte que la potencia media está entre 410 y 440 W/usuario. Para la demanda se ha considerado el incremento de la misma por aumento de la población y aumento de equipos por parte de los usuarios durante los próximos 10 años. Es importante anotar que para estimar la demanda máxima se ha considerado que el pico ocurre a las 7 pm y que a esa hora y durante las horas de la noche es necesario hacer un uso racional de la energía y limitar el uso a equipos de iluminación, radio, TV y refrigerador. Equipos de otra índole como planchas, motores, etc. no deben operar para limitar la potencia máxima demandada y su uso se permitiría solamente durante el día.

 REPÚBLICA DOMINICANA

Para la disponibilidad del recurso hidráulico se tomaron durante la visita aforos sobre los afluentes y se determinaron los lugares donde podrían realizarse los desarrollos². Se estimó la capacidad de generación a partir de un caudal de diseño que resultó insuficiente para los afluentes visitados en Rio Limpio. A partir de esta información y en base a los equipos de los usuarios, se determinaron las demandas de potencia y de energía para cada comunidad.

Características de capacidad a instalar y generación de las MCHs.

Lugar		Los Guineos	Guayajayuco
MCH	Carga Entregada (kWh/año)	149,650	119,720
	Carga Entregada (kWh/mes)	12,471	9,977
	Potencia (kW)	107	80
	Número de Usuarios	244	195

La simulación HOMER indica que los sistemas de generación propuestos abastecen la carga y generan durante el día excedentes importantes para otros usos productivos Los Guineos y Guayajayuco.

La localización de la bocatomas, canal de conducción, tanque de presión, tubería de presión y casa de máquinas, se realizó empleando información cartográfica montada sobre un SIG. Se realizaron estimados de obras civiles, costos de equipos de generación y redes de distribución a BT.

Parámetros para la evaluación económica

Para la evaluación económica de los proyectos se han empleado los siguientes parámetros:

- Moneda: Dólares constantes de 2009 y cambio de 35 \$Dominicanos por US Dólar.
- Tasa de descuento: 10% anual
- Periodo de evaluación: 20 años
- Costos considerados: Costos fijos de capital, Costos fijos de O&M (Operación y Mantenimiento), Costos de inversión en equipos, Costos de salvamento al final de vida útil de las componentes de los sistemas, Costos variables de O&M.
- Vida útil de las componentes de los equipos

² Es conveniente anotar que las visitas a Rio Limpio y Guayajayuco se realizaron bajo condiciones climáticas adversas en la zona declarada en alerta roja por la presencia de fuertes precipitaciones. &

REPÚBLICA DOMINICANA

Costos e indicadores de proyectos

Los principales indicadores económicos estimados son:

- Costo Presente Neto del proyecto, en el cual se traen a Valor Presente Neto todos los desembolsos requeridos para asegurar el suministro de energía durante el periodo de evaluación del proyecto.
- Costo Nivelado de la energía suministrada al usuario
- Capital Inicial

Costos de SFV. Para los costos de los sistemas fotovoltaicos, se ha empleado información de proyectos ejecutados por la UERS en 2009. La tabla siguiente muestra los indicadores.

Indicadores técnico-económicos de los SFV considerados.

Lugar	Todo el país	
SFV INDIVIDUAL	Costo Presente Neto (US\$)	2,640
	Costo Energía (US\$/kWh)	3.07
	Costo Operación (US\$/año)	76.5
	Costo Capital (US\$)	1,988
	Costo Capital (US\$/kWp)	19,880
	Carga Entregada (kWh/año)	101
	Carga Entregada (kWh/mes)	8.42
	Potencia (kW)	0.1
SFV COMUNITARIO	NPC (US\$)	13852
	Costo Energía (US\$/kWh)	2.79
	Costo Operación (US\$/año)	327
	Costo Capital (US\$)	11,069
	Costo Capital (US\$/kWp)	22,138
	Carga Entregada (kWh/año)	584
	Carga Entregada (kWh/mes)	48.7
	Potencia (kW)	0.5

Como puede observarse, los costos de capital para cada usuario individual es de US\$1988 para una potencia de 100 Wp y un costo 3.07 US\$/kWh. Y para la escuela (sistema

REPÚBLICA DOMINICANA

también empleable para dispensarios), el costo de la energía es de 2.79 US\$/kWh para un sistema de mayor capacidad.

Costos de SE. Para los costos de los sistemas eólicos, se ha empleado información de proyectos ejecutados por desarrolladores locales en 2009. La tabla siguiente muestra los indicadores.

Indicadores técnico-económicos de los SE considerados.

Lugar		Las Galeras	Guzmancitos	Los Cacaos
SE INDIVIDUAL	Costo Presente Neto (US\$)	4,309	3,714	4,309
	Costo Energía (US\$/kWh)	2.28	1.97	2.28
	Costo Operación (US\$/año)	125	89	125
	Costo Capital (US\$)	3,242	2960	3242
	Costo Capital (US\$/kW)	5,895	5,382	5,895
	Carga Entregada (kWh/año)	222	222	222
	Carga Entregada (kWh/mes)	18.5	18.5	18.5
	Potencia (kW)	0.55	0.55	0.55
SE COMUNITARIO	Costo Presente Neto (US\$)	19,638	19,638	19,638
	Costo Energía (US\$/kWh)	1.806	1.806	1.806
	Costo Operación (US\$/año)	486	486	486
	Costo Capital (US\$)	15,500	15,500	15,500
	Carga Entregada (kWh/año)	1,277	1,277	1,277
	Carga Entregada (kWh/mes)	106.4	106.4	106.4
	Potencia (kW)	1.5	1.5	1.5

Como puede observarse, los costos de generación de energía resultan más bajos que con energía solar y el sistema de mayor capacidad ofrece en los lugares mencionados muchas veces más energía que los sistemas solares fotovoltaicos.

Costos de MCHs. Para los costos de las Minicentrales Hidroeléctricas, se ha empleado información de costos de materiales y equipos de R para Los Guineos y para Guayajayuco, lugar localizado en la frontera con Haití, se han utilizado costos indicativos de proyectos en RD. La tabla siguiente muestra los indicadores.

REPÚBLICA DOMINICANA

Indicadores técnico-económicos de las MCH consideradas

Lugar		Los Guineos	Guayajayuco
PCH	Costo Presente Neto (US\$)	542,921	526,518
	Costo Energía (US\$/kWh)	0.39	0.47
	Costo Operación (US\$/año)	7918	8781
	Costo Capital (US\$)	468,276	443,744
	Costo Capital (US\$/kW)	4,376	
	Carga Entregada (kWh/año)	149,650	119,720
	Carga Entregada (kWh/mes)	12,471	9,977
	Potencia (kW)	107	80
	Número de Usuarios	244	195
	Costo Capital (US\$/usuario)	1,919	2,276
	Costo Operación (US\$/año/usuario)	32	45
	Carga Entregada (kWh/año/usuario)	613	614
	Carga Entregada (kWh/mes/usuario)	51.1	51.2
	Potencia Instalada (kW/usuario)	0.439	0.410

Otras consideraciones. Se deben tener en cuenta las afectaciones ambientales y las consideraciones de sostenibilidad de los proyectos de ER. Las afectaciones ambientales son la disposición final de las baterías en proyectos solares y eólicos, y los impactos que el uso del agua en las PCH puede tener sobre la fauna y los peces, y el uso del agua para fines domésticos y agrícolas. Con el recurso agua hay que necesariamente seguir los lineamientos establecidos tanto por la Ley 57-07 como por el marco regulatorio ambiental.

En cuanto a la sostenibilidad y el aseguramiento de la prestación futura del servicio, la experiencia ha demostrado que es vital la participación de la comunidad. En este sentido su participación desde el comienzo y su compromiso son factores decisivos para el éxito del proyecto. El proyecto debe finalmente responder a sus necesidades actuales y las perspectivas de desarrollo de sus usuarios. La participación de personal calificado en materia social y económica en la estructuración de los proyectos es necesaria. La estructura organizativa es una de tipo empresarial de la comunidad que debe ser registrada frente a la SIE como generadora/distribuidora. Sus funciones están orientadas a suplir los requerimientos técnicos y económicos necesarios para la operación y el mantenimiento. En

REPÚBLICA DOMINICANA

cuanto al modelo de negocios, este estudio propone el de “Pago por servicios”. Esencial para toda la política de electrificación rural con energías renovables es la estructuración de una estrategia, que se encuentra en desarrollo. De allí deben surgir los delineamientos generales sobre los cuales se debe estructurar financieramente, pero en este modelo de negocios se requiere que la tarifa de energía eléctrica cubra los gastos de O&M.

Programas similares adelantados por ejemplo en El Salvador han demostrado que la supervisión y vigilancia del estado es esencial para la asegurar la sostenibilidad de la organización empresarial responsable de la operación del proyecto. Tal tipo de estructura estatal debe ser definida en el estudio de estrategia, asignando a instituciones seleccionadas, funciones precisas de supervisión y vigilancia.

Opciones de mínimo costo

Se desarrollaron para cada paraje opciones de costos y se minimizaron los costos de las 3 opciones tecnológicas consideradas. Se consideraron Mínimo Costo Presente Neto, Mínimo costo de Capital Inicial y Mínimo Costo de Energía para cada paraje.

A manera de ilustración, la figura siguiente muestra el Paraje Guayajayuco.

Información de Guayajayuco

Código de Paraje	1576
Paraje	GUYAJAYUCO
Municipio	GUAYAJAYUCO
Provincia	PEDRO SANTANA
No. de Viviendas	113 *
Grado de Electrificación	0.0% *

* Información basada en inventario usuarios este proyecto 2009

La figura siguiente muestra las opciones solar y la de MCH para Guayajayuco (mas Caratá y Villeguín).

REPÚBLICA DOMINICANA

Cuadro comparativos de indicadores de alternativas

	SFV	Sistema Eólico	PCH
Costo Presente Neto (US\$/usuario)	2,640	NA	2,700
Costo Capital (US\$/usuario)	1,988	NA	2,276
Costo Operación (US\$/año/usuario)	76.5	NA	45.0
Costo Energía (US\$/kWh)	3.07	NA	0.47
Carga Entregada (kWh/año/usuario)	101	NA	614
Carga Entregada (kWh/mes/usuario)	8.4	NA	51.2
Potencia Instalada (kW/usuario)	0.10	NA	0.41
Número de Usuarios	1	1	195

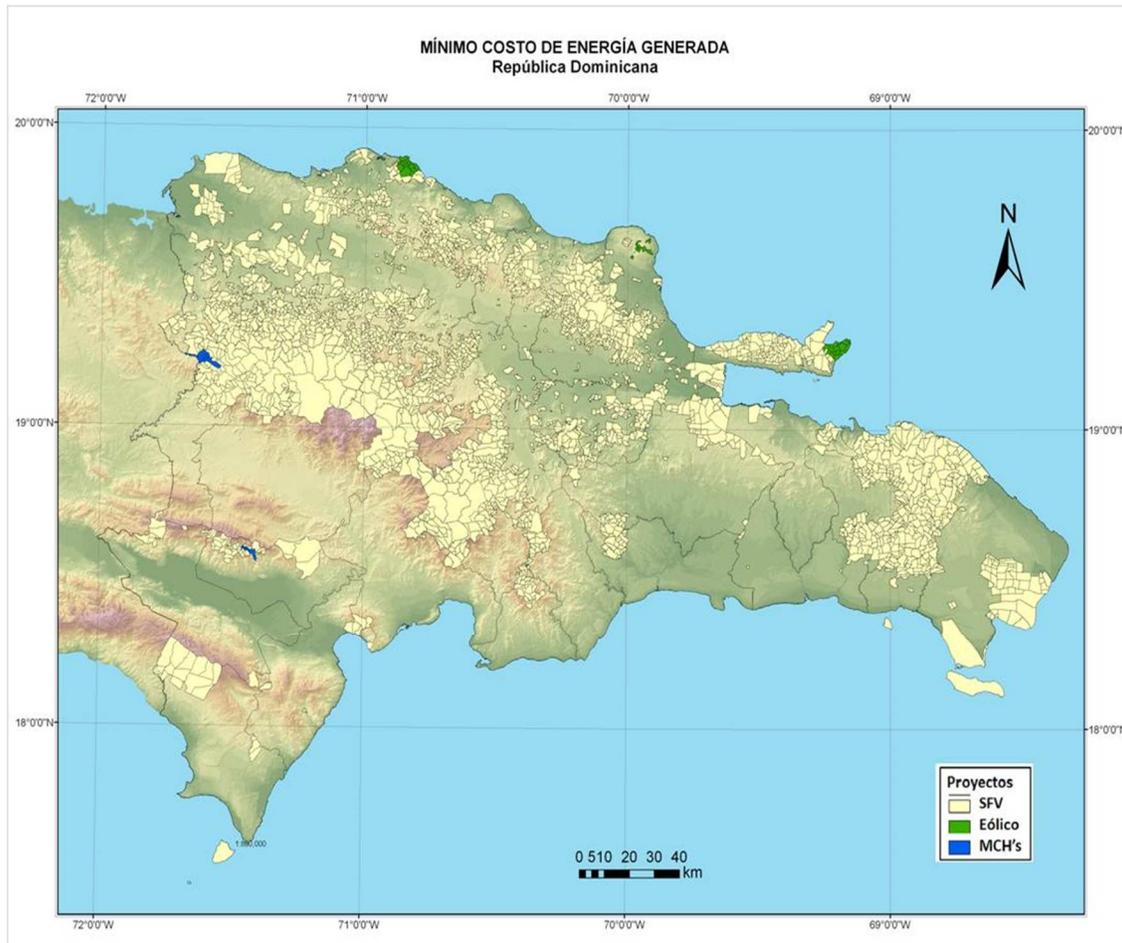
NA: No hay datos de energía eólica.

Se puede observar que la opción de mínimo costo presente neto es la solar pero la que ofrece el mínimo costo de energía es la MCH y también es la que ofrece más potencia y energía por usuario.

Con esta información para todos los parajes, se montó esta información en un SIG. La imagen siguiente muestra el layer de mínimo costo de energía para los parajes fuera de red. Se pueden observar dos proyectos de mínimo costo de energía de MCHs (parajes en azul, tres parajes para eólica (parajes en verde) y los restantes parajes energía solar fotovoltaica (en amarillo).

REPÚBLICA DOMINICANA

Mapa de parajes con tecnología de mínimo costo de energía

**Proyectos de energía alternativa**

- En el país hay un potencial de más de 40.000 viviendas que carecen de energía eléctrica de red y a los cuales, técnicamente es viable llevarles energía solar fotovoltaica para las necesidades básicas de la comunidad.
- La **energía solar** es solución para todo el país pero
 - Cantidad de energía limitada, y
 - Muy Costosa
- Para cuantificar el número de sistemas de un proyecto en una región específica, es necesario determinar en trabajo de campo cuantos ya tienen la alternativa solar y cuantos habría que instalar. El SIG muestra los parajes potenciales y constituye una herramienta muy útil para orientar el trabajo de campo, pero no lo sustituye máxime cuando la información de electrificación de parajes data del censo del 2002.

REPÚBLICA DOMINICANA

- Energía solar es válida para usuarios aislados dónde no son viables Sistemas Eólicos ni MCH
- Para usuarios concentrados, preferir MCH o Sistemas eólicos
- En la zonas costera indicadas anteriormente, hay potencial para instalas sistemas eólicos como solución de mínimo costo frente a sistemas solares fotovoltaicos.
- Energía eólica es solución para lugares con buen viento identificados sin potencial para MCHs:
 - Cantidad de energía mayor que los SFV, y
 - Costosa pero menos que SFV
- Y finalmente, la opción **MCH** resulta con frecuencia la opción de más bajo costo

Otros productos de este estudio

Bases de Datos y SIG. Se han dejado las bases de datos desarrolladas durante este trabajo, así como los paquetes de software en Excel para sistemas solares fotovoltaicos, eólicos, bases de datos de radiación, layers en SIG, etc. Se entregaron las bases de datos de radiación y energía eólica para utilizar el HOMER en la simulación de sistemas.

Procedimientos. Se documentaron procedimiento para actualizar las bases de datos.

Capacitación. Se impartió capacitación a los ingenieros de la División de Energía Alternativa de la UERS en dos oportunidades sobre los resultados del estudio y en una oportunidad a un grupo más amplio de ingenieros de la UERS sobre energía solar.

Conclusiones y recomendaciones

Realizar acuerdos con:

- INDHRI
 - Caudales en aprovechamiento y estudio de hidrológico de microcuencas en Pijotes y Guayajayuco para continuar con el desarrollo de las PCH.
- ONE
 - Buscar que la ONE incluya preguntas sobre Sistemas de Energía Alternativos ya empleados por las comunidades rurales durante próximo Censo 2010 y así actualizar la información sobre electrificación rural.

1. ANTECEDENTES

El siguiente capítulo tiene como objetivos orientar al lector sobre los antecedentes de la Unidad de Electrificación Rural y Sub-Urbana (UERS), del proyecto, los objetivos de la consultoría y los productos específicos esperados de la misma, así como poner en contexto las actividades a realizar y la metodología, todos aspectos del proyecto formulados en los Términos de Referencia (TDR). Los textos siguientes en este capítulo son extraídos de los TDR³.

1.1 ANTECEDENTES DE LA UERS

Con la formulación de la Ley 125-01 del 26 de julio del 2001 y la disolución de la Corporación Dominicana de Electricidad se crea la Corporación Dominicana de Empresas Eléctricas Estatales (CDEEE) y se le asigna a esta última entre sus funciones, la de llevar a cabo los programas del estado en materia de electrificación rural y sub-urbana, a favor de las comunidades de escasos recursos económicos. En virtud de la mencionada ley 125-01 y el Decreto Presidencial 16-06 se crea la Unidad de Electrificación Rural y Sub-Urbana (UERS), cuyos objetivos generales y específicos son:

- Desarrollar y ejecutar programas de electrificación en las zonas rurales y suburbanas más apartadas que carecen de servicios eléctricos, para así contribuir con el desarrollo energético a nivel nacional.
- Llevar la electricidad a las zonas rurales y periféricas a nivel nacional.
- Planificar y ejecutar levantamiento de las necesidades de electrificación en las diferentes zonas del país.
- Diseñar y dibujar los planos de los proyectos identificados y levantados.
- Evaluación de los proyectos levantados.
- Realización de planes de ejecución de obras

³ Comisión Nacional de Energía (Mayo 2007). **TÉRMINOS DE REFERENCIA SERVICIOS DE CONSULTORÍA PARA LA IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE ELECTRIFICACIÓN RURAL**. Proyecto Asistencia Técnica al Sector Energético. Préstamo BIRF No. 7217-DO. República Dominicana.

REPÚBLICA DOMINICANA

- Asignación de los proyectos a los contratistas
- Supervisión de la ejecución de los proyectos contratados
- Entregar los proyectos culminados a las comunidades correspondientes.

Paralelamente, el gobierno dominicano estableció el Programa de Reducción de Apagones (PRA) con el objetivo de establecer mecanismos de pago en los sectores en los que las empresas distribuidoras habían identificado actividades sociales agresivas y complejas que dificultaban cada vez más su gestión técnica y comercial. La experiencia del PRA no ha generado mecanismo que permitan brindar a las zonas sub-urbanas un servicio eléctrico de calidad ni lograr la gestionabilidad comercial de dichas zonas.

En estas circunstancias la alta dirección de la CDEEE en coordinación con las Empresas Distribuidoras de Electricidad (EDES) se ha planteado como metas disminuir las prioridades eléctricas, mejorar la disponibilidad de la distribución, aumentar los cobros, a fin de brindar a las comunidades un servicio adecuado a precio razonable.

En la búsqueda de estos objetivos la CDEEE estratégicamente ha realizado la unificación UERS-PRA, a la vez que ejecutará un plan de trabajo 2007 y 2008 con el propósito de reducir la cobertura del programa PARA a uno de subsidio focalizado.

En el citado plan se contempla, en el orden técnico, implementar:

- Levantamiento eléctrico de los barrios PRA.
- Evaluación de las redes de estos barrios.
- Diseño de redes de distribución con blindajes a baja tensión.
- Acondicionamientos y mejoras de redes de distribución.

1.2 ANTECEDENTES DE LA CONSULTORÍA

En la actualidad la UERS no ha desarrollado o implementado estudios sobre este tipo de energía, sino que somos suplidos de información proveniente de las instituciones que señalamos a continuación.

- Mapa de energía solar
- En el caso de la energía fotovoltaica, Industria y Comercio tiene un programa de instalación de más de diez mil paneles solares en la zona fronteriza.

REPÚBLICA DOMINICANA

- En el caso de la energía hidráulica, tanto el INDRHI como la empresa hidroeléctrica de CDEEE, así como el programa de pequeños subsidios (PPS), tienen información sobre zonas con potenciales hidráulicos.
- En el caso de energía eólica, existe un mapa de viento que define los valores de la fuerza o velocidad del viento en la isla (República Dominicana) (NREL).

1.3 OBJETIVOS DE LA CONSULTORÍA

Objetivos Generales

Contratar los servicios de un Consultor para la identificación y evaluación de proyectos cuya ubicación este fuera del alcance de las redes eléctricas y puedan ser ejecutados al menor costo con energía renovable como la energía fotovoltaica, eólica ó mini y micro hidroeléctrica.

Objetivos específicos

- Identificar y evaluar proyectos de electrificación rural sostenibles usando recursos renovables como fotovoltaicos, eólicos y mini y micro hidroeléctrico, en todo el territorio nacional.
- Disponer de alternativas con energía renovables evaluadas racionalmente para aquellas poblaciones que no se encuentran al alcance de las redes de las distribuidoras.

1.4 PRODUCTOS ESPECÍFICOS ESPERADOS

- Crear una cartera de proyectos usando energía fotovoltaica, eólica, mini y micro hidroeléctrico en zonas donde no existen redes eléctricas.
- Evaluar cual alternativa es más económica en cada proyecto identificado.
- Los proyectos evaluados tendrán su ubicación y localización georeferenciada e introducidos en el sistema de información geográfico (GIS) de la UERS.
- Los proyectos serán estudiados y detallados a nivel de factibilidad con análisis comparativos por fuentes.
- Crear procedimientos para la identificación y evaluación de los proyectos.
- Establecer mecanismos de sostenibilidad de los proyectos evaluados.

1.5 ACTIVIDADES SECUENCIALES A REALIZAR

- Identificación de las zonas geográficas donde no llegan las redes eléctricas y que están habitadas; El nivel de energía requerida por las áreas identificadas o poblaciones aisladas, consideramos 70 kWh/mes para viviendas y 120 kWh/mes para escuelas y dispensarios médicos.
- Correlacionar el potencial fotovoltaico, eólico e hídrico con las zonas previamente identificadas;
- Levantamiento y evolución de los proyectos por fuentes y zonas;
- Introducir los proyectos al sistema de información geográfica (GIS) UERS;
- Redactar procedimientos.

1.6 METODOLOGÍA

Se sugiere que el consultor, en base a sus experiencias en los temas de la consultoría, elija la metodología más apropiada, con la finalidad de lograr los objetivos señalados anteriormente.

El Consultor deberá utilizar una metodología de investigación de carácter participativa, que sea funcional y aplicable en el país y comprensible por la Unidad de Electrificación Rural y Sub-Urbana (UERS), a fin de asegurar la obtención de los resultados esperados, facilitar la comprensión técnica y conceptual del estudio por parte de los diversos agentes interactuantes.

En todo caso, la metodología a utilizar por el Consultor, deberá ser aprobada previamente por la Unidad de Electrificación Rural y Sub-Urbana (UERS).

2. RECURSOS DE ENERGÍA SOLAR, EÓLICA Y PCH'S

Este capítulo tiene como objetivos presentar el potencial de la energía solar, eólica y PCH's para República Dominicana para aplicarlos en proyectos de electrificación rural en RD.

Como fuentes de información, el consultor ha recibido las siguientes:

- Elliot, D. et al. (2001). Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic (Evaluación de la Energía Eólica de República Dominicana). National Renewable Energy Laboratory and RAM Associates. NREL/TP-500-27602
- Ensayo de Global Transition Consulting, Inc. (GTC): “Servicios Rurales Eléctricos Inalámbricos con Inversión Privada y Energía Renovable”, de diciembre 2001.

La información recibida mencionada anteriormente mas la que el consultor ha encontrado será procesada para presentarla de la manera apropiada a como se requiere para la formulación de proyectos en energía solar, eólica y PCH's. En caso de que no exista información apropiada, se recomendarán medidas para mejorarla en el futuro.

2.1 POTENCIAL SOLAR

2.1.1 Conceptos básicos

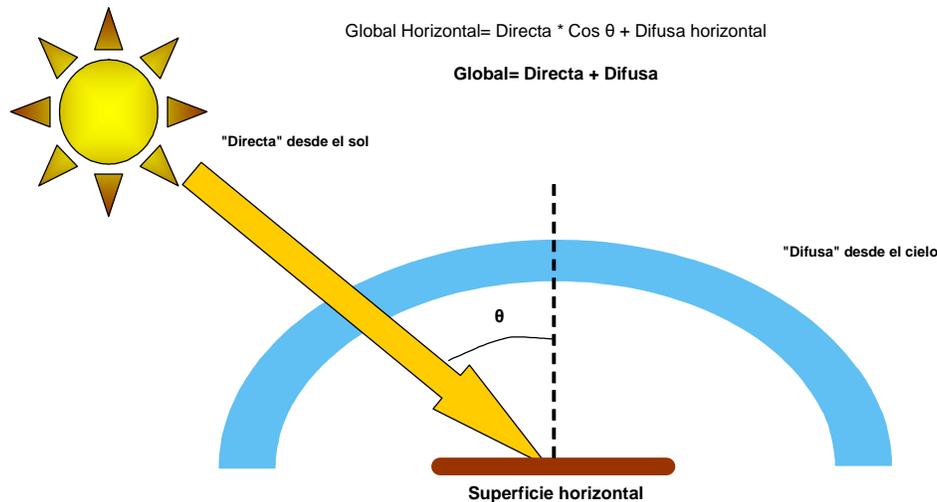
Energía es la capacidad de realizar trabajo (se expresa en kWh o MJ). Potencia es la tasa a la cual se realiza trabajo o se emplea la energía (se expresa en W o en kW).

Irradiancia solar es la cantidad de potencia solar recibida por una superficie de área unitaria (se expresa en W/m^2 o en kW/m^2).

Radiación Solar o Energía Solar es la cantidad de energía solar recibida por una unidad de superficie durante un periodo de tiempo determinado (para aplicaciones de energía solar se suele considerar el día y se expresa en $Wh/m^2/día$ o en $kWh/m^2/día$).

2.1.2 Componentes de la radiación solar

Una superficie fija horizontal, como se muestra en la Figura 2.1, recibe en un instante determinada radiación tanto del sol directamente (**Radiación directa**) como de todo el cielo circundante (**Radiación difusa**). La radiación directa recibida sobre esta superficie depende de la posición del sol durante el día (caracterizada en la figura por el ángulo Θ) y del estado de la atmósfera, mientras que la radiación difusa depende principalmente de esta última propiedad. En un día despejado, la contribución directa es significativa y menos la difusa, mientras que en un día nublado ocurre lo contrario.

Figura 2.1 Relación entre las tres cantidades solares fundamentales

Fuente: VERA, 1995, Texas Renewable Energy Resource Assessment, Texas, EUA, pag 41

La radiación solar recibida total, esto es, la suma de la radiación directa mas la difusa se denomina **Radiación Solar Global**.

Bajo ciertas circunstancias, una superficie inclinada o próxima a edificaciones puede recibir también **Radiación Reflejada** del piso o de las edificaciones vecinas.

Orientación de la superficie

De acuerdo a la Figura 2.1, la radiación efectiva recibida por la superficie horizontal es afectada por el $\text{Cos } \Theta$. Puesto que esta cantidad varía entre 0 y 1, a fin de recibir la mayor cantidad de radiación global es posible seguir el sol en su movimiento diario, haciendo que el sol incida siempre con un ángulo $\Theta=0^\circ$, es decir, siempre perpendicular o normal a la superficie. Estos dispositivos, seguidores de sol, y los concentradores de radiación de diversos tipos tienen esta ventaja.

Pero además, las superficies pueden ser estacionarias y tener inclinación sobre la superficie horizontal, como ocurre con las cubiertas de las viviendas. En este caso es necesario considerar la inclinación y demás factores geométricos de la orientación de la superficie, así como las características reflectoras del piso. Para los fines de este informe, se considerará la superficie horizontal como la orientación básica.

2.1.3 Caracterización de la energía solar

La energía solar se suele medir con instrumentos que reciben la radiación solar sobre una superficie horizontal, instalados de tal manera que no reciben radiación reflejada de edificaciones u obstáculos próximos. Puesto que el flujo de potencia recibido se expresa en W/m^2 , la (densidad) de energía solar durante un periodo de tiempo dado es la integral en el tiempo del flujo de potencia. El periodo de tiempo es generalmente un día.

Energía solar diaria se expresa en kWh/m^2 -día.

La unidad de energía es el kWh y se refiere a radiación solar (estos kWh se refieren a energía radiante y no a energía eléctrica). Otras unidades empleadas se dan en la tabla siguiente.

Tabla 2.1. Factores de conversión de energía

1 kWh/m ² =	3.6 MJ/m ²
1 kWh/m ² =	85.9845 cal/cm ²
1 kWh/m ² =	85.9845 Langley
1 kWh/m ² =	316.997 BTU/ft ²

La caloría/cm² (o langley) se emplea por parte de los servicios meteorológicos. El BTU/ft² se emplea en la literatura inglesa principalmente cuando se trata de aplicaciones térmicas.

En la ingeniería de los SFV se emplean los conceptos **irradiancia pico** y **horas de sol estándar** definidos como:

Irradiancia pico (usada en celdas solares) = $1 kW/m^2 = 100 mW/cm^2$

y el concepto de “horas de sol estándar (hss)” u “horas de sol pico”. hss se da como:

$$hss = \frac{\text{Radiación sobre superficie horizontal durante un día (kWh/m}^2\text{)}}{1 \text{ kWh/m}^2}$$

De acuerdo a lo anterior, si en un lugar se tiene una radiación solar diaria de $4.54 kWh/m^2$, entonces en ese lugar se tienen 4.54 hss. En otros términos, **cuando la radiación se da en kWh/m², el número corresponde al número de hss.**

2.1.4 Tecnologías solares e información solar requerida

La utilización de la energía solar ha tenido un desarrollado acelerado en las últimas décadas y sus principales aplicaciones son:

REPÚBLICA DOMINICANA

- **Calentamiento de agua** para uso doméstico y en facilidades de gran consumo como hoteles, hospitales, cuarteles, etc.,
- **Generación de energía eléctrica** en sistemas aislados de la red o para la red eléctrica nacional, sea empleando sistemas con celdas solares en ambas aplicaciones o centrales termosolares (en centrales de torre con campo de concentradores o centrales de concentradores distribuidos) para la generación en bloque conectada a la red nacional,
- **Otras aplicaciones térmicas** como destilación solar de agua (desalinización de agua de mar o aguas no potables), secado de productos agrícolas, refrigeración, entre otras.

Todas estas aplicaciones requieren de información del recurso solar de diferente tipo.

Actualmente existen tecnologías que transforman la energía solar en calor, electricidad directamente, y aplicaciones foto biológicas y fotoquímicas. La Tabla 2.2 muestra el tipo de información de energía solar que requiere cada tecnología de conversión específica. Las tecnologías se han caracterizado por su grado actual de desarrollo como Comerciales o a nivel Demostrativo/Piloto.

Tabla 2.2. Clasificación del tipo de información solar requerida para diferentes tecnologías solares.

	Tipo de Recurso		Conversión Tecnológica		
	Parámetro	Descripción	Ejemplo	Producto	Estado
Banda Ancha	Directa Normal	Componente principal de la luz del sol, directamente desde el sol	Solar Térmica (canaleta parabólica, plato Stirling, receptor central)	Electricidad, Calor	A, B
			Concentrador Fotovoltaico	Electricidad	A
	Difusa Horizontal	Componente secundaria dispersada por el cielo	Climatología en recintos (iluminación diurna)	Iluminación	A
	Global Horizontal	Total (directa y difusa) sobre una superficie horizontal	Agricultura	Alimentos, forraje, fibra, energía	A
			Estanque solar	Calor, electricidad	B
Global Inclinada	Total sobre una superficie inclinada o con seguimiento solar	Fotovoltaica	Electricidad	A	
Espectral	Banda de longitud de onda pertinente a una tecnología específica	Calefacción de agua	Agua caliente	A	
		Detoxificación solar (Foto-química)	Disposición toxica de residuos	B	

A= Procesos y productos comercializados

B= Procesos a nivel piloto demostrativo o industria incipiente.

Fuente: VERA, 1995, Texas Renewable Energy Resource Assessment, Texas, EUA, pag 40

Vista la tabla anterior desde el lado del tipo de información requerida, la tabla siguiente muestra las aplicaciones que tienen los diferentes tipos de información solar.

Tabla 2.3. Tipos de información solar y sus aplicaciones

Tipo de Información	Se emplea para
Radiación Global (RG)	Sistemas Fotovoltaicos, calentadores agua, agricultura y estanques solares
Radiación Directa Normal (RDN)	Concentradores para generación térmica o fotovoltaica
Radiación sobre Superficie Plana con inclinación igual a la latitud (RI)	Sistemas Fotovoltaicos, calentadores de agua
Radiación Difusa (RDf)	Iluminación natural

Los diferentes tipos radiación solar se definen como sigue y estas definiciones se emplearán en adelante:

Radiación solar global – Promedio Anual ($kWh/m^2/día$)

Es la cantidad de energía electromagnética (radiación solar) que recibe durante el día una superficie horizontal en promedio al año. Para este promedio anual se consideran varios años. A esta magnitud también se le llama también Radiación Total.

Radiación solar directa normal – Promedio Anual ($kWh/m^2/día$)

Es la cantidad de energía electromagnética (radiación solar) que recibe durante el día una superficie orientada perpendicularmente a la dirección del sol, excluyendo la radiación difusa que proviene del cielo, en promedio al año. Para este promedio anual se consideran varios años. También se le llama Radiación Directa Normal.

Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud – Promedio Anual ($kWh/m^2/día$)

Es la cantidad de energía electromagnética (radiación solar) que recibe durante el día una superficie que estando en el hemisferio norte se orienta hacia el sur (o hacia el norte, si se encuentra en el hemisferio sur) y con una inclinación igual a la latitud, en promedio al año. Para este promedio anual se consideran varios años.

Radiación solar difusa – Promedio Anual ($kWh/m^2/día$)

Es la cantidad de energía electromagnética (radiación solar) que recibe durante el día una superficie horizontal, proveniente de todo el cielo excluyendo la radiación directa del sol, en promedio al año. Para este promedio anual se consideran varios años.

Análogamente se pueden definir los promedios para cada mes j , de la siguiente manera:

- **Radiación solar global – Promedio Mes j** ($kWh/m^2/día$)
- **Radiación solar directa normal – Promedio Mes j** ($kWh/m^2/día$)

- **Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud – Promedio Mes j** (kWh/m²/día)
- **Radiación solar difusa – Promedio Mes j** (kWh/m²/día)

2.1.5 Caracterización del recurso solar para ingeniería solar

Caracterizar el recurso solar en un lugar determinado es dar 12 valores (uno por mes) de la Radiación Solar Global Diaria-Promedio Mes j , expresada en kWh/m² o MJ/M² o en otras unidades⁴. Adicionalmente, dar una decimotercera cifra, la **Radiación solar global – Promedio Anual (kWh/m²/día)**. Y esto se requiere para cada tipo de información requerida específicamente por el tipo de tecnología, como se ha dado en la Tabla 2.3.

2.1.6 Fuentes de información

Dos fuentes de información se han encontrado para este estudio.

2.1.6.1 INDOTEC

La radiación solar global promedio mensual fue estimada por J.R. Acosta del INDOTEC⁵ a partir de la información de 26 estaciones meteorológicas con datos de los años 1970-1972 resultando valores que “expresan la posibilidad de desarrollar e instalar aplicaciones de energía solar virtualmente en todo el territorio nacional”⁶. De acuerdo a Acosta, “el éxito de la utilización económica depende, entre otros factores, de la exactitud de la información sobre la disponibilidad de esta energía, sin embargo, el país carece actualmente de un instrumental para la medición de la radiación solar en todas sus estaciones climatológicas”⁷.

2.1.6.2 SWERA

Dada la importancia que tiene el desarrollo de la utilización de la energía solar a nivel mundial, se desarrolló entre 2001 y 2006 el programa SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment)⁸, gracias al cual se dispone actualmente de información sobre radiación solar para RD y el Caribe⁹.

⁴ Otras unidades utilizadas son cal/cm²/día promediada para un mes específico o para un periodo de tiempo más extenso, por ejemplo, promedio anual.

⁵ Acosta, J.R. (1979). Estimación de la distribución de la radiación solar en la República Dominicana. Instituto Dominicano de Tecnología Industrial. Santo Domingo. República Dominicana.

⁶ Comisión Nacional de Energía (2004). Plan Energético Nacional. Santo Domingo. República Dominicana

⁷ Ibid pág. 162

⁸ SWERA fue adelantado por NREL (National Renewable Energy Laboratory, USA) e instituciones de doce países que participaron, con el auspicio del GEF (Global Environment Facility) y la gestión de la UNEP (United Nations Environment Programme).

⁹ Bases de datos de radiación de SWERA. <http://swera.unep.net/>

2.1.7 Potencial solar de RD

Para determinar el potencial solar de RD se optó por emplear la información de SWERA porque tiene una resolución espacial más elevada que la del estudio de INDOTEC, se trata de metodologías más modernas que emplean también instrumentación más moderna que la mencionada anteriormente (información satelital), tiene una mejor resolución espacial (67 celdas para una resolución espacial de aproximadamente $48442 \text{ km}^2/67=723 \text{ km}^2/\text{celda}$), una distribución espacial uniforme de las celdas y presenta información adicional sobre 3 tipos de información solar que no presenta el estudio de INDOTEC. Es importante aclarar que cuando se comparan los dos mapas de radiación solar global, los mapas de INDOTEC y el generado a partir de información de SWERA coinciden muy bien.

2.1.7.1 Metodología de SWERA

A partir de imágenes de satélite con una resolución espacial de $1^\circ \times 1^\circ$ (aproximadamente 110 km x 110 km) y empleando modelos apropiados desarrollados por el proyecto SWERA, este último generó bases de datos de radiación para esas extensiones de superficie, las cuales tienen coordenadas (longitud y latitud) bien definidas. En este proyecto se extrajo la información correspondiente al territorio de RD¹⁰ en 67 celdas. A partir de las bases de datos de radiación solar de diferente tipo como definidas anteriormente, se generaron en este estudio los correspondientes mapas de radiación solar para RD. Como plataforma GIS (Geographical Information System) se ha empleado ArcGis.

2.1.7.2 Mapas de radiación solar

Cuando se considera el potencial solar, generalmente se suele emplear el Mapa de Radiación Solar Global – Promedio Anual ($\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$) que indica la cantidad de radiación solar directa mas difusa recibida por 1 m^2 de superficie horizontal diariamente en promedio anual (Ver figura siguiente)

Este mapa indica que el potencial de RD está entre 5 y 6 kWh/m^2 , con un gradiente que va desde la zona oriental hasta la zona occidental del país. Esta es una cifra elevada que permite variadas aplicaciones de la energía solar. A manera de ilustración, la radiación solar global promedio anual en regiones de alta insolación en el mundo localizadas en las zonas desérticas alrededor de los trópicos, está entre 6.0 y 6.5 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$ mientras que en RD esta varía entre 5.0 y 6.0 $\text{kWh}/\text{m}^2/\text{día}$, esto es, entre 80% y 92% de los valores máximos.

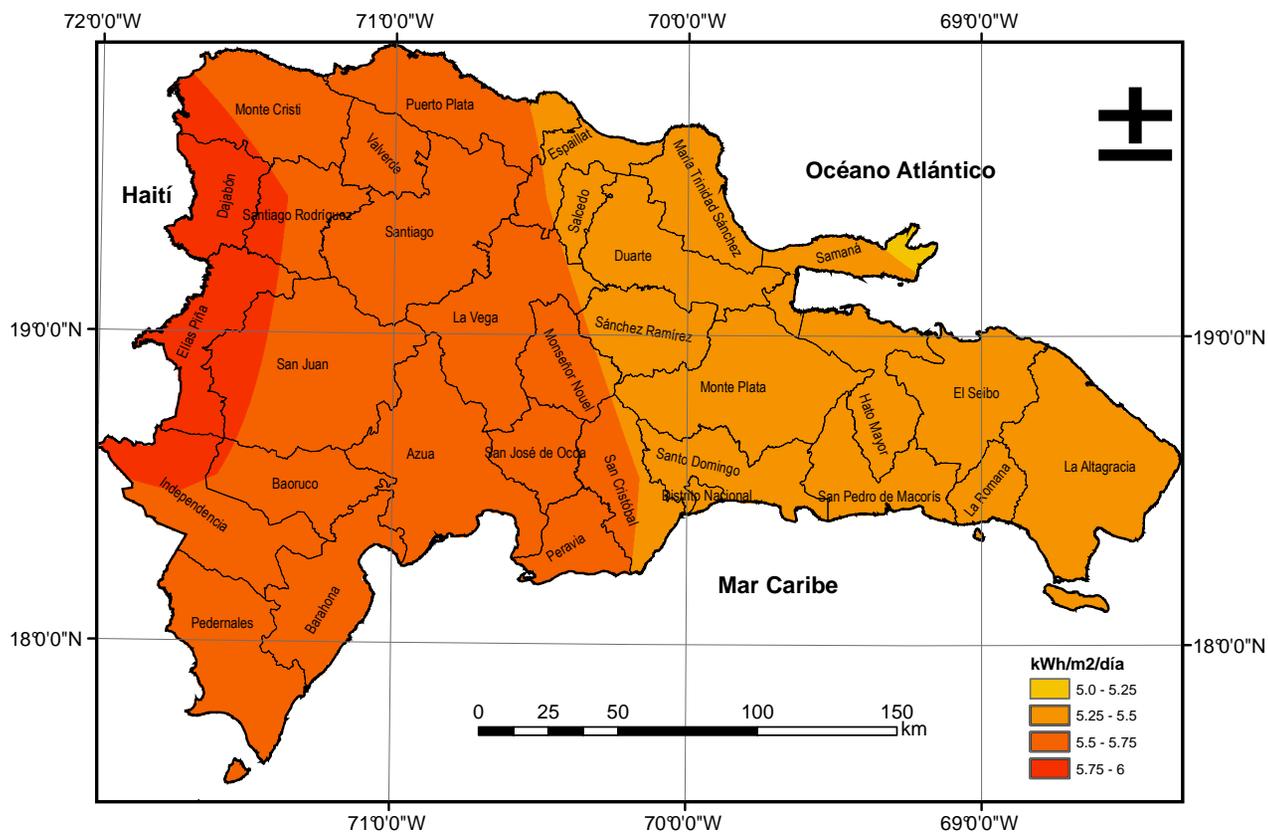
Las figuras siguientes muestran los restantes mapas de radiación solar elaborados.

¹⁰ Bases de datos de radiación de SWERA. <http://swera.unep.net/>

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 2.2. Mapa de Radiación Solar Global

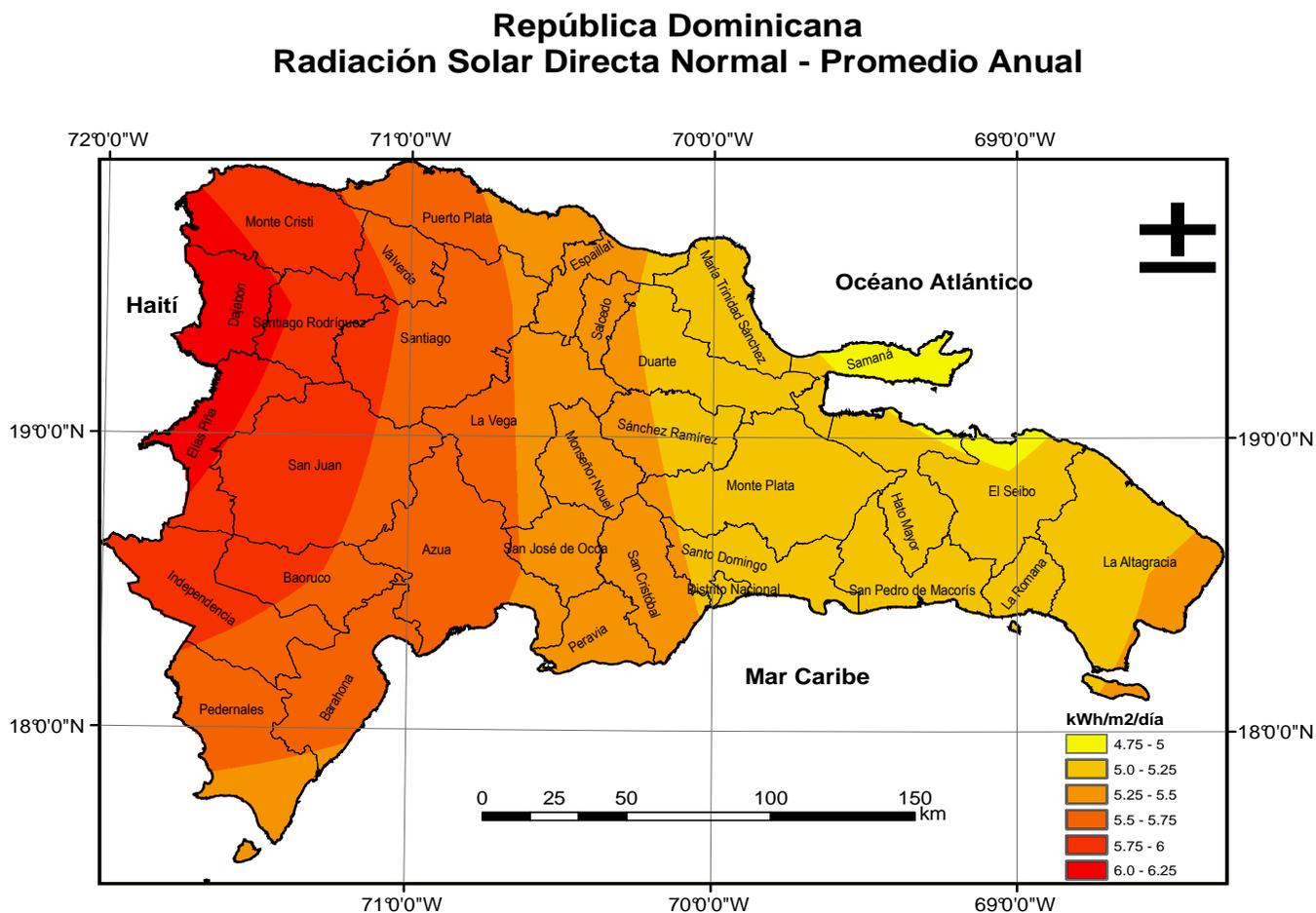
República Dominicana
Radiación Solar Global - Promedio Anual



Fuente: SWERA, 2004 y resultados este estudio

REPÚBLICA DOMINICANA

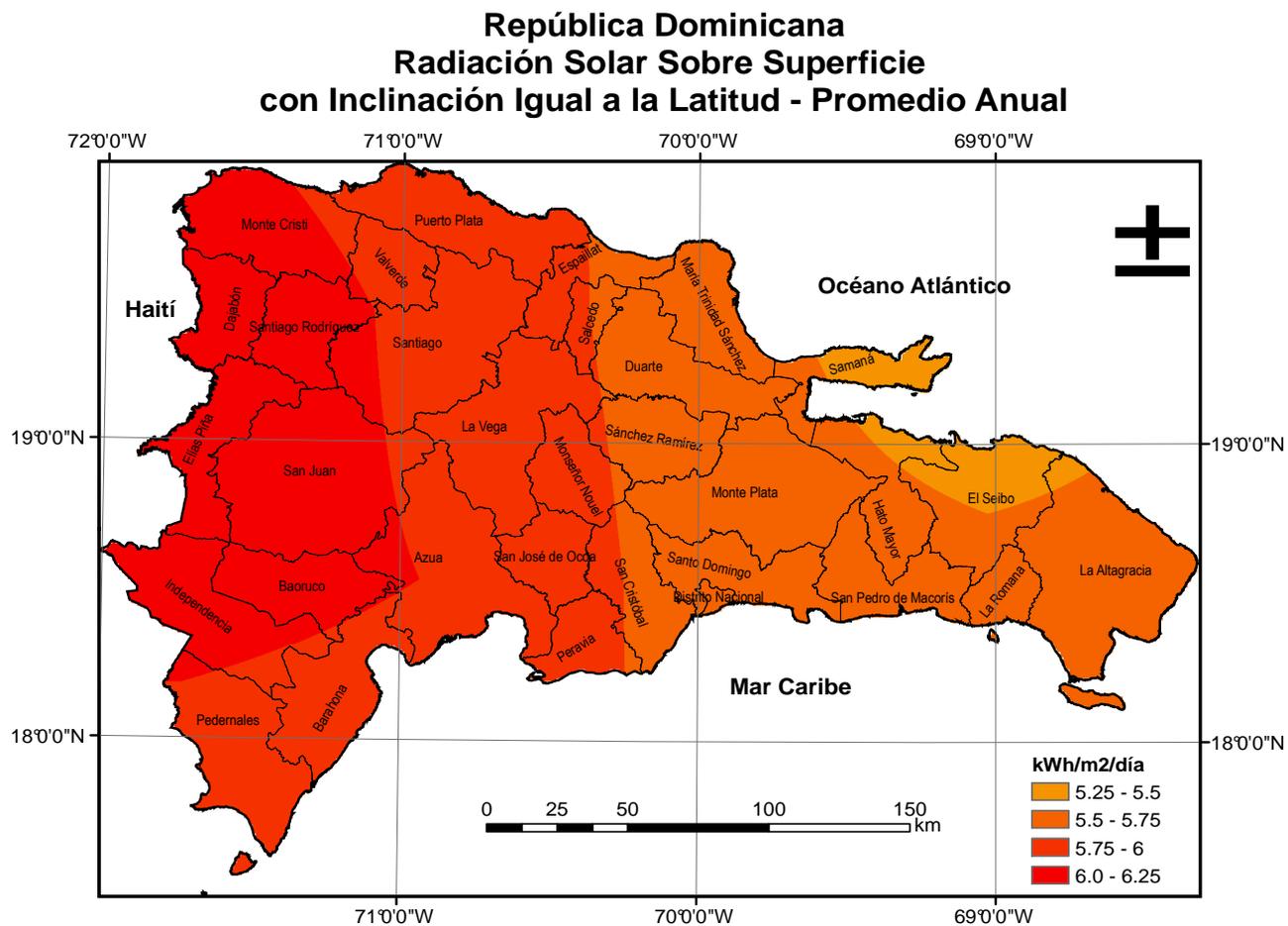
Figura 2.3. Mapa de Radiación Directa Normal



Fuente: SWERA 2004 y resultados este estudio

REPÚBLICA DOMINICANA

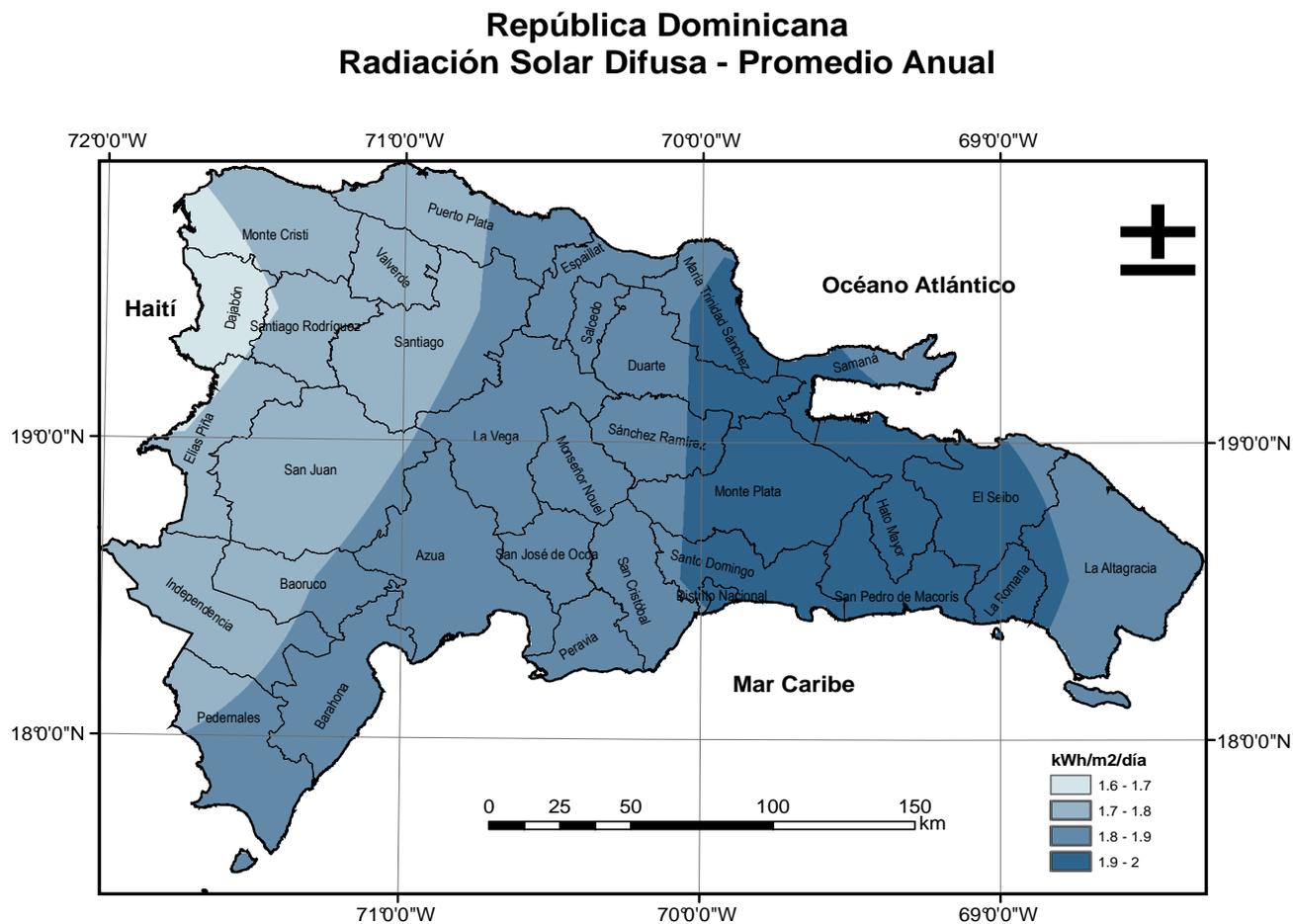
Figura 2.4. Mapa de Radiación Solar sobre Superficie con Inclincación igual a la latitud



Fuente: SWERA 2004 y resultados este estudio

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 2.5. Mapa de Radiación Solar Difusa



Fuente: SWERA 2004 y resultados este estudio

REPÚBLICA DOMINICANA

Anteriormente se mencionó que la información requerida para adelantar proyectos de energía solar depende del tipo de aplicación y tecnología a emplear. La Tabla 2.4 muestra nuevamente el tipo de información requerida para diferentes aplicaciones pero presenta además el rango de los respectivos valores en RD y hace una evaluación de la calidad del potencial.

Tabla 2.4. Información de radiación solar por aplicación y su magnitud en RD

APLICACIÓN	VARIABLE	MAGNITUD EN RD (kWh/m ² /día)	OBSERVACIÓN
Calentadores solares	Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud	Entre 5.25 y 6.25	Excelente potencial
Sistemas fotovoltaicos	Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud	Entre 5.25 y 6.25	Excelente potencial
Sistemas fotovoltaicos con seguidor de sol (sin concentración)	Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud	Entre 4.75 y 6.25	Excelente potencial
Centrales termosolares con seguidor solar (y con concentración)	Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud	Entre 5.25 y 6.25 sin factor de concentración	Excelente potencial
Aplicaciones varias (por ejemplo, agricultura)	Radiación solar global Radiación solar difusa	Entre 5.00 y 6.00 Entre 1.6 y 2.00	Excelente potencial

Fuente: Resultados este estudio

En conclusión, el potencial solar de RD es excelente para todas las aplicaciones consideradas en la Tabla anterior.

2.1.7.3 Tablas de radiación

Para los propósitos de ingeniería solar se prefiere trabajar con tablas de radiación. Estas tablas dan los promedios mensuales de la radiación solar diaria y el promedio anual. Las tablas son las siguientes (ver las definiciones en 2.1.4):

- Radiación solar global diaria - Promedio mensual
- Radiación solar directa normal diaria – Promedio mensual
- Radiación solar sobre superficie con inclinación igual a la latitud – Promedio mensual
- Radiación solar difusa diaria – Promedio mensual

Las tablas de radiación dan el valor promedio mensual de la radiación solar (kWh radiantes) que recibe diariamente 1 m² de superficie. Se dan en las tablas las coordenadas correspondientes al centro del rectángulo para el cual ha sido evaluada la información. Para

REPÚBLICA DOMINICANA

sitios diferentes, la radiación solar se puede interpolar a partir de los valores de la radiación correspondientes a los cuatro puntos más próximos que conforman el rectángulo dentro del cual se encuentra el lugar donde se requiere estimar la radiación.

Tabla 2.5. Radiación Solar Global (kWh/m²/día)

#	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	-72.19	18.36	4.90	5.47	6.14	6.34	6.18	6.32	6.51	6.50	6.00	5.48	4.84	4.64	5.78
2	-71.64	19.83	4.64	5.25	6.11	6.51	6.21	6.55	6.55	6.64	5.99	5.44	4.57	4.37	5.74
3	-71.69	19.52	4.92	5.47	6.38	6.71	6.40	6.73	6.77	6.80	6.29	5.67	4.74	4.60	5.96
4	-71.73	19.22	5.01	5.59	6.35	6.60	6.29	6.61	6.65	6.79	6.09	5.60	4.79	4.65	5.92
5	-71.78	18.92	5.05	5.62	6.37	6.68	6.42	6.61	6.75	6.80	6.30	5.61	4.90	4.77	5.99
6	-71.83	18.62	4.96	5.51	6.17	6.56	6.20	6.40	6.50	6.52	6.03	5.48	4.81	4.67	5.82
7	-71.87	18.32	4.95	5.49	6.16	6.41	6.19	6.34	6.47	6.49	6.02	5.47	4.85	4.67	5.79
8	-71.92	18.02	4.77	5.28	5.96	6.01	5.84	6.06	6.14	6.23	5.70	5.22	4.65	4.62	5.54
9	-71.32	19.78	4.56	5.27	6.10	6.55	6.32	6.68	6.71	6.73	6.08	5.50	4.51	4.39	5.78
10	-71.37	19.48	4.82	5.29	6.28	6.61	6.39	6.73	6.81	6.87	6.30	5.67	4.72	4.55	5.92
11	-71.41	19.18	4.92	5.47	6.26	6.35	6.24	6.52	6.52	6.65	6.02	5.58	4.76	4.59	5.82
12	-71.46	18.87	5.03	5.63	6.34	6.62	6.37	6.64	6.78	6.72	6.25	5.62	4.85	4.72	5.96
13	-71.51	18.57	4.95	5.52	6.15	6.39	6.23	6.36	6.53	6.54	6.10	5.52	4.87	4.70	5.82
14	-71.56	18.28	4.86	5.50	6.12	6.29	6.10	6.24	6.44	6.49	6.11	5.49	4.81	4.69	5.76
15	-71.60	17.98	4.82	5.33	6.15	6.19	6.03	6.21	6.40	6.40	5.95	5.34	4.84	4.66	5.69
16	-71.65	17.68	4.70	5.33	5.99	6.13	5.82	5.94	6.05	6.12	5.62	5.02	4.56	4.62	5.49
17	-70.99	19.73	4.52	5.15	6.07	6.65	6.28	6.70	6.68	6.65	6.17	5.60	4.46	4.21	5.76
18	-71.04	19.43	4.74	5.20	6.20	6.59	6.32	6.76	6.81	6.84	6.31	5.66	4.62	4.45	5.87
19	-71.09	19.13	4.74	5.32	6.05	6.28	6.10	6.54	6.48	6.62	5.93	5.52	4.51	4.45	5.71
20	-71.14	18.83	4.86	5.42	6.15	6.34	6.17	6.50	6.63	6.64	6.14	5.58	4.81	4.67	5.82
21	-71.19	18.53	4.99	5.65	6.32	6.55	6.28	6.50	6.68	6.67	6.23	5.60	4.95	4.76	5.93
22	-71.24	18.23	4.74	5.37	6.09	6.34	6.10	6.12	6.40	6.34	5.97	5.38	4.80	4.60	5.69
23	-71.29	17.93	4.68	5.25	6.04	6.17	5.87	5.95	6.06	6.18	5.89	5.29	4.80	4.64	5.57
24	-71.34	17.64	4.53	5.02	5.78	5.90	5.63	5.78	5.81	5.90	5.55	4.95	4.54	4.51	5.32
25	-70.62	19.99	3.91	4.53	5.42	5.83	5.80	6.03	5.99	6.04	5.61	5.00	4.03	3.70	5.16
26	-70.67	19.68	4.24	4.77	5.58	6.23	6.00	6.34	6.35	6.23	5.89	5.31	4.22	4.00	5.43
27	-70.72	19.38	4.43	4.84	5.68	6.22	6.09	6.37	6.47	6.35	5.93	5.34	4.33	4.15	5.52
28	-70.78	19.08	4.60	5.17	5.88	6.34	6.14	6.56	6.55	6.65	6.16	5.55	4.47	4.36	5.70
29	-70.83	18.78	4.70	5.29	6.02	6.32	6.22	6.50	6.60	6.63	6.07	5.53	4.72	4.57	5.76
30	-70.88	18.48	4.78	5.36	6.07	6.38	6.16	6.23	6.43	6.36	5.96	5.37	4.75	4.56	5.70
31	-70.93	18.18	4.57	5.12	5.93	6.09	5.77	5.86	6.08	5.99	5.69	5.15	4.59	4.44	5.44
32	-70.98	17.89	4.51	5.10	5.86	6.00	5.60	5.70	5.84	5.88	5.57	5.01	4.62	4.41	5.34
33	-70.35	19.63	4.22	4.75	5.54	6.15	5.95	6.19	6.23	6.13	5.78	5.22	4.19	4.00	5.36
34	-70.41	19.33	4.24	4.70	5.46	6.01	5.88	6.10	6.14	6.03	5.70	5.17	4.23	4.02	5.31
35	-70.46	19.03	4.33	4.78	5.52	6.06	5.88	6.13	6.15	6.05	5.78	5.22	4.31	4.13	5.36
36	-70.51	18.73	4.33	4.80	5.61	6.04	5.87	6.09	5.99	6.05	5.90	5.35	4.42	4.23	5.39
37	-70.56	18.43	4.66	5.20	5.94	6.31	6.15	6.20	6.35	6.32	5.97	5.46	4.74	4.58	5.66
38	-70.62	18.14	4.61	5.13	5.98	6.10	5.76	5.80	5.97	6.01	5.72	5.12	4.66	4.47	5.45
39	-70.03	19.58	4.21	4.77	5.49	6.01	5.83	6.10	6.08	5.97	5.64	5.14	4.19	3.96	5.28
40	-70.09	19.28	4.26	4.77	5.53	6.02	5.84	6.03	6.06	6.02	5.72	5.18	4.30	4.07	5.32
41	-70.14	18.98	4.37	5.02	5.70	6.24	5.93	6.14	6.14	6.17	5.83	5.39	4.43	4.30	5.47
42	-70.20	18.68	4.35	4.89	5.69	6.16	5.84	6.02	5.93	6.02	5.83	5.38	4.46	4.27	5.40
43	-70.25	18.38	4.39	4.90	5.72	6.08	5.89	5.87	5.85	5.91	5.84	5.37	4.54	4.33	5.39
44	-70.30	18.09	4.55	5.24	5.95	6.25	5.80	5.88	5.89	6.03	5.81	5.25	4.68	4.43	5.48
45	-69.71	19.53	4.15	4.84	5.42	5.85	5.63	5.83	5.81	5.75	5.41	5.06	4.28	4.02	5.17
46	-69.77	19.23	4.35	5.07	5.71	6.11	5.78	6.07	6.01	6.02	5.74	5.35	4.55	4.28	5.42
47	-69.82	18.93	4.45	5.08	5.77	6.10	5.85	6.04	6.09	6.01	5.69	5.35	4.53	4.40	5.45
48	-69.88	18.63	4.58	5.11	5.88	6.17	5.92	6.04	6.08	6.12	5.87	5.39	4.59	4.44	5.52
49	-69.94	18.33	4.18	4.71	5.41	5.84	5.69	5.76	5.74	5.70	5.52	4.99	4.28	4.02	5.15
50	-69.39	19.47	4.03	4.63	5.47	5.77	5.48	5.78	5.65	5.59	5.44	4.84	4.11	3.86	5.05
51	-69.45	19.17	4.31	4.97	5.47	5.92	5.65	5.83	5.72	5.72	5.41	5.02	4.35	4.16	5.21
52	-69.51	18.87	4.52	5.07	5.79	6.07	5.88	5.99	5.98	5.95	5.62	5.25	4.51	4.32	5.41
53	-69.57	18.57	4.36	4.86	5.70	6.07	5.95	6.01	6.05	5.95	5.78	5.20	4.45	4.21	5.38
54	-69.62	18.28	4.23	4.75	5.47	5.83	5.67	5.73	5.75	5.68	5.51	4.99	4.31	4.05	5.16
55	-69.07	19.41	4.16	4.71	5.55	5.75	5.54	5.79	5.65	5.63	5.41	4.95	4.23	3.95	5.11
56	-69.13	19.12	4.37	4.99	5.66	5.99	5.64	5.79	5.71	5.70	5.47	5.04	4.30	4.13	5.23
57	-69.19	18.82	4.51	5.03	5.81	6.15	5.91	6.00	5.99	5.88	5.63	5.19	4.49	4.27	5.41
58	-69.25	18.52	4.60	5.04	5.94	6.17	5.86	5.98	5.99	5.94	5.65	5.15	4.55	4.37	5.44
59	-68.82	19.06	4.03	4.52	5.36	5.74	5.49	5.65	5.49	5.48	5.30	4.80	4.09	3.83	4.98
60	-68.88	18.76	4.55	5.12	5.87	6.18	5.87	6.04	6.01	5.95	5.65	5.29	4.50	4.33	5.45
61	-68.94	18.46	4.62	5.18	5.92	6.23	5.89	5.99	5.93	5.94	5.75	5.25	4.56	4.37	5.47
62	-68.50	19.00	4.12	4.72	5.65	6.01	5.65	5.86	5.70	5.55	5.46	4.92	4.21	4.01	5.15
63	-68.57	18.70	4.58	5.06	5.87	6.31	6.00	6.15	6.02	6.03	5.65	5.28	4.56	4.46	5.50
64	-68.63	18.40	4.77	5.25	6.05	6.38	5.93	6.13	6.01	6.06	5.89	5.32	4.77	4.54	5.59
65	-68.69	18.11	4.75	5.29	5.98	6.17	5.87	5.89	5.91	5.98	5.83	5.14	4.73	4.51	5.50
66	-68.25	18.64	4.62	5.23	5.85	6.32	5.90	5.96	6.01	5.96	5.59	5.16	4.56	4.38	5.46
67	-68.32	18.34	4.73	5.24	5.94	6.21	5.79	5.92	5.93	5.99	5.76	5.12	4.71	4.46	5.48

Fuente: SWERA, 2004. Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

<http://swera.unep.net/>

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 2.6. Radiación Solar Directa Normal (kWh/m2/día)

#	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	-72.19	18.36	6.34	6.38	6.54	6.06	5.43	5.27	5.80	6.18	5.85	5.93	5.79	6.19	5.98
2	-71.64	19.83	5.93	5.78	6.25	6.31	5.29	5.61	5.72	6.31	5.89	6.00	5.07	5.71	5.82
3	-71.69	19.52	6.72	6.41	6.98	6.90	5.82	6.14	6.35	6.83	6.65	6.65	5.54	6.43	6.45
4	-71.73	19.22	7.01	6.88	7.00	6.74	5.74	6.07	6.26	6.98	6.27	6.51	5.74	6.57	6.48
5	-71.78	18.92	7.02	6.87	6.96	6.87	5.94	5.92	6.37	6.92	6.66	6.41	5.93	6.87	6.56
6	-71.83	18.62	6.49	6.36	6.31	6.38	5.31	5.24	5.59	6.07	5.80	5.85	5.52	6.26	5.93
7	-71.87	18.32	6.69	6.58	6.64	6.39	5.60	5.53	5.94	6.37	6.05	6.06	5.89	6.38	6.17
8	-71.92	18.02	5.96	5.89	6.17	5.44	4.83	4.71	5.01	5.55	5.22	5.30	5.27	6.07	5.45
9	-71.32	19.78	5.76	5.94	6.30	6.53	5.61	6.03	6.20	6.64	6.17	6.21	4.96	5.83	6.01
10	-71.37	19.48	6.46	5.98	6.71	6.69	5.80	6.14	6.48	7.05	6.66	6.63	5.46	6.22	6.36
11	-71.41	19.18	6.91	6.72	6.96	6.39	5.81	6.11	6.20	6.87	6.26	6.59	5.81	6.46	6.42
12	-71.46	18.87	6.94	6.83	6.85	6.67	5.77	5.91	6.41	6.70	6.45	6.38	5.76	6.58	6.44
13	-71.51	18.57	6.47	6.38	6.26	6.04	5.37	5.13	5.65	6.10	5.94	5.93	5.66	6.29	5.93
14	-71.56	18.28	6.21	6.36	6.31	5.90	5.20	5.02	5.58	6.08	6.01	5.87	5.56	6.23	5.86
15	-71.60	17.98	5.86	5.75	6.34	5.52	4.91	4.76	5.26	5.67	5.45	5.30	5.50	5.91	5.52
16	-71.65	17.68	5.67	5.91	6.19	5.65	4.81	4.52	4.85	5.33	4.99	4.77	4.96	5.92	5.30
17	-70.99	19.73	5.72	5.74	6.25	6.85	5.62	6.19	6.31	6.60	6.47	6.55	4.89	5.38	6.05
18	-71.04	19.43	6.24	5.83	6.47	6.69	5.69	6.27	6.55	7.06	6.72	6.64	5.23	5.92	6.28
19	-71.09	19.13	6.45	6.42	6.54	6.36	5.61	6.30	6.29	6.95	6.17	6.54	5.25	6.13	6.25
20	-71.14	18.83	6.41	6.30	6.40	6.10	5.38	5.68	6.11	6.56	6.25	6.31	5.66	6.40	6.13
21	-71.19	18.53	6.65	6.76	6.71	6.44	5.52	5.54	6.09	6.51	6.28	6.20	5.92	6.55	6.26
22	-71.24	18.23	5.73	5.92	6.10	5.87	5.04	4.61	5.30	5.60	5.50	5.48	5.40	5.81	5.53
23	-71.29	17.93	5.46	5.53	5.96	5.44	4.53	4.23	4.56	5.20	5.25	5.15	5.30	5.81	5.20
24	-71.34	17.64	5.24	5.22	5.76	5.20	4.45	4.25	4.41	4.92	4.84	4.62	4.91	5.59	4.95
25	-70.62	19.99	4.35	4.50	5.06	5.34	4.85	4.97	5.04	5.45	5.43	5.32	4.07	4.23	4.88
26	-70.67	19.68	4.96	4.81	4.96	5.94	4.94	5.33	5.57	5.71	5.80	5.81	4.18	4.71	5.23
27	-70.72	19.38	5.35	4.93	5.12	5.84	5.10	5.33	5.74	5.89	5.80	5.79	4.39	5.00	5.36
28	-70.78	19.08	5.93	5.90	5.93	6.33	5.51	6.10	6.23	6.82	6.52	6.46	4.96	5.72	6.03
29	-70.83	18.78	6.07	6.09	6.24	6.21	5.65	5.89	6.24	6.72	6.22	6.30	5.55	6.21	6.11
30	-70.88	18.48	5.88	5.91	6.01	5.94	5.13	4.80	5.35	5.63	5.49	5.48	5.29	5.74	5.55
31	-70.93	18.18	5.52	5.57	6.01	5.65	4.71	4.43	4.96	5.17	5.18	5.22	5.11	5.55	5.26
32	-70.98	17.89	5.30	5.48	5.88	5.45	4.40	4.15	4.50	4.96	4.92	4.88	5.16	5.40	5.04
33	-70.35	19.63	4.87	4.72	4.83	5.73	4.81	5.00	5.29	5.49	5.51	5.55	4.10	4.68	5.05
34	-70.41	19.33	4.83	4.58	4.52	5.39	4.62	4.75	5.07	5.26	5.29	5.37	4.07	4.61	4.86
35	-70.46	19.03	4.99	4.71	4.83	5.46	4.68	4.86	5.09	5.27	5.42	5.43	4.32	4.86	4.99
36	-70.51	18.73	5.03	4.86	5.27	5.56	4.84	5.01	4.91	5.42	5.75	5.80	4.75	5.18	5.20
37	-70.56	18.43	5.65	5.63	5.85	5.93	5.23	4.96	5.39	5.73	5.63	5.81	5.37	5.90	5.59
38	-70.62	18.14	5.60	5.60	6.12	5.67	4.71	4.35	4.77	5.24	5.25	5.15	5.29	5.62	5.28
39	-70.03	19.58	4.73	4.68	4.75	5.33	4.49	4.73	4.87	5.03	5.11	5.28	4.07	4.52	4.80
40	-70.09	19.28	4.81	4.68	4.83	5.34	4.52	4.60	4.82	5.15	5.24	5.30	4.29	4.72	4.86
41	-70.14	18.98	5.02	5.23	5.23	5.79	4.76	4.83	4.96	5.45	5.43	5.77	4.59	5.25	5.19
42	-70.20	18.68	4.89	4.88	5.24	5.58	4.55	4.56	4.51	5.10	5.35	5.65	4.65	5.07	5.00
43	-70.25	18.38	4.85	4.81	5.25	5.32	4.59	4.17	4.23	4.75	5.23	5.50	4.77	5.07	4.88
44	-70.30	18.09	5.45	5.84	6.06	5.97	4.78	4.51	4.62	5.26	5.41	5.45	5.33	5.51	5.35
45	-69.71	19.53	5.00	5.35	5.19	5.09	4.30	4.60	4.59	4.77	4.76	5.24	4.85	5.06	4.90
46	-69.77	19.23	5.15	5.51	5.42	5.24	4.19	4.70	4.61	4.95	5.06	5.56	5.16	5.41	5.08
47	-69.82	18.93	5.35	5.50	5.53	5.22	4.35	4.65	4.80	4.94	4.97	5.54	5.07	5.69	5.13
48	-69.88	18.63	5.65	5.54	5.74	5.36	4.49	4.66	4.78	5.16	5.36	5.62	5.19	5.77	5.28
49	-69.94	18.33	4.85	4.88	5.07	5.03	4.41	4.49	4.49	4.67	4.94	4.98	4.68	4.85	4.78
50	-69.39	19.47	4.67	4.85	5.26	4.93	4.00	4.50	4.29	4.47	4.81	4.74	4.41	4.61	4.63
51	-69.45	19.17	5.33	5.58	5.25	5.21	4.32	4.60	4.42	4.70	4.72	5.10	4.93	5.34	4.96
52	-69.51	18.87	5.53	5.47	5.55	5.16	4.41	4.55	4.56	4.80	4.80	5.27	4.98	5.45	5.04
53	-69.57	18.57	5.04	4.93	5.34	5.15	4.53	4.60	4.71	4.80	5.13	5.13	4.82	5.09	4.94
54	-69.62	18.28	4.95	4.95	5.18	5.02	4.38	4.43	4.50	4.62	4.90	4.96	4.73	4.92	4.80
55	-69.07	19.41	4.97	5.03	5.44	4.90	4.11	4.52	4.28	4.54	4.75	4.98	4.69	4.86	4.75
56	-69.13	19.12	5.46	5.60	5.62	5.33	4.30	4.52	4.40	4.67	4.84	5.13	4.82	5.25	5.00
57	-69.19	18.82	5.49	5.35	5.59	5.30	4.47	4.57	4.58	4.68	4.82	5.13	4.93	5.29	5.02
58	-69.25	18.52	5.64	5.34	5.85	5.32	4.36	4.53	4.58	4.78	4.85	5.00	5.03	5.50	5.07
59	-68.82	19.06	4.59	4.52	5.00	4.86	4.02	4.27	4.00	4.25	4.51	4.60	4.28	4.45	4.44
60	-68.88	18.76	5.58	5.56	5.72	5.37	4.38	4.65	4.63	4.82	4.85	5.33	4.94	5.44	5.11
61	-68.94	18.46	5.68	5.65	5.80	5.45	4.41	4.55	4.48	4.77	5.04	5.21	5.05	5.48	5.13
62	-68.50	19.00	4.80	4.98	5.60	5.37	4.32	4.66	4.39	4.38	4.82	4.86	4.58	4.93	4.81
63	-68.57	18.70	5.63	5.41	5.71	5.60	4.62	4.85	4.65	4.96	4.84	5.31	5.09	5.77	5.20
64	-68.63	18.40	6.09	5.81	6.06	5.75	4.49	4.83	4.63	5.01	5.33	5.36	5.56	5.96	5.41
65	-68.69	18.11	6.23	6.15	6.21	5.64	4.75	4.74	4.82	5.19	5.52	5.25	5.72	6.08	5.52
66	-68.25	18.64	6.01	6.09	5.96	5.95	4.80	4.85	4.98	5.15	5.06	5.36	5.38	5.84	5.45
67	-68.32	18.34	6.24	6.07	6.13	5.74	4.59	4.79	4.84	5.21	5.39	5.23	5.69	5.98	5.49

Fuente: SWERA, 2004.Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

<http://swera.unep.net/>

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 2.7. Radiación Solar Sobre Superficie con Inclinación Igual a la Latitud (kWh/m²/día)

#	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	-72.19	18.36	6.10	6.40	6.61	6.31	5.79	5.77	6.00	6.29	6.24	6.20	5.88	5.89	6.12
2	-71.64	19.83	5.89	6.20	6.63	6.49	5.82	5.95	6.02	6.43	6.27	6.24	5.60	5.66	6.10
3	-71.69	19.52	6.25	6.47	6.91	6.69	5.98	6.09	6.20	6.57	6.57	6.49	5.82	5.96	6.33
4	-71.73	19.22	6.34	6.61	6.86	6.56	5.88	5.99	6.10	6.55	6.36	6.39	5.88	6.00	6.29
5	-71.78	18.92	6.36	6.61	6.87	6.65	6.00	6.00	6.18	6.56	6.55	6.39	6.00	6.14	6.36
6	-71.83	18.62	6.20	6.46	6.64	6.52	5.82	5.85	5.99	6.31	6.27	6.20	5.83	5.95	6.17
7	-71.87	18.32	6.18	6.42	6.63	6.37	5.79	5.77	5.95	6.27	6.26	6.19	5.89	5.93	6.14
8	-71.92	18.02	5.88	6.12	6.38	5.97	5.48	5.55	5.67	6.02	5.90	5.85	5.58	5.81	5.85
9	-71.32	19.78	5.78	6.24	6.62	6.53	5.92	6.06	6.14	6.51	6.37	6.31	5.51	5.69	6.14
10	-71.37	19.48	6.12	6.25	6.81	6.58	5.97	6.10	6.23	6.62	6.57	6.49	5.78	5.88	6.28
11	-71.41	19.18	6.24	6.47	6.77	6.32	5.83	5.90	5.96	6.41	6.29	6.38	5.85	5.92	6.19
12	-71.46	18.87	6.33	6.62	6.84	6.58	5.96	6.03	6.22	6.49	6.51	6.39	5.92	6.05	6.33
13	-71.51	18.57	6.18	6.46	6.61	6.36	5.85	5.81	6.02	6.33	6.34	6.25	5.90	5.97	6.17
14	-71.56	18.28	6.04	6.42	6.58	6.26	5.73	5.71	5.94	6.28	6.35	6.19	5.81	5.94	6.10
15	-71.60	17.98	5.93	6.17	6.60	6.16	5.67	5.70	5.92	6.21	6.17	5.98	5.82	5.84	6.01
16	-71.65	17.68	5.75	6.15	6.40	6.09	5.47	5.46	5.60	5.92	5.81	5.59	5.43	5.76	5.79
17	-70.99	19.73	5.72	6.08	6.58	6.62	5.88	6.06	6.12	6.43	6.46	6.42	5.45	5.43	6.10
18	-71.04	19.43	6.00	6.13	6.71	6.56	5.91	6.12	6.23	6.59	6.59	6.47	5.65	5.74	6.22
19	-71.09	19.13	6.00	6.29	6.55	6.25	5.70	5.90	5.92	6.37	6.19	6.31	5.51	5.74	6.06
20	-71.14	18.83	6.10	6.37	6.63	6.31	5.78	5.92	6.08	6.41	6.40	6.35	5.86	5.97	6.18
21	-71.19	18.53	6.23	6.61	6.81	6.51	5.89	5.93	6.14	6.45	6.48	6.34	6.02	6.06	6.29
22	-71.24	18.23	5.85	6.24	6.54	6.31	5.73	5.62	5.91	6.15	6.19	6.05	5.78	5.79	6.01
23	-71.29	17.93	5.73	6.06	6.47	6.13	5.54	5.49	5.63	6.00	6.10	5.92	5.74	5.81	5.89
24	-71.34	17.64	5.51	5.77	6.18	5.86	5.30	5.32	5.40	5.71	5.73	5.50	5.40	5.60	5.61
25	-70.62	19.99	4.89	5.31	5.86	5.82	5.43	5.48	5.51	5.84	5.87	5.72	4.89	4.71	5.44
26	-70.67	19.68	5.32	5.59	6.02	6.22	5.63	5.77	5.83	6.04	6.16	6.08	5.09	5.09	5.74
27	-70.72	19.38	5.56	5.66	6.12	6.20	5.71	5.80	5.95	6.15	6.20	6.09	5.23	5.28	5.83
28	-70.78	19.08	5.79	6.09	6.36	6.32	5.74	5.94	6.00	6.40	6.43	6.33	5.43	5.59	6.03
29	-70.83	18.78	5.89	6.20	6.49	6.29	5.82	5.90	6.04	6.40	6.33	6.29	5.75	5.85	6.10
30	-70.88	18.48	5.93	6.25	6.53	6.35	5.79	5.71	5.94	6.16	6.19	6.05	5.73	5.75	6.03
31	-70.93	18.18	5.64	5.94	6.36	6.05	5.42	5.38	5.62	5.80	5.90	5.79	5.51	5.56	5.75
32	-70.98	17.89	5.52	5.89	6.27	5.95	5.27	5.25	5.41	5.70	5.77	5.60	5.53	5.49	5.64
33	-70.35	19.63	5.29	5.55	5.97	6.14	5.59	5.65	5.73	5.95	6.04	5.96	5.05	5.09	5.67
34	-70.41	19.33	5.28	5.47	5.85	5.99	5.53	5.58	5.66	5.84	5.95	5.88	5.07	5.07	5.60
35	-70.46	19.03	5.38	5.56	5.93	6.03	5.53	5.60	5.68	5.87	6.03	5.93	5.18	5.22	5.66
36	-70.51	18.73	5.36	5.58	6.03	6.01	5.51	5.56	5.53	5.86	6.14	6.06	5.33	5.35	5.69
37	-70.56	18.43	5.77	6.05	6.39	6.28	5.77	5.68	5.86	6.12	6.20	6.16	5.73	5.80	5.98
38	-70.62	18.14	5.68	5.95	6.41	6.06	5.41	5.33	5.52	5.82	5.93	5.74	5.60	5.61	5.76
39	-70.03	19.58	5.24	5.56	5.91	6.00	5.49	5.58	5.61	5.80	5.89	5.86	5.04	5.02	5.58
40	-70.09	19.28	5.29	5.56	5.95	6.01	5.49	5.53	5.60	5.84	5.96	5.88	5.17	5.15	5.62
41	-70.14	18.98	5.42	5.85	6.13	6.21	5.58	5.62	5.67	5.98	6.08	6.12	5.33	5.45	5.79
42	-70.20	18.68	5.36	5.67	6.11	6.13	5.50	5.52	5.50	5.84	6.06	6.08	5.36	5.37	5.71
43	-70.25	18.38	5.38	5.66	6.13	6.05	5.55	5.41	5.44	5.74	6.07	6.05	5.44	5.41	5.69
44	-70.30	18.09	5.60	6.08	6.38	6.20	5.44	5.40	5.46	5.83	6.02	5.90	5.62	5.55	5.79
45	-69.71	19.53	4.99	5.44	5.64	5.59	5.13	5.24	5.33	5.50	5.37	5.49	4.99	4.92	5.30
46	-69.77	19.23	5.20	5.67	5.93	5.85	5.29	5.48	5.53	5.76	5.69	5.80	5.29	5.23	5.56
47	-69.82	18.93	5.30	5.66	5.98	5.83	5.35	5.46	5.60	5.75	5.64	5.78	5.24	5.36	5.58
48	-69.88	18.63	5.45	5.69	6.08	5.90	5.41	5.46	5.60	5.85	5.82	5.81	5.30	5.39	5.65
49	-69.94	18.33	4.93	5.21	5.58	5.57	5.19	5.20	5.28	5.45	5.45	5.35	4.90	4.82	5.24
50	-69.39	19.47	4.82	5.18	5.68	5.52	5.01	5.21	5.19	5.35	5.40	5.23	4.76	4.69	5.17
51	-69.45	19.17	5.17	5.57	5.67	5.66	5.15	5.25	5.25	5.46	5.36	5.43	5.04	5.08	5.34
52	-69.51	18.87	5.40	5.66	5.99	5.81	5.38	5.41	5.51	5.69	5.56	5.66	5.20	5.25	5.54
53	-69.57	18.57	5.15	5.38	5.89	5.81	5.43	5.44	5.57	5.69	5.72	5.58	5.11	5.06	5.49
54	-69.62	18.28	4.98	5.24	5.64	5.57	5.17	5.17	5.28	5.42	5.44	5.34	4.93	4.85	5.25
55	-69.07	19.41	4.98	5.28	5.77	5.50	5.05	5.21	5.19	5.38	5.37	5.36	4.91	4.82	5.24
56	-69.13	19.12	5.24	5.58	5.87	5.72	5.14	5.22	5.24	5.45	5.42	5.44	4.99	5.04	5.36
57	-69.19	18.82	5.38	5.60	6.01	5.88	5.40	5.42	5.51	5.63	5.58	5.59	5.18	5.18	5.53
58	-69.25	18.52	5.46	5.59	6.15	5.89	5.36	5.41	5.52	5.68	5.59	5.52	5.23	5.28	5.56
59	-68.82	19.06	4.79	5.01	5.54	5.48	5.01	5.10	5.06	5.24	5.25	5.16	4.70	4.61	5.08
60	-68.88	18.76	5.43	5.70	6.08	5.91	5.37	5.46	5.54	5.70	5.59	5.69	5.18	5.25	5.57
61	-68.94	18.46	5.48	5.75	6.12	5.95	5.38	5.42	5.47	5.68	5.68	5.63	5.24	5.27	5.59
62	-68.50	19.00	4.89	5.26	5.86	5.74	5.15	5.28	5.24	5.30	5.41	5.30	4.85	4.86	5.26
63	-68.57	18.70	5.46	5.63	6.08	6.03	5.48	5.55	5.55	5.77	5.59	5.68	5.26	5.41	5.62
64	-68.63	18.40	5.69	5.83	6.25	6.10	5.42	5.54	5.54	5.79	5.83	5.71	5.50	5.51	5.73
65	-68.69	18.11	5.63	5.87	6.17	5.88	5.34	5.31	5.43	5.71	5.76	5.51	5.45	5.45	5.63
66	-68.25	18.64	5.53	5.84	6.05	6.03	5.37	5.37	5.51	5.69	5.53	5.56	5.28	5.33	5.59
67	-68.32	18.34	5.63	5.83	6.13	5.92	5.27	5.34	5.44	5.72	5.70	5.49	5.44	5.40	5.61

Fuente: SWERA, 2004.Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

<http://swera.unep.net/>

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 2.8. Radiación Solar Difusa (kWh/m²/día)

#	Longitud	Latitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
1	-72.19	18.36	1.26	1.46	1.64	1.92	2.15	2.35	2.16	1.92	1.81	1.56	1.38	1.19	1.73
2	-71.64	19.83	1.30	1.61	1.78	1.91	2.26	2.32	2.24	1.94	1.79	1.52	1.54	1.24	1.79
3	-71.69	19.52	1.13	1.45	1.58	1.73	2.09	2.14	2.03	1.76	1.59	1.36	1.44	1.09	1.62
4	-71.73	19.22	1.06	1.31	1.55	1.74	2.05	2.10	2.00	1.68	1.66	1.38	1.38	1.06	1.58
5	-71.78	18.92	1.07	1.33	1.57	1.73	2.03	2.18	2.00	1.71	1.58	1.43	1.37	1.00	1.58
6	-71.83	18.62	1.23	1.49	1.77	1.89	2.23	2.43	2.28	1.99	1.85	1.60	1.48	1.18	1.78
7	-71.87	18.32	1.16	1.38	1.60	1.79	2.06	2.21	2.06	1.81	1.71	1.50	1.34	1.14	1.65
8	-71.92	18.02	1.28	1.51	1.65	1.98	2.20	2.44	2.32	2.03	1.89	1.65	1.44	1.17	1.80
9	-71.32	19.78	1.31	1.55	1.75	1.83	2.15	2.17	2.07	1.82	1.71	1.47	1.55	1.21	1.72
10	-71.37	19.48	1.19	1.54	1.66	1.78	2.09	2.14	1.98	1.68	1.59	1.37	1.46	1.14	1.63
11	-71.41	19.18	1.07	1.32	1.52	1.76	1.98	2.02	1.95	1.66	1.62	1.33	1.33	1.08	1.55
12	-71.46	18.87	1.09	1.35	1.61	1.78	2.09	2.20	2.00	1.78	1.66	1.45	1.40	1.08	1.62
13	-71.51	18.57	1.23	1.49	1.78	1.97	2.22	2.46	2.27	1.99	1.83	1.59	1.45	1.17	1.79
14	-71.56	18.28	1.29	1.48	1.73	1.98	2.23	2.44	2.24	1.97	1.79	1.59	1.45	1.20	1.78
15	-71.60	17.98	1.40	1.65	1.74	2.12	2.34	2.57	2.40	2.14	1.99	1.77	1.49	1.30	1.91
16	-71.65	17.68	1.36	1.52	1.66	1.95	2.19	2.47	2.34	2.09	1.96	1.77	1.51	1.23	1.84
17	-70.99	19.73	1.30	1.56	1.75	1.72	2.12	2.09	2.00	1.79	1.62	1.37	1.54	1.27	1.68
18	-71.04	19.43	1.23	1.54	1.72	1.76	2.10	2.09	1.94	1.66	1.57	1.36	1.50	1.20	1.64
19	-71.09	19.13	1.15	1.36	1.59	1.74	2.00	1.92	1.87	1.59	1.61	1.32	1.41	1.12	1.56
20	-71.14	18.83	1.22	1.47	1.72	1.90	2.17	2.24	2.07	1.80	1.70	1.46	1.42	1.13	1.69
21	-71.19	18.53	1.18	1.39	1.66	1.86	2.17	2.32	2.11	1.85	1.73	1.51	1.39	1.10	1.69
22	-71.24	18.23	1.41	1.60	1.82	2.03	2.32	2.60	2.38	2.14	1.97	1.72	1.52	1.31	1.90
23	-71.29	17.93	1.48	1.70	1.86	2.14	2.45	2.70	2.57	2.26	2.05	1.81	1.56	1.33	1.99
24	-71.34	17.64	1.43	1.64	1.74	2.04	2.27	2.52	2.43	2.16	1.99	1.80	1.51	1.29	1.90
25	-70.62	19.99	1.43	1.68	1.88	1.93	2.17	2.27	2.19	1.97	1.73	1.52	1.58	1.36	1.81
26	-70.67	19.68	1.44	1.74	2.09	1.93	2.31	2.33	2.19	2.01	1.77	1.53	1.69	1.40	1.87
27	-70.72	19.38	1.39	1.73	2.07	1.97	2.28	2.35	2.17	1.98	1.80	1.56	1.68	1.38	1.86
28	-70.78	19.08	1.26	1.50	1.79	1.79	2.08	2.04	1.95	1.68	1.58	1.37	1.51	1.22	1.65
29	-70.83	18.78	1.26	1.48	1.71	1.83	2.06	2.12	1.97	1.72	1.66	1.43	1.41	1.15	1.65
30	-70.88	18.48	1.37	1.60	1.86	2.02	2.31	2.56	2.37	2.13	1.97	1.71	1.54	1.32	1.90
31	-70.93	18.18	1.35	1.55	1.71	1.92	2.22	2.46	2.30	2.08	1.91	1.64	1.47	1.28	1.82
32	-70.98	17.89	1.40	1.58	1.73	1.97	2.28	2.51	2.39	2.13	1.97	1.72	1.46	1.32	1.87
33	-70.35	19.63	1.46	1.76	2.13	1.99	2.35	2.42	2.26	2.06	1.85	1.59	1.71	1.41	1.92
34	-70.41	19.33	1.49	1.80	2.24	2.07	2.41	2.50	2.32	2.11	1.91	1.65	1.75	1.45	1.97
35	-70.46	19.03	1.47	1.78	2.11	2.06	2.37	2.45	2.33	2.12	1.90	1.65	1.69	1.41	1.95
36	-70.51	18.73	1.45	1.72	1.94	1.99	2.27	2.34	2.30	2.04	1.80	1.55	1.56	1.34	1.86
37	-70.56	18.43	1.39	1.63	1.86	1.97	2.24	2.45	2.29	2.05	1.90	1.61	1.50	1.27	1.85
38	-70.62	18.14	1.34	1.54	1.69	1.92	2.21	2.47	2.33	2.07	1.90	1.65	1.44	1.27	1.82
39	-70.03	19.58	1.51	1.80	2.14	2.11	2.45	2.51	2.40	2.21	1.97	1.68	1.73	1.45	2.00
40	-70.09	19.28	1.50	1.80	2.12	2.11	2.44	2.54	2.41	2.17	1.95	1.68	1.70	1.44	1.99
41	-70.14	18.98	1.48	1.70	2.03	2.01	2.36	2.48	2.39	2.11	1.92	1.59	1.64	1.36	1.92
42	-70.20	18.68	1.52	1.78	2.01	2.06	2.42	2.55	2.50	2.20	1.96	1.64	1.64	1.41	1.97
43	-70.25	18.38	1.56	1.81	2.02	2.15	2.43	2.68	2.61	2.32	2.04	1.70	1.64	1.45	2.03
44	-70.30	18.09	1.36	1.50	1.70	1.86	2.20	2.43	2.36	2.06	1.87	1.60	1.43	1.29	1.80
45	-69.71	19.53	1.32	1.49	1.81	2.07	2.37	2.34	2.32	2.15	1.96	1.60	1.40	1.24	1.84
46	-69.77	19.23	1.43	1.61	1.94	2.22	2.59	2.51	2.50	2.29	2.07	1.68	1.48	1.30	1.97
47	-69.82	18.93	1.40	1.61	1.91	2.22	2.55	2.51	2.45	2.29	2.08	1.68	1.50	1.26	1.95
48	-69.88	18.63	1.36	1.61	1.87	2.20	2.51	2.50	2.45	2.24	1.99	1.66	1.48	1.24	1.93
49	-69.94	18.33	1.38	1.61	1.85	2.09	2.33	2.35	2.32	2.17	1.92	1.66	1.46	1.30	1.87
50	-69.39	19.47	1.38	1.58	1.80	2.11	2.43	2.36	2.38	2.21	1.95	1.69	1.48	1.31	1.89
51	-69.45	19.17	1.29	1.47	1.81	2.06	2.36	2.34	2.35	2.17	1.97	1.63	1.41	1.21	1.84
52	-69.51	18.87	1.37	1.63	1.91	2.24	2.53	2.53	2.51	2.32	2.13	1.75	1.53	1.31	1.98
53	-69.57	18.57	1.47	1.74	1.96	2.24	2.51	2.52	2.47	2.32	2.05	1.77	1.56	1.37	2.00
54	-69.62	18.28	1.37	1.59	1.83	2.09	2.34	2.36	2.32	2.18	1.93	1.66	1.45	1.29	1.87
55	-69.07	19.41	1.33	1.55	1.77	2.11	2.41	2.36	2.38	2.20	1.96	1.65	1.44	1.27	1.87
56	-69.13	19.12	1.27	1.46	1.74	2.03	2.36	2.35	2.35	2.17	1.95	1.63	1.43	1.23	1.83
57	-69.19	18.82	1.38	1.65	1.91	2.21	2.52	2.53	2.50	2.35	2.12	1.78	1.54	1.34	1.99
58	-69.25	18.52	1.37	1.66	1.86	2.21	2.55	2.54	2.50	2.33	2.12	1.81	1.53	1.31	1.98
59	-68.82	19.06	1.41	1.66	1.86	2.12	2.43	2.40	2.44	2.26	2.01	1.73	1.52	1.35	1.93
60	-68.88	18.76	1.37	1.61	1.88	2.20	2.54	2.51	2.49	2.31	2.11	1.73	1.54	1.31	1.97
61	-68.94	18.46	1.36	1.61	1.87	2.19	2.54	2.54	2.52	2.33	2.08	1.77	1.53	1.32	1.97
62	-68.50	19.00	1.37	1.57	1.75	2.03	2.36	2.33	2.35	2.23	1.95	1.68	1.46	1.27	1.86
63	-68.57	18.70	1.36	1.64	1.89	2.15	2.49	2.47	2.49	2.29	2.12	1.74	1.51	1.26	1.95
64	-68.63	18.40	1.29	1.58	1.82	2.12	2.52	2.47	2.49	2.27	2.02	1.74	1.44	1.23	1.92
65	-68.69	18.11	1.17	1.39	1.65	1.98	2.27	2.30	2.26	2.07	1.83	1.62	1.30	1.12	1.75
66	-68.25	18.64	1.19	1.39	1.69	1.92	2.26	2.29	2.23	2.08	1.91	1.59	1.34	1.15	1.75
67	-68.32	18.34	1.16	1.40	1.66	1.96	2.30	2.29	2.26	2.07	1.85	1.62	1.30	1.13	1.75

Fuente: SWERA, 2004. Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA).

<http://swera.unep.net/>

2.2 POTENCIAL EÓLICO

En este proyecto, el objetivo principal es el mercado de usuarios en el sector rural en sistemas aislados. Se considerará la información secundaria disponible.

La evaluación del recurso eólico es de una naturaleza diferente de la evaluación del recurso solar y por tal razón es preciso introducir una serie de conceptos propios de este recurso.

2.2.1 Conceptos fundamentales

La energía eólica es la energía cinética de las masas de aire. Si se considera una superficie de área A colocada perpendicularmente a un viento que fluye horizontalmente a una velocidad V, entonces la potencia eólica se da como

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * A * V^3 \quad (2-1)$$

En donde ρ es la densidad del aire (kg/m^3). Generalmente se trabaja con la densidad de potencia p (o potencia por unidad de área: $p = P/A$), la cual entonces se da como

$$p = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * V^3 \quad (2-2)$$

Si p se da en kg/m^3 y la velocidad V en m/s, la densidad de potencia tiene unidades de W/m^2 . Por ejemplo, si la velocidad del viento es de 10 m/s, la densidad del aire de 1 kg/m^3 , entonces la densidad de **potencia en el viento** es del orden de 500 W/m^2 .

La anterior ecuación implica una fuerte dependencia de la densidad de potencia tanto de la densidad del aire como de la velocidad del viento elevada al cubo. Por lo tanto, al depender la **densidad de potencia en el viento** del cubo de la velocidad del viento, implica que ella debe ser muy cuidadosamente medida. Además, la densidad del viento depende de la temperatura del viento y la presión atmosférica.

La densidad del aire depende de la temperatura y la presión atmosférica, y esta variación puede significar entre 10 y 15% estacionalmente. La densidad puede calcularse a partir de la presión atmosférica y la temperatura empleando la ecuación de los gases ideales:

$$\rho = \frac{P'}{R * T}$$

en donde P' es la presión atmosférica (en Pa o N/m^2), R es la constante de los gases para el aire (287 J/kg.K) y T es la temperatura en Kelvin ($^{\circ}\text{C} + 273$).

Si la presión atmosférica no se conoce pero si la altura sobre el nivel del mar (z), entonces se puede emplear la siguiente expresión:

$$\rho = \left(\frac{353.05}{T} \right) \epsilon e^{-0.034 z/T}$$

La velocidad del viento es un vector, ya que además de su magnitud física, tiene dirección. También, es variable en el tiempo tanto en magnitud como en dirección. Si se tiene en cuenta que la mayoría de las turbinas eólicas de eje horizontal se pueden orientar en la dirección del viento y siguen sus cambios, y que además la energía es un escalar, para evaluar el potencial de la energía eólica basta con considerar la velocidad del viento y la manera como esta varía en el tiempo (para las turbinas de eje vertical la dirección del viento también es irrelevante).

La densidad de energía e (energía por unidad de área) que atraviesa una superficie siempre perpendicular a la dirección del viento durante el tiempo τ , se da como:

$$e = \int_0^{\tau} p(t) dt = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\tau} \{v(t)^3\} dt \quad (2-3)$$

y la densidad de potencia media $\langle p \rangle$ en el intervalo τ como:

$$\langle p \rangle = \left(\frac{\rho}{2\tau} \right) \int_0^{\tau} \{v(t)^3\} dt \quad (2-4)$$

de tal modo que entre e y $\langle p \rangle$ se tiene la relación

$$\langle p \rangle = \frac{e}{\tau} \quad (2-5)$$

2.2.2 Caracterización de la energía eólica

2.2.2.1 Extrapolación de la velocidad a otras alturas

Para extrapolar la información de velocidades del viento de una altura a otra, se emplean dos modelos:

Modelo logarítmico

$$\frac{v(z_{hub})}{v(z_{anem})} = \frac{\ln(z_{hub}/z_0)}{\ln(z_{anem}/z_0)} \quad (2-6)$$

REPÚBLICA DOMINICANA

en donde:

Z_{hub} = altura de la turbina (m)

Z_{anem} = altura del anemómetro de medición (m)

z_0 = longitud de rugosidad

$v(Z_{hub})$ = velocidad a la altura del eje de la turbina horizontal (m/s)

$v(Z_{anem})$ = velocidad a la altura del anemómetro de medición (m)

\ln = logaritmo natural

La tabla siguiente muestra la dependencia de Z_0 de la longitud de la rugosidad del terreno¹¹

Tabla 2.9. Factor de rugosidad para diferente tipo de terrenos

Tipo de terreno	Z_0
Muy liso, hielo	0.00001 m
Mar abierto en calma	0.0002 m
Mar ligeramente agitado	0.0005 m
Superficie de hielo	0.003 m
Campo de pasto liso	0.008 m
Campo de pasto accidentado	0.01 m
Campo	0.03 m
Cultivo	0.05 m
Campo de abrustos	0.1 m
Muchos arboles, pocos edificaciones	0.25 m
Bosques	0.5 m
Suburbios	1.5 m
Centros urbanos, edificios altos	3 m

Modelo exponencial

$$\frac{v(Z_{hub})}{v(Z_{anem})} = \left(\frac{Z_{hub}}{Z_{anem}} \right)^\alpha \quad (2-7)$$

en donde:

Z_{hub} = altura de la turbina (m)

Z_{anem} = altura del anemómetro de medición (m)

α = exponente

Z_{hub} = altura del eje de la turbina horizontal (m/s)

Z_{anem} = altura del anemómetro de medición (m)

¹¹ Software HOMER® de NREL.

La tabla siguiente muestra la dependencia de α del tipo de superficie¹².

Tabla 2.10. Dependencia del exponente α del tipo de superficie

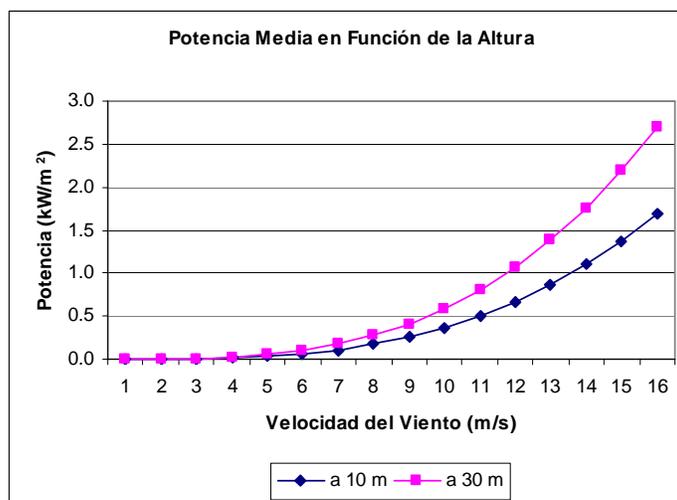
TIPO SUPERFICIE		EXPONENTE
Rugosidad	Superficie	
Lisa (suave)	Hielo	0.09
	Fango	0.10
	Nieve	0.10
	Mar	0.11
Ligeramente accidentada	Prado	0.10
Ligeramente rugosa	Cultivo	0.14 a 0.18
Accidentada (rugosa)	Bosque	0.24
	Suburbios	0.26
Muy accidentada (muy rugosa)	Ciudad	0.24 a 0.40

J. Counihan, citado en: A. Lavagni et al., Calcolo della potenzialita eolica per 48 localita italiane, *Energie Alternative NTE*, Anno 4, numero 15 (182)

2.2.2.2 Dependencia de la densidad de potencia en el viento en función de la altura

La densidad de potencia en el viento se ve afectada por el efecto que tiene la altura sobre la velocidad del viento. (Ver figura siguiente)

Figura 2.6. Potencia en Función de la velocidad del viento (altura como parámetro)



¹² J. Counihan, citado en : A. Lavagni et al., Calcolo della potenzialita eolica per 48 localita italiane, *Energie Alternative NTE*, Anno 4, numero 15 (182)

2.2.2.3 Distribución de velocidades del viento

Aunque el recurso eólico en una localidad es relativamente constante si se consideran períodos del orden de un año o más, este recurso es altamente variable durante períodos más cortos de tiempo. De acuerdo a lo anterior y a las ecuaciones (2-3) y (2-4), lo más conveniente para determinar la energía eólica en una localidad es llevar un registro continuo de la velocidad del viento. Sin embargo, esta información no es disponible en la mayoría de los casos para períodos extensos de tiempo.

La distribución de velocidades del viento generalmente se da de forma anual. Esta distribución es suficiente cuando se trata de aerogeneradores conectados a la red con despacho forzado.

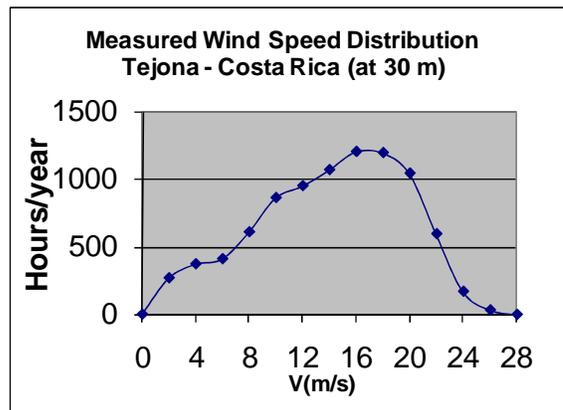
Figura 2.7. Figura .Distribución de velocidades medidas durante 1 año en el Parque de Tejona, Costa Rica.

TEJONA - COSTA RICA

NOTES: Columns 1 and 2 are MEASUREMENTS.

(1)	(2)
V(m/s)	hours/year
0	2
2	269
4	372
6	410
8	608
10	860
12	947
14	1065
16	1199
18	1191
20	1039
22	594
24	170
26	34
28	0
Total	8760

Source: ECN, Holanda



Pero cuando se trata de aerogeneradores trabajando en sistemas aislados, la distribución de velocidades debe ser mensual y estas curvas no se dan generalmente en las evaluaciones de la energía eólica. Debe ser mensual porque es necesario conocer el comportamiento del viento durante el periodo porque se trata de un sistema en donde la única fuente de generación es la eólica. Entonces, las distribuciones deben ser mensuales.

2.2.2.4 Distribución de Weibull

Para describir las características del viento en una localidad se emplean distribuciones de velocidades. Dentro de los numerosos modelos probabilísticos investigados, el de Weibull ha demostrado ser muy conveniente para describir la distribución experimental de velocidades^{13,14}. La función de distribución de Weibull se da como:

$$f(V) = \left(\frac{k}{c}\right) * \left\{\left(\frac{V}{c}\right)^{(k-1)}\right\} * \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad (2-8)$$

en donde V es la velocidad, k es el factor de forma ($k > 0$, adimensional) y c es el factor de escala ($c > 0$, unidades de velocidad). Estos factores están relacionados con la velocidad media $\langle V \rangle$ y la varianza de las velocidades así:

$$c = \frac{\langle V \rangle}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{k}\right)} \quad (2-9)$$

$$\sigma_v^2 = (c^2) * \left\{\Gamma\left(1 + \frac{2}{k}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{k}\right)\right\} \quad (2-10)$$

en donde Γ es la función gamma usual¹⁶.

Mediante la distribución anterior se pueden determinar las propiedades del viento y de la energía eólica¹⁷. Además de la velocidad media (2-9) y la desviación estándar de velocidades (2-10), la **densidad de potencia media** $\langle p \rangle$ (en el viento) durante el período se puede calcular como

¹³ Hennessey, J.P., *J. Appl. Meteor.* **16** (1977) 119-128

¹⁴ Corotis, R.B.; A. B. Sigl y J. Klein, *Solar Energy* **20** (1978) 483-493

¹⁵ Weibull, W. *J. Appl. Mech.* **18** (1957) 293-297

¹⁶ Jahnke, E. y F. Emde, *Tables of Functions*, Dover Publications (1985) New York

¹⁷ Takle, E.S. y J. M. Brown, Note on the use of Weibull statistics to characterize wind speed data, Journal Paper No. J8941, Iowa Agriculture and Home Economics Experiment Station, Ames Iowa, Project 2116

$$\langle p \rangle = \int_0^{\infty} p(V) * f(V) * dV \quad (2-11)$$

$$\langle p \rangle = \left(\frac{1}{2}\right) * \rho * (c^3) * \Gamma\left(1 + \frac{3}{k}\right) \text{ en (W/m}^2\text{)} \quad (2-11)$$

La **densidad de energía** (en el viento) durante ese período τ se da entonces como

$$e = \langle p \rangle * \tau \quad (2-12)$$

De especial importancia es la **persistencia** (o duración) de la velocidad del viento. La probabilidad de que el viento tenga una velocidad superior a V está dada por

$$P(V) = \int_0^{\infty} f(V) * dV$$

$$P(V) = \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad (2-13)$$

Si la distribución se ajusta con t datos horarios, entonces el número $N(V)$ de horas con velocidad igual o superior a V se da como

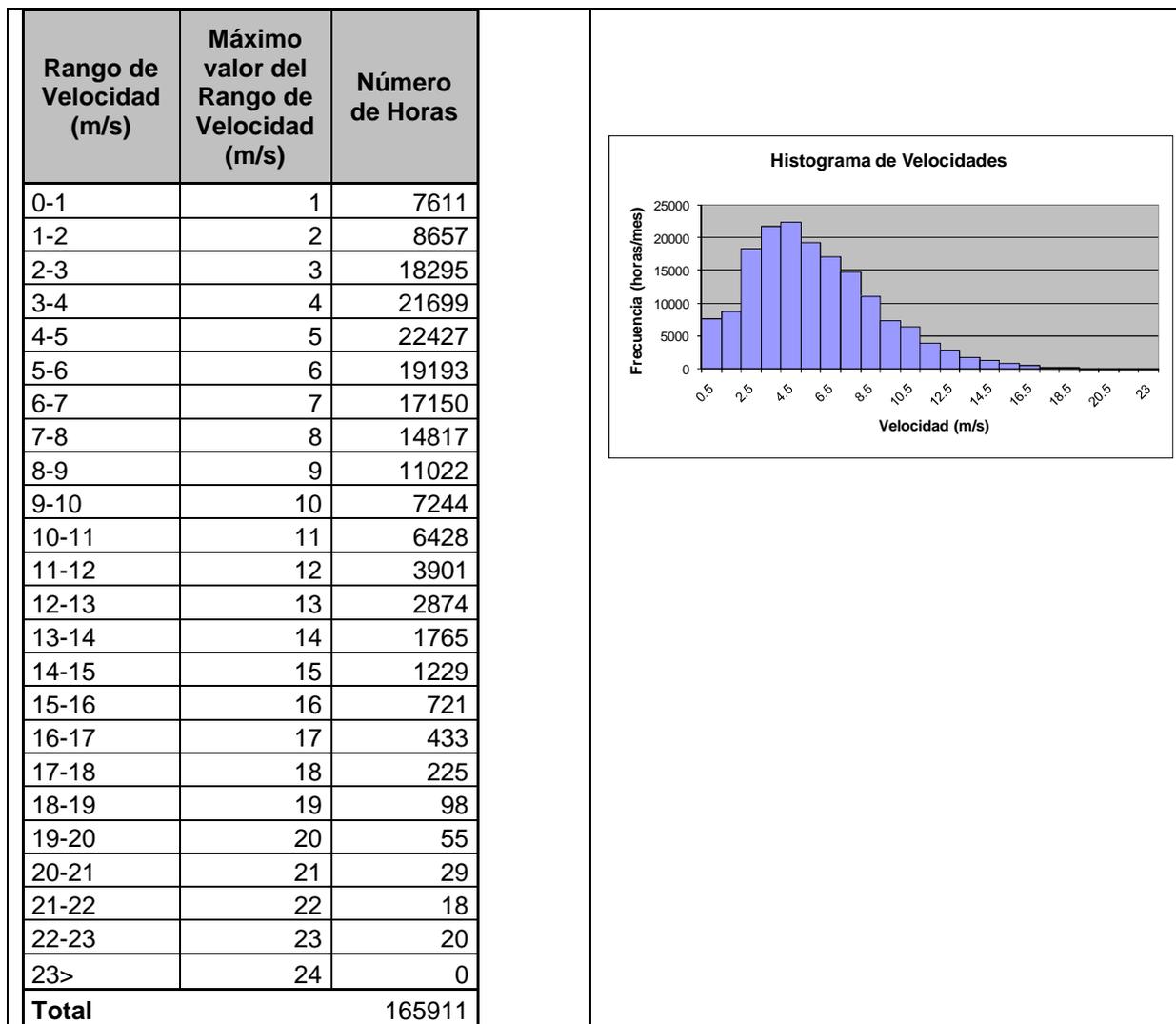
$$N(V) = \tau * \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad (2-14)$$

También se suele emplear el porcentaje de tiempo que se tiene una velocidad igual o superior a V :

$$n(V) = \frac{N(V)}{\tau} = 100 * \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \text{ en (\%)} \quad (2-15)$$

La figura siguiente muestra la distribución de velocidades para un número muy elevado de años de medición.

Figura 2.8. Distribución de frecuencia de velocidad de viento medidas durante 18 años en Valkenburg, Holanda (1983-2001)



En muchos modelos de evaluación se emplea la velocidad media y se da el factor k. Entonces, el factor de escala se calcula inmediatamente mediante (2-9). Y a partir de allí se calcula la densidad de potencia en el viento.

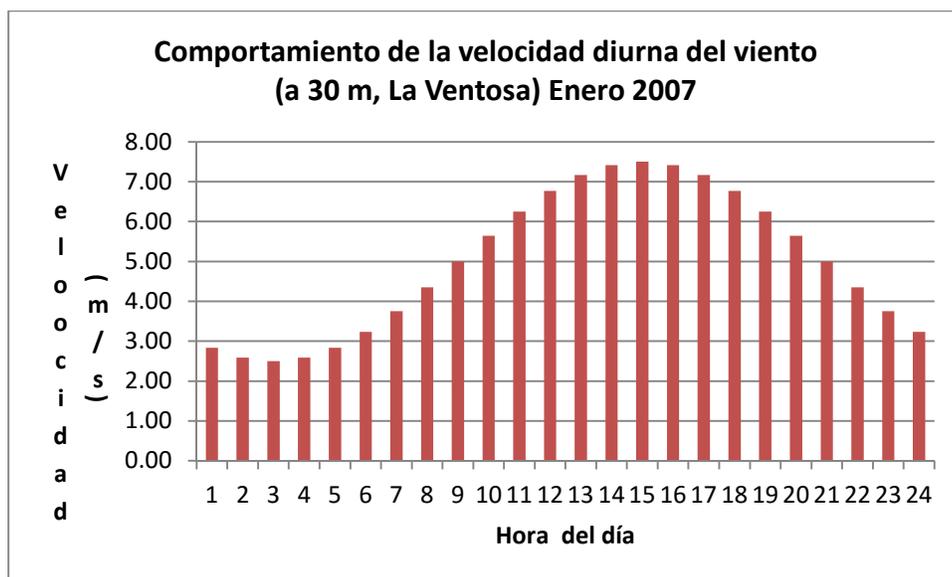
2.2.2.5 Comportamiento diario del viento

Para la simulación de la generación horaria durante el día, es necesario utilizar un modelo cosinusoidal. Este modelo está dado como

$$v_i = \bar{v} \left\{ 1 + \delta \cos \left[\left(\frac{2\pi}{24} \right) (i - \phi) \right] \right\} \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, 24 \quad (2-16)$$

en donde \bar{v} promedio es la velocidad media del viento, δ es la intensidad del patrón diario (entre 0 y 1), ϕ es la hora de ocurrencia de la máxima velocidad (entre 1 y 24) e i es la hora del día (entre 1 y 24).

Figura 2.9. Comportamiento diario de la velocidad del viento



2.2.2.6 Clasificación del potencial de la energía eólica

La Tabla 2.11 muestra la clasificación de la bondad del recurso de acuerdo a la potencia en el viento y al tipo de aplicación, ya sea generación comercial o rural, estimada a 30 m de altura. A esta altura, la velocidad del viento debe ser superior a 6 m/s (o la densidad de potencia superior a 200 W/m²) para considerar el potencial eólico como “bueno” para la generación de electricidad en el área rural. Para la generación comercial, a esta altura, la velocidad del viento debe ser superior a 7 m/s (o la densidad de potencia superior a 300 W/m²) para considerar el potencial eólico como “bueno”.

Tabla 2.11. Clasificación y características de la potencia de viento

Clase	Potencial del recurso		Densidad de Potencia (W/m ²) @ 30 m	Velocidad del Viento (m/s) @ 30 m
	Comercial	Rural		
1	Marginal	Regular	100–200	4.9– 6.1
2	Regular	Buena	200–300	6.1– 7.0
3	Buena	Excelente	300–400	7.0– 7.7
4	Excelente	Excelente	400–600	7.7– 8.9
5	Excelente	Excelente	600–800	8.9– 9.8
6	Excelente	Excelente	800–1000	9.8–10.5

2.2.3 Aplicaciones de la energía eólica

La energía eólica se ha empleado desde tiempos inmemoriales para el bombeo de agua, molido de granos y la navegación. En tiempos recientes ha habido un extraordinario desarrollo de este recurso para la generación de electricidad con sistemas interconectados a la red y para la generación para usuarios en lugares aislados de la red.

2.2.3.1 Bombeo de agua

Los molinos de viento para el bombeo de agua alcanzaron su máximo uso entre los años 30 y 40 del siglo anterior, especialmente en las grandes llanuras de USA. Firmas principalmente norteamericanas difundieron en países de América Latina el molino de viento multipala y actualmente se fabrican en algunos países de la región. Se han desarrollado sistemas que tienen tanto bombas mecánicas como bombas eléctricas. En estos últimos la energía eólica se transforma en electricidad con la cual se alimenta la bomba.

2.2.3.2 Generación de electricidad

La generación de electricidad a gran escala con energía eólica se ha desarrollado enormemente principalmente en las últimas décadas. Actualmente existen aerogeneradores en parques eólicos en tierra firme o en el mar, en lugares próximos a la costa. Los aerogeneradores que a comienzos de la década de los 90 tenían capacidades del orden de algunos centenares de kW se han desarrollado hoy en día hasta máquinas de varios MW de capacidad. Su penetración en el mundo ha sido sin par y es, de las fuentes de energía renovables, la tecnología que tiene mayor capacidad instalada en el mundo. A nivel regional, a 2006 la potencia eólica instalada en los países del Caribe exceptuando a Jamaica ascendía a 35 MW y la de Jamaica alcanzaba 20 MW. Otros países en la región como Costa Rica tienen capacidades instaladas del orden de 74 MW y Colombia dispone del Parque eólico de Jeparachi operación desde 2004 y con 19.5 MW de capacidad, interconectado a la red.

Para zonas remotas y aisladas de la red eléctrica nacional, existen actualmente en el mercado aerogeneradores en el rango de las decenas y centenares de kW. También se han desarrollado sistemas híbridos, en los cuales se combina la energía eólica con otra fuente no convencional e inclusive con un generador diesel. Estos sistemas tienen capacidades variables entre algunos kW hasta centenares de kW.

2.2.4 Caracterización del recurso eólico para ingeniería eólica

Para la generación de energía eléctrica con **generadores eólicos en operación aislada** de las redes, es necesario tanto información de la energía eólica en la localidad como disponer de la información característica de los aerogeneradores. Esta última información es importante porque la energía generada depende específicamente de la turbina empleada cuya curva de potencia varía entre los fabricantes.

La información característica es la siguiente:

- Energía eólica
- Generador
 - Curva de potencia (potencia vs velocidad)

2.2.4.1 Información del recurso eólico

La información de energía eólica requerida para el sitio es:

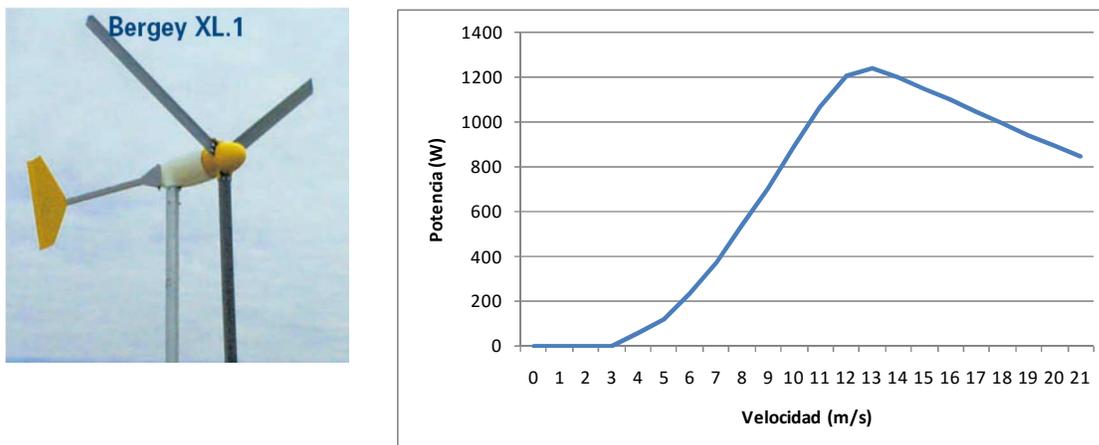
- Distribución de velocidades del viento (número de horas vs velocidad del viento) a una altura determinada, promedio anual (preferiblemente mensual)
- En lo posible, curva de velocidad media horaria mensual vs hora del día, a una altura determinada, promedio anual (preferiblemente mensual).
- Rugosidad del terreno para la extrapolación de la información de la altura de medición a la altura del generador.

Cuando se dispone información de velocidad media del viento mensual y el factor k de la distribución de Weibull, entonces se puede generar el histograma de velocidades y de allí la energía generada mensualmente.

2.2.4.2 Curva de potencia de los aerogeneradores

Los fabricantes de aerogeneradores suelen suministrar la “curva de potencia del aerogenerador”, esto es, la potencia generada vs la velocidad del viento, con la altura del aerogenerador como parámetro. La Figura siguiente muestra esta característica para un Bergey XL.1 de 1200 W.

Figura 2.10. Aerogenerador Bergey XL.1 y su respectiva curva de potencia a 10 m.



Fuente: www.bergey.com

2.2.5 Fuentes de información para RD

Los estudios sobre el potencia eólico de RD encontrados son:

- Autores varios (2001) Estudio del Potencial Eólico de la Costa Norte de la República Dominicana. Institut de Coopération Franco-Caraibe. Abymes, Guadeloupe
- Elliot, D. et al. (2001). Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic (Evaluación de la Energía Eólica de República Dominicana). National Renewable Energy Laboratory and RAM Associates. NREL/TP-500-27602

El primer estudio es un regional de la costa norte de RD y tuvo una campaña de mediciones de Abril de 2000 a 2001. Presenta resultados para Monte Cristi (2 lugares diferentes), Puerto Plata, Cabarete y Cabrera. Se instalaron torres de medición con instrumentación a 30 m (1 anemómetro y 1 veleta) y a 20 m (1 anemómetro). Se procesos en cada estación la siguiente información: Rosa de vientos, histograma de frecuencias de velocidades, turbulencia y gradiente vertical, comportamiento horario del viento. No se presenta la información de velocidad media mensual.

El segundo estudio presenta un análisis de todo el país, en el cual se integró la información de diferentes centros y programas, y produjo una evaluación global del potencial de la energía eólica sobre todo el país¹⁸. Al no encontrarse información más reciente, este estudio se fundamenta en la información del estudio de NREL.

2.2.6 Potencial Eólico de RD

El potencial de energía eólica ha sido extensamente discutido en el PEN a partir de los estudios realizados por NREL (laboratorio del gobierno de los Estados Unidos) en RD¹⁹. Este documento de NREL fue considerado en su momento por el PEN como el único de alcance nacional, con la ventaja de que emplea técnicas modernas de evaluación y estimación del potencial. La exploración de la información disponible tanto en documentos como en la web realizada dentro de este trabajo indica que el estudio de NREL sigue siendo el único de cobertura nacional disponible aunque se sabe que se han realizado mediciones de viento y estudios en sitios específicos realizados por parte de desarrolladores de proyectos y otras agencias.

El potencial de la energía eólica se puede clasificar dependiendo de las aplicaciones y de la densidad de potencia en el viento. La densidad de potencia depende de la distribución de velocidades del viento medida a una altura determinada y caracterizada por dos parámetros de la distribución de Weibull (k: factor de forma y c: factor de escala). Las aplicaciones que se consideran son dos: generación a gran escala para empresas generadoras de electricidad y generación rural, siendo esta última, utilización de la energía eólica para aplicaciones rurales. Dependiendo de la Densidad de Potencia, el potencial se clasifica en Marginal, Moderado, Bueno y Excelente (Ver Tabla 2.12).

¹⁸ Elliot, D. et al. (2001). Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic (Evaluación de la Energía Eólica de República Dominicana). National Renewable Energy Laboratory and RAM Associates. NREL/TP-500-27602

¹⁹ Elliott, D. et. al. (2001) Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic. NREL/TP-500-27602. Golden, Co. USA

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 2.12. Clasificación del Potencial Eólico de República Dominicana para generación de electricidad

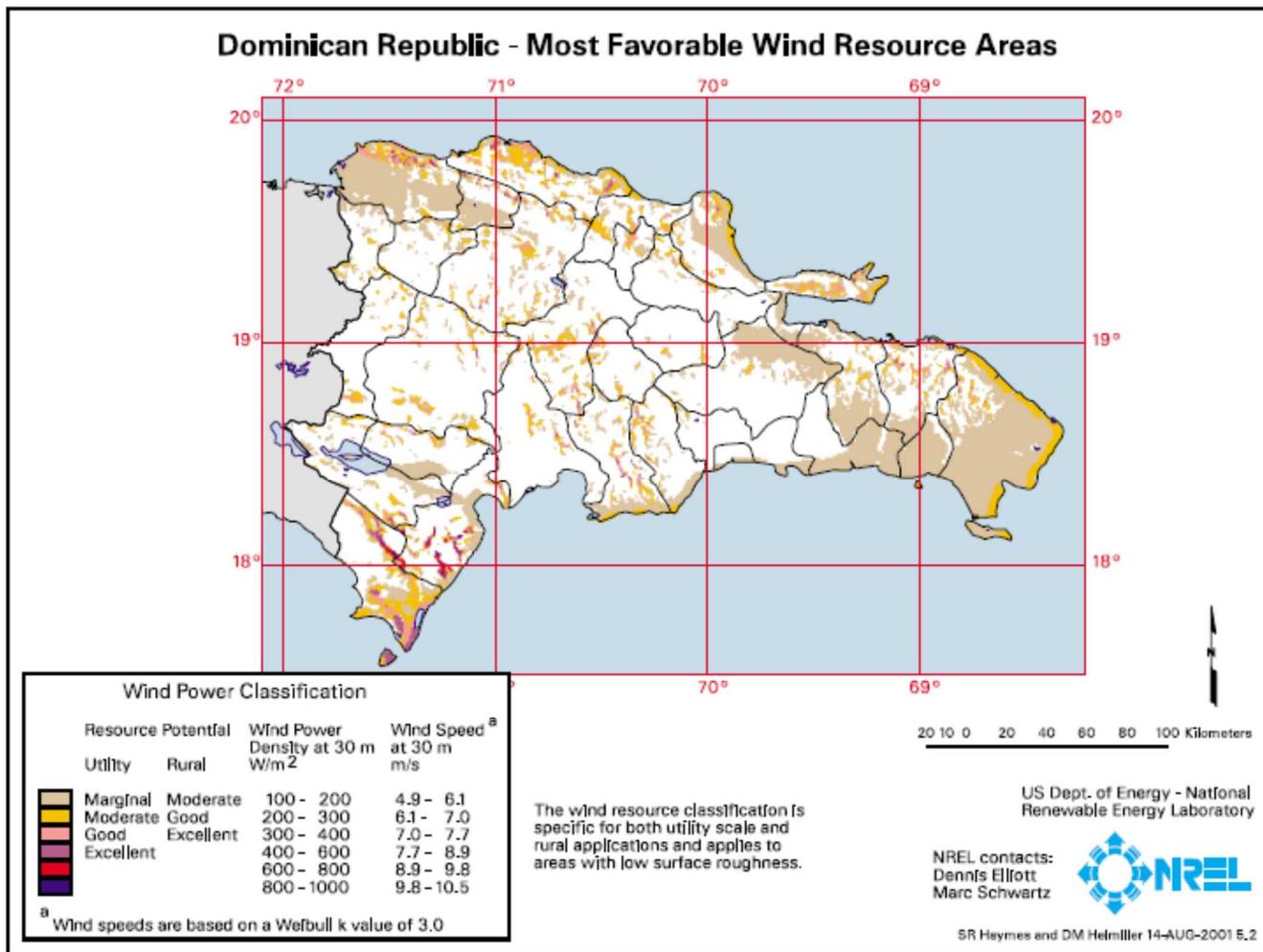
Clase	Potencial Eólico		Densidad de Potencia Eólica (W/m ²) a 30 m	Velocidad* del Viento (m/s) a 30 m
	Empresa Generadora	Rural		
1	Marginal	Moderado	100-200	4.9 -6.1
2	Moderado	Bueno	200-300	6.1-7.0
3	Bueno	Excelente	300-400	7.0-7.7
4	Excelente	Excelente	400-600	7.7-8.9
5	Excelente	Excelente	600-800	8.9-9.8
6	Excelente	Excelente	800-100	9.8-10.5

* Velocidad del viento estimada con factor de forma $k=3$ de la distribución de Weibull y densidad del viento a condiciones normales. La velocidad media real del viento puede diferir de estos estimados en máximo 20% dependiendo de la distribución de velocidades (factor de forma k de Weibull) y la elevación del lugar sobre el nivel del mar.

Fuente: Elliott, D. et. al. (2001) Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic. NREL/TP-500-27602. Golden, Co. US.

La Figura 2.11 siguiente muestra el potencial de energía eólica de RD en donde se muestran zonas específicas del país en donde el potencial llega a ser excelente o bueno tanto para la generación conectada a la red como para aplicaciones rurales. Se muestra también que si bien el estudio cubre todo el país, hay áreas (en blanco) sobre las que se carece de información.

Figura 2.11. Potencial eólico de RD



Fuente: Elliott, D. et. al. (2001) Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic. NREL/TP-500-27602. Golden, Co. US.

REPÚBLICA DOMINICANA

En el estudio de NREL se realizó un estimado de generación eólica empleando como modelo de generación una turbina de 500 kW con altura de tren de potencia de 40 m y diámetro de rotor $D=38$ m. Para cubrir las áreas se supuso que el área estaba cubierta por estas turbinas espaciadas $10D \times 5D$. En estas condiciones el área se cubre con turbinas con una capacidad de generación de 6.93 MW/km^2 . La Tabla 2.13 muestra que el país dispone de 4.405 km^2 en los cuales se tiene un potencial de 30.5 GW con una generación total anual de 59.300 GWh/año . Esta tabla también muestra que las áreas catalogadas como las mejores (más altas potencias) son solamente 22 km^2 y entonces se trata de lugares evidentemente muy bien definidos en el territorio de RD. Si se incluyen las áreas catalogadas como excelentes y buenas, el área desarrollable es de aproximadamente 1500 km^2 .

Tabla 2.13 Potencial eólico de RD para la generación conectada a la red

Recurso Eólico Grado Empresa Generadora	Potencia Eólica (W/m ²)	Velocidad Viento (m/s)*	Area Total (km ²)	Capacidad Total Instalada (MW)	Energía Total (GWh/año)	% Energía Total
Moderado	200–300	6.1–7.0	2,923	20,242	34,700	58.52%
Bueno	300–400	7.0–7.7	1,022	7,078	15,600	26.31%
Excelente	400–600	7.7–8.9	377	2,611	7,100	11.97%
Excelente	600–800	8.9–9.8	61	422	1,400	2.36%
Excelente	800–1000	9.8–10.5	22	152	500	0.84%
Total			4,405	30,506	59,300	100.00%

Fuente: Elliott, D. et. al. (2001) Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic. NREL/TP-500-27602. Golden, Co. US.

La Tabla 2.14 muestra la caracterización del recurso eólico por regiones según el mencionado estudio de NREL. Las áreas consideradas entonces como mejores están al Suroeste en tres provincias con por lo menos 1000 MW de potencial.

El estudio de NREL recomendaba en su época realizar estudios adicionales para evaluar mejor el potencial de la energía eólica, realizar mediciones en sitios específicos y considerar factores como la existencia y proximidad a redes de transmisión y la accesibilidad del sitio. Desde el año 2001, se han otorgado a diferentes empresas concesiones para realizar estudios y varios proyectos de energía eólica se encuentran en diferente etapas de desarrollo. Más aún, a Junio de 2007 se encontraban ya en puerto en RD los equipos del parque eólico de Cabo Engaño, que podría constituirse en el primer parque eólico del país (Capacidad: 8.25 MW).

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 2.14. Caracterización del potencial eólico por provincias de RD

Provincia	Región	Viento (m/s)		Densidad (W/m ²)		Potencial	Características
Duarte	Central						Los altos picos de la cordillera Septentrional tienen recursos eólicos de bueno a excelente. En colinas cercanas a Cabrera existen sitios con excelente recurso eólico, en las laderas bajas de la cordillera central se encuentran localizadas áreas con recursos de buenos a excelentes y áreas elevadas con recurso de moderados a buenos. En la cordillera central algunas de las estribaciones presentan recursos eólicos excelentes, aunque son en cimas con elevaciones entre 1000 y 1500 m.
Españillat	Central						
María Trinidad Sánchez	Central						
Monseñor Nouel	Central						
Monte Plata	Central						
Peravia	Central						
Salcedo	Central						
Sánchez Ramírez	Central						
San Cristóbal	Central						
San José de Ocoa	Central						
Santo Domingo	Central						
Distrito Nacional	Central						
Samaná	Este						El recurso a lo largo de la llanura costera del caribe es marginal a moderado, a lo largo de la costa este los vientos y la densidad de potencia están en el rango de moderado a bueno, en las alturas de la cordillera oriental existen algunos sitios con excelente recurso y otros con recursos de buenos a excelentes. Fuera de la península de Samana en sitios elevados hay rangos de recurso de bueno a excelente o excelente. A lo largo de las costa de Cabo Engaño los rangos van desde moderados a buenos.
El Seibo	Este						
Hato Mayor	Este						
La Altagracia	Este						
La Romana	Este						
San Pedro de Macorís	Este						
Dajabón	Noroeste						Se encuentra recurso desde Cabo del Morro en el oeste hasta las costas con frente hacia el este de la provincia de Puerto Plata. En las estribaciones de la cordillera central al sur del valle del Cibao. En el triangulo Imbert - ciudad de Puerto Plata - Luperón, se han realizado varias mediciones del potencial y cuenta con buen potencial eólico. En la costa la Isabela en Montecristi es buen sitio para el desarrollo de parque eólicos
Elías Piña	Noroeste						
La Vega	Noroeste						
Montecristi	Noroeste	7	7.7			Bueno a Excelente	
Puerto Plata	Noroeste	7	7.7			Bueno a Excelente	
Santiago	Noroeste					Bueno a Excelente	
Santiago Rodríguez	Noroeste						
Valverde	Noroeste						
Azua	Suroeste						
Bahoruco	Suroeste	ND	9.8	800		Excelente	Sierra de Bahoruco - Area Protegida de difícil acceso y distante de redes
Barahona	Suroeste	7.7		400	600	Excelente	Costas hacia el este de la Península de Barahona y el Este de la Isla Beata
Independencia	Suroeste						
Pedernales	Suroeste	7	8.9	300	400	Excelente	Porción sur de la provincia de Pedernales
San Juan	Suroeste						

Fuente: Elliott, D. et. al. (2001) Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic. NREL/TP-500-27602. Golden, Co. US. y este estudio

2.3 POTENCIAL HIDROENERGÉTICO

2.3.1 Conceptos fundamentales

Una PCH (Pequeña Central Hidroeléctrica) es un sistema de transformación de energía que transforma la energía potencial de una masa de agua en electricidad.

La energía potencial E se da como

$$E = M g H \text{ (Joule)} \quad (2-17)$$

en donde:

M es la masa (kg),

g es la gravedad (m/s^2) y

H la altura (m) con relación al lugar de generación de la energía o la diferencia de altura entre dos puntos de diferente nivel.

Ahora si la masa es un fluido de densidad ρ (kg/m^3), entonces E se puede expresar como

$$E = \rho V g H \text{ (Joule)} \quad (2-18)$$

en donde V es el volumen de fluido (m^3).

La potencia generada es la derivada con relación al tiempo de la expresión de la energía potencial del fluido:

$$P = \rho g H (dV/dt) = \rho g H Q \text{ (W)} \quad (2-19)$$

en donde $Q=dV/dt$ es el flujo de masa o caudal (m^3/s).

Empleando como fluido de trabajo agua cuya densidad es $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ y $g=9.81 \text{ m/s}^2$, entonces

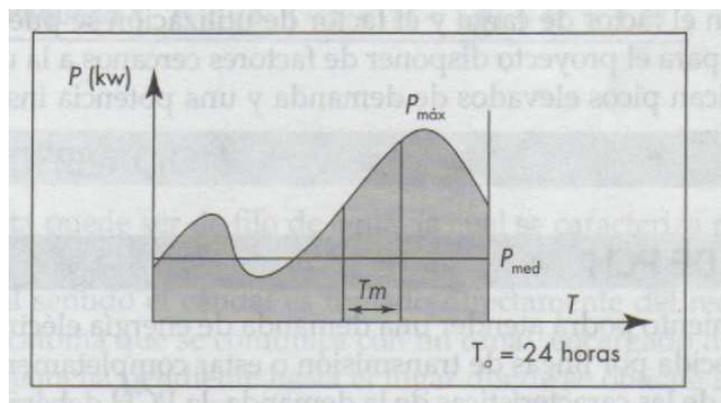
$$P = 9.8 H Q \eta \text{ (kW)} \quad (2-20)$$

en donde η es la eficiencia del sistema de generación que comprende el equipo electromecánico y la tubería de presión. Esta es la **ecuación básica de la hidroelectricidad**. Puesto que la altura (o diferencia de nivel del aprovechamiento) H y la eficiencia son constantes, entonces la variación de la potencia que genera el sistema (no la que entrega el sistema a los usuarios) se da a través del caudal).

2.3.2 Demanda de Energía

Si se analiza la demanda de energía eléctrica de una región dada (ver Figura 2.12), se observa que ella no es constante durante el tiempo (por ejemplo, durante un día) y presenta un valor máximo $P_{\text{máx}}$ (Demanda Máxima de Potencia), uno mínimo P_{min} y uno promedio, P_{med} (Demanda Promedio de Potencia).

Figura 2.12. Demanda de potencia de una comunidad



Estas características de la demanda indican que la potencia instalada en la PCH debe ser superior a $P_{\text{máx}}$ y que se debe disponer del suficiente caudal de agua para cubrir la demanda de potencia requerida. Las variaciones en la demanda de potencia indican que el suministro de potencia se debe regular/variarse apropiadamente, esto es, el caudal o el paso del caudal, de tal manera que

$$(dP/dt) = 9.8 H \eta (dQ/dt) \quad (\text{kW}) \quad (2-21)$$

ya que H es constante y la única variable es el caudal.

La energía demandada durante 24 horas $E(24h)$ está dada por:

$$E(24) = 9.81 \int \eta H Q dt, \quad (2-22)$$

integrada durante 24 horas.

La potencia media diaria está dada por P_{med} :

$$P_{med} = E(24)/24. \quad (2-23)$$

Otros conceptos empleados en PCH son el *factor de carga* y el *factor de utilización*. El factor de carga m es el cociente entre la demanda media y la demanda actual. El factor de utilización n de la demanda es la relación entre la potencia media P_{med} y la potencia instalada en la PCH P_{inst} .

Con base en el factor de carga y el factor de utilización se puede concluir que tan beneficioso para el proyecto disponer de factores cercanos a la unidad. Valores diferentes indican picos elevados de demanda y una potencia instalada prácticamente sin utilizar.

2.3.3 Tipos de PCH

El aprovechamiento hidroeléctrico podrá atender una demanda de energía eléctrica, la cual puede ser abastecida por líneas de transmisión (o conectada a un sistema de líneas de transmisión) o estar completamente aislada. En función de las características de la demanda, la PCH deberá cubrir las necesidades de energía eléctrica durante la vida útil T del proyecto.

Si la PCH se encuentra aislada, el aprovechamiento hidroenergético deberá cubrir la demanda máxima proyectada $P_{m\acute{a}x}$ (T) durante toda la vida útil del proyecto T y el caudal del aprovechamiento la energía demandada anualmente E_{anual} (T) durante toda la vida del proyecto.

Cuando la PCH se encuentra interconectada, la demanda de potencia y de energía puede ser cubierta por el sistema que la respalda y, a través de la línea de interconexión, podrá transmitir sus excedentes de potencia y energía al sistema. Una de las formas de aprovechar el recurso hidroenergético consiste en construir una presa que crea a su vez un embalse (que puede ser) multipropósito aprovechándose para generación, acueducto, regadío y control de crecientes. Estas obras requieren de un diseño más elaborado y de mayor tecnología. En este documento consideraremos las PCH en derivación, que son de fácil diseño y permiten la utilización de recursos tecnológicos regionales.

De acuerdo con la potencia instalada, la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE) ha clasificado las PCH de la siguiente forma:

Tabla 2.15. Clasificación de las PCH por potencia, según OLADE

Potencia	Tipo
0-50kW	Microcentral
50 - 500	Minicentral
500 – 5000	Pequeña central

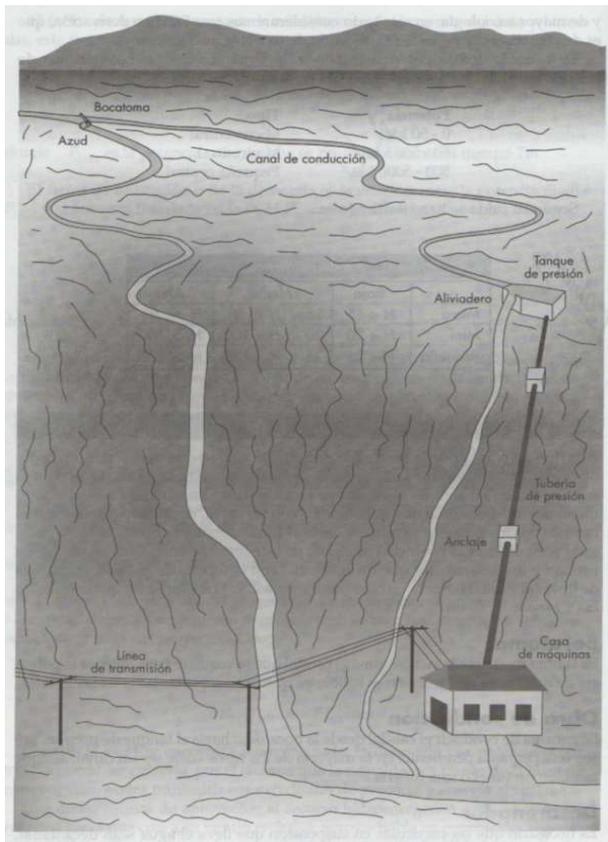
Según su caída se han clasificado como se da en la tabla siguiente.

Tabla 2.16. Clasificación de las PCH según caída (m), según OLADE**Caída en metros**

	Baja	Media	Alta
Micro	$H < 15$	$15 < H < 50$	$H > 50$
Mini	$H < 20$	$20 < H < 100$	$H > 100$
Pequeña	$H < 25$	$25 < H < 130$	$H > 130$

2.3.4 PCH con captación derivadora

Este tipo de planta puede ser a filo de agua, la cual se caracteriza por no disponer de un embalse que le permita almacenar agua para ser usada en las épocas de menor caudal. En tal sentido el caudal es tomado directamente del recurso hídrico mediante una bocatoma (la cual puede ser lateral o de fondo, dependiendo de las condiciones geomorfológicas e hidráulicas del sitio de captación) la cual se comunica con un canal u otra estructura de conducción (por ejemplo, túnel, tubería, etc.), encargado de conducir el caudal con una pequeña pendiente hasta el lugar donde se obtiene la caída necesaria para obtener la potencia requerida; en este lugar se encuentra un tanque de presión y un desarenador que unen el canal con la tubería de presión, encargada de llevar el caudal hasta la turbina (ver Figura 2.13).

Figura 2.13. PCH en derivación

Los elementos que componen la PCH son:

Bocatoma

Es la obra mediante la cual se toma el caudal que se requiere para obtener la potencia de diseño; su construcción es sólida, ya que debe soportar las crecientes del río.

Conducción

Se encarga de conducir el caudal desde la bocatoma hasta el tanque de presión. Posee una pequeña pendiente; en la mayoría de los casos suele ser un canal, aunque también un túnel o una tubería.

Desarenador

Este elemento es necesario para que las partículas en suspensión y carga de fondo que lleva el agua sean decantadas y evitar que lleguen a la tubería y a las turbinas. Por ello al final de la obra de conducción se construye un tanque de mayores dimensiones que el canal, para que las partículas en suspensión y de fondo puedan sacarse del sistema.

Tanque de presión

En esta obra, la velocidad del agua es prácticamente cero. Esta empalma con la tubería de presión y sus dimensiones deben garantizar que no ingresen burbujas de aire en la tubería de presión, permitir el fácil arranque del grupo turbina-generador y amortiguar el golpe de ariete.

Aliviadero

Con estas obras se elimina el caudal de exceso que se presenta en la bocatoma y en el tanque de carga, y se regresa al cauce del aprovechamiento o en su defecto, se dispone para otros usos como regadío y/o acueducto.

Tubería de presión

Mediante la tubería de presión se conduce el caudal de diseño hasta la turbina. La tubería está apoyada en anclajes y silletas que le ayudan a soportar la presión generada por el agua, así como las fuerzas desarrolladas por la tubería debido a los cambios de dirección y la dilatación que se presenta por la variación de la temperatura de los materiales de la tubería.

Casa de máquinas

En ella encontramos todos los componentes de los equipos electromecánicos como son la turbina, encargada de transformar la energía hidráulica en mecánica, el generador que transforma la mecánica en eléctrica y el sistema de control y regulación tanto mecánico como eléctrico. De la sala de máquinas parte el sistema de transmisión que transporta la energía a los usuarios.

Otros elementos de una PCH

Otros elementos empleados en una PCH son válvulas, reguladores, volante, tablero de medida y protecciones, subestación, barraje, etcétera.

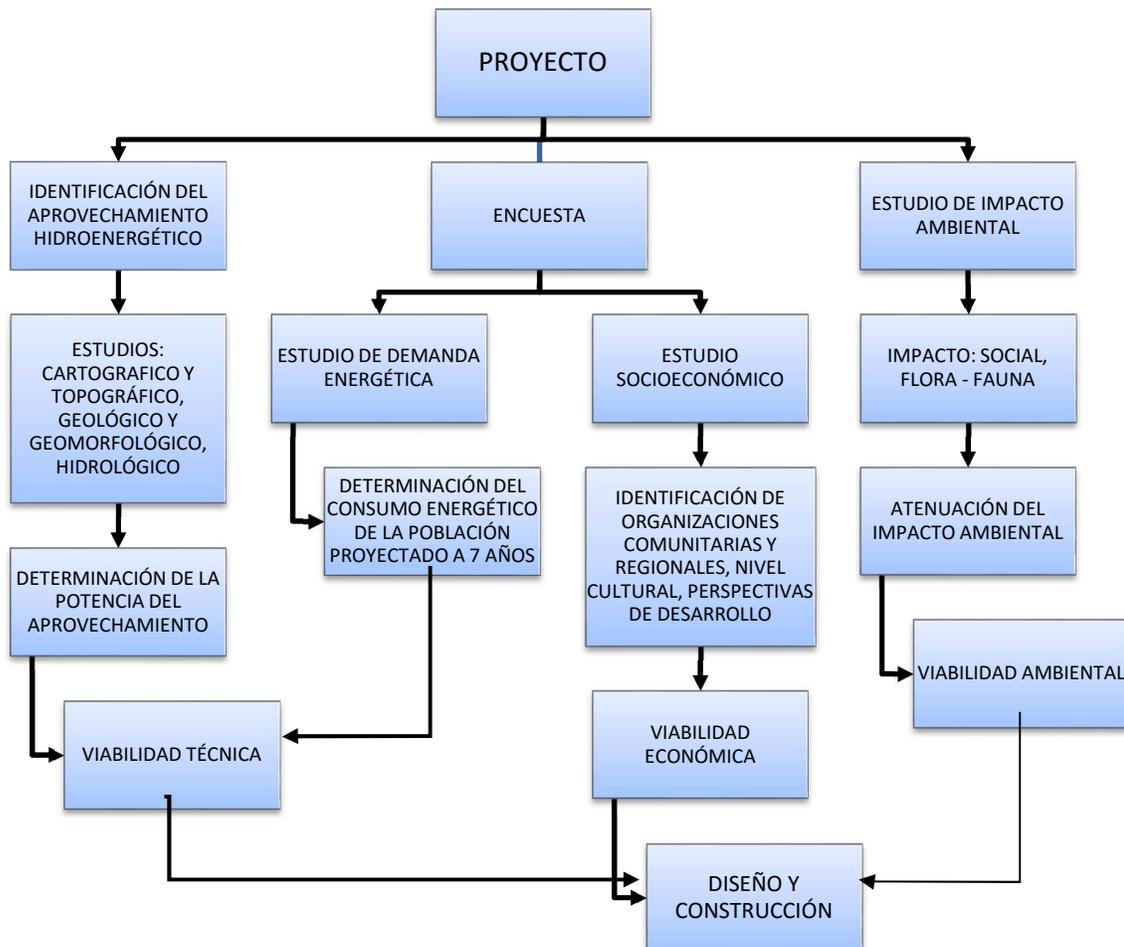
2.3.5 Aplicaciones de la hidroenergía

La hidroenergía se transforma primero en energía mecánica y generalmente después en energía eléctrica, la cual tiene la extraordinaria ventaja de una gran flexibilidad en su utilización en múltiples aplicaciones.

2.3.6 Desarrollo de proyectos de PCH's

Para la construcción de una PCH es necesario elaborar varios estudios con el fin de identificar los posibles aprovechamientos hídricos, seleccionarlos y optar por el óptimo para su diseño y construcción, como se muestra en la Figura 2.14.

Figura 2.14. Metodología para el desarrollo de una PCH a nivel de Factibilidad



Con el fin de identificar los posibles aprovechamientos hídricos se realizan estudios de reconocimiento y pre-factibilidad, seleccionándose el aprovechamiento técnico-económica y ambientalmente viable; una vez identificado el aprovechamiento se profundiza en los estudios de factibilidad para garantizar que sea la alternativa óptima para posteriormente adelantar los estudios de su diseño y luego su construcción.

A continuación se abordan los estudios de pre-factibilidad y factibilidad para la PCH. Ellos comprenden otros estudios técnicos cuya profundidad está determinada por el tipo de proyecto.

Estos incluyen los estudios encaminados a determinar, por ejemplo en una región, la identificación de poblaciones con necesidades energéticas, los criterios de selección y priorización de proyectos, la fijación de metas, eficiencia, cobertura y calidad de la energía.

Estudio de la demanda

El objetivo de mejorar las condiciones de vida de una región sin servicio de energía se basa en el aprovechamiento de sus recursos hídricos, el cual debe superar el consumo energético esperado de la región.

Para identificar la potencia requerida por la comunidad, se realiza un censo de personas y de consumo de energía a partir de otras fuentes como pilas, petróleo para iluminación y otros que puedan ser sustituidos con la energía eléctrica. De esta forma se estima la demanda de electricidad de la población y se determina los requerimientos de generación.

Estudio socioeconómico

Evalúa los recursos económicos, la organización y el desarrollo de la comunidad, creando pautas adecuadas para el mantenimiento, la operación, la administración y el financiamiento del proyecto.

Estudio cartográfico y topográfico

En una PCH la energía potencial del agua se transforma en energía cinética y posteriormente en energía eléctrica, esto hace que para disponer de una potencia se necesite una caída de agua (cabeza), la cual se determina con base en mapas cartográficos de la región en estudio.

Por lo general, las zonas aisladas no disponen de mapas cartográficos adecuados al estudio, de ahí que se realice un estudio topográfico que permita obtener los datos necesarios de la zona y conocer la caída aprovechable, para determinar la potencia del recurso hidroenergético.

Estudio hidrológico y pluviométrico

Es el encargado de determinar los caudales de diseño disponibles en el aprovechamiento hídrico recolectando datos estadísticos de caudal durante un tiempo (se recomienda varios años).

Dado que en la mayoría de los casos no se cuenta con datos hídricos suficientes para seleccionar el caudal, debe recurrirse a información pluviométrica con la que se puede determinar aproximadamente el caudal de la fuente principal de la cuenca, o en su defecto se pueden correlacionar datos de cuencas vecinas y trasladar los datos a la cuenca de similares condiciones geomorfológicas, haciendo los debidos ajustes a las correlaciones.

Estudio geológico, geotécnico y de fuentes de materiales

La ubicación de las obras civiles se hace en función de la estabilidad del terreno y de las posibles fallas de éste, características que se identifican con estos estudios. Por otro lado, por razones económicas se debe tratar de emplear materiales de la región.

Estudio de impacto ambiental

Las obras construidas y el equipo en operación generan un impacto en el medio ambiente de la región, cuyo estudio deberá identificar las características del impacto, la manera de atenuarlo (mitigarlos); el estudio descartará el proyecto si el impacto es considerable y lo avalará si su impacto es reducido.

Selección del equipo electromecánico

Cuando el proyecto hidroenergético es viable en términos técnico-económicos, sociales y ambientales, se procede a la etapa de diseño.

Dentro del diseño general del proyecto se encuentra la ubicación y dimensionamiento final de las obras de captación y conducción, del tanque de presión y desarenador, de la tubería de carga, la casa de máquinas, equipos electromecánicos y el sistema de redes.

A partir de este diseño se tienen dos fases: una de diseño de obras civiles y otra de selección de equipo electromecánico.

El diseño de las obras civiles comprende los diseños de:

- Bocatoma
- Aliviadero
- Obra de conducción
- Desarenador
- Tanque de presión
- Anclajes y silleas de soporte para la tubería de presión
- Casa de máquinas.

La selección de equipo comprende:

- Tubería de presión o su diseño
- Compuertas o su diseño
- Turbinas
- Válvulas
- Generadores
- Volantes

- Reguladores de tensión y frecuencia
- Protecciones
- Subestación de salida (si el sistema lo amerita)
- Redes de transmisión
- Accesorios.

Terminadas estas etapas debe continuarse con la construcción y adquisición de los equipos seleccionados.

En los sistemas aislados (no interconectados a la red nacional) es necesario generar potencia para atender la demanda variable durante un día en particular pero a largo plazo, es necesario considerar el aumento de la demanda de potencia con el transcurso de los años y durante la vida útil del proyecto.

Como etapas fundamentales en un proyecto de PCH's, es necesario:

- estimar la demanda y proyectar su demanda futura (por ejemplo, a 7 años) y luego,
- evaluar del potencial de generación en la zona.

2.3.7 Estimación de la demanda

La evaluación de la demanda constituye una pieza fundamental para “dimensionar” el proyecto que se someterá a la evaluación socio-económica para decidir la continuación de etapas posteriores del proyecto. Se determinará la demanda y potencia requeridas por la población.

Para el caso de zonas interconectadas y que dependerán de ahora en adelante de la PCH por construir se puede realizar una estimación del consumo por medio de los recibos de energía.

En caso contrario, es decir para zonas aisladas, se debe conocer la información que refleje el consumo energético

Deberá considerarse también en dicho estudio las perspectivas de desarrollo de la zona, así como la distancia a que se encuentra de la red nacional o a la que se encontrará de estar prevista su ejecución.

El sistema de generación debe atender la demanda de potencia durante cualquier hora del día, en particular, cuando se presenta la demanda máxima en las comunidades rurales que suele ser entre las 6 pm y las 8 pm.

Esta demanda máxima se suele estimar en base a los equipos que los usuarios disponen en sus viviendas. Hay entonces los siguientes factores a tener en cuenta.

2.3.8 Demanda máxima por vivienda

La demanda máxima por usuario es la potencia demandada por la operación simultánea de todos los equipos que posee el usuario. Esto entonces depende de la tenencia de equipos que posee cada usuario. La tabla siguiente muestra la demanda pico de un usuario que dispone de todos los electrodomésticos y que corresponde a 1.97 kW.

Tabla 2.17. Demanda máxima por vivienda

Equipo	W
Iluminación eficiente	60
TV 21"	100
Equipo sonido	60
Nevera 9'	187
Ventilador	60
Plancha	1000
Lavadora 16 lb	500
Demanda pico por usuario	1967

2.3.9 Demanda promedio por vivienda

Para establecer una cifra promedio de la demanda de los usuarios de una comunidad, la cifra anterior debe ser ajustada por las siguientes razones:

- **Tenencia de equipos.** No todas las viviendas tienen todos equipos. Por ejemplo, no todos tienen lavadora ni todos nevera. La tabla siguiente muestra la tenencia de equipos durante el primer año. Todos tendrán iluminación (100% de los usuarios) mientras que prácticamente ninguno tendrá lavadora (5% de los usuarios). Esta tendencia irá en aumento con el tiempo como se verá más adelante.

Tabla 2.18. Tenencia de equipos por vivienda en una comunidad

Equipo	Año 1
Iluminación eficiente	100%
TV 21"	50%
Equipo sonido	80%
Nevera 9'	10%
Ventilador	30%
Plancha	20%
Lavadora 16 lb	5%

- Por otro lado, no se da en una misma vivienda *simultaneidad* en el uso de los equipos. Así por ejemplo, todo el equipo de iluminación se puede estar empleando en un momento dado (100% simultaneidad) por todas las viviendas, mientras el TV funciona, probablemente el equipo de sonido no y viceversa, pero si muy probablemente funcionará o el uno o el otro. Por consiguiente la simultaneidad de cada uno de ellos es

REPÚBLICA DOMINICANA

50% y la de ambos equipos combinados, 100%. La nevera funciona intermitentemente, así solamente estará funcionando el 50% del tiempo. Y equipos como la plancha y la lavadora NO se deberían permitir en su operación durante las horas de la noche por la alta demanda que tienen y deberían permitirse solamente durante el día. Es decir, hacer un USO RACIONAL Y EFICIENTE de la energía es indispensable en la comunidad.

Tabla 2.19. Simultaneidad del uso de los equipos en una vivienda en una comunidad

Equipo	Simultaneidad
Iluminación eficiente	100%
TV 21"	50%
Equipo sonido	50%
Nevera 9'	50%
Ventilador	50%
Plancha	0%
Lavadora	0%

Como resultado de las anteriores consideraciones, la tabla siguiente muestra la demanda máxima esperada en una comunidad rural y su evolución durante los primeros 5 años durante los cuales se estabiliza la demanda de los usuarios.

Tabla 2.20. Demanda máxima promedio por vivienda en función del tiempo

Equipo	Potencia por usuario nocturna (W)				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Iluminación eficiente	60	60	60	60	60
TV 21"	25	30	35	40	45
Equipo sonido	24	27	30	30	30
Nevera 9'	9.35	18.7	28.05	28.05	28.05
Ventilador	9	10.5	12	13.5	15
Plancha	0	0	0	0	0
Lavadora 16 lb	0	0	0	0	0
Potencia total	127	146	165	172	178

La demanda promedio por vivienda después del 5 año es entonces de 178 W/vivienda durante las horas de la noche y es la demanda promedio máxima que hay que satisfacer.

**Para efectos de cálculo de este proyecto, la
Demanda se estimará en 300W/vivienda,
es decir un 50% más del estimado anteriormente (178 W/vivienda).**

 REPÚBLICA DOMINICANA

Otros estudios realizados para el sector rural arrojan los siguientes valores:

- 250 W para vivienda y 350 para colmados²⁰
- 237 W por vivienda, incluyendo los servicios del hogar más alumbrado público ²¹
- 323 W por vivienda (incluyendo alumbrado público)²²

Durante el día, los usuarios liberan cada uno aproximadamente 100 W/usuario (60W por iluminación, 30 W por entretenimiento o sea 100 W), potencia que multiplicada por el número de usuarios queda disponible para otros usos, incluidos usos productivos de la comunidad.

2.3.10 Proyección de la demanda de potencia de una comunidad rural

Para calcular la demanda de potencia de una comunidad rural en un horizonte de 10 años, es necesario partir de:

- Demanda promedio por vivienda al cabo de 10 años. La demanda por vivienda se ha estimado en 300W al cabo del 5 año y después, y del
- Número de usuarios al cabo de 10 años. El número de usuarios se ve afectado por el índice de crecimiento de la población. Este índice es de 1.7% anual para República Dominicana según Naciones Unidas. De acuerdo a lo anterior:

Viviendas futuras = # viviendas actuales * (1.017) ^10, o sea

Viviendas futuras = 1.18 *# viviendas actuales
con incremento de la población de 1.7%/año durante 10 años

Se supone que también el # de establecimientos en general crecerá proporcionalmente a las viviendas, de tal suerte que

Establecimientos futuros = 1.18 *# Establecimientos actuales
con incremento de la población de 1.7%/año durante 10 años

²⁰ PROFER (2006) Microcentrales hidroeléctricas para la electrificación rural. Pág. 22. GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica) Santo Domingo, República Dominicana.

²¹ PROFER (2006) Proyecto de Estudio Microcentral Hidroeléctrica La Angostura. Pág. 15. GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica) Santo Domingo, República Dominicana

²² PER (2009) Informe de Ejecución. Santo Domingo. República Dominicana.

2.3.11 Demanda promedio por tipo de establecimiento

La tabla siguiente muestra la demanda promedio por tipo de establecimiento. Dada la magnitud del número de viviendas que hay en cada comunidad (91% en este caso), la magnitud que hay que fijar con mayor exactitud es la demanda de las viviendas.

Tabla 2.21. Demanda promedio por tipo de establecimiento

Tipo de Establecimiento	Demanda promedio (W)
Viviendas	300
Colmados	400
Escuela	400
Iglesia	300
Beneficio café	300
Centro Vision mundial	1000
UNAP	1000
Bares	300
Vivero	300
Asociación de Caficultores	300

En la demanda de los colmados se ha supuesto que es la de una vivienda con un consumo adicional de 100 W. Para la escuela, se ha supuesto la operación de 2 computadores e iluminación. La UNAP y el Centro de Visión mundial se han supuesto de 1 kW.

2.3.12 Evaluación del recurso hidroenergético para desarrollos hidroeléctricos

La capacidad de generación de energía está determinada por la caída de agua que se pueda desarrollar y del caudal disponible para la caída. La caída depende de la topografía del terreno y el caudal de las características del río o quebrada que se va a utilizar.

2.3.12.1 *Determinación de la caída*

La caída se puede estimar a partir de las curvas de nivel (en estudios de reconocimiento y prefactibilidad). En estudios de factibilidad es necesario medir para lograr una mayor precisión. Se requiere una precisión de 3% o mejor debido a que esta magnitud es un parámetro de diseño supremamente importante. Para ellos existen varios métodos, entre los que se tienen:

- Método de la manguera de nivelación
- Método de la manguera y manómetro
- Método del nivel del carpintero y tablas
- Método del altímetro
- Método del eclinómetro

2.3.12.2 *Medición del caudal*

Para ello hay varios métodos a saber:

- Método del nivel del ingeniero
- Método de la solución de sal
- Método del recipiente
- Método del área y la velocidad
- Método de la sección de control y regla graduada
- Método del vertedero de pared delgada

2.3.12.3 *Estudio hidrológico y meteorológico*

Estos estudios comprenden

- Análisis estadístico de la información hidrométrica
- Determinación de las características geomorfológicas y de relieve de la cuenca
- Información meteorológica y trayectoria o sendero de huracanes

2.3.13 Fuentes de información para RD

La principal fuente de información sobre el recurso hídrico lo constituye el INDRHI (Instituto Dominicano de Recursos Hídricos). El mapa siguiente muestra el caudal medio medido en los principales ríos de la nación²³.

²³ SEMARN (2005) Atlas de los Recursos Naturales de RD. Secretaria de Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales. Santo Domingo R.D.

Para el desarrollo de PCH's para pequeñas comunidades, la información del promedio anual del caudal medio mensual es para la gran mayoría de las microcuencas inexistente y debe por lo tanto, antes de desarrollar un proyecto, realizar una campaña de medición. Para ello se pueden utilizar los métodos tradicionales expuestos anteriormente pero actualmente es posible la utilización de equipo automatizado muy simple que permite medir el nivel del cauce con una elevada precisión.

Esta falta de información apropiada constituye una barrera fundamental para el desarrollo de las PCH's en RD (generalmente durante la visita a los aprovechamientos se suelen hacer aforos de caudales, pero esta información es insuficiente).

Figura 2.15. Hidrografía y localización de presas



3. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS GEOGRÁFICAS NO ELECTRIFICADAS

El objetivo de capítulo es determinar las Zonas Geográficas No Electrificadas (ZNE) en el país. Para ello se ha partido de la información recibida de la UERS, de otras instituciones y empresas, e información de la ONE (Oficina Nacional de Estadísticas).

3.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

3.1.1 UERS

De parte de la UERS se recibió la información consignada en la tabla siguiente, en forma de archivos shp (shape files) para la plataforma ArcGis.

Tabla 3.1. Información recibida de la UERS para la determinación de las ZNE.

LAYERS	FUENTE	FORMATO
Red Barahona – San Juan (22 circuitos)	UERS	shp
Red Norte (150 circuitos)	UERS	shp
Red Azua – San Cristóbal (36 circuitos)	UERS	shp
Parajes país	UERS	shp

3.1.2 EDEESTE

La compañía EDEESTE suministró la información sobre los circuitos de las redes disponibles que se dan en la tabla siguiente²⁴.

²⁴ La información de las redes de Hato Mayor, Monte Plata, San Pedro y circuitos de CEPEN fue suministrada en Agosto de 2009 a través de la UERS.

Tabla 3.2. Información suministrada por EDEESTE

RED	FUENTE	FORMATO
Edeeste 2009	EDEESTE	dwg
Roma	EDEESTE	dwg
Sabana de la Mar	EDEESTE	dwg
El Higuey	EDEESTE	dwg
El Seibó	EDEESTE	dwg
Hato Mayor	EDEESTE	shp
Monte Plata	EDEESTE	shp
San Pedro	EDEESTE	shp
Circuitos CEPEN	CEPEN	shp

Nota: La información de las redes de Hato Mayor, Monte Plata, San Pedro y circuitos de CEPEN fue suministrada a través de la UERS en Agosto de 2009.

3.1.3 ONE

3.1.3.1 Censo 2002

Del Censo 2002²⁵ se extrajo la información sobre el tipo de iluminación de las viviendas por provincia, municipio y paraje. El tipo de iluminación que se consideró en las encuestas fue de los siguientes tipos: por extensión de red eléctrica o un sistema alternativo (planta, lámpara de gas propano, lámpara de gas kerosene y otro). De allí se infiere que si tienen iluminación por extensión, están interconectados a ella. En cuanto a sistema alternativo no se consideró específicamente a los sistemas solares fotovoltaicos, de tan amplio uso en RD. Cuando se consideran los SFV como alternativa de iluminación no se puede inferir de la encuesta cuantos ya disponen de ella y cuantos no, y por consiguiente, al considerar los SFV como alternativa se pueden estar considerando nuevos usuarios que ya disponen del sistema. Lo anterior conduce a sobreestimar el número de SFV requeridos como alternativa.

3.1.3.2 ENIGH 2007

Una de las fuentes de información más importantes y recientes lo constituye la Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares (ENIGH 2007)²⁶. Esta encuesta tiene como

²⁵ ONE (2002). **8° Censo Nacional de Población y Vivienda 2002**. Oficina Nacional de Estadística. Santo Domingo, República Dominicana

²⁶ ONE (2008). **Resultados Generales Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2007**. Oficina Nacional de Estadística. Santo Domingo, República Dominicana.

REPÚBLICA DOMINICANA

propósito obtener datos sobre los ingresos y gastos de los hogares así como de las condiciones de vida de la población. La encuesta proporciona información para:

- Conocer el nivel y la estructura de los ingresos de los hogares,
- Obtener información para conocer las condiciones de vida de la población,
- Obtener información para las estimaciones correspondientes al consumo de los hogares para las Cuentas Nacionales y obtener datos para la elaboración del perfil de la pobreza, entre otros.

De acuerdo a esta encuesta, observando la fuente de abastecimiento de energía para el alumbrado de las viviendas, se tiene que del total de viviendas particulares existentes en el país a 2007, el 93.7 por ciento, es decir, 2,370,285 viviendas (Tabla 3.3), utilizan para el alumbrado la energía proveniente de la Corporación Dominicana de Empresas de Energía Eléctrica (CDEEE) y de las Empresas de Electricidad (EDES) y sólo un 6.3 por ciento, 160,189 viviendas, utiliza otras fuentes de energía para el alumbrado.

Tabla 3.3. Total absoluto y distribución porcentual de las viviendas, por fuente de energía utilizada para el alumbrado, según tipo de vivienda, ENIGH 2007

Tipo de vivienda	Total		Fuente de energía para alumbrado			
	Absoluto	Relativo	De la CDEEE / EDES		Otras fuentes de energía	
			Absoluto	Relativo	Absoluto	Relativo
Total	2,530,474	100	2,370,285	93.7	160,189	6.3
Casa independiente	1,969,641	77.8	1,834,201	93.1	135,440	6.9
Apartamento	209,715	8.3	209,246	99.8	469	0.2
Pieza en cuartería o parte atrás	273,716	10.8	257,995	94.3	15,721	5.7
Barracón	18,030	0.7	12,508	69.4	5,522	30.6
Local no destinado a habitación	1,246	0	1,126	90.4	120	9.6
Vivienda en construcción	13,310	0.5	12,719	95.6	591	4.4
Vivienda compartida con negocio	30,706	1.2	29,631	96.5	1,075	3.5
Otro	14,110	0.6	12,859	91.1	1,251	8.9

Fuente: ONE (2008). **Resultados Generales Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2007.** Oficina Nacional de Estadística. Santo Domingo, República Dominicana.

Es decir, que 160.189 viviendas carecen de energía eléctrica de red y recurren a otras fuentes de energía. **Este sería el número total de viviendas a electrificar en el país, en el año de la encuesta. Lo que no se puede determinar de esta información disponible es cuántas de estas viviendas por electrificar se encuentran en el sector rural y cuántas son urbanas, mucho menos en qué lugares del país se encuentran y cuál es su proximidad a la red**

eléctrica. Tampoco se puede saber cuántas de ellas poseen SFV o sistemas alternativos que empleen electricidad como por ejemplo, de plantas eléctricas.

Del total de las viviendas que utilizan como fuente de energía la electricidad, solo un tercio de ellas tiene contador eléctrico para la determinación de su consumo, es decir, 790,212 viviendas lo poseen, lo que representa el 33.3% de las viviendas que disponen de electricidad. Del 66.5% que no tiene contador, 462,284 viviendas que representan el 19.5%, tiene una tarifa fija establecida por las empresas de distribución de electricidad, existiendo 1,117,789 viviendas que disponen de energía eléctrica para su alumbrado y que no tienen medidor ni tarifa fija.

La última cifra indica entonces **un problema muy importante para el recaudo de ingresos** por servicios de parte de las empresas distribuidoras, problema que probablemente sea de igual o mayor magnitud en las áreas rurales que en las áreas urbanas.

En cuanto a **otros tipos de usuarios en el sector rural**, según el ONE, el país disponía en 2007 de 702 clínicas rurales sobre las cuales no hay información disponible sobre si tienen o carecen de energía eléctrica por red. Igualmente la información del servicio público educación resulta insuficiente en cuanto a las escuelas electrificadas o no en las zonas rurales.

3.2 DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS GEOGRÁFICAS NO ELECTRIFICADAS

Para la determinación de las ZNE se procedió en dos etapas:

1. La primera es la integración de la información del Censo de 2002 relacionada con el tipo de iluminación por parajes con la base de datos del layer de parajes, suministrado por la UERS, a fin de geo-referenciar el tipo de iluminación por paraje.
2. La segunda se fundamenta en la extensión de redes, considerando que son interconectables todos los parajes que se encuentren a una distancia determinada de la red.

3.2.1 Etapa 1. Grado de electrificación por parajes

La Tabla 3.4 es una muestra de la estructura de la base de datos del censo. Esta base de datos contiene 9.883 registros de barrios o parajes del país.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 3.4. Muestra de la base de datos del Censo 2002

Código	Barrio o Paraje	Energía del tendido eléctrico	Energía de planta propia	Lámpara de gas propano	Lámpara de gas kerosene	Otro	A1_T
1010101001	LOS PERALEJOS	1,580	2	2	2	7	1,593
1010101002	PALMA REAL	7,949	4	5	3	16	7,977
1010101003	ARROYO MANZANO	818	4	1	1	1	825
1010101004	ALTOS DE ARROYO HONDO I	2,422	3	5	2	4	2,436
1010101005	LOS RIOS	9,308	4	3	5	9	9,329

La Tabla 3.5 es una muestra de la base de datos del Layer de parajes suministrada por la UERS. Esta base de datos contiene los polígonos de cada paraje pero solamente contiene 9893 registros de parajes, presentándose la primera diferencia con la base de datos anterior que tiene 9883 registros. Esta base de datos georeferencia los parajes del país.

Tabla 3.5. Muestra de la base de datos del layer de parajes de la UERS

AREA	PERIMETER	PARAJES_	PARAJES_ID	PROVINCIA	MUNICIPIO	SECCION	B_P	VIVIENDA
14767625.93841	21485.80151	2	4019	18	11	2	3	24
4835063.45313	11432.62751	3	4020	18	11	2	2	43
3209430.00391	8229.28146	4	4021	18	11	3	1	11
6089148.83929	11505.56817	5	4022	18	6	2	8	106

ENLACE	NOMBA_PRO	NOMBA_ZO	V_DENSIDAD	SQ_MILES	SQ_KM	NOMBRE_PAR
181102003	Puerto_Plata	Zona_Norte	1.63	5.702	14.768	LA_CULEBRA
181102002	Puerto_Plata	Zona_Norte	8.89	1.867	4.835	LAS_CAMARRAS
181103001	Puerto_Plata	Zona_Norte	3.43	1.239	3.209	BINBROZ
180602008	Puerto_Plata	Zona_Norte	17.41	2.351	6.089	LA_RUSIA

Con el fin de generar resultados georeferenciados sobre la disponibilidad o no de energía eléctrica por red, fue necesario fusionar las dos bases de datos, teniendo como información común entre ellas el código del paraje y el nombre del mismo. Al hacer el proceso de integración entre estas dos bases de datos se encontraron los siguientes problemas:

- En la base de datos SIG, diferentes polígonos correspondían a un mismo nombre de paraje
- En esa misma base de datos SIG, todos los parajes carecían del código de la región.

- La base de datos del censo de 2002 incluye tanto parajes como algunos barrios de Santo Domingo, por consiguiente, tiene un mayor número de registros que el SIG.

La base de datos resultante de la integración y consolidación, contiene 8405 registros de parajes coincidentes y 1478 registros de parajes no coincidentes. La no coincidencia se debe a que en ambas bases de datos no fueron comunes ni el código del paraje ni el nombre del mismo. Por lo tanto, la base de datos que se ha integrado a nivel de parajes tiene 85% de consolidación. A nivel de región, provincia y municipio la información está consolidada en un 100%.

3.2.2 Etapa 2. Extensión de redes

A partir de la información de redes suministrada, se integraron todos los circuitos de una misma red en una sola capa, generándose así una capa para las redes de Norte, Azua y Barahona. La información de redes suministrada por EDEESTE está en formato dwg y fue necesario filtrarlas de otro tipo de información innecesaria y llevarlas a capas de formato shp de ARCGIS. Finalmente, se integró una sola capa de redes para todo el país.

Puesta que las redes se pueden extender una determinada distancia, esta distancia se ha supuesto de 5 km, como discutido con la UERS²⁷. Posteriormente se seleccionó cada una de estas redes y la capa de parajes, y se aplicó un buffer condicionado que selecciona cada paraje que se encuentre a una distancia máxima de 5 km de las redes. La aplicación de ARCGIS selecciona estos parajes pero en layers independientes, un layer por cada red. Luego se seleccionaron todas estas nuevas capas y se unieron mediante la función "union", creando un nuevo layer con todos los parajes que cubre la red y su área de influencia de 5 km y quedando excluidos los parajes no cobijados por estas redes o sus posibles extensiones en el rango de 5 km. Estos parajes excluidos se integran en una nueva capa la cual se denomina "Parajes fuera de Buffer", la cual está constituida por 3132 polígonos, los cuales representan igual número de parajes.

Para ilustrar el proceso anterior, la Figura 3.1 muestra el Área de Cobertura del Servicio de Energía Eléctrica (ACSEE) constituido por un área generada alrededor de una red con el buffer de 5 km. También se muestra un polígono que representa un paraje. De la intercepción de estas dos figuras, se pueden presentar tres casos:

- Caso 1. El paraje se encuentra dentro del ACSEE.
- Caso 2. El paraje se encuentra parcialmente dentro del ACSEE.

²⁷ Conversación personal 26 Junio 2009 con el Ing. Manuel Rodríguez de la Oficina de Planificación de la UERS

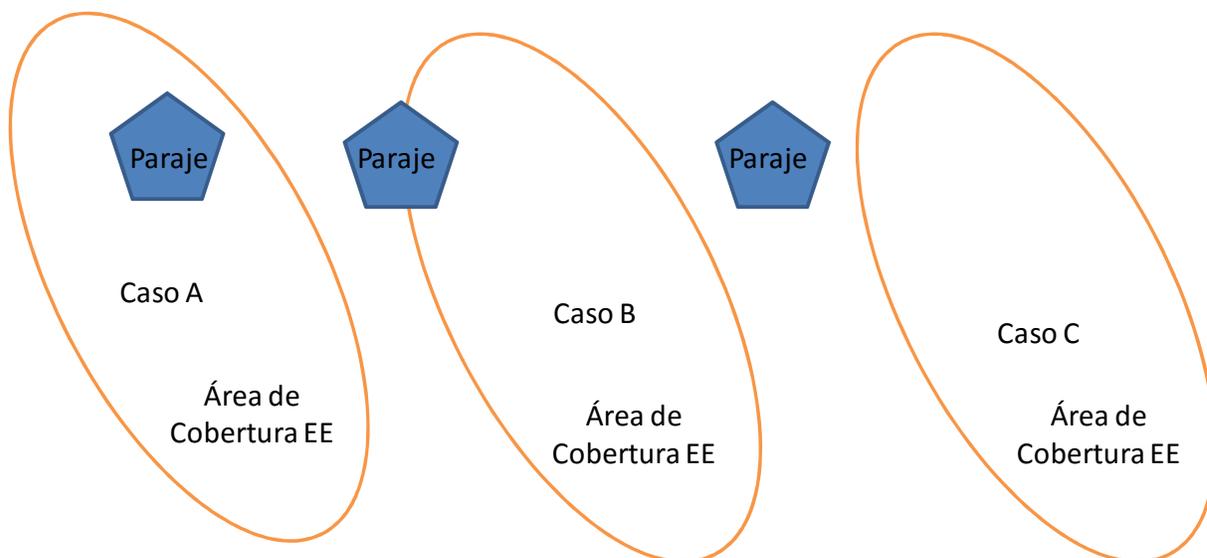
- Caso 3. El paraje se encuentra fuera del ACSEE.

En el primer caso se puede suponer que todos los usuarios del paraje tienen acceso o posibilidad de acceso al servicio de energía eléctrica.

En el segundo caso, el SIG considera al paraje como perteneciente también al ACSEE y se asimila al primer caso.

En el tercer caso, se considera al paraje como Zona NO electrificable por extensión de red en un horizonte de tiempo de 5 a 10 años.

Figura 3.1. Tres casos de intersección del buffer de ACSEE y un paraje



La Figura 3.2 muestra los parajes que están cubiertos por las redes y su buffer de 5 km, y las áreas restantes no son cubiertas por red.

La Figura 3.3 muestra los parajes no cubiertos por la red y su respectivo buffer de 5 km. Los colores de los diferentes parajes corresponden al grado de electrificación según el censo de 2002. El rojo corresponde al menor grado de electrificación (entre 0 y 10%) mientras que el azul corresponde a parajes con más del 90% de electrificación por redes. La existencia en la figura de zonas azules (grado de electrificación mayor de 90%) indica que ya en el 2002 estos parajes disponían de redes. Por lo tanto hacen falta circuitos que no se han integrado en este trabajo e indican que la información suministrada está parcialmente desactualizadas.

REPÚBLICA DOMINICANA

La Figura 3.4 muestra nuevamente la Figura 3.3 pero incluyendo las zonas protegidas por la Ley 64²⁸. Se puede entonces observar que muchos de los parajes NO electrificados al año 2002 se encontraban en estas áreas protegidas, en donde tecnologías de energía renovables podrían ser entonces aplicables.

El número total de parajes del censo del 2002 que se encuentran a más de 5 km de la red es de 3132, los cuales tienen grados de electrificación según el censo, entre 0 y 100%. El hecho de que a 2002 hubiera parajes a más de 5 km de la red a 2009 con grado de electrificación cercano al 100% indica que la red actualizada a 2009 está incompleta en esos parajes. La base de datos con todos estos parajes a más de 5km de la red y su grado de electrificación de 2002 se da en:

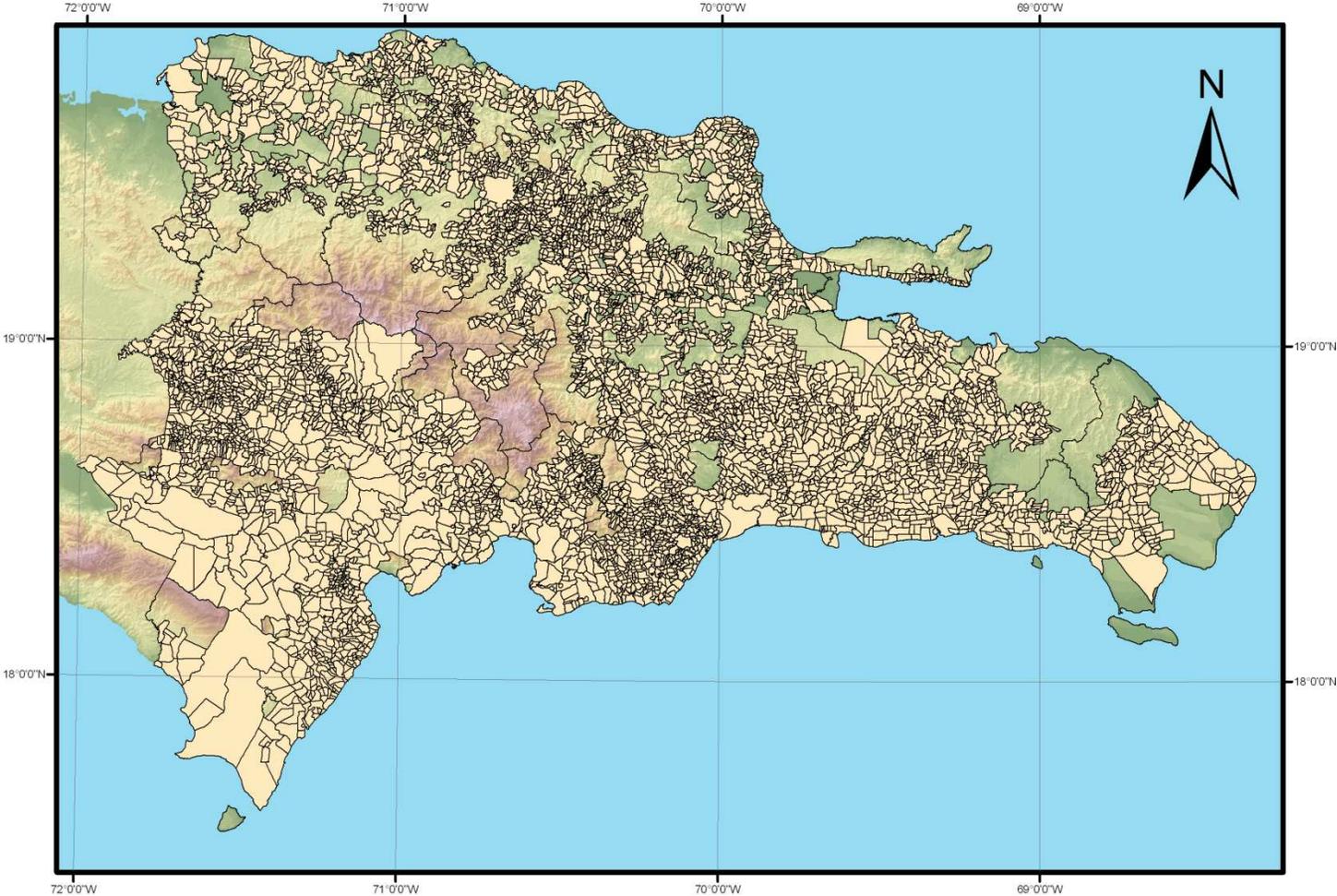
Parajes_fuera_buffer.xls

en el CD adjunto.

²⁸ Una porción de terreno y/o mar especialmente dedicada a la protección y mantenimiento de elementos significativos de biodiversidad y de recursos naturales y culturales y asociados, manejados por mandato legal y otros medios efectivos.

REPÚBLICA DOMINICANA

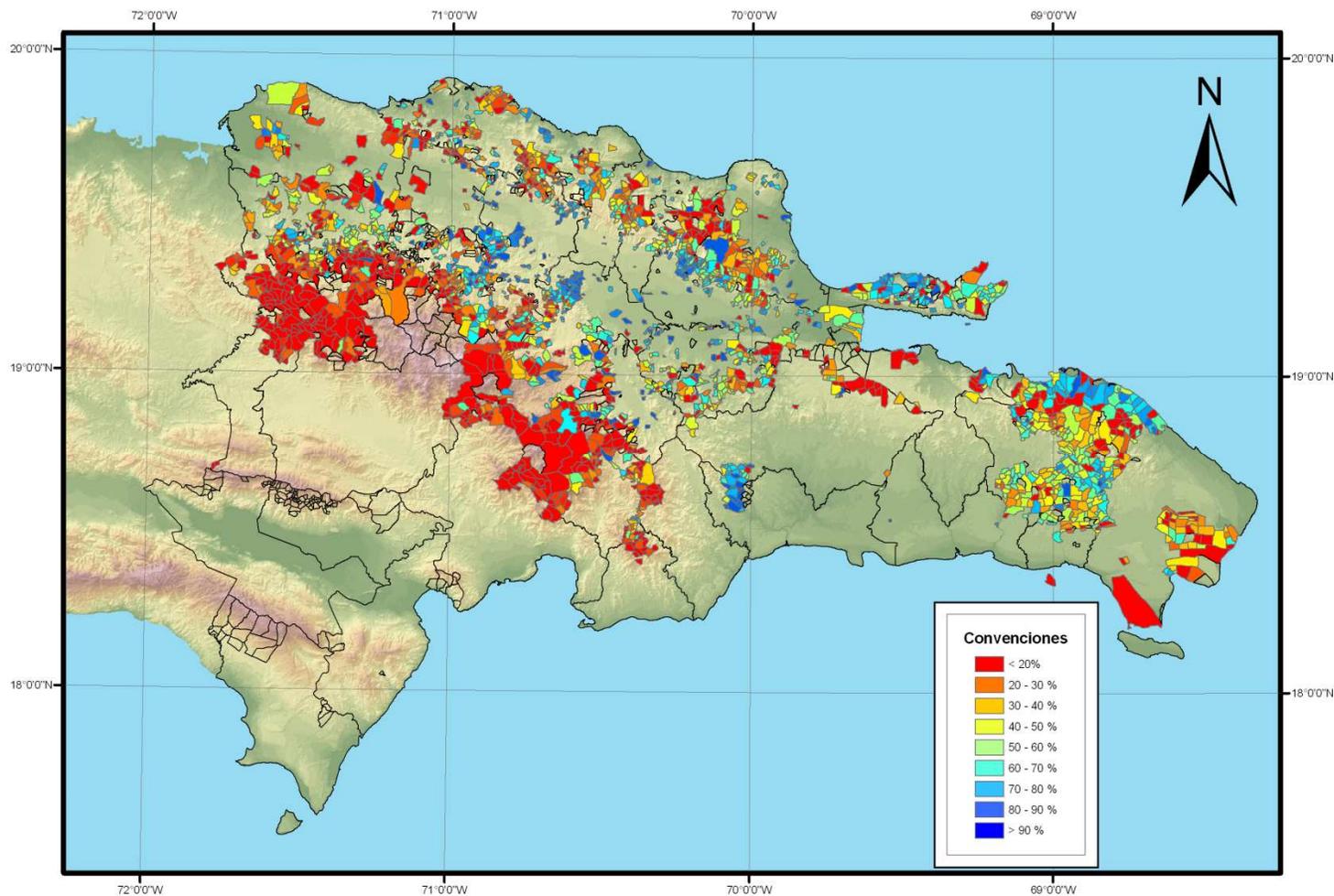
Figura 3.2. Parajes con redes y posibilidad de extensión de redes (buffer de 5 km)



Fuente: Resultados propios

REPÚBLICA DOMINICANA

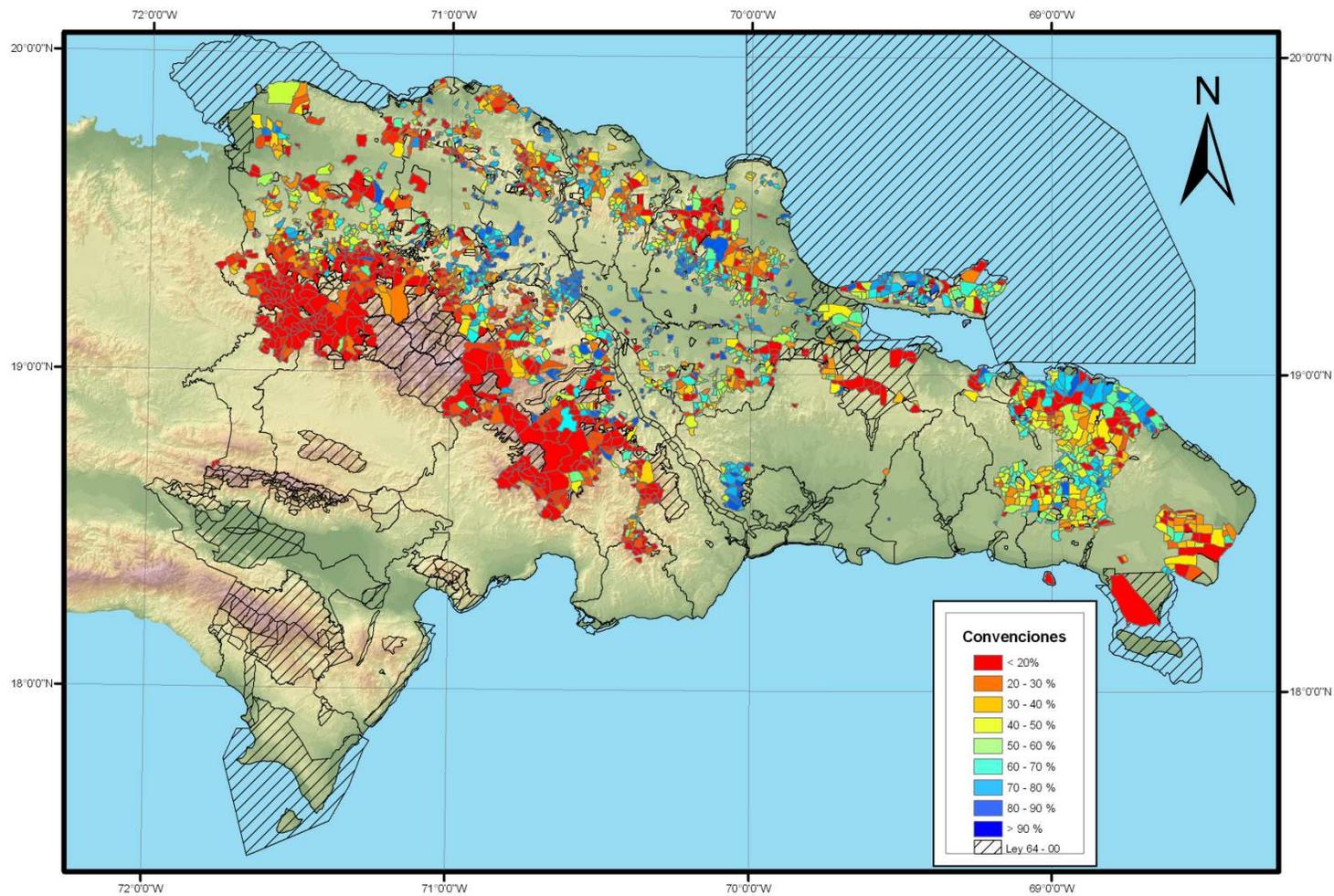
Figura 3.3. Parajes no incluidos en la posibilidad de extensión de redes (buffer de 5 km)



Fuente: Resultados propios

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 3.4. Parajes no incluidos en la posibilidad de extensión de redes (buffer de 5 km) con zonas protegidas
 Achurado: zonas protegidas Ley 64; en transparente: parajes sin información integrada



3.3 ‘GRADO DE ELECTRIFICACIÓN DE RD A PARTIR DE INFORMACIÓN DEL CENSO DE 2002

Si bien el censo es del 2002, la información que contiene tiene una buena confiabilidad y permite entonces dar una visión del estado de la electrificación del país en ese año. La información del nuevo censo que se realizará en 2010 permitirá actualizar esta información y mostrará el desarrollo que la electrificación rural ha tenido en el país.

3.3.1 A nivel de nación

De acuerdo al Censo 2002, de un total de 2.193.848 viviendas, 2.035.415 tenían iluminación a partir de la red (92.80%).

Según OLADE, la cobertura eléctrica de República Dominicana era de 92.3% a 2006, de los cuales cerca del 95% corresponden a la zona urbana y 80% a las zonas rurales²⁹.

Un estudio más reciente realizado para la CNE estima que para el año 2010, el grado de electrificación del país sería de 96% y de 89% para el sector rural³⁰.

3.3.2 A nivel de provincias

La información del Censo de 2002 incluye el número de viviendas que tienen servicio de iluminación con energía por tendido eléctrico, por planta propia, por lámparas de gas propano y de kerosene, y de otro tipo de iluminación. El grado de electrificación por provincias se ha calculado como el cociente entre el número de viviendas conectadas a la red (es decir, con iluminación por tendido eléctrico) dividido por el número total de viviendas de la provincia (Ver Tabla 3.6).

La Tabla 3.7 muestra el número de viviendas electrificadas por extensión de red de acuerdo al censo de 2002 y la información de la UERSa 2009³¹. De acuerdo a esta tabla, el grado de electrificación del país ha aumentado de 92.8% a 94.2% en 6 años, como puede observarse al comparar las Figura 3.5 y Figura 3.6. En todas las provincias se muestra un aumento del grado de electrificación en el periodo 2002-2009, pero solamente un ligero aumento en las provincias de El Seibo y Elías Piña.

²⁹ OLADE (2006) **Informe de Estadísticas Energéticas**. OLADE (Organización Latinoamericana de Energía). Quito. Ecuador

³⁰ CNE (2008) **Estudio Prospectiva de la Demanda de Energía de República Dominicana**. Estudio realizado por Fundación Bariloche para CNE (Comisión Nacional de Energía) Sto Domingo, R. Dominicana, página 146.

³¹ UERS (2009) **La UERS en Cifras. Diagnóstico y Planes 2009-2012**. Dirección de Ingeniería y Planificación. Documento ppt.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 3.6. Tipo de iluminación de las viviendas por provincia (Censo de 2002)

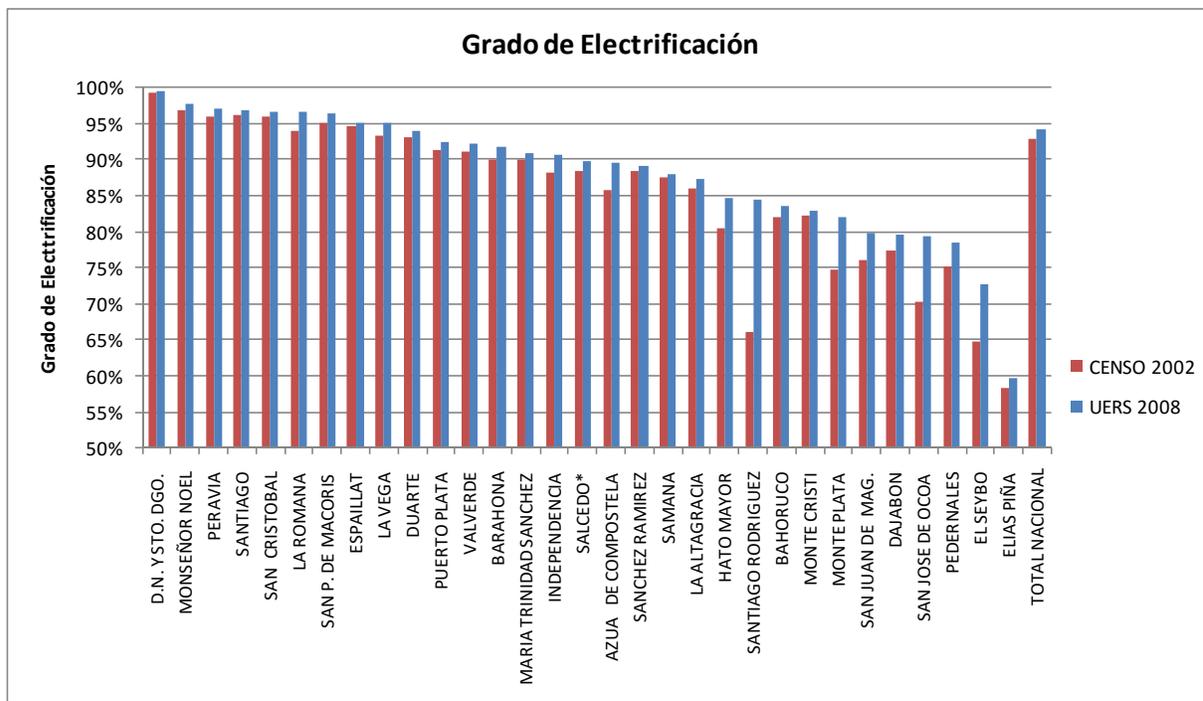
Código	Provincia	Energía del tendido eléctrico	Energía de planta propia	Lámpara de gas propano	Lámpara de gas kerosene	Otro	Total Viviendas	Grado de Electrificación
101	DISTRITO NACIONAL	247,586	361	107	88	392	248,534	99.6%
132	SANTO DOMINGO	456,323	489	852	1,238	2,106	461,008	99.0%
528	MONSEÑOR NOUEL	40,061	96	267	737	203	41,364	96.8%
625	SANTIAGO	225,751	951	1,680	4,350	1,942	234,674	96.2%
221	SAN CRISTOBAL	124,567	143	1,097	3,187	927	129,921	95.9%
217	PERAVIA	39,939	61	449	975	234	41,658	95.9%
323	SAN PEDRO DE MACORIS	75,318	74	682	2,314	784	79,172	95.1%
609	ESPAILLAT	53,072	165	582	1,707	597	56,123	94.6%
312	LA ROMANA	54,712	128	604	2,246	491	58,181	94.0%
513	LA VEGA	89,515	408	1,380	2,569	2,136	96,008	93.2%
406	DUARTE	67,774	273	928	2,944	862	72,781	93.1%
618	PUERTO PLATA	80,116	523	1,589	4,041	1,577	87,846	91.2%
727	VALVERDE	37,978	91	755	1,738	1,166	41,728	91.0%
904	BARAHONA	37,572	76	468	3,152	454	41,722	90.1%
414	MARIA TRINIDAD SANCHEZ	32,683	182	576	2,252	671	36,364	89.9%
419	SALCEDO	21,738	123	452	1,731	516	24,560	88.5%
524	SANCHEZ RAMIREZ	32,313	74	612	2,956	608	36,563	88.4%
910	INDEPENDENCIA	9,837	46	230	893	144	11,150	88.2%
420	SAMANA	21,009	195	648	1,776	372	24,000	87.5%
311	LA ALTAGRACIA	44,451	600	1,670	4,242	690	51,653	86.1%
802	AZUA	40,746	87	1,107	4,652	959	47,551	85.7%
715	MONTE CRISTI	25,865	138	982	2,954	1,554	31,493	82.1%
903	BAORUCO	17,115	44	660	2,804	263	20,886	81.9%
330	HATO MAYOR	18,628	121	520	3,332	522	23,123	80.6%
705	DAJABON	12,360	83	496	2,191	842	15,972	77.4%
822	SAN JUAN	44,020	113	2,113	10,632	1,041	57,919	76.0%
916	PEDERNALES	3,717	22	170	821	213	4,943	75.2%
229	MONTE PLATA	35,413	249	1,265	9,502	952	47,381	74.7%
231	SAN JOSE DE OCOA	11,319	100	784	3,522	354	16,079	70.4%
726	SANTIAGO RODRIGUEZ	10,014	215	463	2,591	1,879	15,162	66.0%
308	EL SEIBO	15,424	244	1,231	6,259	638	23,796	64.8%
807	ELIAS PIÑA	8,479	42	673	4,084	1,255	14,533	58.3%

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 3.7. Viviendas con y sin electricidad de la red por provincia y nacional (Censo de 2002 y UERS 2008)

PROVINCIA	UERS Año 2008				Censo Año 2002					
	VIVIENDAS	% VIVIENDAS SIN ELECTRIFICAR	% VIVIENDAS ELECTRIFICADOS	VIVIENDAS SIN ELECTRIFICAR	VIVIENDAS ELECTRIFICADOS	VIVIENDAS	% VIVIENDAS SIN ELECTRIFICAR	% VIVIENDAS ELECTRIFICADOS	VIVIENDAS SIN ELECTRIFICAR	VIVIENDAS ELECTRIFICADOS
D.N. Y STO. DGO.	783,958	0.5%	99.52%	3,763	780,195	709,542	0.79%	99.2%	5,633	703,909
MONSEÑOR NOEL	45,833	2.3%	97.72%	1,045	44,788	41,364	3.15%	96.8%	1,303	40,061
PERAVIA	46,013	3.0%	96.99%	1,385	44,628	41,658	4.13%	95.9%	1,719	39,939
SANTIAGO	260,000	3.1%	96.90%	8,060	251,940	234,674	3.80%	96.2%	8,923	225,751
SAN CRISTOBAL	143,634	3.3%	96.67%	4,783	138,851	129,921	4.12%	95.9%	5,354	124,567
LA ROMANA	64,457	3.5%	96.50%	2,256	62,201	58,181	5.96%	94.0%	3,469	54,712
SAN P. DE MACORIS	87,548	3.6%	96.37%	3,178	84,370	79,172	4.87%	95.1%	3,854	75,318
ESPAILLAT	62,143	4.9%	95.10%	3,045	59,098	56,123	5.44%	94.6%	3,051	53,072
LA VEGA	106,288	4.9%	95.07%	5,240	101,048	96,008	6.76%	93.2%	6,493	89,515
DUARTE	80,571	6.0%	94.05%	4,794	75,777	72,781	6.88%	93.1%	5,007	67,774
PUERTO PLATA	97,217	7.7%	92.31%	7,476	89,741	87,846	8.80%	91.2%	7,730	80,116
VALVERDE	46,197	7.7%	92.27%	3,571	42,626	41,728	8.99%	91.0%	3,750	37,978
BARAHONA	46,163	8.3%	91.66%	3,850	42,313	41,722	9.95%	90.1%	4,150	37,572
MARIA TRINIDAD SANCHEZ	40,227	9.2%	90.76%	3,717	36,510	36,364	10.12%	89.9%	3,681	32,683
INDEPENDENCIA	12,341	9.3%	90.73%	1,144	11,197	11,150	11.78%	88.2%	1,313	9,837
SALCEDO*	27,167	10.3%	89.73%	2,790	24,377	24,560	11.49%	88.5%	2,822	21,738
AZUA DE COMPOSTELA	52,623	10.6%	89.44%	5,557	47,066	47,551	14.31%	85.7%	6,805	40,746
SANCHEZ RAMIREZ	40,473	11.0%	89.01%	4,448	36,025	36,563	11.62%	88.4%	4,250	32,313
SAMANA	26,552	12.0%	88.05%	3,173	23,379	24,000	12.46%	87.5%	2,991	21,009
LA ALTAGRACIA	57,154	12.8%	87.21%	7,310	49,844	51,653	13.94%	86.1%	7,202	44,451
HATO MAYOR	25,580	15.3%	84.73%	3,906	21,674	23,123	19.44%	80.6%	4,495	18,628
SANTIAGO RODRIGUEZ	16,775	15.7%	84.34%	2,627	14,148	15,162	33.95%	66.0%	5,148	10,014
BAHORUCO	23,109	16.5%	83.53%	3,806	19,303	20,886	18.06%	81.9%	3,771	17,115
MONTE CRISTI	34,840	17.2%	82.85%	5,975	28,865	31,493	17.87%	82.1%	5,628	25,865
MONTE PLATA	52,425	17.9%	82.06%	9,405	43,020	47,381	25.26%	74.7%	11,968	35,413
SAN JUAN DE MAG.	64,074	20.2%	79.85%	12,911	51,163	57,919	24.00%	76.0%	13,899	44,020
DAJABON	17,672	20.5%	79.47%	3,628	14,044	15,972	22.61%	77.4%	3,612	12,360
SAN JOSE DE OCOA	17,792	20.7%	79.35%	3,674	14,118	16,079	29.60%	70.4%	4,760	11,319
PEDERNALES	5,467	21.6%	78.36%	1,183	4,284	4,943	24.80%	75.2%	1,226	3,717
EL SEYBO	26,327	27.3%	72.72%	7,182	19,145	23,796	35.18%	64.8%	8,372	15,424
ELIAS PIÑA	16,079	40.3%	59.73%	6,475	9,604	14,533	41.66%	58.3%	6,054	8,479
TOTAL NACIONAL	2,426,699	5.8%	94.17%	141,357	2,285,342	2,193,848	7.22%	92.8%	158,433	2,035,415
*HERMANAS MIRABAL										

Figura 3.7. Grado de electrificación con redes por provincia (Censo de 2002 y UERS 2008)



En la tabla anterior se puede observar que el grado de electrificación por extensión de redes variaba entre 59.73% y 99.52%, siendo la provincia con menor grado, Elías Piña (59.73%). La Figura 3.7 muestra también los resultados anteriores.

3.3.3 A nivel de municipios

El grado de electrificación por municipio se determinó a partir de la misma información censal pero esta vez por municipios y empleando la misma metodología. El grado de electrificación por extensión de redes varía entre 11.5% y 99.65%, en Rio Limpio (Provincia de Elías Piña) y el Municipio de Santo Domingo, respectivamente. En la Tabla 3.8 se encuentran valores en todo el rango anterior, pero sobresalen los 8 últimos municipios con menos del 50% de grado de electrificación.

La Figura 3.8 muestra esta distribución geográfica, en donde se observa que los municipios principalmente desabastecidos de electricidad por red se encuentran en la zona occidental del país, frontera con Haití.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 3.8. Tipo de iluminación de las viviendas por municipio (Censo de 2002)

Código	Provincia	Energía del tendido eléctrico	Energía de planta propia	Lámpara de gas propano	Lámpara de gas kerosene	Otro	Total Viviendas	Grado de Electrificación
13203	MUNICIPIO SANTO DOMINGO OESTE	72288	53	43	31	125	72540	99.65%
10101	SANTO DOMINGO DE GUZMAN	247586	361	107	88	392	248534	99.62%
13201	MUNICIPIO SANTO DOMINGO ESTE	198706	148	201	169	689	199913	99.40%
22102	MUNICIPIO BAJOS DE HAINA	20444	19	24	17	71	20575	99.36%
13204	DISTRITO MUNICIPAL LOS ALCARRIZOS	48971	48	46	56	269	49390	99.15%
62501	MUNICIPIO SANTIAGO	160673	127	372	710	423	162305	98.99%
22109	DISTRITO MUNICIPAL EL CARRIL	8070	7	18	20	41	8156	98.95%
13206	MUNICIPIO SANTO DOMINGO NORTE	79541	108	144	207	389	80389	98.95%
62514	DISTRITO MUNICIPAL PALMAR ARRIBA	1104	1	4	5	2	1116	98.92%
22106	MUNICIPIO SABANA GRANDE DE PALENQUE	3680	4	9	16	15	3724	98.82%
62504	MUNICIPIO LICEY AL MEDIO	6368	8	29	27	28	6460	98.58%
21702	MUNICIPIO NIZAO	2747	1	9	9	24	2790	98.46%
52802	MUNICIPIO MAIMON	4182	2	19	34	13	4250	98.40%
80211	DISTRITO MUNICIPAL PALMAR DE OCOA	974	1	6	6	3	990	98.38%
22105	MUNICIPIO SAN GREGORIO DE NIGUA	6814	7	49	25	33	6928	98.35%
62502	MUNICIPIO VILLA BISONO	10935	15	56	64	53	11123	98.31%
22101	MUNICIPIO SAN CRISTOBAL	51910	48	268	324	308	52858	98.21%
32301	MUNICIPIO SAN PEDRO DE MACORIS	55477	42	252	369	386	56526	98.14%
90407	MUNICIPIO VICENTE NOBLE	3803	1	15	36	20	3875	98.14%
80210	DISTRITO MUNICIPAL PUEBLO VIEJO	2461	1	14	30	6	2512	97.97%
90412	DISTRITO MUNICIPAL JAQUIMEYES	930	1	5	4	10	950	97.89%
60901	MUNICIPIO MOCA	31480	56	168	374	143	32221	97.70%
21703	DISTRITO MUNICIPAL MATANZAS	3622	5	18	45	21	3711	97.60%
62507	MUNICIPIO VILLA GONZALEZ	7519	5	41	114	25	7704	97.60%
60909	DISTRITO MUNICIPAL JUAN LOPEZ	3062	7	19	36	14	3138	97.58%
13208	MUNICIPIO BOCA CHICA	25816	74	160	131	280	26461	97.56%
51307	DISTRITO MUNICIPAL RINCON	2964	8	10	34	23	3039	97.53%
90401	MUNICIPIO BARAHONA	17258	37	139	169	96	17699	97.51%
51306	DISTRITO MUNICIPAL RIO VERDE ARRIBA	5582	13	38	64	35	5732	97.38%
62506	MUNICIPIO TAMBORIL	12312	21	54	182	90	12659	97.26%
52801	MUNICIPIO MONSEÑOR NOUEL (BONAO)	27877	69	192	420	111	28669	97.24%
90408	DISTRITO MUNICIPAL EL PENON	933	0	4	19	4	960	97.19%
90404	DISTRITO MUNICIPAL LAS SALINAS	1122	0	10	14	9	1155	97.14%
21704	DISTRITO MUNICIPAL VILLA FUNDACION	2057	1	13	38	10	2119	97.07%
40611	DISTRITO MUNICIPAL CENOVI	4029	6	22	70	25	4152	97.04%
52804	DISTRITO MUNICIPAL VILLA DE SONADOR	1794	2	11	34	8	1849	97.03%
31201	MUNICIPIO LA ROMANA	51899	91	402	726	383	53501	97.01%
21705	DISTRITO MUNICIPAL SABANA BUEY	572	0	6	12	1	591	96.79%
62511	DISTRITO MUNICIPAL LA CANELA	10801	19	106	176	67	11169	96.71%
13205	DISTRITO MUNICIPAL PEDRO BRAND	11238	20	94	162	121	11635	96.59%
62509	DISTRITO MUNICIPAL SABANA IGLESIA	2764	4	19	36	41	2864	96.51%
51301	MUNICIPIO LA VEGA	53135	112	548	920	345	55060	96.50%
21707	DISTRITO MUNICIPAL SANTANA	1579	7	9	20	22	1637	96.46%
40601	MUNICIPIO SAN FRANCISCO DE MACORIS	38381	79	278	772	304	39814	96.40%
40607	MUNICIPIO LAS GUARANAS	3229	5	25	60	32	3351	96.36%
32305	MUNICIPIO QUISQUEYA	4575	3	26	125	24	4753	96.25%
60902	MUNICIPIO CAYETANO GERMOSEN	1762	6	21	31	11	1831	96.23%
72701	MUNICIPIO MAO	12311	30	132	195	146	12814	96.07%
32304	MUNICIPIO CONSUELO	7754	4	41	193	95	8087	95.88%
13207	DISTRITO MUNICIPAL LA VICTORIA	10609	29	90	256	98	11082	95.73%
52805	DISTRITO MUNICIPAL SABANA DEL PUERTO	2533	10	11	80	13	2647	95.69%
90414	DISTRITO MUNICIPAL PESCADERIA	988	1	13	29	3	1034	95.55%
61801	MUNICIPIO PUERTO PLATA	38880	267	497	598	462	40704	95.52%
52403	MUNICIPIO FANTINO	5117	10	53	145	35	5360	95.47%
21706	DISTRITO MUNICIPAL PIZARRETE	1106	1	23	23	6	1159	95.43%
21701	MUNICIPIO BANI	25274	38	318	735	125	26490	95.41%
13202	DISTRITO MUNICIPAL GUERRA	9154	9	74	226	135	9598	95.37%
72702	MUNICIPIO ESPERANZA	11832	10	117	275	196	12430	95.19%
80208	DISTRITO MUNICIPAL VILLA TABARA ARRIBA	2642	0	31	97	6	2776	95.17%
51304	MUNICIPIO JIMA ABAJO	3312	5	14	127	22	3480	95.17%

REPÚBLICA DOMINICANA

Código	Provincia	Energía del tendido eléctrico	Energía de planta propia	Lámpara de gas propano	Lámpara de gas kerosene	Otro	Total Viviendas	Grado de Electrificación
60908	DISTRITO MUNICIPAL VERAGUA	3594	12	78	85	17	3786	94.93%
22107	MUNICIPIO YAGUATE	9026	14	102	298	71	9511	94.90%
61807	MUNICIPIO SOSUA	12168	84	92	263	222	12829	94.85%
80201	MUNICIPIO AZUA	18581	29	290	583	113	19596	94.82%
52405	DISTRITO MUNICIPAL LA MATA	8956	10	159	265	66	9456	94.71%
91002	MUNICIPIO DUVERGE	3279	26	52	75	36	3468	94.55%
21708	DISTRITO MUNICIPAL PAYA	2982	8	53	93	25	3161	94.34%
91006	DISTRITO MUNICIPAL CRISTOBAL	1341	8	16	31	27	1423	94.24%
41903	MUNICIPIO VILLA TAPIA	6089	32	136	170	47	6474	94.05%
60906	DISTRITO MUNICIPAL SAN VICTOR	4981	10	75	183	50	5299	94.00%
72709	DISTRITO MUNICIPAL JAIBON	1334	7	21	49	10	1421	93.88%
22108	MUNICIPIO VILLA ALTAGRACIA	18131	24	242	712	237	19346	93.72%
90305	DISTRITO MUNICIPAL UBILLA	2995	1	53	141	9	3199	93.62%
40605	MUNICIPIO PIMENTEL	4316	2	85	137	70	4610	93.62%
91001	MUNICIPIO JIMANI	2442	3	81	72	13	2611	93.53%
90413	DISTRITO MUNICIPAL EL CACHON	489	2	3	19	10	523	93.50%
41406	DISTRITO MUNICIPAL ARROYO SALADO	1764	10	22	72	20	1888	93.43%
41407	DISTRITO MUNICIPAL LA ENTRADA	1687	4	28	70	17	1806	93.41%
90409	DISTRITO MUNICIPAL FUNDACION	836	0	17	38	4	895	93.41%
61809	DISTRITO MUNICIPAL MONTELLANO	4985	15	82	107	160	5349	93.19%
52803	MUNICIPIO PIEDRA BLANCA	2828	12	25	116	55	3036	93.15%
90411	DISTRITO MUNICIPAL CANOA	819	1	10	40	11	881	92.96%
41405	DISTRITO MUNICIPAL SAN JOSE DE MATANZAS	2946	5	35	132	52	3170	92.93%
42002	MUNICIPIO SANCHEZ	6472	18	127	271	86	6974	92.80%
52806	DISTRITO MUNICIPAL JUAN ADRIAN	847	1	9	53	3	913	92.77%
90402	MUNICIPIO CABRAL	3080	2	37	147	56	3322	92.72%
41408	DISTRITO MUNICIPAL EL POZO	2751	8	51	90	74	2974	92.50%
90307	DISTRITO MUNICIPAL EL PALMAR	2148	4	32	94	62	2340	91.79%
41402	MUNICIPIO CABRERA	3285	13	70	140	73	3581	91.73%
40606	MUNICIPIO VILLA RIVA	4489	7	90	260	50	4896	91.69%
42003	MUNICIPIO LAS TERRENAS	3585	5	59	124	164	3937	91.06%
41403	MUNICIPIO EL FACTOR	3324	7	59	213	59	3662	90.77%
51302	MUNICIPIO CONSTANZA	9545	102	108	86	699	10540	90.56%
60903	MUNICIPIO GASPAS HERNANDEZ	4729	20	93	330	55	5227	90.47%
80203	MUNICIPIO LAS CHARCAS	1509	4	40	91	25	1669	90.41%
31101	MUNICIPIO HIGUEY	36127	380	1043	2142	320	40012	90.29%
62510	DISTRITO MUNICIPAL BAITOA	1893	7	71	120	15	2106	89.89%
51305	DISTRITO MUNICIPAL TIREO	3632	13	89	79	231	4044	89.81%
33002	MUNICIPIO SABANA DE LA MAR	3604	9	53	312	40	4018	89.70%
41901	MUNICIPIO SALCEDO	9195	31	163	645	223	10257	89.65%
72703	MUNICIPIO LAGUNA SALADA	3561	15	71	178	154	3979	89.49%
61805	MUNICIPIO LOS HIDALGOS	3157	3	54	271	49	3534	89.33%
91004	DISTRITO MUNICIPAL MELLA	547	1	19	38	8	613	89.23%
80212	DISTRITO MUNICIPAL VILLARPANDO	1525	7	21	155	7	1715	88.92%
72705	DISTRITO MUNICIPAL MAIZAL	2202	9	47	106	115	2479	88.83%
40604	DISTRITO MUNICIPAL HOSTOS	1336	7	49	99	18	1509	88.54%
30802	MUNICIPIO MICHES	4626	17	128	392	68	5231	88.43%
72603	MUNICIPIO MONCION	2679	42	50	170	98	3039	88.15%
40602	MUNICIPIO ARENOSO	3160	37	62	268	59	3586	88.12%
41404	MUNICIPIO RIO SAN JUAN	3735	53	63	328	69	4248	87.92%
31103	DISTRITO MUNICIPAL LAGUNAS DE NISIBON	2144	25	59	183	29	2440	87.87%
22908	DISTRITO MUNICIPAL LOS BOTADOS	3113	8	77	333	14	3545	87.81%
41902	MUNICIPIO TENARES	5624	34	104	474	174	6410	87.74%
41401	MUNICIPIO NAGUA	13191	82	248	1207	307	15035	87.74%
80207	DISTRITO MUNICIPAL NUEVO SABANA YEGUA	4649	11	78	459	119	5316	87.45%
61804	MUNICIPIO IMBERT	6199	21	182	539	172	7113	87.15%
40608	DISTRITO MUNICIPAL AGUA SANTA DEL YUNA	1054	10	15	102	29	1210	87.11%
71502	MUNICIPIO CASTANUELAS	3505	10	67	250	200	4032	86.93%
40609	DISTRITO MUNICIPAL CRISTO REY DE GUARAGU	1718	18	21	186	40	1983	86.64%
60907	DISTRITO MUNICIPAL JOBA ARRIBA	1003	2	23	113	17	1158	86.61%
61803	MUNICIPIO GUANANICO	1550	2	72	144	22	1790	86.59%

REPÚBLICA DOMINICANA

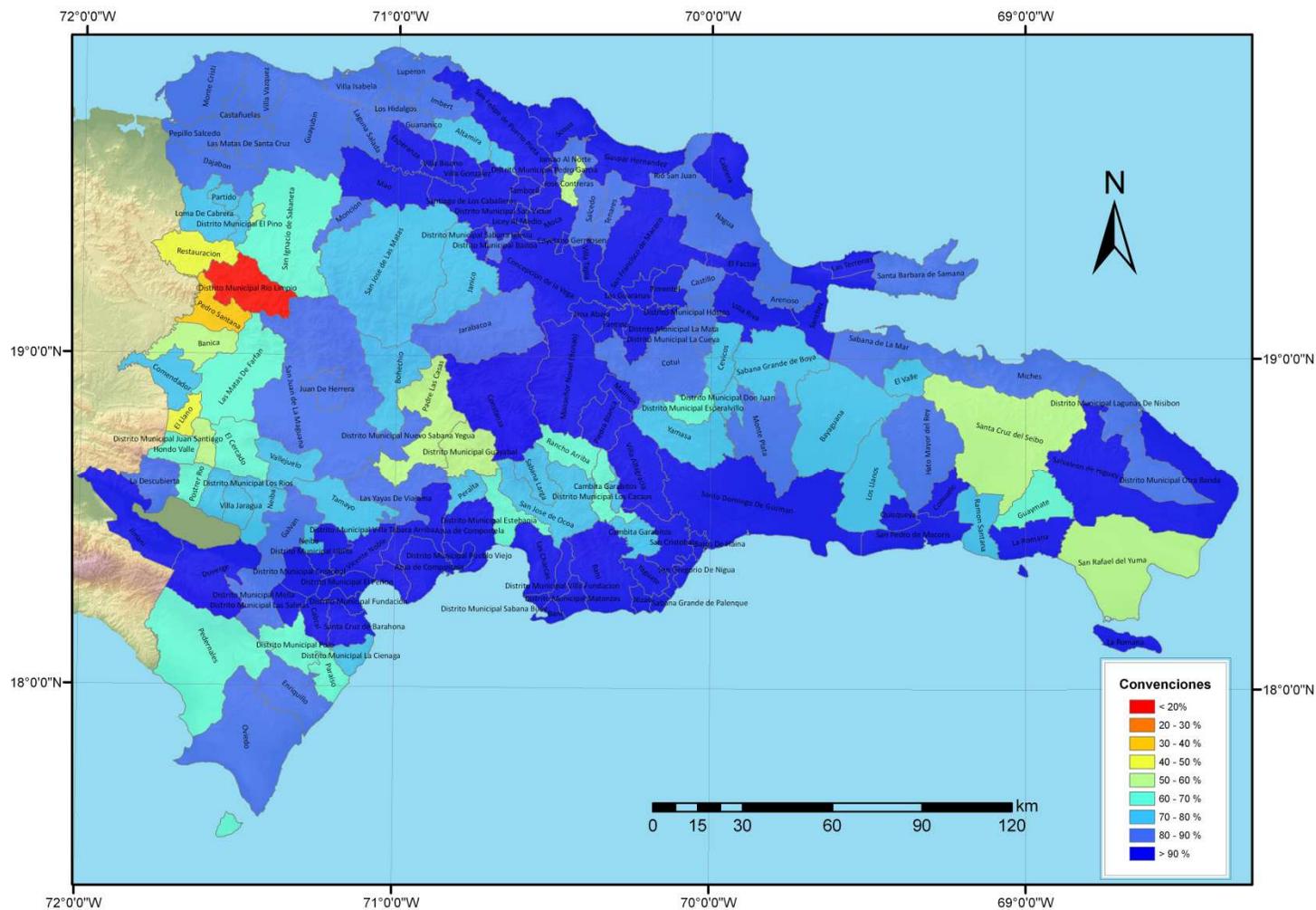
Código	Provincia	Energía del tendido eléctrico	Energía de planta propia	Lámpara de gas propano	Lámpara de gas kerosene	Otro	Total Viviendas	Grado de Electrificación
70501	MUNICIPIO DAJABON	5743	24	160	534	178	6639	86.50%
71504	MUNICIPIO LAS MATAS DE SANTA CRUZ	4107	15	120	268	238	4748	86.50%
61806	MUNICIPIO LUPERON	4290	55	136	282	225	4988	86.01%
52404	DISTRITO MUNICIPAL LA CUEVA	1182	3	13	155	25	1378	85.78%
61808	MUNICIPIO VILLA ISABELA	3152	30	111	344	38	3675	85.77%
91602	MUNICIPIO OVIEDO	824	2	13	74	50	963	85.57%
52401	MUNICIPIO COTUI	15356	44	337	1889	426	18052	85.07%
71501	MUNICIPIO MONTE CRISTI	6174	34	210	572	281	7271	84.91%
90302	MUNICIPIO GALVAN	2754	9	119	328	37	3247	84.82%
31104	DISTRITO MUNICIPAL OTRA BANDA	3282	66	155	308	60	3871	84.78%
91003	MUNICIPIO LA DESCUBIERTA	1403	4	18	223	11	1659	84.57%
61810	DISTRITO MUNICIPAL ESTERO HONDO	856	4	40	93	20	1013	84.50%
72704	DISTRITO MUNICIPAL AMINA	2092	9	66	213	96	2476	84.49%
82204	MUNICIPIO JUAN DE HERRERA	2723	0	126	308	68	3225	84.43%
91603	DISTRITO MUNICIPAL JUANCHO	694	3	15	93	17	822	84.43%
22901	MUNICIPIO MONTE PLATA	8595	19	255	1185	127	10181	84.42%
40603	MUNICIPIO CASTILLO	3627	30	129	406	130	4322	83.92%
72710	DISTRITO MUNICIPAL LA CAYA	313	2	5	28	26	374	83.69%
42001	MUNICIPIO SAMANA	10952	172	462	1381	122	13089	83.67%
33001	MUNICIPIO HATO MAYOR	9264	62	264	1277	301	11168	82.95%
71503	MUNICIPIO GUAYUBIN	1780	4	70	218	76	2148	82.87%
80204	MUNICIPIO LAS YAYAS DE VIAJAMA	2210	8	59	360	42	2679	82.49%
71506	MUNICIPIO VILLA VAZQUEZ	3313	38	136	336	205	4028	82.25%
72707	DISTRITO MUNICIPAL GUATAPANAL	1676	3	85	201	88	2053	81.64%
60905	MUNICIPIO JAMAO AL NORTE	1738	15	46	257	80	2136	81.37%
82201	MUNICIPIO SAN JUAN	25526	51	1068	4192	558	31395	81.31%
71507	DISTRITO MUNICIPAL VILLA ELISA	1538	4	74	235	49	1900	80.95%
33007	DISTRITO MUNICIPAL GUAYABO DULCE	1606	5	37	298	42	1988	80.78%
71505	MUNICIPIO PEPILLO SALCEDO	2195	12	65	271	180	2723	80.61%
33004	DISTRITO MUNICIPAL ELUPINA CORDERO	726	2	17	144	14	903	80.40%
51303	MUNICIPIO JARABACOA	11345	155	573	1259	781	14113	80.39%
90403	MUNICIPIO ENRIQUILLO	2646	6	56	569	29	3306	80.04%
72708	DISTRITO MUNICIPAL JICOME	1056	2	23	173	69	1323	79.82%
90304	MUNICIPIO TAMAYO	1860	17	152	280	28	2337	79.59%
31105	DISTRITO MUNICIPAL BOCA DE YUMA	433	8	23	63	19	546	79.30%
32302	MUNICIPIO LOS LLANOS	4564	10	248	859	165	5846	78.07%
80206	MUNICIPIO PERALTA	1779	5	67	416	21	2288	77.75%
82206	MUNICIPIO VALLEJUÉLO	1986	9	55	480	25	2555	77.73%
70505	DISTRITO MUNICIPAL EL PINO	1348	9	59	223	96	1735	77.69%
70503	MUNICIPIO PARTIDO	1533	28	57	298	92	2008	76.34%
22104	MUNICIPIO CAMBITA GARABITOS	5396	14	271	1260	144	7085	76.16%
70502	MUNICIPIO LOMA DE CABRERA	3001	8	114	593	231	3947	76.03%
32303	MUNICIPIO RAMON SANTANA	2032	15	73	477	76	2673	76.02%
90301	MUNICIPIO NEIBA	4232	13	204	1071	47	5567	76.02%
22903	MUNICIPIO SABANA GRANDE DE BOYA	4818	51	156	1193	136	6354	75.83%
33003	MUNICIPIO EL VALLE	1660	16	66	410	43	2195	75.63%
62503	MUNICIPIO JANICO	2874	158	162	531	91	3816	75.31%
62505	MUNICIPIO SAN JOSE DE LAS MATAS	6566	128	432	1061	532	8719	75.31%
23101	MUNICIPIO SAN JOSE DE OCOA	6642	22	347	1737	115	8863	74.94%
90303	DISTRITO MUNICIPAL LOS RIOS	1215	0	46	301	66	1628	74.63%
90306	MUNICIPIO VILLA JARAGUA	1911	0	54	589	14	2568	74.42%
90410	DISTRITO MUNICIPAL LA CIENAGA	1368	1	36	399	36	1840	74.35%
22905	DISTRITO MUNICIPAL DON JUAN	1720	11	42	448	103	2324	74.01%
22902	MUNICIPIO BAYAGUANA	6860	46	214	1975	193	9288	73.86%
52402	MUNICIPIO CÉVICOS	1702	7	50	502	56	2317	73.46%
71509	DISTRITO MUNICIPAL CANA CHAPETON	1765	12	165	361	110	2413	73.15%
23102	MUNICIPIO SABANA LARGA	2124	46	109	527	98	2904	73.14%
82202	MUNICIPIO BOHECHIO	1641	4	80	408	114	2247	73.03%
80701	MUNICIPIO COMENDADOR	4194	9	242	1100	203	5748	72.96%
40610	DISTRITO MUNICIPAL LA PENNA	2435	72	152	584	105	3348	72.73%
61802	MUNICIPIO ALTAMIRA	4686	30	265	1341	157	6479	72.33%

REPÚBLICA DOMINICANA

Código	Provincia	Energía del tendido eléctrico	Energía de planta própia	Lámpara de gas propano	Lámpara de gas kerosene	Otro	Total Viviendas	Grado de Electrificación
62508	DISTRITO MUNICIPAL PEDRO GARCIA	861	2	63	226	41	1193	72.17%
32306	DISTRITO MUNICIPAL EL PUERTO	916	0	42	291	38	1287	71.17%
22904	MUNICIPIO YAMASA	6534	33	352	2200	110	9229	70.80%
91601	MUNICIPIO PEDERNALES	2199	17	142	654	146	3158	69.63%
82205	MUNICIPIO LAS MATAS DE FARFAN	6315	33	382	2215	137	9082	69.53%
80209	DISTRITO MUNICIPAL ESTEBANIA	1217	3	137	300	97	1754	69.38%
82203	MUNICIPIO EL CERCADO	3820	9	209	1414	96	5548	68.85%
72706	DISTRITO MUNICIPAL JAIBON DE PUEBLO NUEVO	1601	4	188	320	266	2379	67.30%
71508	DISTRITO MUNICIPAL HATILLO PALMA	1488	9	75	443	215	2230	66.73%
91005	MUNICIPIO POSTRER RIO	475	1	27	204	22	729	65.16%
82208	DISTRITO MUNICIPAL PEDRO CORTO	1012	1	103	437	14	1567	64.58%
33005	DISTRITO MUNICIPAL YERBA BUENA	556	8	40	250	9	863	64.43%
80704	MUNICIPIO HONDO VALLE	1546	3	104	452	307	2412	64.10%
90406	DISTRITO MUNICIPAL POLO	1303	11	49	588	83	2034	64.06%
22906	DISTRITO MUNICIPAL ESPERALVILLO	2670	60	69	1177	211	4187	63.77%
30803	DISTRITO MUNICIPAL PEDRO SANCHEZ	750	17	47	359	9	1182	63.45%
22103	DISTRITO MUNICIPAL LOS CACAOS	1096	6	114	515	7	1738	63.06%
72601	MUNICIPIO SAN IGNACIO DE SABANETA	5647	134	318	1461	1469	9029	62.54%
23103	MUNICIPIO RANCHO ARRIBA	1875	28	212	791	107	3013	62.23%
90405	MUNICIPIO PARAISO	1997	13	74	1081	83	3248	61.48%
33006	DISTRITO MUNICIPAL MATA PALACIO	1212	19	43	641	73	1988	60.97%
31202	MUNICIPIO GUAYMATE	2813	37	202	1520	108	4680	60.11%
22909	DISTRITO MUNICIPAL MAJAGUAL	439	0	20	270	9	738	59.49%
41904	DISTRITO MUNICIPAL BLANCO	830	26	49	442	72	1419	58.49%
30801	MUNICIPIO EL SEIBO	10048	210	1056	5508	561	17383	57.80%
80702	MUNICIPIO BANICA	966	13	116	574	93	1762	54.82%
72602	MUNICIPIO VILLA LOS ALMACIGOS	1688	39	95	960	312	3094	54.56%
60904	MUNICIPIO JOSÉ CONTRERAS	723	37	59	298	210	1327	54.48%
91007	DISTRITO MUNICIPAL GUAYABAL	350	3	17	250	27	647	54.10%
80706	DISTRITO MUNICIPAL JUAN SANTIAGO	570	5	45	402	48	1070	53.27%
23104	DISTRITO MUNICIPAL LA CIENAGA	678	4	116	467	34	1299	52.19%
61811	DISTRITO MUNICIPAL LA ISABELA	193	12	58	59	50	372	51.88%
31102	MUNICIPIO SAN RAFAEL DEL YUMA	2465	121	390	1546	262	4784	51.53%
80202	DISTRITO MUNICIPAL GUAYABAL	593	1	51	468	38	1151	51.52%
80205	MUNICIPIO PADRE LAS CASAS	2606	17	313	1687	482	5105	51.05%
80703	MUNICIPIO EL LLANO	838	9	108	849	53	1857	45.13%
70504	MUNICIPIO RESTAURACION	735	14	106	543	245	1643	44.74%
82207	DISTRITO MUNICIPAL MATAYAYA	997	6	90	1178	29	2300	43.35%
22907	DISTRITO MUNICIPAL GONZALO	664	21	80	721	49	1535	43.26%
62512	DISTRITO MUNICIPAL EL RUBIO	836	104	157	589	378	2064	40.50%
80705	MUNICIPIO PEDRO SANTANA	272	1	19	373	228	893	30.46%
62513	DISTRITO MUNICIPAL JUNCALITO	245	352	114	509	156	1376	17.81%
80707	DISTRITO MUNICIPAL RIO LIMPIO	93	2	39	334	323	791	11.76%

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 3.8. Grado de electrificación por municipio (Censo de 2002)



3.4 LIMITACIONES DEL ANÁLISIS DEL GRADO DE ELECTRIFICACIÓN

Las principales limitaciones que surgen del análisis anterior son las siguientes:

- La información de parajes y su grado de electrificación corresponde al viejo censo de 2002
- La información sobre las viviendas está agregada al polígono paraje y por tanto no se conoce dentro del paraje la ubicación de las viviendas.
- Las redes que se han integrado a nivel nacional no se encuentran actualizadas en numerosos parajes del país porque ya a 2002 esos parajes poseían algún grado de electrificación con red.
- Es recomendable que el Censo 2010 pregunte directamente sobre el tipo de electrificación de que disponen las viviendas y considerar explícitamente la electrificación con sistemas solares fotovoltaicos, de amplio uso en el país, y las plantas eléctricas que se emplean, así como otros aprovechamientos como PCH's y aerogeneradores.
- Solamente con la realización de un nuevo censo se podrá determinar el grado de electrificación del país y permitirá obtener una imagen más actual del servicio de energía eléctrica por red en el país.
- Por tanto, se recomienda que la UERS interactúe lo más pronto posible con el ONE para que se tengan en cuenta las preguntas necesarias para establecer con mayor precisión el grado de electrificación del país.

4. TECNOLOGÍAS SOLAR, EÓLICA Y PCH

Este capítulo tiene por objetivo describir las tecnologías de energía renovables que se emplean para el suministro de electricidad en este estudio: Sistemas solares fotovoltaicos, sistemas eólicos y PCH's.

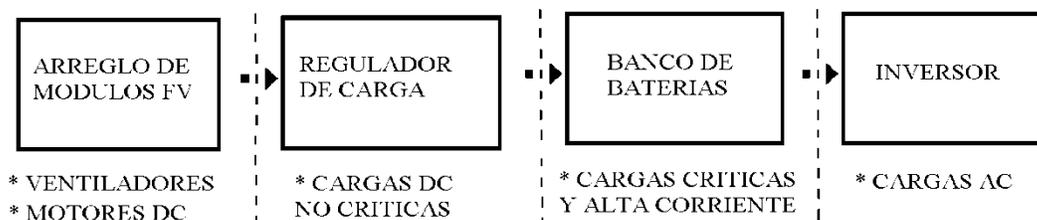
4.1 SFV STANDARD PARA VIVIENDAS

4.1.1 Introducción

Los sistemas solares fotovoltaicos (SFV) son equipos ampliamente conocidos en la RD en el sector rural y se han utilizado en el país desde hace más de dos décadas.

Los **componentes** de un SFV pueden incluir, en general, un generador fotovoltaico o arreglo de módulos FV, controlador o regulador de carga, banco de baterías, acondicionador de potencia (convertidor CC/CC)³², inversor CC/CA, además de elementos de montaje y otros (Ver Figura 4.1).

Figura 4.1. Componentes de un SFV



Sin embargo, la **configuración final de un SFV depende de las características de la carga** (DC o AC, nivel tensión, nivel de corriente, horas de utilización, criticidad, confiabilidad, etc.):

- La carga requiere potencia **solo cuando hay sol**. En este caso la potencia se entrega directamente del **generador fotovoltaico o arreglo solar** y no se requieren más componentes. Cargas ejemplo son: ventiladores, bombeo de agua, juguetes, etc. En la Figura 4.1, este tipo de sistema corresponde solo al primer elemento y se trata entonces del SFV más simple.

³² Se usa indistintamente CC o DC por corriente continua o directa, CA o AC por corriente alterna.

- La carga requiere de **alimentación nocturna** (iluminación, radio, TV, comunicaciones, refrigeración, etc.). El SFV requiere además del módulo FV adicionalmente de **baterías** para almacenar la energía. También, para un adecuado manejo de la batería requiere adicionalmente de un regulador o **controlador de carga**. En la Figura 4.1, este sistema corresponde a los tres primeros componentes.
- Si la carga es de **corriente alterna** (tipo CA), entonces se requiere convertir la corriente DC en CA mediante un **inversor CC/CA**. En la Figura 4.1, este sistema corresponde a todos los cuatro elementos.
- Es claro que un SFV del último tipo puede atender tanto cargas de CC como CA.

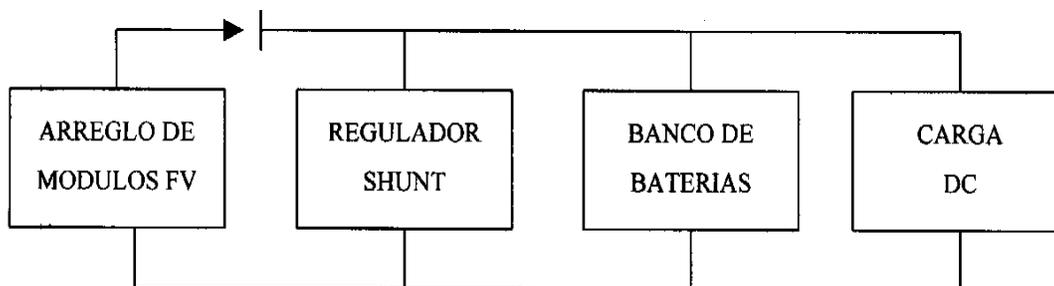
El SFV también requiere de elementos de soporte del generador fotovoltaico, contenedor (o lugar apropiado) para las baterías y accesorios de instalación (cables, interruptores, cajas y tableros de conexión, entre otros).

4.1.2 Diagrama de bloque de los SFV autónomos

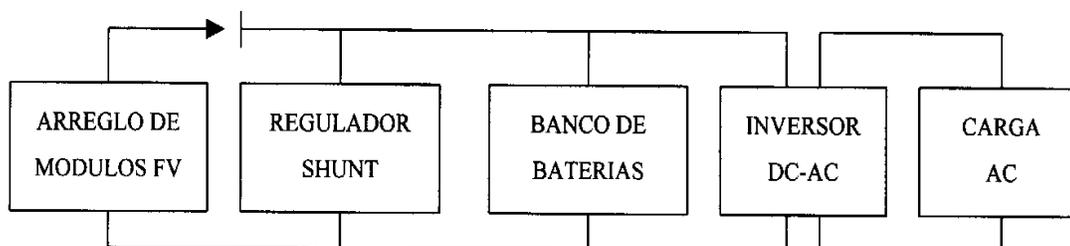
Estos sistemas pueden emplearse para diferentes tipos de aplicaciones, entre los cuales se tiene las aplicaciones domésticas, comunitarias, repetidoras, entre otras, con suministro de DC o AC o ambos, y en potencias desde 50 Wp hasta 100 kWp.

Los SFVs para suministro en modo DC consisten del arreglo de módulos, diodos de by-pass y de bloqueo, regulador de carga, banco de baterías y carga (Figura 4.2).

Figura 4.2. Componentes de un SFV para suministro DC



Los sistemas para cargas AC incluyen, adicionalmente al sistema anterior, un inversor DC-AC (Figura 4.3).

Figura 4.3. Componentes de un SFV para suministro AC

Las cargas de los equipos a recibir suministro de electricidad se caracterizan por:

- Tipo de equipo
- Demanda de potencia:
 - Potencia CC
 - Potencia CA, pico de tensión en arranque (surge)
- Nivel de tensión (CC o CA)
- Rango de aceptabilidad de tensión (% sobre tensión nominal)
- Tiempo de uso (h/día, h/semana)

Especificados las cargas, estas permiten determinar el tipo de suministro (CC, CA o ambos), la forma de uso (o tiempo de uso), y con ello a definir el tipo de sistema a emplear. En este proyecto solamente se **considerarán SFV para suministro AC** por la conveniencia de la AC para los usuarios y los menores costos de los equipos AC.

4.1.3 Servicios básicos a suministrar con SFV Standard

Una de las características de los SFV es que suministran una cantidad limitada de energía. Por lo tanto, para determinar la capacidad de los sistemas de generación es necesario caracterizar la demanda, en términos de los servicios que se desean prestar.

Si se tiene en cuenta que la mayoría de los usuarios del sector rural en RD requieren la satisfacción de las necesidades básicas mediante los siguientes servicios:

- 4 puntos de iluminación durante 2 horas al día cada uno para un total de 8 horas/día de iluminación
- 1 TV en blanco y negro de 14 pulgadas, operando durante 4 horas al día
- 1 radio-casette u equipo similar operando 5 horas al día.

REPÚBLICA DOMINICANA

La Tabla 4.1 muestra el cálculo de la energía demandada para satisfacer estos servicios empleando un sistema SFV a AC, que corresponde 280 Wh/día a 120 V AC (295 Wh/día en DC al considerar una eficiencia del inversor de 95%).

Tabla 4.1. Demanda de energía por servicios básicos SFV Standard

Ab. CARGA AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7'=A6*A7	A8	A9=A1x A2x A3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	4	15	60	2	120	0
Radio-Casette	1	20	20	5	100	0
TV Blanco y Negro, 14"	1	15	15	4	60	0

A11	Carga AC total diaria (Sumar columna A9)	280 Vatios-hora/día AC
-----	------------------------------------------	------------------------

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	95.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	295 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	95 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	100 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	95 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC

LFC: Lámpara fluorescente compacta

4.1.4 Localización del SFV Standard

El potencial de energía solar en RD es elevado y el rango de valores del potencial solar varía entre 5 y 6 kWh/m²/día promedio anual en el país (Ver Secc. 2.1.5). Estos valores tienen una incertidumbre que oscila entre $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$. Puesto que ha mayor cantidad de energía solar disponible, para un mismo equipo, más generación se tiene, se considera entonces que es mejor diseñar un SFV Standard que genere la demanda con el menor valor de energía solar disponible y *al emplear este sistema en cualquiera otra localidad con mayor energía solar, simplemente el usuario tendrá mayor tiempo de servicio en sus equipos.*

Un lugar que satisface esa condición de baja radiación solar en RD es El Seibo, Naranjo Dulce, lugar o vecindad donde se encuentran usuarios sin conexión a la red. Esta localidad tiene las coordenadas que se dan en la tabla siguiente.

4.1.5 Energía solar disponible

Empleando el software desarrollado en este proyecto (Ver Secc. 8.1), se encontraron los resultados de la tabla que se da a continuación.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 4.2. Energía solar disponible en El Seibo- Naranjo Dulce

RECURSO SOLAR EN REPÚBLICA DOMINICANA

Lugar	El Seibo- Naranjo Dulce		
Longitud	-68.9 °	68 °	52.8 °
Latitud	18.8 °	18 °	48.6 °

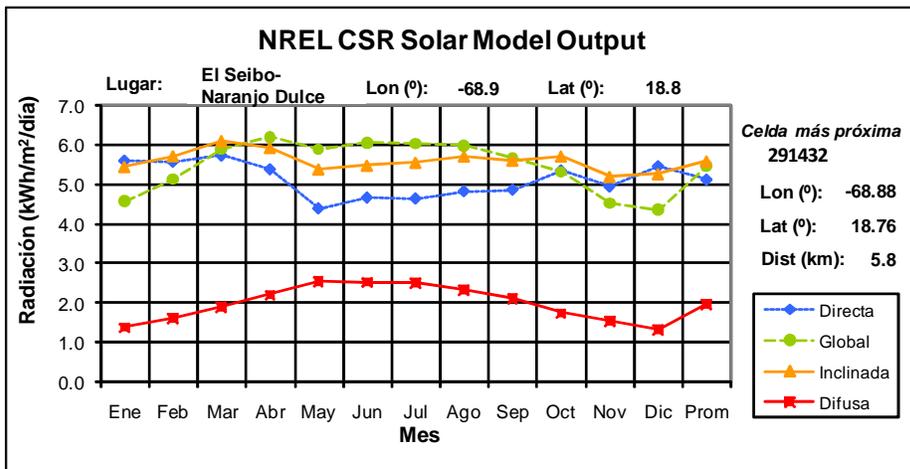
Iniciar Búsqueda

Regresar

Celda más Próxima al Lugar

Celda No.	291432
Longitud	-68.88 °
Latitud	18.76 °
Distancia al lugar	0.05 °
Distancia al lugar	5.8 km

Tipo de Radiación	Radiación Mensual (kWh/m ² /día)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Directa	5.58	5.56	5.72	5.37	4.38	4.65	4.63	4.82	4.85	5.33	4.94	5.44	5.11
Global	4.55	5.12	5.87	6.18	5.87	6.04	6.01	5.95	5.65	5.29	4.50	4.33	5.45
Inclinada	5.43	5.70	6.08	5.91	5.37	5.46	5.54	5.70	5.59	5.69	5.18	5.25	5.57
Difusa	1.37	1.61	1.88	2.20	2.54	2.51	2.49	2.31	2.11	1.73	1.54	1.31	1.97



REPÚBLICA DOMINICANA

4.1.6 Dimensionamiento del SFV Standard

La tabla siguiente muestra los resultados del programa RENER_RD_V1.0 para el dimensionamiento de los SFV para El Seibo, Naranja Dulce, bajo las condiciones de demanda y radiación antes mencionados.

Tabla 4.3. A. Dimensionamiento del SFV Standard (para El Seibo- Naranja Dulce)

B. CARACTERISTICAS GENERALES

B1	Carga DC diaria (A5)	0 Wh
B2	Carga DC (de cargas AC) diaria (A13)	295 Wh
B3	Carga DC total diaria (B1 + B2)	295 Wh
B4	Tensión DC del sistema	12 V
B5	Carga diaria corriente DC (B3/B4)	25 Ah
B6	Eficiencia del ciclo de baterías (0.7 a 0.85)	0.75
B7	Carga DC diaria corregida (B3/B6)	393.0 Wh
B8	Carga corriente DC diaria corregida (B7/B4)	32.7 Ah
B9	Corriente pico del SFV (B8/C3)	6.3 Ap

C. DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR FV

C1	Inclinación del generador	Igual a la Latitud
C2	Mes de diseño	Noviembre
C3	Radiación solar correspondiente al mes de mas baja radiación	5.18 HSS
C4	Carga DC diaria corregida (D7)	393 Wh
C5	Factor de derateo de los módulos * 80% clima caliente y aplicaciones críticas * 90% clima templado y aplicaciones no críticas	80%
Potencia pico requerida		94.8 Wp

Selección de módulos para el generador solar

De información de catálogo de módulos

C6	Potencia pico del modulo seleccionado	94.8 Wp
C7	Tensión DC nominal módulo	12 VDC
C8	Energía diaria generada por cada módulo (C3*C5*C6)	393.0 Wh
C9	Tensión DC nominal del sistema (B4)	12 VDC
C10	Numero módulos serie en cada arreglo (C9/C7)	1 Módulos en serie
C11	Arreglos de arreglos de módulos en paralelo (C4/C8/C11) (Redondeado)	1 Arreglos en paralelo
C12	Numero total de módulos (C10xC11)	1 Módulos en total
C13	Generación del sistema	0.00%
<p>0% < Generación < 10% Si es <0, aumentar capacidad del módulo Si es >10%, disminuir capacidad del módulo</p>		

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 4.4. B. Dimensionamiento del SFV Standard (para El Seibo- Naranja Dulce)

D. DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERIAS

D1	Carga DC total diaria (B7)	24.6 Ah
D2	Días de reserva (emplear de 3 a 7 días)	3 Días
D3	Capacidad nominal banco de baterías (D1xD2)	74 Ah
D4	Profundidad descarga (<100 %)	80%
D5	Capacidad corregida banco baterías (D3/D4)	92 Ah
Viene de información catálogo		
D6	Capacidad nominal batería	120 Ah
D7	Tensión DC nominal batería	6 VDC
D8	Arreglos de baterías en paralelo	1 Arreglos en paralelo
D9	Tensión DC nominal del sistema (B4)	12 VDC
D10	Numero baterías en serie en cada arreglo (D9/D7)	2 Baterías en serie en cada arreglo
D11	Numero total baterías (D8xD10)	2 Baterías en total
D12	Capacidad total del banco de baterías (D6 x D11)	240 Ah
D13	Capacidad total del banco (D12xD7/1000)	1.4 kWh
D14	Profundidad de descarga diaria promedio (D12/D1)	10.23%

E. DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR E INVERSOR

E1	Corriente pico del generador solar	7.9 A
E2	Factor de Regulador	95%
E3	Capacidad del Regulador de Carga	8.3 A
E4	Carga máxima continua AC	95 W
E5	Carga máxima surge AC	95 W

4.1.7 Especificaciones PRELIMINARES del SFV Estándar para RD

La tabla siguiente muestra los resultados PRELIMINARES de la dimensionalización, los cuales *no se pueden considerar como definitivos hasta tanto no se simule el comportamiento del SFV con un software apropiado*. Las especificaciones preliminares del SFV Standard son:

Tabla 4.5. Especificaciones PRELIMINARES del SFV Standard

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	280	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	94.8	Wp
Capacidad del banco de baterías	92	Ah
Regulador de carga	7.7	A
Inversor	400	W

4.1.8 Especificaciones DEFINITIVAS del SFV Estándar para RD

Como resultado de la simulación de HOMER^{®33} (Ver Secc. 10.2.2), la tabla siguiente muestra el sistema optimizado propuesto.

Tabla 4.6. Características del SFV Standard Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	280	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	100	Wp
Capacidad del banco de baterías	2*55 = 110	Ah
Regulador de carga	>7.7	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 100 Wp, 2 baterías de 12 VDC de 55 Ah en paralelo del tipo “Absorbent glass mat (AGM) sealed deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 7.7 Ah (preferiblemente de 10A o más para que corresponda con productos comerciales) y un inversor de 400 W.

En una licitación, los oferentes pueden ofrecer una Capacidad de Generación, de Banco de Baterías y de Regulador de Carga mayores.

4.2 SFV PARA ESCUELAS

Con los SFV es posible satisfacer mayores demandas de energía, como por ejemplo, las de las escuelas y puestos de salud. En esta sección se considerará el diseño del “SFV Escuelas” que es un sistema estándar para ser empleados en escuelas de RD. El procedimiento es igual al desarrollado en la sección SFV Standard para viviendas.

4.2.1 Servicios básicos a suministrar con SFV Escuelas

La Tabla 4.7 muestra las cargas y el cálculo de la energía demandada para satisfacer estos servicios empleando un sistema SFV a AC, que corresponde 1536 Wh/día a 120 V AC (1.617 Wh/día en DC al considerar una eficiencia del inversor de 95%). Es importante anotar que si bien las escuelas tienen mayor número de LFC’s, entre 2 y 6 dependiendo del tamaño del

³³ HOMER es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

REPÚBLICA DOMINICANA

salón, no todas se encienden al tiempo y por tanto se supone en promedio 3 de ellas se encienden durante 4 horas/noche.

Tabla 4.7. Demanda de energía por servicios básicos SFV Escuelas

Ab. CARGA AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7=A6*A7	A8	A9=A1xA2xA3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	3	18	54	4	216	0
TV 21"	1	90	90	4	360	0
Computadores	2	120	240	4	960	0

A11	Carga AC total diaria (Sumar columna A9)	1536 Vatios-hora/día AC
-----	------------------------------------------	-------------------------

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	95.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	1617 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	384 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	404 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	384 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC

LFC: Lámpara fluorescente compacta

4.2.2 Localización del SFV Escuelas

El potencial de energía solar en RD es elevado y el rango de valores del potencial solar varía entre 5 y 6 kWh/m²/día promedio anual en el país (Ver Secc.2.1.5). Estos valores tienen una incertidumbre que oscila entre $\pm 5\%$ y $\pm 10\%$. Puesto que ha mayor cantidad de energía solar disponible, para un mismo equipo, más generación se tiene, se considera entonces que es mejor diseñar un SFV Standard que genere la demanda con el menor valor de energía solar disponible y *al emplear este sistema en cualquiera otra localidad con mayor energía solar, simplemente el usuario tendrá mayor tiempo de servicio en sus equipos.*

Un lugar que satisface esa condición de baja radiación solar en RD es El Seibo, Naranja Dulce, lugar o vecindad donde se encuentran usuarios sin conexión a la red. Esta localidad tiene las coordenadas que se dan en la tabla siguiente.

4.2.3 Energía solar disponible

Empleando el software desarrollado en este proyecto (Ver Secc. 8.1), se encontraron los resultados de la tabla que se da a continuación.

Tabla 4.8. Energía solar disponible en El Seibo- Naranjo Dulce

RECURSO SOLAR EN REPÚBLICA DOMINICANA

Lugar	El Seibo- Naranjo Dulce		
Longitud	-68.9 °	68 °	52.8 °
Latitud	18.8 °	18 °	48.6 °

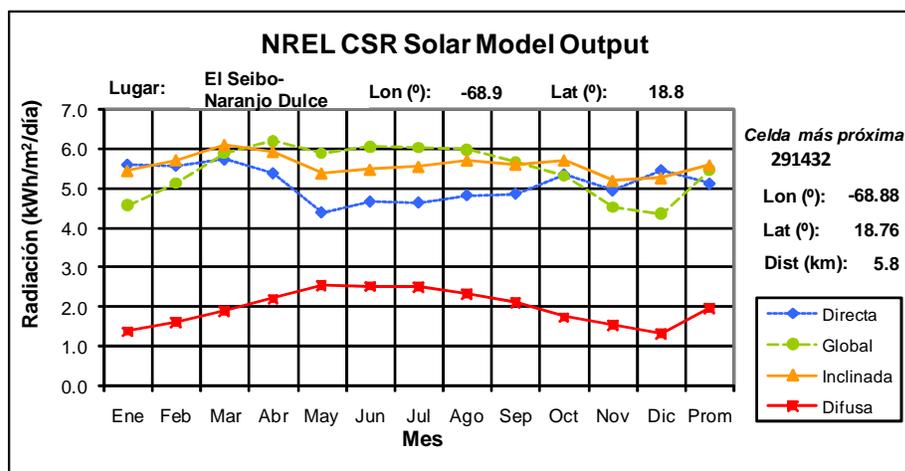
Iniciar Búsqueda

Regresar

Celda más Próxima al Lugar

Celda No.	291432
Longitud	-68.88 °
Latitud	18.76 °
Distancia al lugar	0.05 °
Distancia al lugar	5.8 km

Tipo de Radiación	Radiación Mensual (kWh/m ² /día)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Directa	5.58	5.56	5.72	5.37	4.38	4.65	4.63	4.82	4.85	5.33	4.94	5.44	5.11
Global	4.55	5.12	5.87	6.18	5.87	6.04	6.01	5.95	5.65	5.29	4.50	4.33	5.45
Inclinada	5.43	5.70	6.08	5.91	5.37	5.46	5.54	5.70	5.59	5.69	5.18	5.25	5.57
Difusa	1.37	1.61	1.88	2.20	2.54	2.51	2.49	2.31	2.11	1.73	1.54	1.31	1.97



4.2.4 Dimensionamiento del SFV Escuelas

La tabla siguiente muestra los resultados del programa RENER_RD_V1.0.xls para el dimensionamiento de los SFV Escuelas para El Seibo, Naranjo Dulce, bajo las condiciones de demanda y radiación antes mencionados.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 4.9. Dimensionamiento del SFV Escuelas (para El Seibo- Naranjo Dulce)

B. CARACTERISTICAS GENERALES

B1	Carga DC diaria (A5)	0 Wh
B2	Carga DC (de cargas AC) diaria (A13)	1617 Wh
B3	Carga DC total diaria (B1 + B2)	1617 Wh
B4	Tensión DC del sistema	12 V
B5	Carga diaria corriente DC (B3/B4)	135 Ah
B6	Eficiencia del ciclo de baterías (0.7 a 0.85)	0.85
B7	Carga DC diaria corregida (B3/B6)	1902.2 Wh
B8	Carga corriente DC diaria corregida (B7/B4)	158.5 Ah
B9	Corriente pico del SFV (B8/C3)	30.6 Ap

C. DIMENSIONAMIENTO DEL GENERADOR FV

C1	Inclinación del generador	Igual a la Latitud
C2	Mes de diseño	Noviembre
C3	Radiación solar correspondiente al mes de mas baja radiación	5.18 HSS
C4	Carga DC diaria corregida (D7)	1902 Wh
C5	Factor de derateo de los módulos	80%
	* 80% clima caliente y aplicaciones críticas	
	* 90% clima templado y aplicaciones no críticas	
	Potencia pico requerida	459.0 Wp

Selección de módulos para el generador solar

De información de catálogo de módulos

C6	Potencia pico del modulo seleccionado	50.0 Wp
C7	Tensión DC nominal módulo	12 VDC
C8	Energía diaria generada por cada módulo (C3*C5*C6)	207.2 Wh
C9	Tensión DC nominal del sistema (B4)	12 VDC
C10	Numero módulos serie en cada arreglo (C9/C7)	1 Módulos en serie
C11	Arreglos de arreglos de módulos en paralelo (C4/C8/C11) (Redondeado)	9 Arreglos en paralelo
C12	Numero total de módulos (C10xC11)	10 Módulos en total
C13	Generación del sistema	8.93%
	<i>0% < Generación < 10%</i>	
	<i>Si es <0, aumentar capacidad del módulo</i>	
	<i>Si es >10%, disminuir capacidad del módulo</i>	

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 4.10. Dimensionamiento del SFV Escuelas (para El Seibo- Naranja Dulce)

D. DIMENSIONAMIENTO DEL BANCO DE BATERIAS

D1	Carga DC total diaria (B7)	134.7 Ah
D2	Días de reserva (emplear de 3 a 7 días)	3 Días
D3	Capacidad nominal banco de baterías (D1xD2)	404 Ah
D4	Profundidad descarga (<100 %)	80%
D5	Capacidad corregida banco baterías (D3/D4)	505 Ah
<i>Viene de información catálogo</i>		
D6	Capacidad nominal batería	225 Ah
D7	Tensión DC nominal batería	6 VDC
D8	Arreglos de baterías en paralelo	2 Arreglos en paralelo
D9	Tensión DC nominal del sistema (B4)	12 VDC
D10	Numero baterías en serie en cada arreglo (D9/D7)	2 Baterías en serie en cada arreglo
D11	Numero total baterías (D8xD10)	4 Baterías en total
D12	Capacidad total del banco de baterías (D6 x D11)	900 Ah
D13	Capacidad total del banco (D12xD7/1000)	5.4 kWh
D14	Profundidad de descarga diaria promedio (D12/D1)	14.97%

E. DIMENSIONAMIENTO DEL REGULADOR E INVERSOR

E1	Corriente pico del generador solar	38.3 A
E2	Factor de Regulador	95%
E3	Capacidad del Regulador de Carga	40.2 A
E4	Carga máxima continua AC	384 W
E5	Carga máxima surge AC	384 W

4.2.5 Especificaciones PRELIMINARES del SFV Escuelas para RD

La tabla siguiente muestra los resultados PRELIMINARES de la dimensionalización, los cuales *no se pueden considerar como definitivos hasta tanto no se simule el comportamiento del SFV con un software apropiado*. Las especificaciones preliminares del SFV Escuelas son:

Tabla 4.11. Especificaciones PRELIMINARES del SFV Escuelas

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1536	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	459	Wp
Capacidad del banco de baterías	505	Ah
Regulador de carga	40.2	A
Inversor	384	W

4.2.6 Especificaciones DEFINITIVAS del SFV Escuelas para RD

Como resultado de la simulación de HOMER (Ver Secc. 10.2.2), la tabla siguiente muestra el sistema optimizado propuesto.

Tabla 4.12. Características del SFV Escuelas Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1536	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	500	Wp
Capacidad del banco de baterías	450	Ah
Regulador de carga	50	A
Inversor	1000	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 500 Wp, 4 baterías de 6 VDC de 225 Ah * 2, un regulador de carga de capacidad superior o igual a 50 A a 12 VDC y un inversor de 1000 W.

En una licitación, los oferentes pueden ofrecer una Capacidad de Generación, de Banco de Baterías y de Regulador de Carga mayores.

4.2.7 Sistemas Fotovoltaicos instalados en RD a 2009

La Figura 4.4 muestra los SFV instalados en RD a 2009, en total fueron 10.000 sistemas individuales de 50 y 70 Wp y 50 sistemas de 900 Wp en centros de salud. La Figura 4.5 muestra la potencia instalada de estos sistemas por provincia.

4.3 SISTEMAS EÓLICOS PARA VIVIENDAS

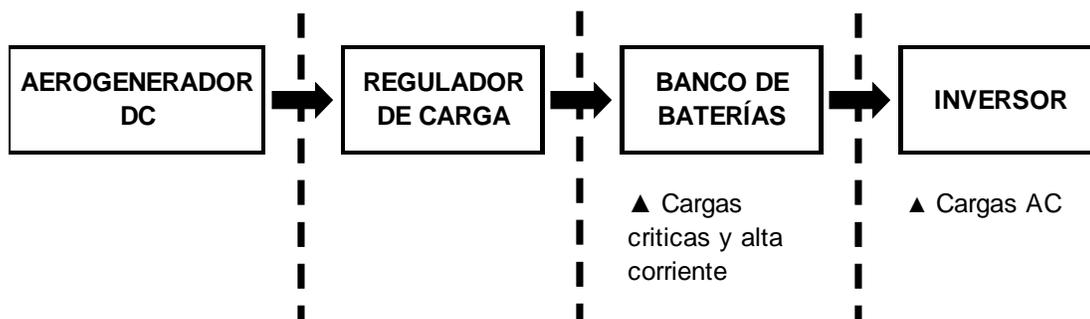
Los sistemas eólicos (SE) se han empleado en la RD en el sector rural con fines demostrativos, siendo su número limitado y no habiendo alcanzado el grado de difusión de los SFVs.

4.3.1 Diagrama de bloque de los SE autónomos

Estos sistemas autónomos (no interconectados a la red) pueden emplearse para diferentes tipos de aplicaciones, entre los cuales se tiene las aplicaciones domésticas, comunitarias, repetidoras, entre otras, con suministro de DC o AC o ambos, aunque generalmente se emplean para el suministro en AC.

Las componentes de un SE de pequeña capacidad (<10 kW) incluyen un generador eólico DC (a 12, 24 o 48 VDC), controlador o regulador de carga, banco de baterías, acondicionador de potencia (convertidor CC/CC)³⁴, inversor CC/CA, además de elementos de montaje y otros (Figura 4.6).

Figura 4.6. Componentes de un SE para suministro AC



4.3.2 Servicios básicos a suministrar con “SE Vivienda”

Una de las características de los SE, al igual que los sistemas solares, es que suministran una cantidad limitada de energía. Por lo tanto, para determinar la capacidad de los sistemas de generación es necesario caracterizar la demanda, en términos de los servicios que se desean prestar.

Dado los SE generan energía eléctrica a menor costo que los SFV y debido a la disponibilidad variable del viento pero durante 24 horas, entonces es posible suministrar una mayor cantidad

³⁴ Se usa indistintamente CC o DC por corriente continua o directa, CA o AC por corriente alterna.

REPÚBLICA DOMINICANA

de energía. La demanda de energía para los SE para Vivienda se ha supuesto de de 615 Wh/día (el doble de la demanda de los SFV para vivienda).

Tabla 4.13. Demanda de energía por servicios básicos SE Vivienda

Ab. CARGA AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7=A6*A7	A8	A9=A1xA2xA3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	2	15	30	3	90	0
Radio-Casette	1	15	15	7	105	0
TV Color de 14"	1	70	70	6	420	0

A11	Carga AC total diaria (Sumar columna A9)	615 Vatios-hora/día AC
-----	------------------------------------------	------------------------

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	95.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	647 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	115 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	121 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	115 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC

LFC: Lámpara fluorescente compacta

4.3.3 Localización del SE Vivienda

La evaluación del potencial eólico en RD se ha estimado de manera global para el país por NREL, principalmente enfocado hacia la generación en bloque para inyección al Sistema Interconectado Nacional. Para la utilización de la energía eólica a nivel rural en sistemas aislados, la velocidad media anual es un estimado muy grueso e inaplicable en un software que como el HOMER simula el comportamiento del sistema a nivel mensual.

Por lo tanto, a partir de la información disponible para RD, *la posibilidad de diseñar y utilizar de manera confiable la energía eólica se limita a los lugares próximos a las estaciones que dispongan de información de velocidades medias mensuales*. Es decir, la utilización de la energía eólica está limitada a lugares que tengan información confiable.

Se considerará un “SE Vivienda” que se empleará en 2 lugares diferentes³⁵:

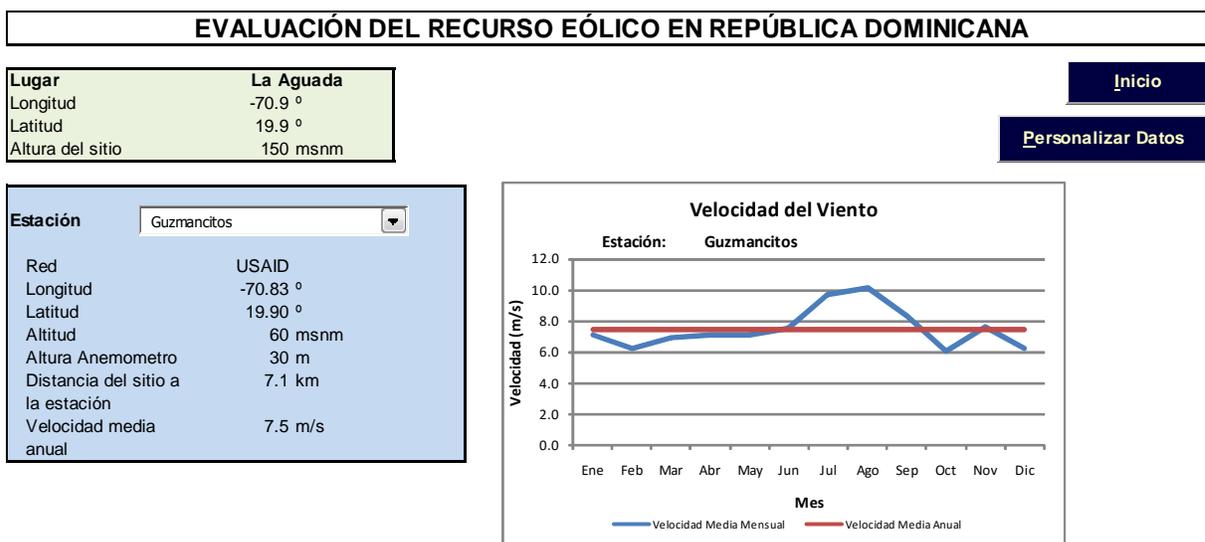
- Guzmancitos, Provincia de Puerto Plata
- Estación Las Galeras, Provincia de Samaná

³⁵ La simulación de un tercer sistema en las vecindad de Constanza arroja resultados tan bajos que fue desechado

4.3.4 Energía generada en Guzmancitos

Empleando el software desarrollado en este proyecto (Ver Secc. 8.1), la figura siguiente muestra las características del viento en la localidad de Guzmancitos (y probablemente extrapolable, por ejemplo, a la comunidad de La Aguada). La figura muestra el régimen de vientos para esa estación.

Tabla 4.14. Velocidad del viento disponible en Guzmancitos



La energía eólica generada en Guzmancitos depende del aerogenerador seleccionado, de sus características y de la manera como este generador interactuó con el patrón de vientos del lugar.

Tabla 4.15. Generación estimada de aerogenerador AIR X de 0.4 kW en Guzmancitos

Producción Estimada de Energía	
Datos de entrada	
Factor de Weibull K	2
# Horas	8760 horas
Altura generador	20 m
Factores de corrección de potencia del aerogenerador	
Factor rugosidad	0.143
Factor de turbulencia	0%
Factor densidad aire	0%
Parámetros Calculados	
Factor de Weibull C	8.45 m/s
Factor C Corregido a la altura del generador	7.98 m/s
Factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición	0.94

Aerogenerador: AIRX

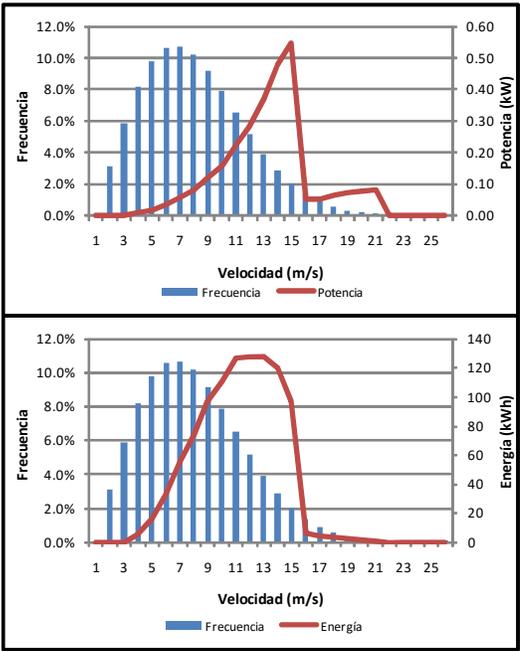
Potencia: 0.4 kW

Voltaje de salida: DC

Fabricante: Southwest Windpower

Resultados	
Potencia Nominal del Aerogenerador	0.4 kW
Producción Diaria de Energía	2.8 kWh
Producción Anual de Energía	1010 kWh
Factor de Capacidad	28.8%

Velocidad (m/s)	%	Potencia Aerogenerador (kW)	Potencia Corregida (kW)	Energía Anual (kWh)
0	0.0%	0.00	0.00	0
1	3.1%	0.00	0.00	0
2	5.9%	0.00	0.00	0
3	8.2%	0.01	0.01	6
4	9.8%	0.02	0.02	16
5	10.6%	0.04	0.04	33
6	10.7%	0.06	0.06	54
7	10.2%	0.08	0.08	74
8	9.2%	0.12	0.12	97
9	7.9%	0.16	0.16	111
10	6.5%	0.22	0.22	126
11	5.2%	0.28	0.28	128
12	3.9%	0.37	0.37	128
13	2.9%	0.48	0.48	120
14	2.0%	0.55	0.55	97
15	1.4%	0.05	0.05	6
16	0.9%	0.05	0.05	4
17	0.6%	0.06	0.06	3
18	0.3%	0.08	0.08	2
19	0.2%	0.08	0.08	1
20	0.1%	0.08	0.08	1
21	0.1%	0.00	0.00	0
22	0.0%	0.00	0.00	0
23	0.0%	0.00	0.00	0
24	0.0%	0.00	0.00	0
25	0.0%	0.00	0.00	0
Total	99.7%			1010



Como puede observarse, este aerogenerador suministra 1010 kWh/año, que excede la demanda de energía del usuario, estimada en 224 kWh. Por tanto, de acuerdo a este análisis,

- El aerogenerador seleccionado satisface ampliamente la carga

- El aerogenerador puede atender la carga aún en los peores meses que son Febrero, Octubre y Diciembre.

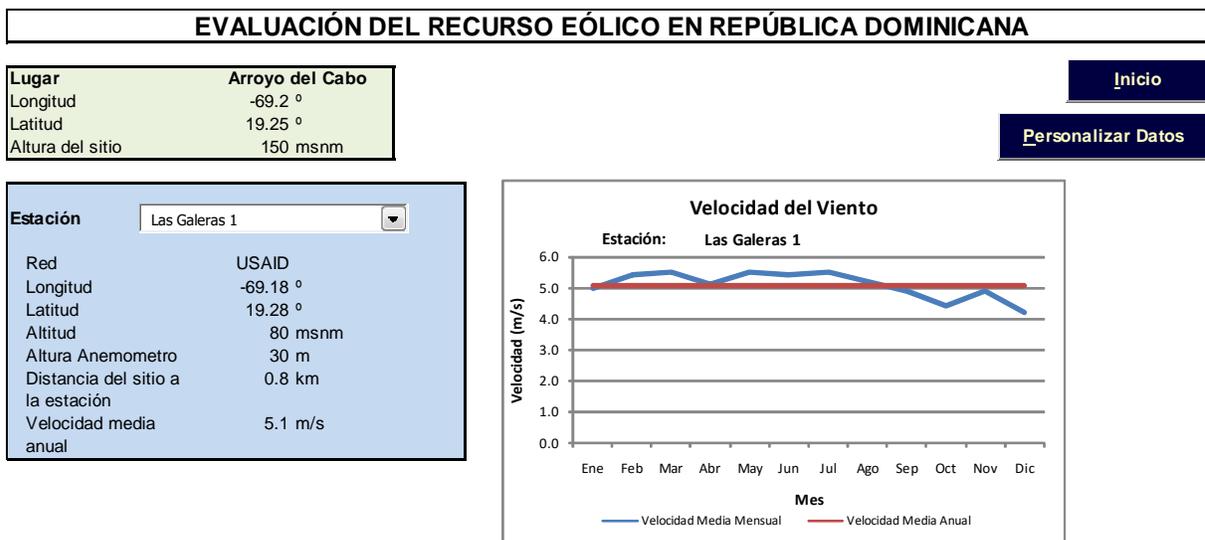
Es importante observar que este método de evaluación es insuficiente para observar el comportamiento del sistema y debe recurrirse a uno más refinado como el software HOMER.

Los resultados del HOMER indican que este aerogenerador AIR X en Guzmancitos es capaz de atender una demanda de hasta 1.2 kWh/día y por tanto de entregar 4 veces más energía que el SFV Standard Vivienda. (Ver Capítulo 12).

4.3.5 Energía generada en Las Galeras

Igualmente a la sección anterior, en la figura siguiente se muestra la velocidad del viento disponible en la estación Las Galeras (y probablemente extrapolable, por ejemplo, a la comunidad Arroyo del Cabo). Como puede observarse, la velocidad media en esta estación es de 5.1 m/s a 30 m sobre el piso y con diciembre como el mes de más baja velocidad del viento. Esta velocidad media anual del viento es inferior a la de Guzmancitos de 7.5 m/s a 30 m.

Tabla 4.16. Velocidad del viento disponible en Las Galeras



La tabla siguiente muestra entonces la generación del mismo sistema anterior pero esta vez en Las Galeras. La generación es de 439 kWh/año y corresponde solamente a 2 veces la demanda anual de la carga. La simulación con el HOMER indica que el sistema requiere de mayor capacidad en el banco de baterías.

Tabla 4.17. Generación estimada de aerogenerador AIR X de 0.4 kW en Las Galeras

Producción Estimada de Energía	
Datos de entrada	
Factor de Weibull K	2
# Horas	8760 horas
Altura generador	20 m
Factores de corrección de potencia del aerogenerador	
Factor rugosidad	0.143
Factor de turbulencia	0%
Factor densidad aire	0%
Parámetros Calculados	
Factor de Weibull C	5.74 m/s
Factor C Corregido a la altura del generador	5.41 m/s
Factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición	0.94

Aerogenerador: AIRX

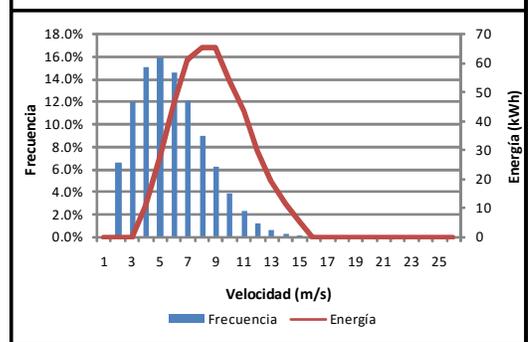
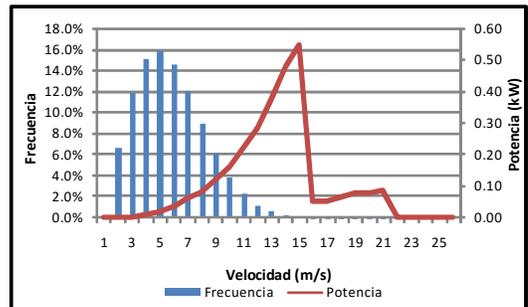
Potencia: 0.4 kW

Voltaje de salida: DC

Fabricante: Southwest Windpower

Resultados	
Potencia Nominal del Aerogenerador	0.4 kW
Producción Diaria de Energía	1.2 kWh
Producción Anual de Energía	439 kWh
Factor de Capacidad	12.5%

Velocidad (m/s)	%	Potencia Aerogenerador (kW)	Potencia Corregida (kW)	Energía Anual (kWh)
0	0.0%	0.00	0.00	0
1	6.6%	0.00	0.00	0
2	11.9%	0.00	0.00	0
3	15.1%	0.01	0.01	11
4	15.8%	0.02	0.02	26
5	14.5%	0.04	0.04	46
6	12.0%	0.06	0.06	61
7	9.0%	0.08	0.08	65
8	6.1%	0.12	0.12	65
9	3.9%	0.16	0.16	54
10	2.2%	0.22	0.22	44
11	1.2%	0.28	0.28	30
12	0.6%	0.37	0.37	20
13	0.3%	0.48	0.48	12
14	0.1%	0.55	0.55	6
15	0.0%	0.05	0.05	0
16	0.0%	0.05	0.05	0
17	0.0%	0.06	0.06	0
18	0.0%	0.08	0.08	0
19	0.0%	0.08	0.08	0
20	0.0%	0.08	0.08	0
21	0.0%	0.00	0.00	0
22	0.0%	0.00	0.00	0
23	0.0%	0.00	0.00	0
24	0.0%	0.00	0.00	0
25	0.0%	0.00	0.00	0
Total	99.4%			439



4.3.6 Especificaciones DEFINITIVAS del SE Vivienda para RD

Como resultado de la simulación de HOMER (Ver Secc. 10.2.2), la tabla siguiente muestra el sistema optimizado propuesto.

Es importante anotar:

- A diferencia de los sistemas fotovoltaicos, los sistemas eólicos en el HOMER requieren de un producto específico para su simulación.

Tabla 4.18. Características del “SE Vivienda” Optimizado para RD

Característica	SE Vivienda Guzmancitos y Las Galeras	
		Unidad
Tensión del sistema eólica	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	615	Wh AC
Capacidad del generador eólico	400	W nominales
Capacidad del banco de baterías	450	Ah a 12 VDC
Regulador de carga	20	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador eólico de 400 W, 2 baterías de 6 VDC de 225 Ah en serie deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 20 A y un inversor de 400 W.

4.4 SISTEMAS EÓLICOS PARA ESCUELAS

4.4.1 Diagrama de bloque de los SE autónomos

El diagrama de bloques de estos sistemas eólicos autónomos (no interconectados a la red) para escuelas está ya dado en la Figura 4.6. El sistema que se considerará aquí es uno para escuelas, pero este sistema también puede ser empleado para cargas similares como las de una UNAP (Unidad de Atención Prioritaria).

4.4.2 Servicios básicos a suministrar con “SE Escuela”

Una de las características de los SE, al igual que los sistemas solares, es que suministran una cantidad limitada de energía. Por lo tanto, para determinar la capacidad de los sistemas de generación es necesario caracterizar la demanda, en términos de los servicios que se desean prestar.

Dado los SE generan energía eléctrica a menor costo que los SFV y debido a la disponibilidad variable del viento durante 24 horas, entonces es posible el suministro de una mayor cantidad de energía. La demanda de energía para los SE para Escuelas se ha supuesto mucho mayor (más de 5 veces, aumentando las posibilidades de uso de la energía) que en el caso fotovoltaico (0.615 kWh/día, 224.5 kWh/año) y del orden de 3.5 kWh/día, 1277 kWh/año.

4.4.3 Localización del SE Escuela

La evaluación del potencial eólico en RD se ha estimado de manera global para el país por NREL, principalmente enfocado hacia la generación en bloque para inyección al Sistema Interconectado Nacional. Para la utilización de la energía eólica a nivel rural en sistemas aislados, la velocidad media anual es un estimado muy grueso e inaplicable en un software que como el HOMER simula el comportamiento del sistema a nivel mensual.

Por lo tanto, a partir de la información disponible para RD, *la posibilidad de diseñar y utilizar de manera confiable la energía eólica se limita a los lugares próximos a las estaciones que dispongan de información de velocidades medias mensuales*. Es decir, la utilización de la energía eólica está limitada a lugares que tengan información confiable.

Se considerará un “SE Escuela” que se empleará en 2 lugares diferentes³⁶:

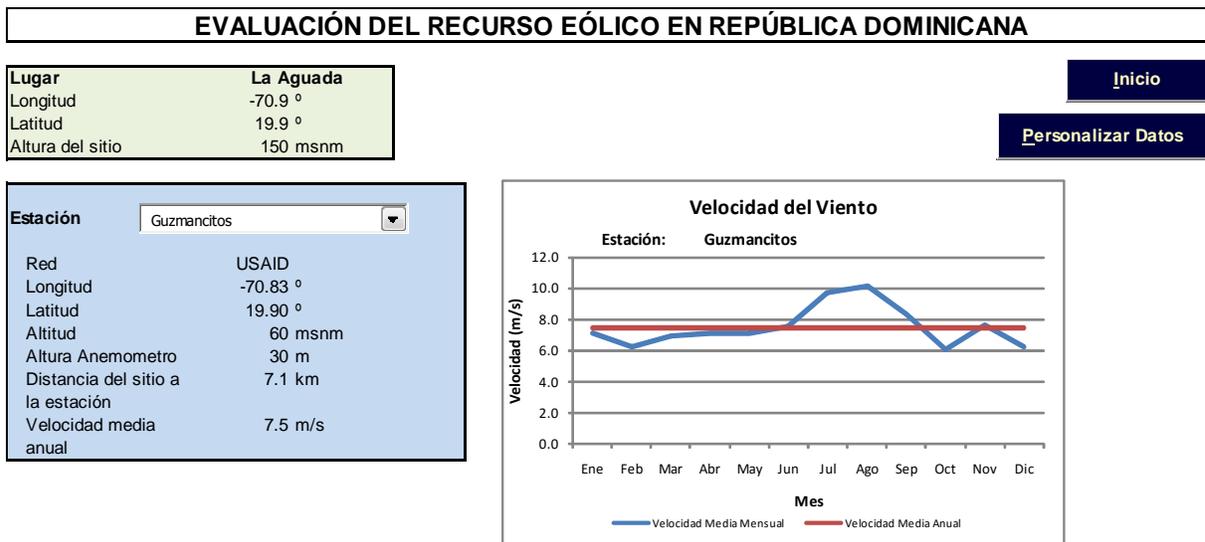
- Guzmancitos, Provincia de Puerto Plata
- Estación Las Galeras, Provincia de Samaná

4.4.4 Energía generada en Guzmancitos

Empleando el software desarrollado en este proyecto (Ver Secc. 8.1), la figura siguiente muestra las características del viento en la localidad de Guzmancitos (y probablemente extrapolable, por ejemplo, a la comunidad de La Aguada). La figura muestra el régimen de vientos para esa estación.

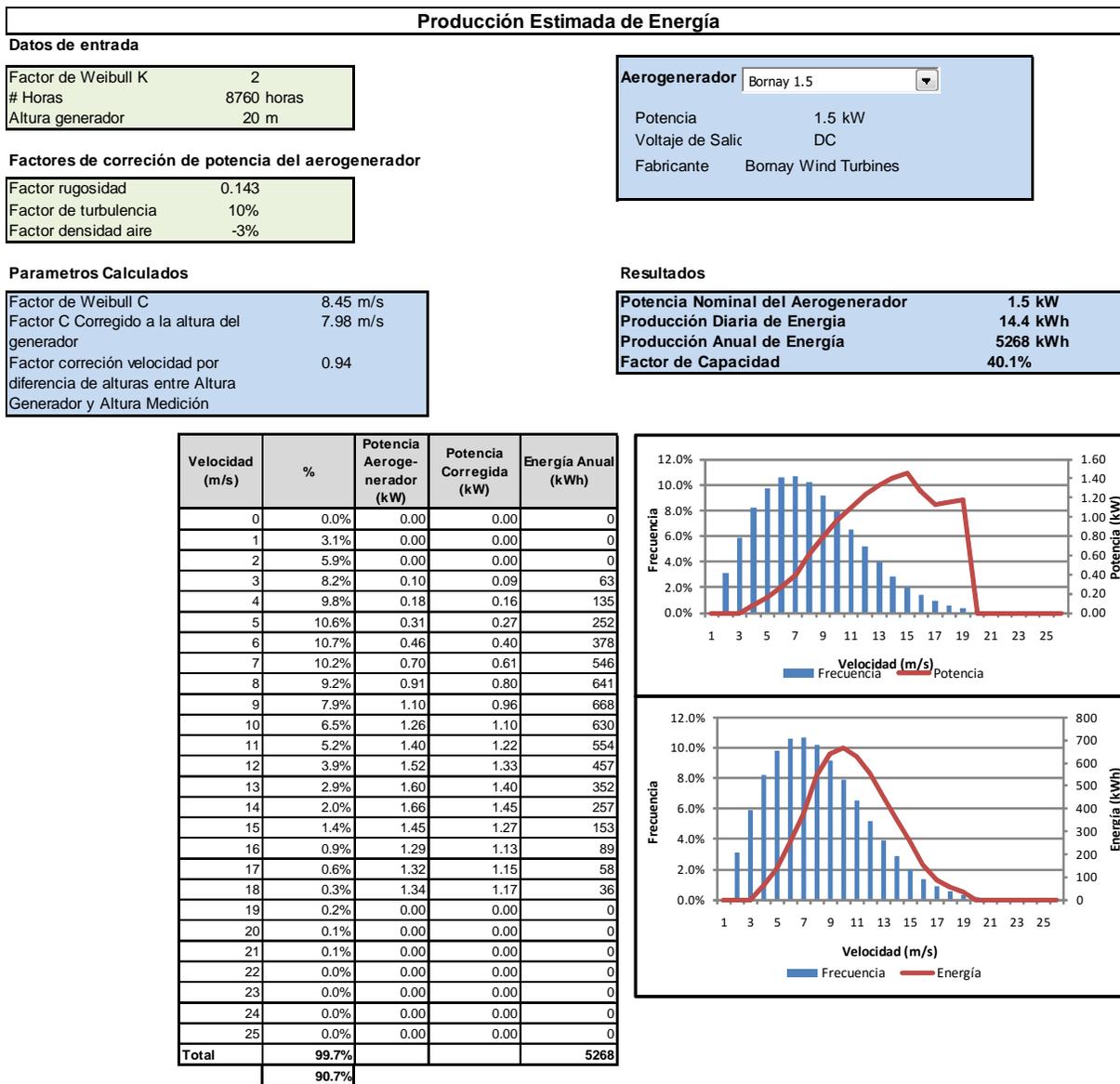
³⁶ La simulación de un tercer sistema en las vecindad de Constanza arroja resultados tan bajos que fue desechado

Tabla 4.19. Velocidad del viento disponible en Guzmancitos



La energía eólica generada en Guzmancitos depende del aerogenerador seleccionado, de sus características y de la manera como este generador interactuó con el patrón de vientos del lugar. Se ha considerado un Bornay de 1.5 kW de las características de la página siguiente.

Tabla 4.20. Generación estimada de aerogenerador Bornay 1.5 kW en Guzmancitos



Como puede observarse, este aerogenerador suministra 5268 kWh/año, que excede la demanda de energía del usuario, estimada en 1277 kWh/año. Por tanto, de acuerdo a este análisis

- El aerogenerador seleccionado satisface ampliamente la carga y excede la demanda anual, produciendo excedentes para otras cargas,

REPÚBLICA DOMINICANA

- El aerogenerador puede atender la carga aún en los peores meses que son Octubre y Diciembre.

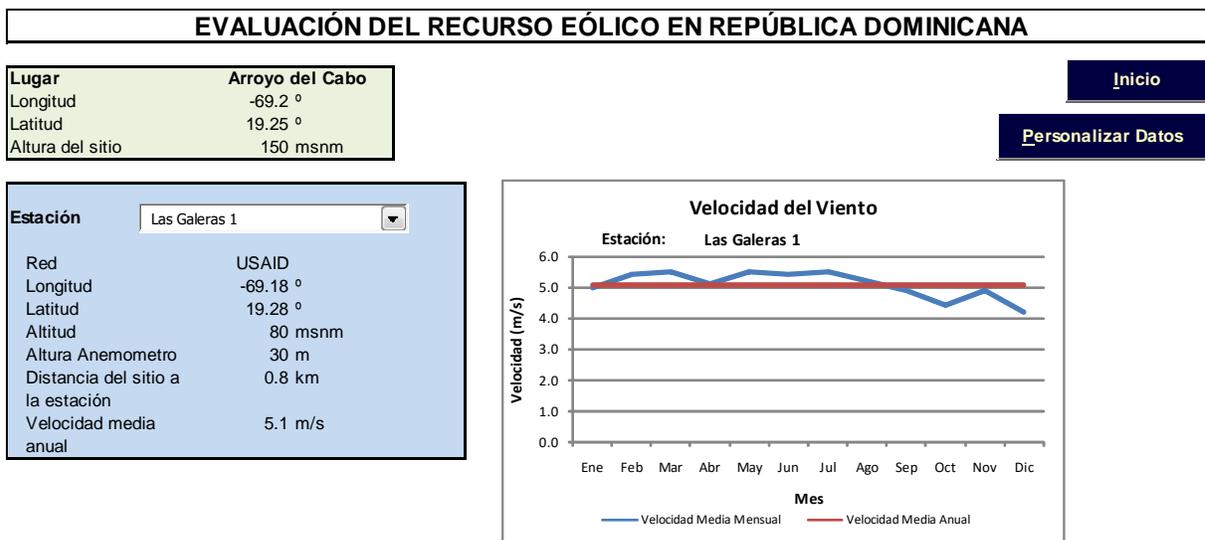
Es importante observar que este método de evaluación es insuficiente para observar el comportamiento del sistema y debe recurrirse a uno más refinado como el software HOMER.

Los resultados del HOMER indican que este aerogenerador Bornay 1.5 en Guzmancitos es capaz de atender una demanda de hasta 3.5 kWh/día y por tanto de entregar 4 a 5 veces más energía que el SFV Standard Escuela. (Ver Capítulo 14).

4.4.5 Energía generada en Las Galeras

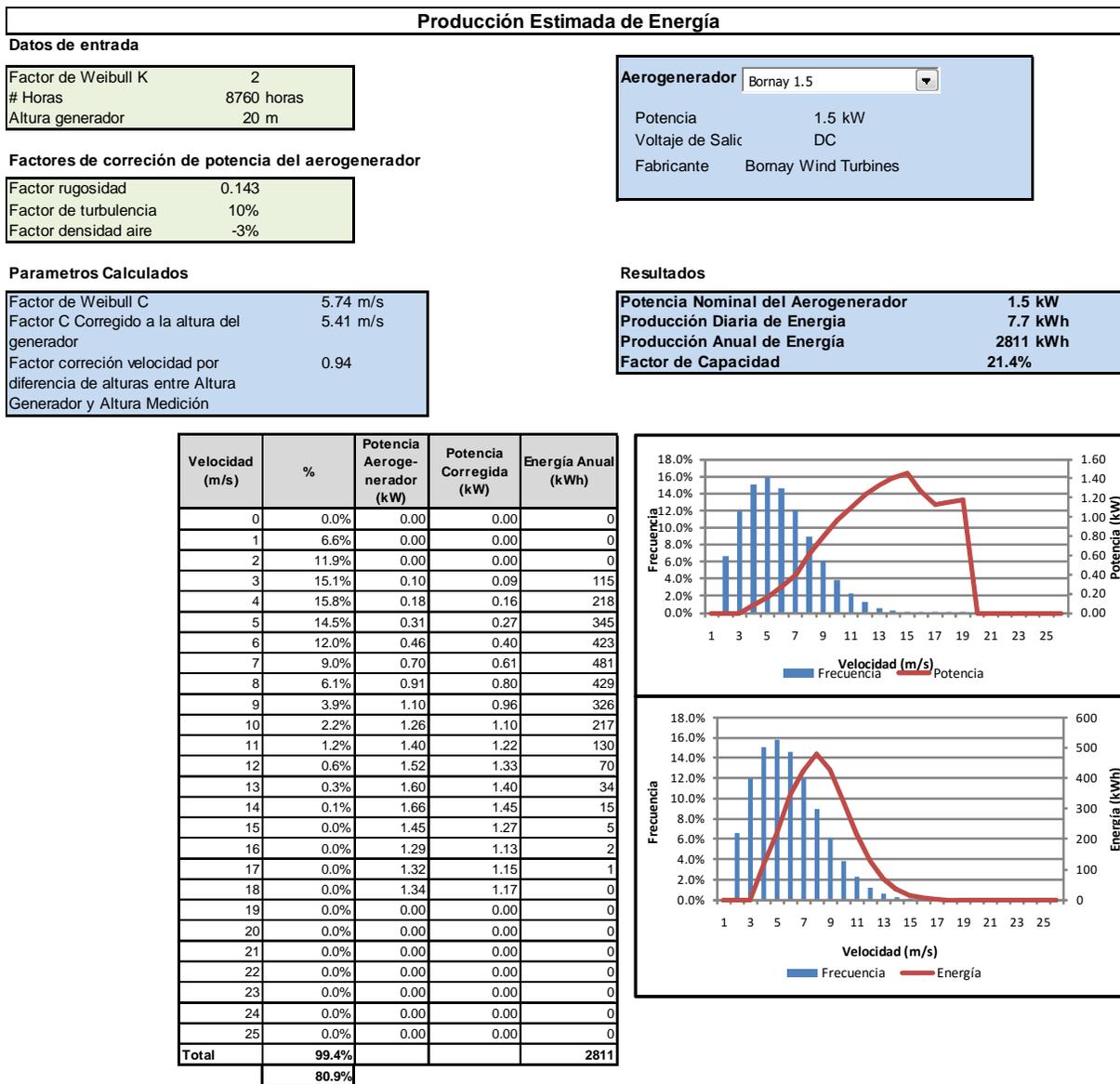
Igualmente a la sección anterior, en la figura siguiente se muestra la velocidad del viento disponible en la estación Las Galeras (y probablemente extrapolable, por ejemplo, a la comunidad Arroyo del Cabo). Como puede observarse, la velocidad media en esta estación es de 5.1 m/s a 30 m sobre el piso y con diciembre como el mes de más baja velocidad del viento. Esta velocidad media anual del viento es inferior a la de Guzmancitos de 7.5 m/s a 30 m.

Tabla 4.21. Velocidad del viento disponible en Las Galeras



La tabla siguiente muestra entonces la generación del mismo sistema anterior pero esta vez en Las Galeras. La generación es de 2811kWh/año y corresponde solamente a 2 veces la demanda anual de la carga.

Tabla 4.22. Generación estimada de aerogenerador BORNAY de 1.5 kW en Las Galeras



4.4.6 Especificaciones DEFINITIVAS del SE Escuela para RD

Como resultado de la simulación de HOMER (Ver Secc.14.2.4), la tabla siguiente muestra el sistema optimizado propuesto.

Es importante anotar:

- A diferencia de los sistemas fotovoltaicos, los sistemas eólicos en el HOMER requieren de un producto específico para su simulación (Bornay 1.5 kW).

Tabla 4.23. Características del “SE Escuela” Optimizado para RD

Característica	SE Escuela Guzmancitos y	
		Unidad
Tensión del sistema eólico	24	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1277	Wh AC
Capacidad del generador eólico	1500	W nominales
Capacidad del banco de baterías	21.6	kWh
Regulador de carga	60	A
Inversor	2	kW

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador eólico de 1500 W, 16 baterías de 6 VDC (4 en serie, 4 strings) del tipo deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 60 A (puede considerarse la opción de elevar la tensión del bus a 48 V para reducir la corriente al regulador a la mitad) y un inversor de 2000 W.

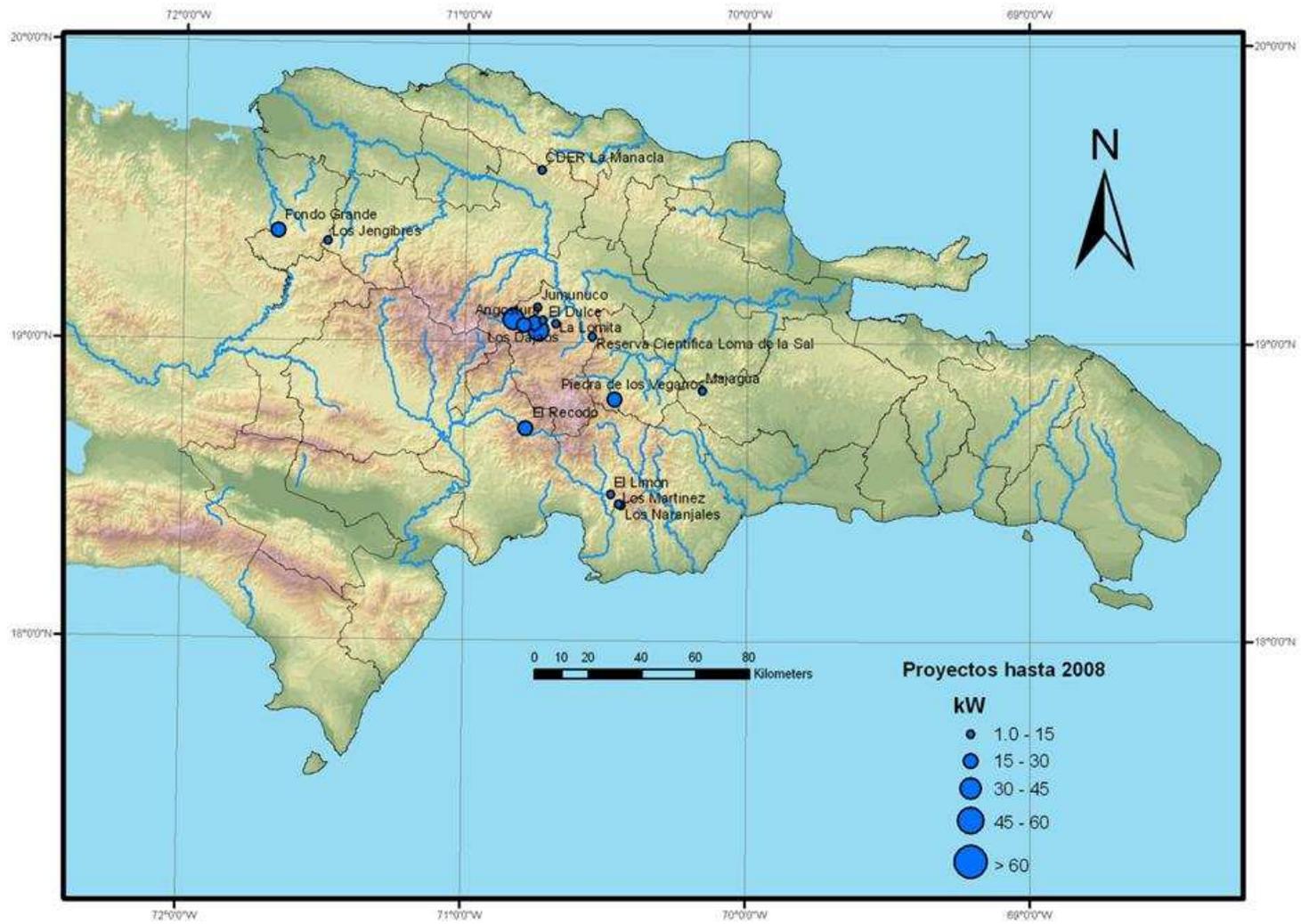
4.5 PEQUEÑAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS

Por su extensión, esta sección se encuentra descrita en el Volumen 2 del Informe Final.

La figura siguiente muestra los proyectos de PCH instalados a 2008 en el país.

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 4.7. Proyectos de Pequeñas Centrales Hidroeléctricas a 2008



5. CARTERA DE PROYECTOS

Este capítulo tiene por objeto presentar los proyectos desarrollables con energías renovables. Se tendrán en cuenta aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales, así como barreras que se tienen a la implementación de estos proyectos.

Es importante anotar que la CNE y la UERS adelantarán un estudio para formular una “Estrategia de Electrificación Rural”, que abordará estrategias para promover el desarrollo de proyectos con FER, estudio que a la fecha de elaboración de este estudio no se encuentra disponible.

5.1 INTRODUCCIÓN

5.1.1 Demanda de energía eléctrica en el sector rural

Los habitantes de las zonas rurales requieren de variedad de servicios energéticos y recurren a diferentes formas de energía / equipos. La Tabla 5.1 muestra los servicios demandados por estos habitantes y los energéticos que están empleando en la actualidad. Como puede observarse en esta tabla, los energéticos / equipos son diversos, varios de ellos son comprados en colmados, almacenes, gasolineras o podrían ser fabricados localmente (secadores solares) o recolectados por ellos (leña). Se trata entonces de una combinación de productos comerciales y servicios que se proporcionan ellos mismos. La alternativa a la mayoría de estos servicios es el suministro de electricidad ya sea por extensión de redes eléctrica o micro-redes (empleando como fuente de generación PCH's) o la autogeneración. La electricidad de red o micro-red son opciones que permiten la utilización de equipos comerciales (electrodomésticos) que por su consumo masivo se obtienen en el mercado en diferentes capacidades, modelos, marcas y (bajos) precios. Además, **la mayoría de los servicios requeridos pueden ser suplidos con energía eléctrica**. Por estas razones, el suministro de energía eléctrica se considera fundamental para los usuarios rurales.

Dentro de las **opciones para el suministro de energía eléctrica** se tienen entonces³⁷:

- Electricidad de red
- Electricidad de mini-red alimentada por PCHs

³⁷ Otras opciones de suministro de energía, fuera del alcance de este estudio, son

- Energía eólica (para fines mecánicos)
- Energía solar térmica (para procesos térmicos)
- Biomasa (estufas eficientes)

REPÚBLICA DOMINICANA

- Electricidad solar (sistemas fotovoltaicos)
- Electricidad con sistemas eólicos (sistema de aerogenerador)

La opción *electricidad de red* se considera sin lugar a dudas una excelente opción pero tropieza con problema de que el suministro a usuarios rurales conlleva elevados costos de extensión de red los cuales se incrementan aún más si los usuarios se encuentran dispersos. Es por esta razón por la cual se buscan alternativas a este tipo de suministro.

Entre las alternativas se tiene la opción *energía solar fotovoltaica* la cual ofrece casi la misma variedad de servicios que la energía de red, excepción hecha de las aplicaciones térmicas en donde la utilización de la energía solar térmica es más conveniente técnica y económicamente, y de la cocción y horneado, en donde resulta prohibitivo el uso de la energía solar eléctrica. La *energía eólica eléctrica* ofrece también la posibilidad de emplear equipos eléctricos satisfaciendo muchos de los servicios requeridos. La energía eólica mecánica posibilita el bombeo de agua. La utilización de **MCHs** también entonces es una alternativa que va desde el nivel individual hasta el de pequeñas comunidades.

La introducción de la energía eléctrica en el sector rural tiene la capacidad de sustituir otras formas de energía e implementos utilizados en el sector rural, con la ventaja de prestar unos servicios de mejor calidad. Estos servicios están principalmente relacionados con las necesidades básicas de energía de los habitantes de las zonas rurales. Además, es *posible la utilización de la energía eléctrica para fines productivos*.

Los sectores de usuarios en los que se emplea la energía son esencialmente tres:

- Hogares,
- Centros de servicios comunitarios y
- Empresas o asociaciones productivas.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 5.1. Servicios y equipos en uso en el sector rural, versus opciones de prestación de servicios con otras fuentes de energía

Servicios	Equipos en uso	Equipos Uso Final	Electricidad Red/ Minired PCH	Electricidad Solar Fotovoltaica	Energía Eólica / Electricidad	Energía Eólica / Mecánica	Energía Solar Térmica	Biomasa
Iluminación	Velas, mechero	Lámparas	x	x	x			
Información/Música	Pilas desechables	Radios	x	x	x			
Información/Entretención/TV	Baterías, recarga de	TV	x	x	x			
Telecomunicaciones	Baterías, recarga de	Teléfonos celulares	x	x	x			
Telecomunicaciones	Baterías, recarga de	Telefonos rurales	x	x	x			
Conservación alimentos	-	Refrigeradoras	x	x	x			
Conservación de vacunas	-	Refrigeradoras para vacunas	x	x	x			
Cercas para ganado	Alambre de púas	Cercas eléctricas		x				
Agua caliente	-	Calentador agua					x	
Secado productos	Secadero al aire libre	Secador solar					x	
Agua destilada		Destilador solar					x	
Transporte de agua	Transporte por personas/ animales	Bombeo de agua	x	x	x	x		
Cocción	Leña / GLP	Estufa	x					x
Horneado	Leña	Horno	x					x
Equipos varios empresas	Motores a gasolina, diesel	Equipos electricos varios	x	x				

5.1.2 Demanda de energía de las comunidades rurales

Al considerar la introducción de energía eléctrica en el sector rural es preciso tener en cuenta cual es su demanda por sector de usuarios. Para este estudio, la UERS ha considerado que los niveles de demanda serían para las áreas identificadas o poblaciones aisladas así:

- 70 kWh/mes para viviendas, y
- 120 kWh/mes para escuelas y dispensarios médicos.

Estos niveles de demanda, fácilmente suministrables a usuarios interconectados a la red, cuando se consideran como alternativas de suministro con ER tropiezan con el *problema fundamental del costo de la inversión inicial y el costo de suministro de la energía*, el cual se ve a su vez afectado por la disponibilidad del recurso de energía renovable porque cuando el recurso es insuficiente es necesario aumentar la capacidad de generación con ER, elevándose con ello los costos de inversión y el costo de la energía generada. En el caso de las PCH, estos si pueden suministrar 70 kWh/vivienda. La tabla siguiente muestra de manera resumida la viabilidad de suministro en términos de costos que se considerarán más adelante.

Tabla 5.2. Carga sugerida por las UERS vs suministro con ER

CARGA	SOLAR	EOLICO	PCH
70 kWh/mes por vivienda	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	Si
120 kWh/mes para escuelas y dispensarios médicos	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	POCA VIABILIDAD por Costos muy elevados	Si

5.1.3 Limitaciones al suministro con energías renovables en RD

Es necesario considerar dos limitaciones actuales al desarrollo de proyectos con ER en RD:

- **Información disponible.** Este estudio ha hecho una evaluación del recurso solar a tal grado de resolución (del orden de 20 x 20 km²) que permite afirmar que se dispone de información sobre todo el territorio nacional. La información sobre el recurso eólico se encuentra limitado a varias estaciones y a sus proximidades, de tal suerte que la información es *sitio específica*. Para el desarrollo de proyectos con MCHs la

REPÚBLICA DOMINICANA

información sobre caudales no solamente es *sitio específico* sino que está limitada a algunos aforos realizados en algún momento en el pasado y se carece de información sistemática del comportamiento de los cauces, lo que limita el desarrollo de estos proyectos.

- **Aprovechabilidad del recurso.** Por lo tanto, en la actualidad:
 - el recurso solar se puede aprovechar a nivel nacional,
 - el eólico se encuentra limitado a la proximidad de algunas estaciones meteorológicas, y
 - las PCH requieren de campañas de medición para todos los proyectos visitados. No existe para ninguno de los aprovechamientos visitados ninguna información en los términos en que lo define el reglamento de la Ley 57-07.

La tabla siguiente muestra estas consideraciones.

Tabla 5.3. Información actualmente disponible en RD y aprovechabilidad de los recursos renovables

APROVECHABILIDAD DEL RECURSO	SOLAR	EÓLICO	PCH
En todo el país	X		
En lugar específico		X	X

INFORMACIÓN DISPONIBLE	SOLAR	EÓLICO	PCH
En todo el país	X		
Solamente en lugares con estación meteorológica - medición vientos		X	
Solamente en lugares con registro de caudales			X

5.1.4 Parámetros de evaluación

Para la evaluación económica de los proyectos, se ha hecho los siguientes supuestos:

- Moneda: Dólares constantes de 2009 y cambio de 35 \$Dominicanos por US Dólar.
- Tasa de descuento: 10% anual
- Periodo de evaluación: 20 años

REPÚBLICA DOMINICANA

- Costos considerados: Costos fijos de capital, Costos fijos de O&M (Operación y Mantenimiento), Costos de inversión en equipos, Costos de salvamento al final de vida útil de las componentes de los sistemas, Costos variables de O&M.
- Vida útil de las componentes de los equipos

Los indicadores a estimar son:

- Costo Presente Neto del proyecto, en el cual se traen a Valor Presente Neto todos los desembolsos requeridos para asegurara el suministro de energía durante el periodo de evaluación del proyecto.
- Costo nivelado de la energía suministrada al usuario
- Capital inicial

Otras magnitudes económicas son:

- Flujo de fondos tanto Nominal como Descontado.

5.1.5 Costos internacionales y nacionales

A manera de ilustración, la tabla siguiente muestra los costos de las componentes de los sistemas fotovoltaicos de baja capacidad (100 Wp) tanto según SolarBuzz como de los costos de proyectos de la UERS.

Tabla 5.4. Tabla comparativa de costos para proyectos fotovoltaicos de 100 W

Componente	Unidad	Internacional	Dominicana*
Modulos Solares	US\$/kW	4,710	10,597
Controladores de Carga	US\$/A	5.87	9.60
Baterías VRLA	US\$/kWh	180	184
Inversores	US\$/kW	720	157

Fuente: Solar Buzz Octubre 2009

* Proyectos UERS

SolarBuzz: www.solarbuzz.com provee información sobre costos medios de productos a nivel internacional.

Al comparar los costos se puede observar que si bien los precios internacionales son FOB y no incluyen transporte y utilidades, permiten pensar que para reducir los costos de los proyectos en Dominicana se podría hacer compras directas a grandes fabricantes. En el caso particular de los inversores los considerados por SolarBuzz exceden en especificaciones a los inversores de 400 W empleados en los programas de la UERS.

REPÚBLICA DOMINICANA

La tabla siguiente muestra los costos FOB de pequeños aerogeneradores vs los costos de algunos proyectos en Dominicana. Nuevamente se puede observar una diferencia de costos que podría inducir a una compra de equipos en el mercado internacional para la reducción de los costos de inversión de los proyectos.

Tabla 5.5. Tabla comparativa de costos para proyectos eólicos de 400 W

Componente	Unidad	Mercado Americano	Dominicana*
Aerogenerador	US\$/kW	1,625	2,100
Torre de 20 m	US\$	790	1,575
Controladores de Carga	US\$/A	5.87	9.60
Baterías VRLA	US\$/kWh	180	184
Inversores	US\$/kW	720	157

Fuente: SCHOTT Catalog

* Proveedor Nacional

La tabla siguiente muestra los costos de proyectos de PCH's en el rango 1 a 66 kW. El valor medio es de 4.000 US\$/kW pero la dispersión de estos valores de la media es muy grande y corresponde a las características de cada proyecto.

Tabla 5.6. Costos de proyectos de MCH's en Dominicana

MCH	Potencia (kW)	Usuarios	Potencia (kW/beneficiario)	Inversión Total (millones RD\$)	Inversión específica (USD/kW)	Costo por Usuario (US\$/usuario)
Los Pinos del Edén	66	120	0.55	3	1420	781
Janey	50	108	0.46	2	1250	579
El Limón	3.5	70	0.05	0.3	2679	134
Los Dajaos	1.2	4	0.30	0.1	2604	781
Ébano Verde	3	1	3.00	0.2	2083	6250
El Aguacate	50	110	0.45	6	3750	1705
Los Calabazos	12	30	0.40	1.5	3906	1563
Los Martínez	11	50	0.22	1.5	4261	938
Fondo Grande	18	35	0.51	2.4	4167	2143
Angostura	18	40	0.45	5.5	9549	4297
Los Jengibres	20	85	0.24	3	4688	1103
Paso de la Perra	40	220	0.18	5.9	4609	838
Piedra de Los Veganos	18	55	0.33	4.5	7813	2557
Total	310.7	928	0.33	35.9		
					Inversión Promedio (US\$/kW)	4060
					Inversión Promedio (US\$/usuario)	1821

Fuente: Profer Informe No. 13 - Micro Centrales Hidroeléctricas para la Electrificación Rural, CNE – SEIC – GTZ, 2006

Cambio: 32 \$dom/US\$

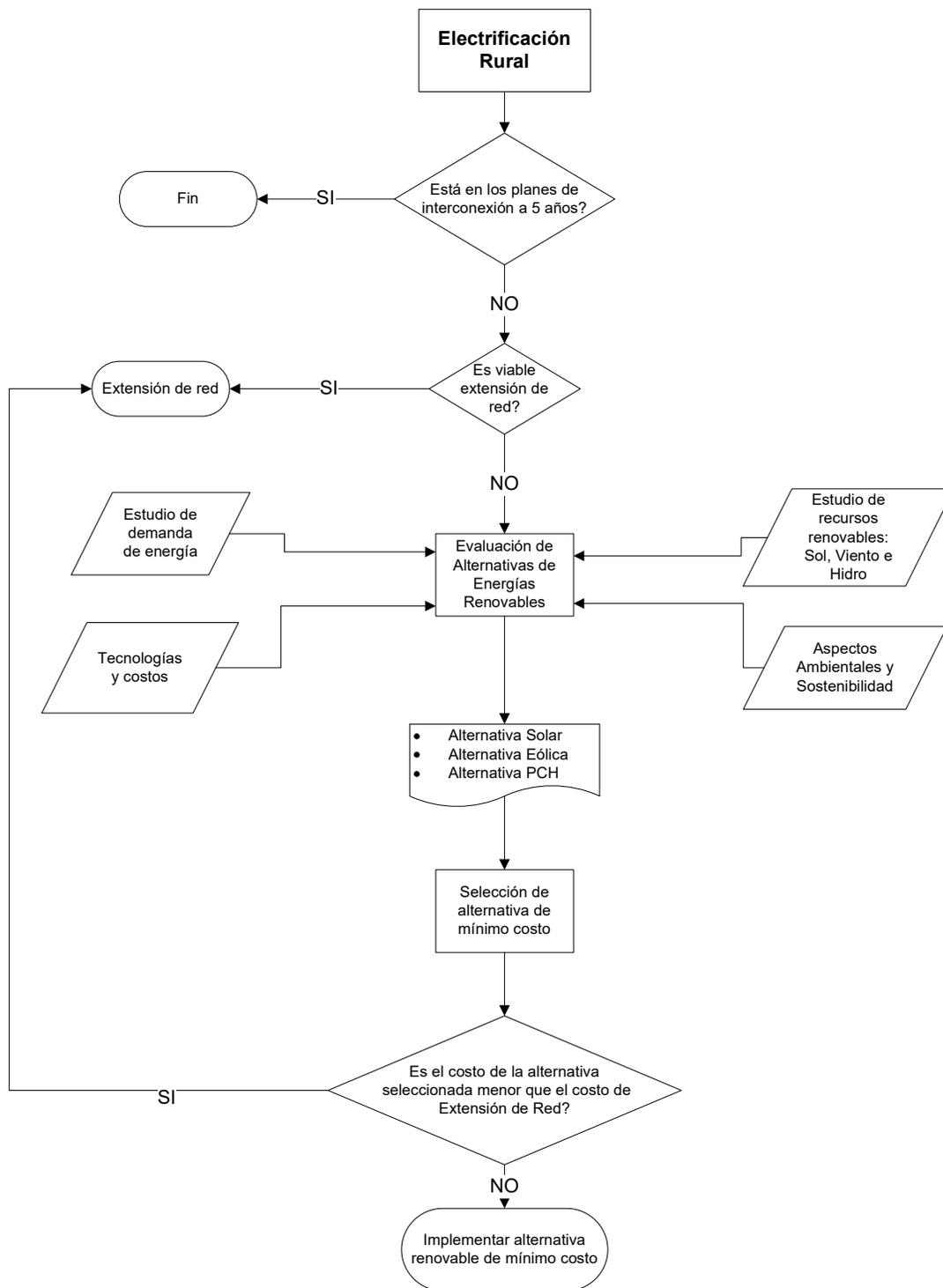
5.2 METODOLOGÍA

Para la toma de decisiones, se propone el esquema metodológico cuyo diagrama de flujo de muestra en la Figura 5.1. El punto de partida es la afirmación de que el mejor servicio de energía eléctrica es el de la red. Entonces, si un proyecto (sea un solo hogar o una pequeña comunidad) es viable en la actualidad o se encuentra en el plan de expansión en un futuro cercano (por ejemplo, a 5 años), entonces debería recibir extensión de red. En caso contrario se debe considerar las Energías Renovables como una alternativa, teniendo en cuenta que estos recursos están localmente disponibles o en la proximidad del lugar de ejecución del proyecto.

Para evaluar las alternativas de Energías Renovables es preciso:

- *Estudio de demanda. Es preciso caracterizar la demanda de potencia y energía del proyecto, y considerar el crecimiento de la demanda con el tiempo (demanda futura).*
- *Estudio de los recursos solar, eólico e hidro. Es necesario caracterizar la oferta de energía de recursos renovables localmente o en la vecindad. Lo anterior significa: radiación solar global (kWh/m²/día), velocidades medias mensuales (m/s) a una altura determinada y caudal disponible mensual (m³/s) con las respectivas curvas de duración de caudales.*
- *Tecnología disponible y costos. Se debe considerar la tecnología disponible localmente o la importable para el desarrollo de los proyectos. Los costos deben estar fundamentados en costos de proyectos locales de proyectos anteriormente desarrollados y los costos internacionales se deben considerar como una referencia que podría conducir a la importación directa de los equipos.*
- *Otras consideraciones. Se deben tener en cuenta las afectaciones ambientales y las consideraciones de sostenibilidad de los proyectos de ER. Las afectaciones ambientales son la disposición final de las baterías en proyectos solares y eólicos, y los impactos que el uso del agua en las MCH puede tener sobre la fauna y los peces, y el uso del agua para fines domésticos y agrícolas. En cuanto a la sostenibilidad, la participación de la comunidad en el proyecto y el aseguramiento de la prestación futura del servicio mediante mecanismos aceptables y aceptados por la comunidad.*

Figura 5.1. Esquema metodológico para la toma de decisiones



Para realizar una comparación económica de las alternativas de ER, los sistemas propuestos deben ser comparables en cuanto a la energía entregada y su calidad, esto es, deben entregar la misma energía por ejemplo mensual, debe ser la misma calidad (120 VAC a 60 Hz o 12 o 24 VDC) y durante los mismos periodos de tiempo durante el día.

Evalrados los sistemas alternativos de ER equivalentes bajo las condiciones anteriores, se debe escoger la alternativa de Menor Costo Presente Neto (o de Mínimo Costo). Si el costo de la alternativa de ER resulta menor que el costo de extensión de red, se recomienda implementar la alternativa de ER. En caso contrario, no.

5.3 IDENTIFICACIÓN DE PROYECTOS

Para la identificación de proyectos de ER se procedió de la siguiente manera:

1. Se identificaron los parajes que se encuentran más allá de 5 km de la red eléctrica.
2. De estos parajes, se identificaron aquellos en los que es viable la energía solar
3. De los parajes fuera de red, se identificaron todos aquellos que se encuentran en la proximidad de estaciones de viento con recurso eólico superior a 5 m/s promedio anual y medidos a 20 metros. La proximidad a la estación se define como todos los parajes que se encuentran a una distancia de 5 km de la estación meteorológica.
4. De los parajes fuera de red, se identificaron los parajes para los cuales se realizaron visitas de campo para estudiar la viabilidad de energía hidroeléctrica.
5. Para todos los parajes fuera de la red se estimaron los costos de la tecnología solar fotovoltaica, sistemas eólicos y proyectos con MCHs. Los sistemas considerados en la tecnología solar fotovoltaica y eólica, son de tipo individual para viviendas y para servicios comunitarios (escuelas y dispensarios médicos). Las MCH son sistemas centralizados que atienden la demanda de varios tipos de usuarios como viviendas y servicios comunitarios.
6. Finalmente se hizo para cada paraje un análisis comparativo de costos, información que está consignada en la base de datos “**Costos_ER_Fuera_Red.xlsx**” y en la carpeta “**Cartera de Proyectos**” del SIG desarrollado.

5.4 PROYECTOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

5.4.1.1 Lugares de utilización de los SFV

La elevada disponibilidad del recurso solar de RD y el estudio del rendimiento de los SFV indican que ellos se pueden emplear en cualquier lugar del país, mientras que los sistemas eólicos y las MCH son muy localizados, como se verá más adelante.

La Figura 5.2 muestra el mapa de los parajes que carecen de red eléctrica y la disponibilidad del recurso. Como puede observarse, el recurso está disponible para todo el país, para todos estos parajes y el potencial aumenta del este hacia el oeste hasta un máximo de 10% sobre el valor mínimo.

Se considerarán dos tipos de sistemas para su aplicación y capacidad de suministro de energía, los cuales han sido discutidos en el capítulo anterior.

5.4.2 SFV Estándar para Viviendas

Se ha considerado conveniente desarrollar un SFV Standard para su aplicación generalizada a nivel individual en RD y de aplicación en todo el país.

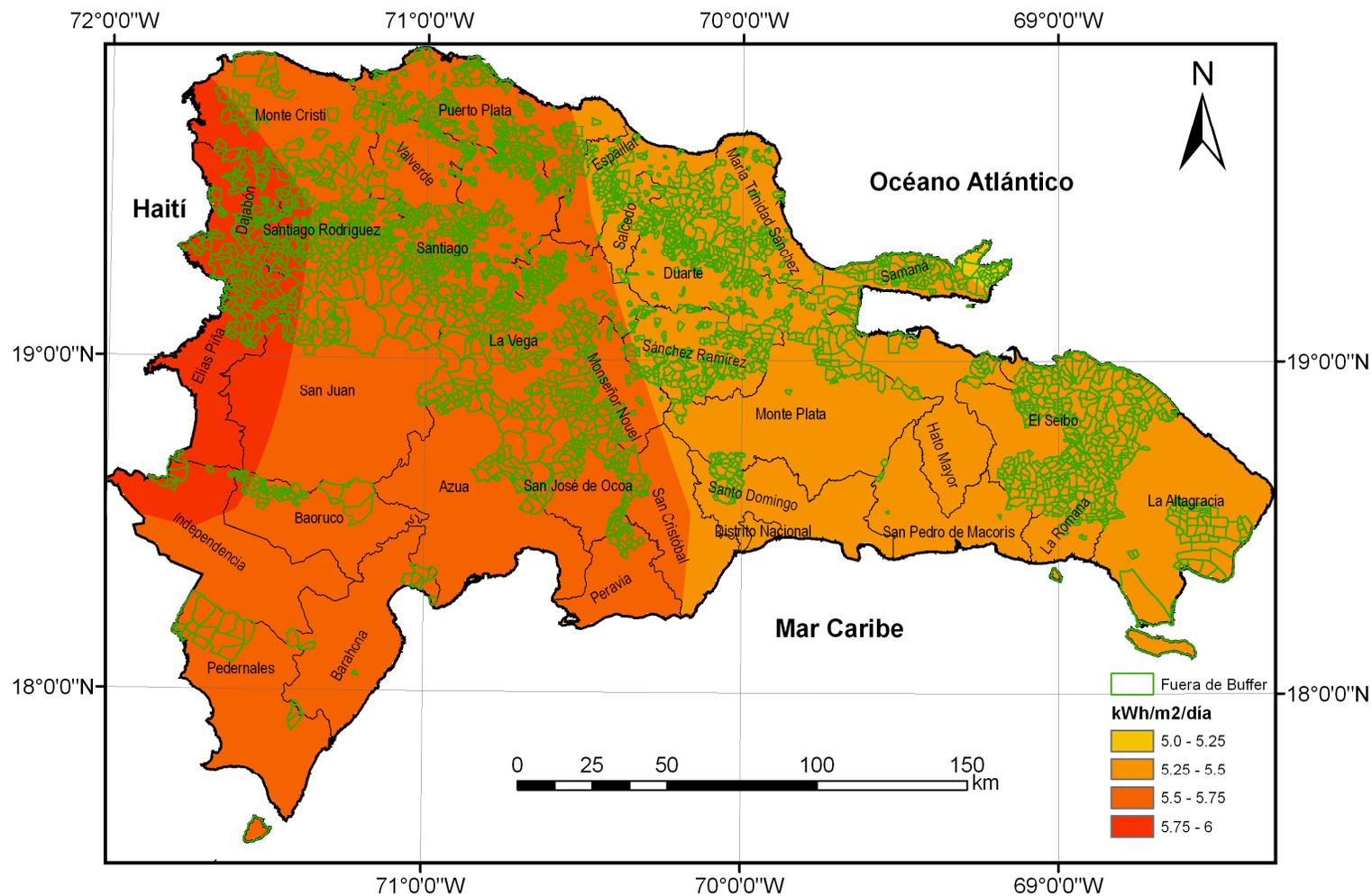
5.4.2.1 *Demanda*

El sistema fotovoltaico propuesto satisface la demanda de energía de los siguientes servicios:

- 4 puntos de iluminación durante 2 horas al día cada uno para un total de 8 horas/día de iluminación
- 1 TV en blanco y negro de 14 pulgadas, operando durante 4 horas al día
- 1 radio-cassette u equipo similar operando 5 horas al día.

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 5.2. Disponibilidad de Radiación Solar Global y Parajes sin Red



REPÚBLICA DOMINICANA

La Tabla 5.7 muestra el cálculo de la energía demandada para satisfacer estos servicios empleando un sistema SFV a AC, que corresponde 280 Wh/día a 120 V AC (295 Wh/día en DC al considerar una eficiencia del inversor de 95%) y un total de 9 kWh/mes, una pequeña cantidad frente a lo solicitado por la UERS de 70 kWh/mes.

Tabla 5.7. Demanda de energía por servicios básicos SFV Standard

Ab. CARGA AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7=A6*A7	A8	A9=A1xA2xA3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	4	15	60	2	120	0
Radio-Casette	1	20	20	5	100	0
TV Blanco y Negro, 14"	1	15	15	4	60	0

A11	Carga AC total diaria (Sumar columna A9)	280 Vatios-hora/día AC
-----	------------------------------------------	------------------------

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	95.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	295 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	95 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	100 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	95 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC

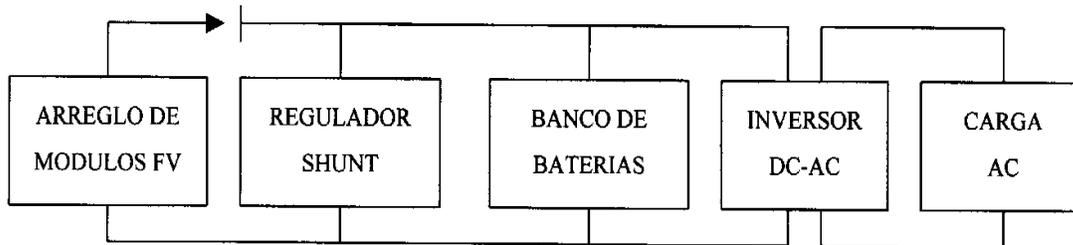
LFC: Lámpara fluorescente compacta

5.4.2.2 SFV Standard propuesto

Para atender esta demanda, se ha considerado un SFV localizado en la zona de más baja radiación solar del país que cuando se instala en los demás lugares de RD genera más energía y entrega a los usuarios más tiempo de servicio (hasta aproximadamente 10% más).

El sistema propuesto tiene la configuración que se da en el diagrama de bloque siguiente y la capacidad requerida de sus componentes se da en la tabla siguiente.

Figura 5.3. Diagrama de bloque del SFV Standard



REPÚBLICA DOMINICANA

Como resultado de la simulación de HOMER^{®38} (Ver Secc. 10.2.2), la tabla siguiente muestra el sistema optimizado propuesto.

Tabla 5.8. Características del SFV Standard Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	280	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	100	Wp
Capacidad del banco de baterías	2*55 = 110	Ah
Regulador de carga	>7.7	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 100 Wp, 2 baterías de 12 VDC de 55 Ah en paralelo del tipo “Absorbent glass mat (AGM) sealed deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 7.7 Ah (preferiblemente de 10A o más para que corresponda con productos comerciales) y un inversor de 400 W.

5.4.2.3 Desempeño técnico del SFV Standard

El desempeño del sistema se ha discutido en la Sección 4.1 y se ha simulado en el capítulo 10

5.4.2.4 Costos del SFV Estándar

La tabla siguiente muestra el costo del SFV Standard, empleando costos de los proyectos realizados por la UERS y que consideran el costo de los equipos, instalación, administración e imprevistos. Como puede observarse, el costo asciende a US\$1988/SFV Standard y el costo del kWh asciende a US3.07.

Tabla 5.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV Standard

PV Cap. Mult.	PV Repl. Mult.	6FM55D Cap. Mult.	6FM55D Repl. Mult.			PV (kW)	6FM55D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
1.00	1.00	1.00	1.00			0.100	2	0.4	\$ 1,988	77	\$ 2,640	3.068	1.00	6.3
0.90	0.90	0.90	0.90			0.100	2	0.4	\$ 1,858	74	\$ 2,487	2.891	1.00	6.3
0.80	0.80	0.80	0.80			0.100	2	0.4	\$ 1,727	71	\$ 2,335	2.714	1.00	6.3
0.70	0.70	0.70	0.70			0.100	2	0.4	\$ 1,597	69	\$ 2,183	2.537	1.00	6.3

Puesto que el Costo Presente Neto (NPC) y el Costo de Capital Inicial se consideran elevados, y tanto que limitarían un programa masivo por parte de la UERS, entonces se ha considerado que estos sistemas se podrían adquirir mediante compras masivas en el mercado internacional

³⁸ HOMER es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

REPÚBLICA DOMINICANA

y comprando directamente a los fabricantes, con reducciones de capital inicial que podrían llegar hasta un 30%. La tabla muestra la incidencia de la reducción de costos en los diferentes indicadores económicos del proyecto.

5.4.3 SFV Escuelas

Se ha considerado conveniente desarrollar un sistema fotovoltaico Standard para escuelas, denominado "SFV Escuelas", para aplicación generalizada en RD.

5.4.3.1 Demanda

La tabla siguiente muestra las cargas y el cálculo de la energía demandada para satisfacer estos servicios empleando un sistema SFV a AC, que corresponde 1536 Wh/día a 120 V AC (1.617 Wh/día en DC al considerar una eficiencia del inversor de 95%). La carga mensual es de 46 kWh frente a lo solicitado por la UERS de 120 kWh/mes.

Es importante anotar que si bien las escuelas tienen mayor número de LFC's, entre 2 y 6 dependiendo del tamaño del salón, no todas se encienden al tiempo y por tanto se supone en promedio 3 de ellas se encienden durante 4 horas/noche.

Tabla 5.10. Demanda de energía por servicios básicos SFV Escuelas

Ab. CARGA AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7=A6*A7	A8	A9=A1xA2xA3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	3	18	54	4	216	0
TV 21"	1	90	90	4	360	0
Computadores	2	120	240	4	960	0

A11 Carga AC total diaria (Sumar columna A9) 1536 Vatios-hora/día AC

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	95.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	1617 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	384 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	404 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	384 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC

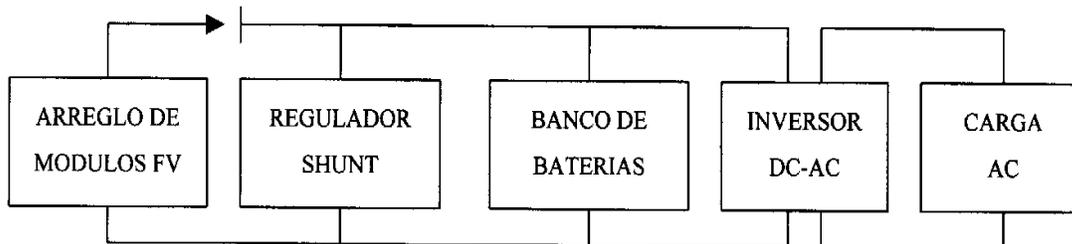
LFC: Lámpara fluorescente compacta

5.4.3.2 SFV Escuela propuesto

Para atender esta demanda, se ha considerado un SFV localizado en la zona de más baja radiación solar del país que cuando se instala en los demás lugares de RD genera más energía y entrega a los usuarios más tiempo de servicio (hasta aproximadamente 20% más).

El sistema propuesto tiene la configuración que se da en el diagrama de bloque siguiente y la capacidad requerida de sus componentes se da en la tabla siguiente.

Figura 5.4. Diagrama de bloque del SFV Escuela



Como resultado de la simulación de HOMER (Ver Secc. 10.2.2), la tabla siguiente muestra el sistema optimizado propuesto.

Tabla 5.11. Características del SFV Escuelas Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1536	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	500	Wp
Capacidad del banco de baterías	450	Ah
Regulador de carga	50	A
Inversor	1000	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 500 Wp, 4 baterías de 6 VDC de 225 Ah * 2, un regulador de carga de capacidad superior o igual a 50 A a 12 VDC y un inversor de 1000 W.

5.4.3.3 Desempeño técnico del SFV Escuela

El desempeño del sistema se ha discutido en la Sección 4.2y se ha simulado en el capítulo 11.

5.4.3.4 Costos del SFV Escuela

La tabla siguiente muestra el costo del SFV Escuela empleando costos de los proyectos realizados por la UERS y que consideran el costo de los equipos, instalación, administración e imprevistos. Como puede observarse, el costo asciende a US\$11.069/SFV Escuela y el costo del kWh asciende a US2.79.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 5.12. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV Escuela

PV Cap. Mult.	PV Repl. Mult.	T-105 Cap Mult.	T-105 Repl Mult.	  	PV (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
1.00	1.00	1.00	1.00	  	0.5	4	1	\$ 11,069	327	\$ 13,852	2.787	1.00	10.0
0.90	0.90	0.90	0.90	  	0.5	4	1	\$ 10,482	324	\$ 13,243	2.664	1.00	10.0
0.80	0.80	0.80	0.80	  	0.5	4	1	\$ 9,895	322	\$ 12,635	2.542	1.00	10.0
0.70	0.00	0.70	0.70	  	0.5	4	1	\$ 9,309	319	\$ 12,026	2.420	1.00	10.0

Puesto que el Costo Presente Neto (NPC) y el Costo de Capital Inicial se consideran elevados, y tanto que limitarían un programa masivo por parte de la UERS, entonces se ha considerado que estos sistemas se podrían adquirir mediante compras masivas en el mercado internacional y comprando directamente a los fabricantes, con reducciones de capital inicial que podrían llegar hasta un 30%. La tabla muestra la incidencia de la reducción de costos en los diferentes indicadores económicos del proyecto.

5.4.4 Aspectos ambientales

La única preocupación ambiental que surge de la utilización masiva de SFV se deriva de la Disposición final de las baterías. En el desarrollo de un programa masivo se debe buscar la recuperación de las baterías y su traslado a centros industriales para el reprocesamiento de las mismas.

5.4.5 Potencial de usuarios de SFV

Para determinar el número de usuarios de SFV en RD en un paraje determinado o en un municipio determinado o en una provincia o en RD, es preciso adelantar un trabajo de campo en donde en cada paraje se identifique a los usuarios que no disponen ni de red ni de SFV, ya que muchos usuarios han adquirido esta solución.

En proyectos que se han adelantado en RD por otras organizaciones, sus empleados han visitado los parajes y han identificado vivienda por vivienda, escuela por escuela y dispensario médico por dispensario médico, su ubicación, nombre del usuario y han solicitado a cada potencial usuario fotocopia de su documento de identidad para elevar solicitud ante la organización.

En un trabajo como el actual solamente es posible hacer estimados gruesos del potencial de usuarios.

5.4.5.1 Potencial de usuarios del SFV Standard

El potencial de SFV Standard a instalar se ha estimado a partir del número de viviendas que no disponían de servicio eléctrico de red según el censo de 2002 y la cobertura de la red con un buffer de 5 km a cada lado de las redes. Esta es la única información disponible de carácter nacional y la más reciente.

REPÚBLICA DOMINICANA

De acuerdo al CENSO del 2002 había en total de 111.230 viviendas en estos parajes fuera del buffer de 5 km de la red actual. De este número, de 104.937 viviendas se obtuvo información sobre la forma de energía empleada para la iluminación y de allí se obtuvo que hubiera 44.278 viviendas sin energía eléctrica. La tabla siguiente muestra el número de parajes por provincia y el número de viviendas sin energía eléctrica.

Tabla 5.13. Número de parajes y viviendas sin Energía Eléctrica fuera del buffer de 5 km de la red, por provincias

Provincia	No. Parajes	Viviendas sin EE de Red
Azua	48	1387
Bahoruco	60	ND
Barahona	9	ND
Dajabón	111	1772
Distrito Nacional	24	136
Duarte	234	2441
El Seibo	207	4951
Elias Piña	82	1447
Españillat	63	954
Hato Mayor	12	94
Independencia	13	ND
La Altagracia	155	2167
La Romana	53	1460
La Vega	210	2964
María Trinidad Sánchez	101	1703
Monseñor Nouel	105	503
Monte Cristi	64	1277
Monte Plata	60	954
Pedernales	19	ND
Peravia	16	166
Puerto Plata	220	3933
Salcedo	61	950
Samaná	139	1784
San Cristóbal	19	354
San José de Ocoa	70	1563
San Juan	35	539
San Pedro de Macorís	7	103
Sanchez Ramírez	152	1831
Santiago	516	4997
Santiago Rodríguez	209	3249
Valverde	58	599
Total general	3132	44278

ND: Información No Disponible

De acuerdo a la anterior, y haciendo las siguientes salvedades:

- En la encuesta, la pregunta era si empleaba energía de red para iluminación o no, y como alternativas de respuesta no se consideró ni sistemas fotovoltaicos, ni generadores solares, ni MCH's.
- Durante este lapso de 7 años se han introducido muchos SFV tanto por parte ONG's, recientemente por la Secretaría de Estado de Hacienda (10.000 sistemas) y por parte de los ciudadanos. No se sabe ni cuántos son todos estos sistemas ni donde están. De la Secretaria de Hacienda se ha recibido información de cuantos se han instalado por provincia pero no por paraje y menos por usuario.
- Ahora muchos usuarios han ya adquirido SFV. Así por ejemplo, si se examina la comunidad Rio Limpio, en el censo carece de energía de red para iluminación. Si se propone emplear SFV entonces ya sobre el terreno se observa que todos tienen SFV y entonces hay que descartar esta opción, aunque la respuesta del 2002 sigue siendo válida: No tienen energía de red. Es decir, muchos SFV han sido instalados y entonces la opción SFV ya no es válida para toda la comunidad sino para los que se encuentran dispersos distantes de Rio Limpio.
- Entonces, *al 2002 había cerca de 44.000 viviendas que carecían de electricidad de red pero el número de SFV a instalar hoy en día es actualmente desconocido porque ya muchos usuarios los han instalado y por otro lado, el número de viviendas en el sector rural ha aumentado.*
- *Para adelantar un programa de SFV es necesario, orientados por el listado de provincias dado, levantar el inventario de usuarios.*

5.4.5.2 Potencial de usuarios del SFV Escuela

El potencial para instalar SFV Escuelas NO se ha estimado por ausencia de información sobre la localización de escuelas sin energía en el sector rural. Lo anterior es igualmente válido para las UAPS (Unidades de Atención Básica Primaria) del sistema de salud.

5.5 PROYECTOS EÓLICOS

5.5.1 Lugares de utilización de los SE

Mientras que los SFV se pueden emplear en todo el país, los sistemas de generación eólicos se encuentran limitados a lugares en la proximidad de estaciones de viento con recurso eólico

REPÚBLICA DOMINICANA

superior a 5 m/s promedio anual y medidos a 20 metros. La proximidad a la estación se define como todos los parajes que se encuentran a una distancia de 5 km de la estación meteorológica.

Muy probablemente haya otros lugares con fuertes vientos que tienen información e infortunadamente estos no pueden ser considerados en este estudio.

5.5.2 SE Standard para Viviendas

Se ha considerado conveniente desarrollar un sistema eólico Standard, denominado “SE Vivienda” para su aplicación en RD y de aplicación en lugares específicos.

5.5.2.1 Demanda

Dado los SE generan energía eléctrica a menor costo que los SFV y que por la disponibilidad variable del viento pero durante 24 horas, entonces es posible el suministro de una mayor cantidad de energía, se ha entonces supuesto la demanda de energía para los SE para Vivienda es de 615 Wh/día (el doble de la demanda de los SFV para vivienda) y un total de 18.45 kWh/mes, un cuarto de lo solicitado por la UERS de 70 kWh/mes.

Tabla 5.14. Demanda de energía por servicios básicos SE Vivienda

Ab. CARGA AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7'=A6*A7	A8	A9=A1xA2xA3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	2	15	30	3	90	0
Radio-Casette	1	15	15	7	105	0
TV Color de 14"	1	70	70	6	420	0

A11 Carga AC total diaria (Sumar columna A9) 615 Vatios-hora/día AC

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	95.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	647 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	115 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	121 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	115 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC

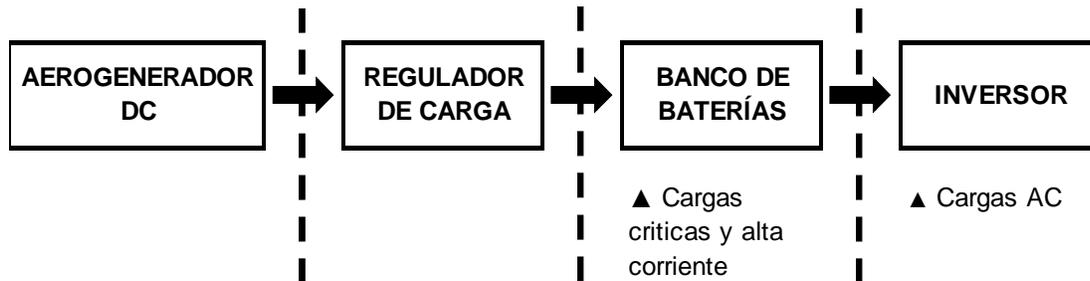
LFC: Lámpara fluorescente compacta

5.5.2.2 SE Standard propuesto

Las componentes de un SE de pequeña capacidad (<10 kW) incluyen un generador eólico DC (a 12, 24 o 48 VDC), controlador o regulador de carga, banco de baterías, acondicionador de

potencia (convertidor CC/CC)³⁹, inversor CC/CA, además de elementos de montaje y otros (Ver figura siguiente).

Figura 5.5. Componentes de un SE para suministro AC



Las características del SE propuesto se dan en la tabla siguiente.

Tabla 5.15. Características del “SE Vivienda” Optimizado para RD

Característica	SE Vivienda Guzmancitos y Las Galeras	
		Unidad
Tensión del sistema eólica	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	615	Wh AC
Capacidad del generador eólico	400	W nominales
Capacidad del banco de baterías	450	Ah a 12 VDC
Regulador de carga	20	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador eólico de 400 Wp, 2 baterías de 6 VDC de 225 Ah en serie deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 20 A y un inversor de 400 W.

La evaluación del potencial eólico en RD se ha estimado de manera global para el país por NREL, principalmente enfocado hacia la generación en bloque para inyección al Sistema Interconectado Nacional. Para la utilización de la energía eólica a nivel rural en sistemas aislados, la velocidad media anual es un estimado muy grueso e inaplicable en un software que como el HOMER simula el comportamiento del sistema a nivel mensual.

³⁹ Se usa indistintamente CC o DC por corriente continua o directa, CA o AC por corriente alterna.

REPÚBLICA DOMINICANA

Por lo tanto, a partir de la información disponible para RD, *la posibilidad de diseñar y utilizar de manera confiable la energía eólica se limita a los lugares próximos a las estaciones que dispongan de información de velocidades medias mensuales*. Es decir, la utilización de la energía eólica está limitada a lugares que tengan información confiable.

Se considerará un “SE Vivienda” que se empleará en 2 lugares diferentes⁴⁰:

- Guzmancitos, Provincia de Puerto Plata
- Estación Las Galeras, Provincia de Samaná

5.5.2.3 Desempeño técnico del SE Standard

El desempeño del sistema se ha discutido en la Sección 4.3 y se ha simulado para dos sitios en los capítulos 12 y 13.

5.5.2.4 Costos del SE Standard

La tabla siguiente muestra el costo del SE Standard localizado en Guzmancitos, empleando costos de los proyectos según proveedores locales y que consideran el costo de los equipos, instalación, administración e imprevistos. Como puede observarse, el costo asciende a US\$2960/SE Standard y el costo del kWh asciende a US1.97, con un costo de generación aproximadamente 30% más bajo que un sistema fotovoltaico.

Tabla 5.16. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Guzmancitos”

AIR Cap. Mult.	AIR Repl. Mult.	T-105 Cap. Mult.	T-105 Repl. Mult.	  	AIR	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
1.00	1.00	1.00	1.00	  	1	2	0.4	\$ 2,960	89	\$ 3,714	1.969	1.00
0.90	0.90	0.90	0.90	  	1	2	0.4	\$ 2,748	87	\$ 3,491	1.851	1.00
0.80	0.80	0.80	0.80	  	1	2	0.4	\$ 2,536	86	\$ 3,268	1.732	1.00
0.70	0.70	0.70	0.70	  	1	2	0.4	\$ 2,323	85	\$ 3,045	1.614	1.00

Para el sistema en Galeras, el costo asciende a US\$3242/SE Standard debido al incremento en el número de baterías y el costo del kWh asciende a US2.28.

⁴⁰ La simulación de un tercer sistema en las vecindad de Constanza arroja resultados tan bajos que fue desechado

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 5.17. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Galeras”

AIR Cap. Mult.	AIR Repl. Mult.	T-105 Cap. Mult.	T-105 Repl. Mult.	  	AIR	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
1.00	1.00	1.00	1.00	  	1	4	0.4	\$ 3,242	125	\$ 4,309	2.284	1.00
0.90	0.90	0.90	0.90	  	1	4	0.4	\$ 3,002	123	\$ 4,047	2.145	1.00
0.80	0.80	0.80	0.80	  	1	4	0.4	\$ 2,761	120	\$ 3,785	2.006	1.00
0.70	0.70	0.70	0.70	  	1	4	0.4	\$ 2,521	118	\$ 3,522	1.867	1.00

Puesto que el Costo Presente Neto (NPC) y el Costo de Capital Inicial se consideran elevados, y tanto que limitarían un programa masivo por parte de la UERS, entonces se ha considerado que estos sistemas se podrían adquirir mediante compras masivas en el mercado internacional y comprando directamente a los fabricantes, con reducciones de capital inicial que podrían llegar hasta un 30%. Las tablas anteriores muestra la incidencia de la reducción de costos en los diferentes indicadores económicos del proyecto.

5.5.3 Aspectos ambientales

Las preocupaciones ambientales que surgen de la utilización de SE se derivan de:

- Disposición final de las baterías. En el desarrollo de un programa masivo se debe buscar la recuperación de las baterías y su traslado a centros industriales para el reprocesamiento de las mismas.
- Afectación del paisaje, que no se considera muy alta para pequeños aerogeneradores
- Ruido que puede ser molesto y por lo cual se aconseja instalar el aerogenerador a alguna distancia de las viviendas (considerar el nivel de ruido en dB de la autoridad ambiental y distanciar el equipo de los usuarios acorde con la atenuación por distancia), y finalmente,
- Impacto sobre las aves. Se ha encontrado que las aves aprenden rápidamente a reconocer el equipo y a evitarlo (precisamente el ruido las aleja) y no debería ser origen de mortalidad elevada de aves.

5.5.4 Potencial de usuarios del SE Standard

5.5.4.1 Lugares de utilización del SE Standard

Como se ha mencionado, este sistema está limitado a lugares que tengan estaciones de medición de viento en sus proximidades y a que estos sistemas tengan una capacidad de generación adecuada.

Para identificar los parajes fuera de la red eléctrica y con potencial de recurso eólico para la generación eléctrica se procedió de la siguiente manera:

REPÚBLICA DOMINICANA

1. Se seleccionan las estaciones meteorológicas con velocidades igual o superior a 5 m/s promedio anual a 20 m de elevación. De 38 estaciones meteorológicas con datos de viento se seleccionaron 9 estaciones que cumplen esta condición y se creó un shapefile que contiene estas estaciones georeferenciadas. estas 9 estaciones pertenecen a la red de USAID.
2. Se toma el layer de parajes fuera de buffer y el obtenido en el numeral anterior y mediante un buffer se seleccionan los parajes que se encuentren a máximo 5 km de las estaciones meteorológicas con velocidades superiores a 5 m/s y a 20 m de elevación, y a partir de esta selección se crea un shapefile con estos parajes.
3. Para cada una de las estaciones meteorológicas se muestra el mapa de los parajes que cubre esta estación, un listado de estos parajes en el cual se muestra la provincia, municipio y sección a la que pertenece el paraje, el número de viviendas según el censo de 2002 y el índice de electrificación a la red según este mismo censo. También se muestra una tabla en donde se tiene el nombre de la estación meteorológica, ubicación (latitud, longitud y altitud), fecha de inicio y finalización de toma de datos, altura del anemómetro y datos de velocidad de viento promedio mensual y anual.

5.5.4.2 Potencial de usuarios de los Guzmancitos

La tabla siguiente muestra la información de viento para esta estación y puede observarse que la velocidad media anual no solamente es alta sino que además existe la información mensual requerida para analizar el comportamiento del SE durante el año.

Tabla 5.18. Información de la Estación Meteorológica

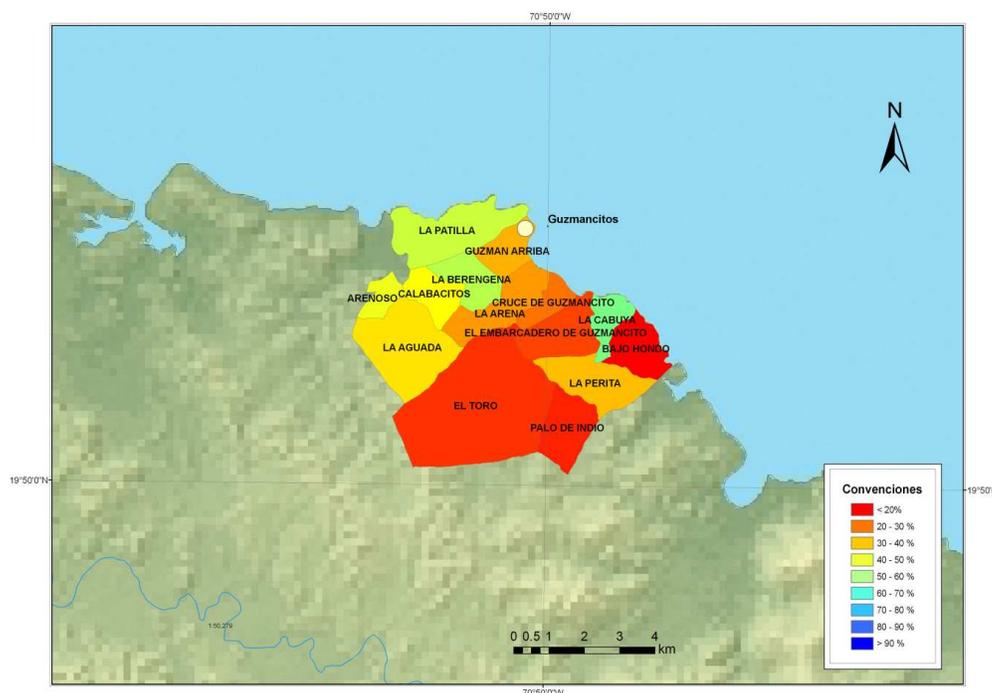
Nombre de la Estación	Región	Lat. (°)	Lon. (°)	Elev. (m)	Fecha Inicio	Fecha final	% Datos	Altura Anem. (m)	Información sobre (meses)
Guzmancitos	NW	19.90	-70.83	60	03/97	06/98	79	30	12

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Velocidad del Viento (m/s)	Potencia del Viento (W/m2)
7.1	6.2	6.9	7.1	7.1	7.5	9.7	10.1	8.3	6.1	7.6	6.2	7.4	440

La figura siguiente muestra los parajes próximos a la estación los Guzmancitos.

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 5.6. Estación Meteorológica Guzmancitos y parajes próximos a la estación (< 5km)



La tabla siguiente muestra el nombre de los parajes de los 14 parajes próximos a Guzmancitos, el número de viviendas y el grado de electrificación a 2002. La información de la tabla si bien permite estimar un potencial de viviendas a 2002, se considera mejor levantar la información de usuarios en esos parajes. De acuerdo a la anterior, el potencial de utilización de estos SE Standard está limitado a las viviendas próximas a estas estaciones teniendo la precaución de evaluar la extrapolabilidad de los valores de las estaciones a los lugares de las viviendas, que dependen de las condiciones orográficas y de vegetación que imperan en las vecindades de las estaciones.

Tabla 5.19. Parajes que cubre la estación meteorológica

Paraje	Provincia	Municipio	Sección	Viviendas Censo 2002	Indice de Electrificación
LA PATILLA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	35	20.0%
GUZMAN ARRIBA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	47	12.8%
LA BERENJENA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	14	21.4%
LA ARENA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	29	10.3%
CALABACITOS	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	12	16.7%
ARENOSO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	71	16.9%
CRUCE DE GUZMANCITO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	13	7.7%
EL EMBARCADERO DE GUZMANCITO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	18	5.6%
LA CABUYA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	15	33.3%
LA AGUADA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	51	15.7%
LA PERRITA	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	45	13.3%
BAJO HONDO	Puerto Plata	LUPERON	CAMBIASO	6	0.0%
EL TORO	Puerto Plata	SAN FELIPE DE PUERTO PLATA	EL TORO	60	5.0%
PALO DE INDIO	Puerto Plata	SAN FELIPE DE PUERTO PLATA	EL TORO	64	4.7%

REPÚBLICA DOMINICANA

5.5.4.3 Potencial de usuarios de las Galeras 1 y 2

La tabla siguiente muestra la información de viento para esta estación y puede observarse que la velocidad media anual no solamente es alta sino que además existe la información mensual requerida para analizar el comportamiento del SE durante el año.

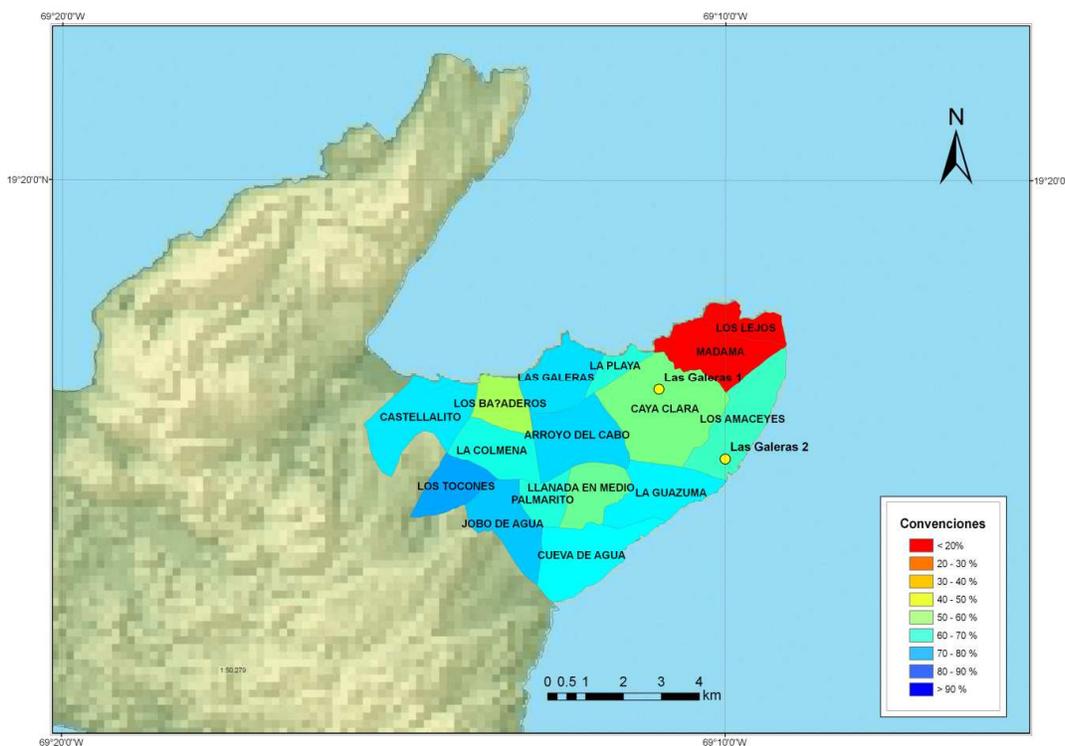
Tabla 5.20. Información de la Estación Meteorológica Las Galeras 1 y 2

Nombre de la Estación	Región	Lat. (°)	Lon. (°)	Elev. (m)	Fecha Inicio	Fecha final	% Datos	Altura Anem. (m)	Información sobre (meses)
Las Galeras 1	E	19.28	-69.18	80	02/97	10/98	86	30	12
Las Galeras 2	E	19.27	-69.17	180	04/97	02/98	74	30	10

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Velocidad del Viento (m/s)	Potencia del Viento (W/m2)
5	5.4	5.5	5.1	5.5	5.4	5.5	5.2	4.9	4.4	4.9	4.2	5.1	122
												6	185

La figura siguiente muestra los parajes próximos a la estación las Galeras 1 y 2.

Figura 5.7. Estación Meteorológica Las Galeras 1 y 2 y parajes próximos a la estación (< 5km)



REPÚBLICA DOMINICANA

La tabla siguiente muestra el nombre de los parajes de los 16 parajes próximos a las Galeras 1 y 2, el número de viviendas y el grado de electrificación a 2002. La información de la tabla si bien permite estimar un potencial de viviendas a 2002, es preciso tener en cuenta que hay parajes como Arroyo del Cabo que tenían un grado de electrificación de 66.2%. Es por esta razón que se considera mejor levantar la información de usuarios en esos parajes.

Tabla 5.21. Parajes que cubre la estación meteorológica

Estación Meteorológica	Paraje	Provincia	Municipio	Sección	Viviendas Censo 2002	Índice de Electrificación
Las Galeras 1 y 2	ARROYO DEL CABO	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	452	66.2%
Las Galeras 1 y 2	LA COLMENA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	21	47.6%
Las Galeras 1 y 2	LOS TOCONES	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	137	81.8%
Las Galeras 1 y 2	LA GUAZUMA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	181	53.0%
Las Galeras 1 y 2	LLANADA EN MEDIO	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	43	34.9%
Las Galeras 1 y 2	PALMARITO	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	13	46.2%
Las Galeras 1 y 2	JOBÓ DEL AGUA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	32	78.1%
Las Galeras 1 y 2	CUEVA DE AGUA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	53	50.9%
Las Galeras 1 y 2	LOS LEJOS	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	5	0.0%
Las Galeras 1 y 2	MADAMA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	10	0.0%
Las Galeras 1 y 2	LAS GALERAS	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	84	64.3%
Las Galeras 1 y 2	LA PLAYA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	26	46.2%
Las Galeras 1 y 2	LOS AMACEYES	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	24	41.7%
Las Galeras 1 y 2	CAYA CLARA	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	6	33.3%
Las Galeras 1 y 2	LOS BA?ADEROS	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	9	22.2%
Las Galeras 1 y 2	CASTELLALITOS	Samana	SANTA BARBARA DE SAMANA	LA GALERAS	13	61.5%

5.5.4.4 Potencial de usuarios de los Cacaos

La tabla siguiente muestra la información de viento para esta estación y puede observarse que la velocidad media anual no solamente es alta sino que además existe la información mensual requerida para analizar el comportamiento del SE durante el año.

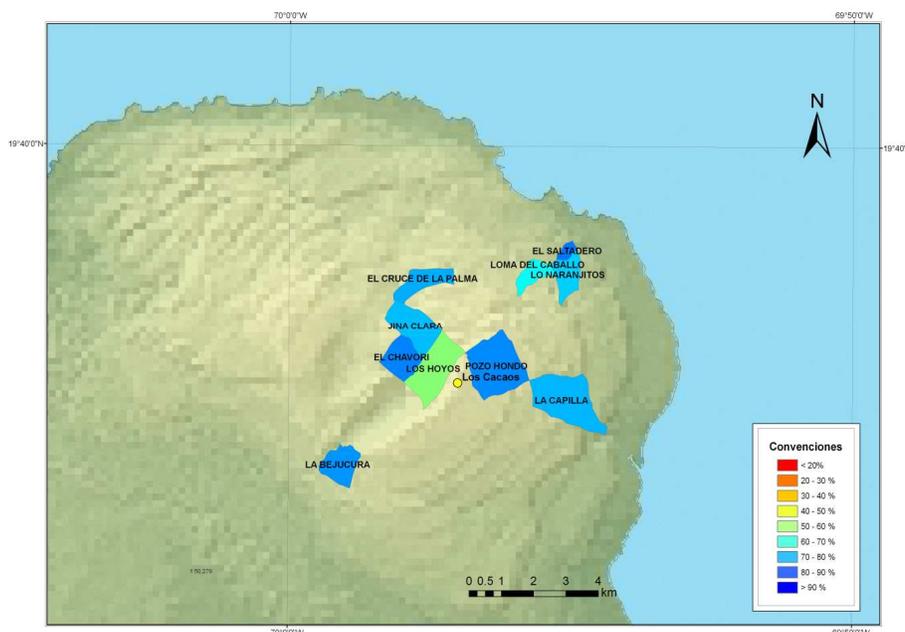
Tabla 5.22. Información de la Estación Meteorológica Los Cacaos

Nombre de la Estación	Región	Lat. (°)	Lon. (°)	Elev. (m)	Fecha Inicio	Fecha final	% Datos	Altura Anem. (m)	Información sobre (meses)
Los Cacaos	C	19.60	-69.95	410	12/96	11/98	76	30,20	12

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Velocidad del Viento (m/s)	Potencia del Viento (W/m2)
5.7	6.9	6.3	5.9	6.6	6.8	6.2	5.4	6	5	5.7	5.4	6.0	161

La figura siguiente muestra los parajes próximos a la estación los Cacaos.

Figura 5.8. Estación Meteorológica Los Cacaos y parajes próximos a la estación (< 5km)



La tabla siguiente muestra el nombre de los parajes de los 10 parajes próximos a los Cacaos, el número de viviendas y el grado de electrificación a 2002. La información de la tabla si bien permite estimar un potencial de viviendas a 2002, es preciso tener en cuenta que hay parajes como el saltadero que ya tenían un grado de electrificación de 100% y los demás tienen un grado de electrificación entre 50 y 96%. Es por esta razón que se considera mejor levantar la información de usuarios en esos parajes.

Tabla 5.23. Parajes que cubre la estación meteorológica los Cacaos

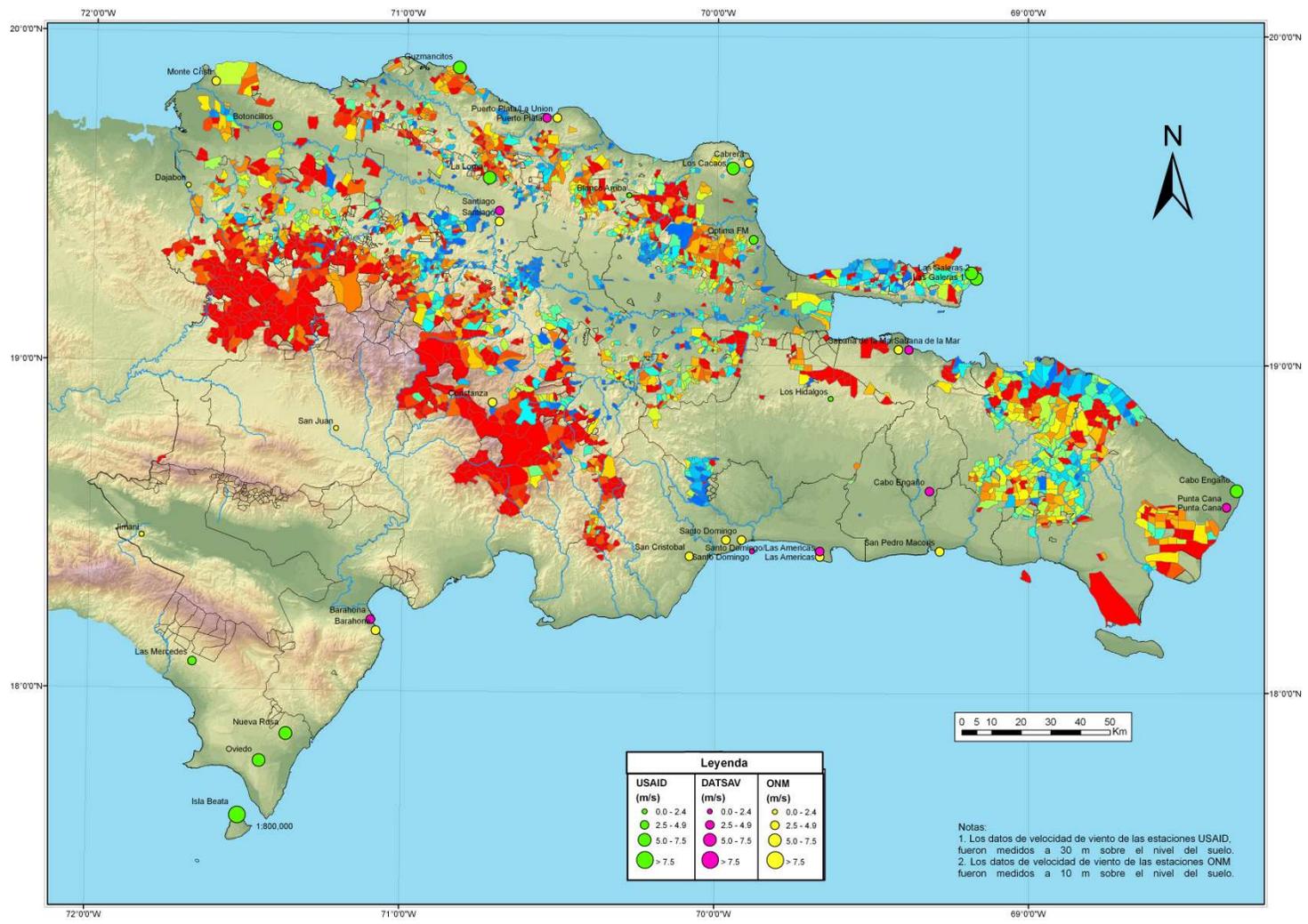
Estación Meteorologica	Paraje	Provincia	Municipio	Sección	Viviendas Censo 2002	Indice de Electrificación
Los Cacaos	EL SALTADERO	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	3	100.0%
Los Cacaos	EL NARANJITO	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	43	76.7%
Los Cacaos	LOMA DEL CABALLO	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	2	50.0%
Los Cacaos	EL CRUCE DE LA PALMA	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	16	81.3%
Los Cacaos	JINA CLARA	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	19	78.9%
Los Cacaos	LOS HOYOS	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	7	28.6%
Los Cacaos	EL CHAVORI	María Trinidad Sanchez	CABRERA	ABREU	23	95.7%
Los Cacaos	POZO HONDO	María Trinidad Sanchez	LA ENTRADA	LA CAPILLA	67	94.0%
Los Cacaos	JUAN GAMEZ	María Trinidad Sanchez	LA ENTRADA	LA CAPILLA	5	80.0%
Los Cacaos	LA BEJUCURA	María Trinidad Sanchez	CABRERA	LA JAGUITA	6	83.3%

5.5.4.5 Potencial de usuarios de Nueva Rosa e Isla Beata

Para las estaciones de Nueva Rosa e Isla Beata se tienen velocidades medias ANUALES pero no mensuales, con lo que no se puede simular el comportamiento de los sistemas eólicos y tampoco se puede considerar la confiabilidad del suministro de energía de los sistemas propuestos.

REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 5.9. Estaciones meteorológicas con datos de viento y Parajes sin Red



5.6 PROYECTOS CON PCH'S

Por su extensión, esta sección se encuentra descrita en el Volumen 2 del Informe Final.

Sin embargo es necesario aclarar, que NINGUNO de los cauces de los aprovechamientos visitados (de los lugares Los Guineos, Rio Limpio, Guayajayuco) tiene aforos sistemáticas durante el periodo de al menos 1 año y solamente cuentan con algún o algún par de aforos tomados. Esta situación es una deficiencia grave que tienen estos proyectos que no permiten estimar la capacidad de generación, los equipos requeridos y la confiabilidad del suministro de energía.

También es conveniente en este punto anotar que para la obtención de los beneficios de las Ley 57-07 y dar cumplimiento a su reglamento es necesario realizar una serie de estudios listados en el reglamento que obviamente se escapan al alcance de este estudio. El reglamento constituye la hoja de ruta para el desarrollo de estos proyectos.

5.7 COSTOS COMPARATIVOS DE ER, ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO Y GEOREFERENCIACIÓN DE ALTERNATIVA DE MÍNIMO COSTO

El tipo de usuarios predominante en las comunidades rurales son los usuarios individuales y la demanda de energía dominante es energía para la vivienda. Por tal razón se considera en esta sección la aplicación energía para la vivienda. También se considera la aplicación servicios que incluyen tanto Escuelas como Dispensarios Médicos, a pesar de ellos menos frecuentes. Sin embargo, la selección de la tecnología de mínimo para la aplicación dominante vivienda fuerza la selección de la tecnología para la aplicación servicios.

5.7.1 Costos comparativos de alternativas de ER

Para todos los parajes fuera de la red se han evaluado los costos para cada una de las 3 tecnologías consideradas y para las opciones sistemas individuales o servicios. Toda la información se encuentra montada sobre la plataforma Excel en el programa:

Costos_ER_Fuera_Red.xlsx

para todos los parajes fuera de red.

A manera de ilustración, para el paraje de Guayajayuco se tiene la información de costos que se da a continuación.

Figura 5.10. Caracterización del paraje Guayajayuco

Código de Paraje	1576
Paraje	GUYAJAYUCO
Municipio	GUAYAJAYUCO
Provincia	PEDRO SANTANA
No. de Viviendas	113 *
Grado de Electrificación	0.0% *

* Información basada en inventario usuarios este proyecto 2009

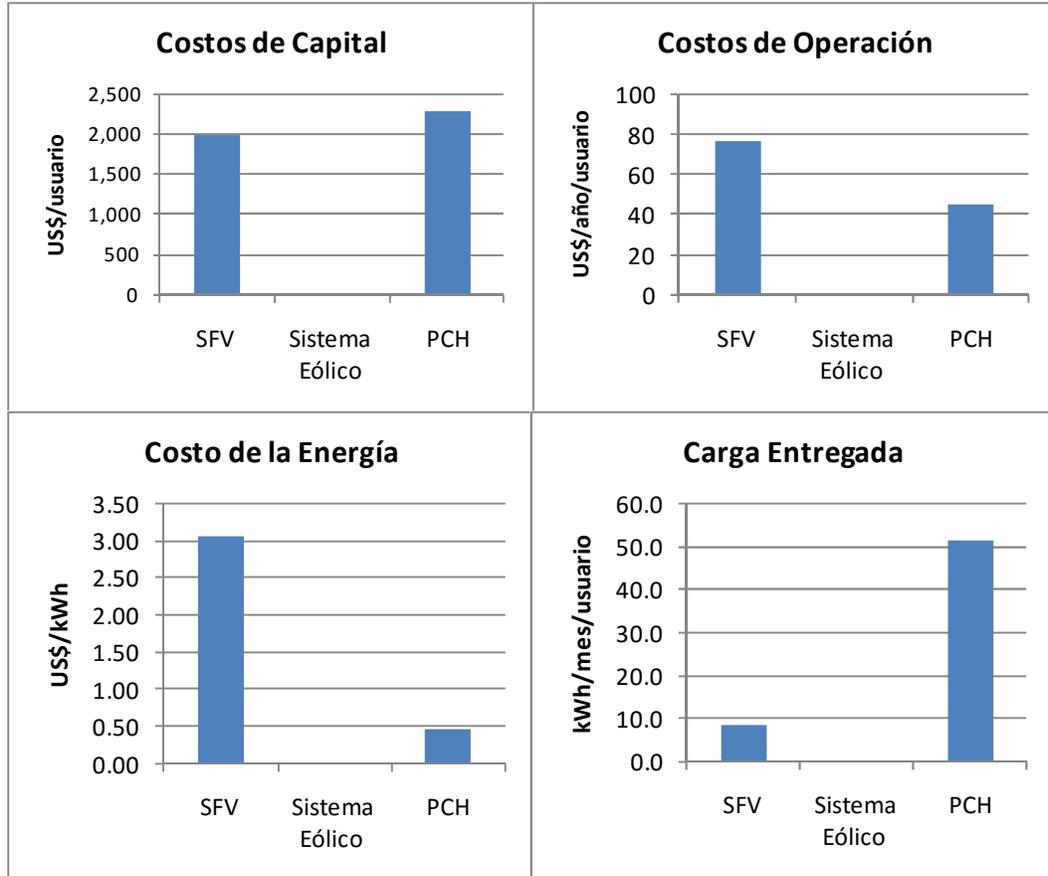
La tabla comparativa de costos de alternativas se da en la figura siguiente

Figura 5.11. Comparación de costos, carga entregada por alternativas de ER en Guayajayuco

	SFV	Sistema Eólico	PCH
Costo Presente Neto (US\$/usuario)	2,640	NA	2,700
Costo Capital (US\$/usuario)	1,988	NA	2,276
Costo Operación (US\$/año/usuario)	76.5	NA	45.0
Costo Energía (US\$/kWh)	3.07	NA	0.47
Carga Entregada (kWh/año/usuario)	101	NA	614
Carga Entregada (kWh/mes/usuario)	8.4	NA	51.2
Potencia Instalada (kW/usuario)	0.10	NA	0.41
Número de Usuarios	1	1	195

En la figura se puede observar que la columna sistema eólico no tiene datos debido a la ausencia de información. Esta tabla genera las siguientes graficas.

Figura 5.12. Comparación de costos y carga entregada por alternativas de ER en Guayajayuco



En esta gráfica se observa que la comparación de costos indica que:

- La opción energía eólica no existe no porque no haya viento sino porque no hay datos para el paraje.
- Para el suministro de energía para los 195 usuarios de la comunidad, los costos de capital para los SFV individuales son de US\$2000/usuario, mientras que para la opción PCH 250 US\$ más. Pero las gráfica restantes muestran que los costos de la PCH son mucho más bajos que los de los SFV y además la PCH tiene la capacidad de entregar por usuario 50 kWh/mes frente a los 9 kWh/mes.

5.7.2 Solución de mínimo costo

Al observar la tabla anterior, la solución de mínimo costo puede dar lugar a:

- Solución de mínimo Costo Presente Neto. La solución sería SFV
- Solución de mínimo Costo Capital. La solución sería SFV
- Solución de mínimo Costo Presente Neto. La solución sería SFV
- Solución de mínimo Costo Operación Anual. La solución sería PCH
- Solución de mínimo Costo Energía. La solución sería PCH

Si se tiene en cuenta que la opción PCH entrega la energía más barata y puede entregar más potencia y energía por usuario, entonces la opción recomendada es la PCH.

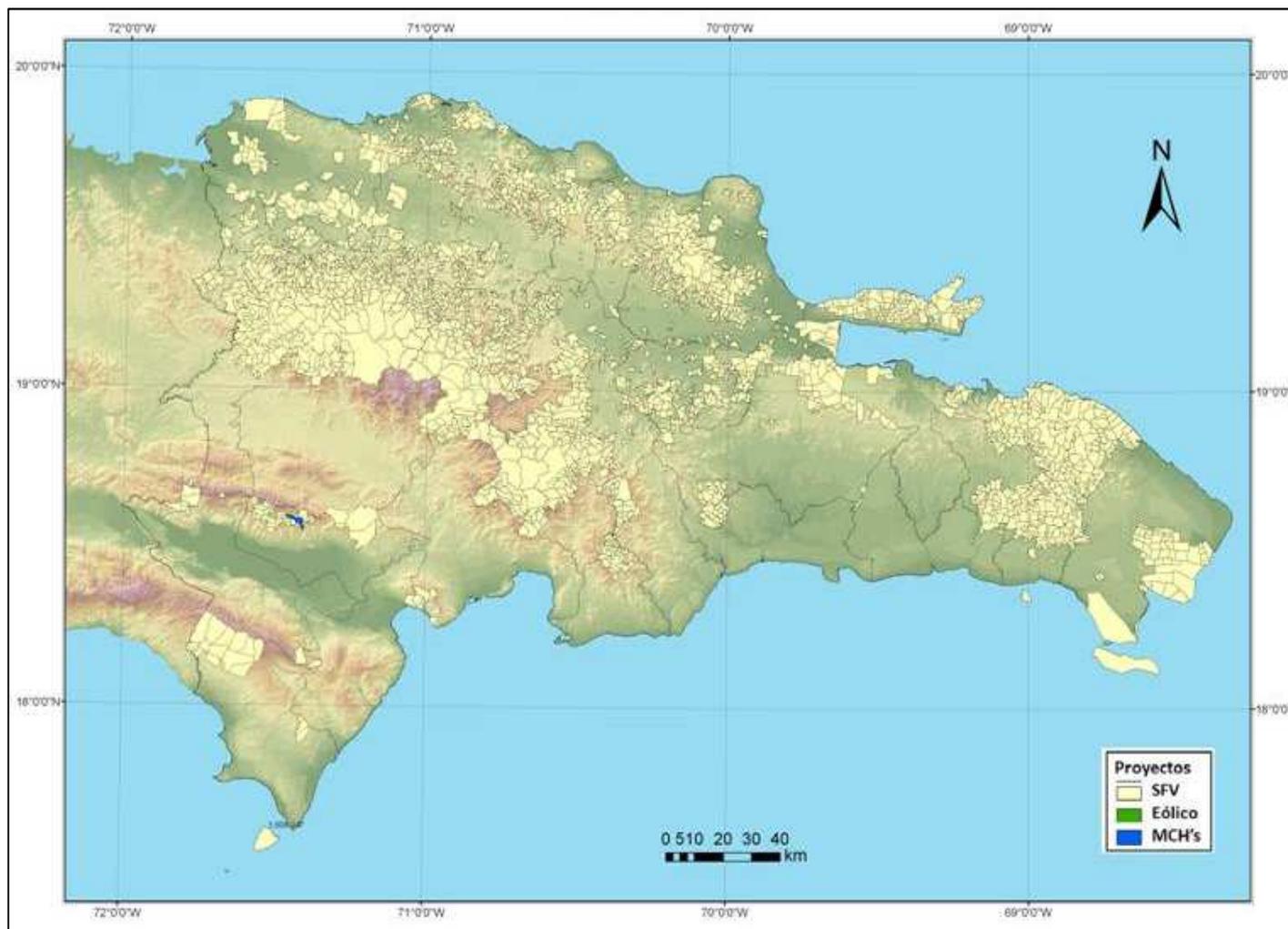
5.7.3 Georeferenciación de alternativas de mínimo costo

Las figuras siguientes muestran los mapas correspondientes a las soluciones de mínimo costo para cada uno de los parajes fuera de red. Los mínimos costos considerados han sido Mínimo Costo Presente Neto, Mínimo Costo de Capital y Mínimo Costo de la Energía generada.

Como puede observarse, puesto que el recurso solar está presente en todo el país, en ausencia de otros recursos (el software considera que donde no hay información no hay recurso), los SFV son siempre la alternativa a emplear (Parajes en color amarillo). Cuando hay información de energía eólica y el recurso es suficiente, la opción eólica es más ventajosa que la opción solar (Parajes en verde). Y en lugares donde hay información de recurso hidroeléctrico y una evaluación favorable, el recurso a desarrollar hidroenergía (Parajes en azul).

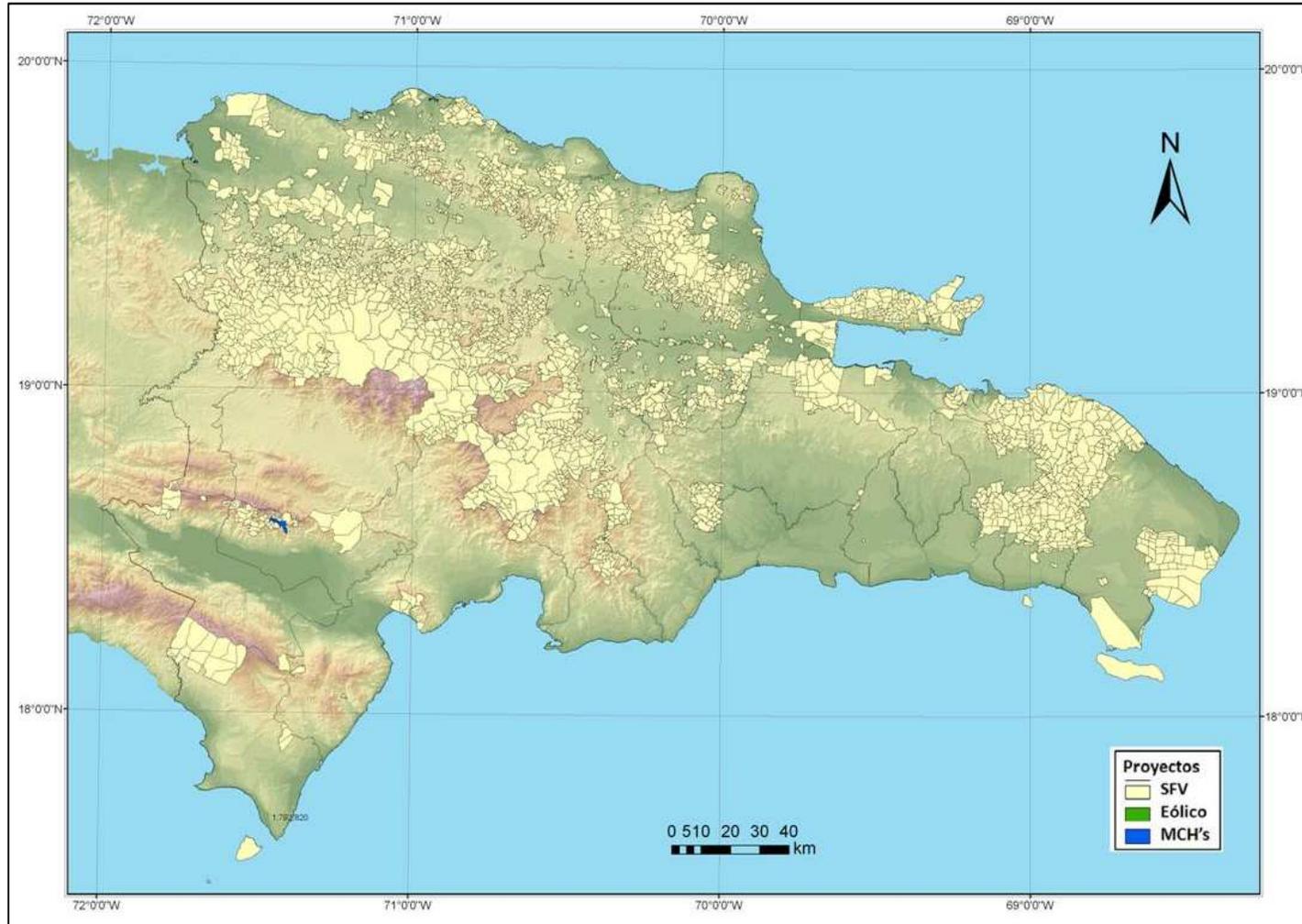
REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 5.13. Mapa de proyectos de proyectos de mínimo costo presente neto



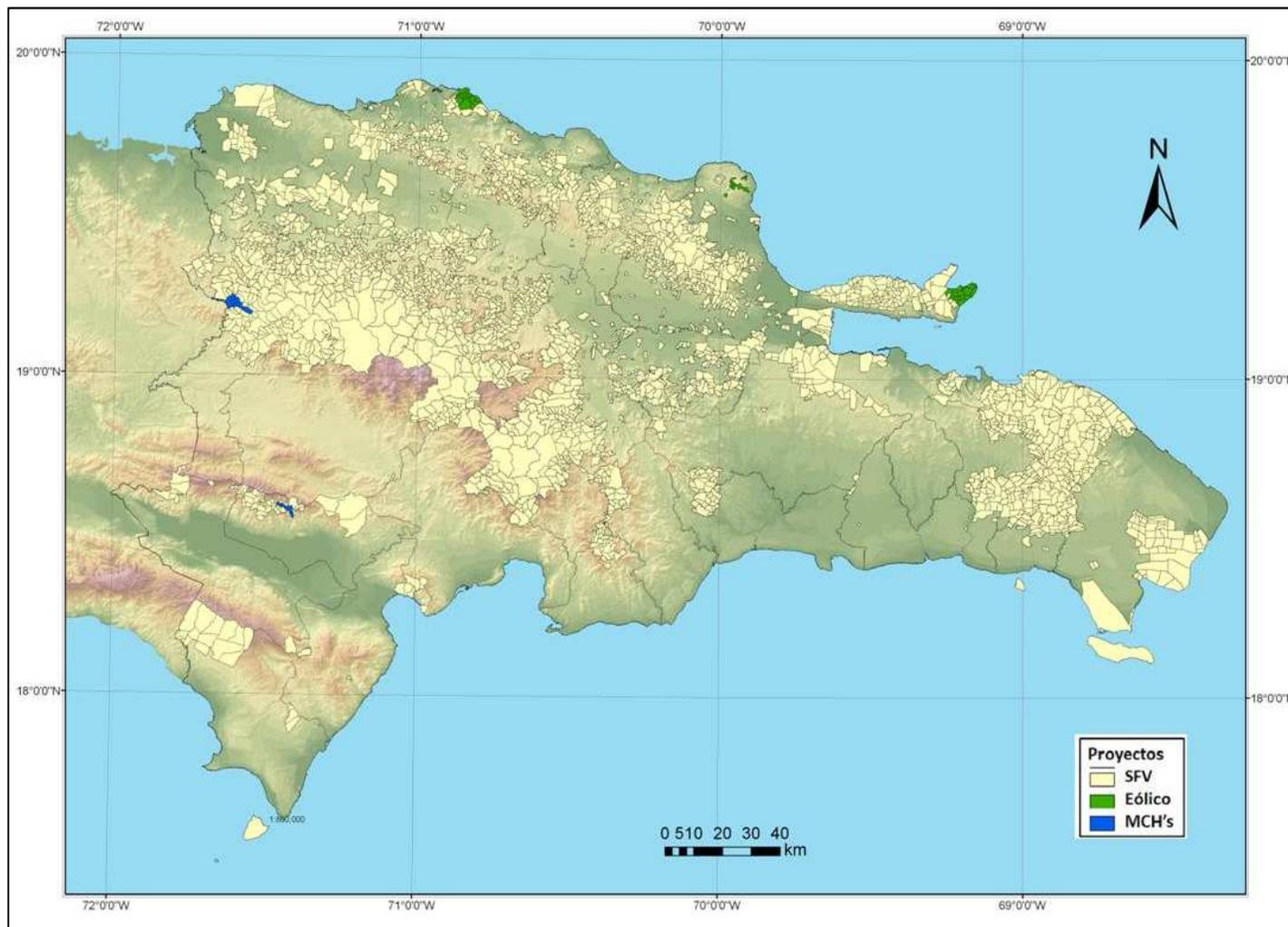
REPÚBLICA DOMINICANA

Figura 5.14. Mapa de proyectos de proyectos de mínimo costo de capital



REPÚBLICA DOMINICANA

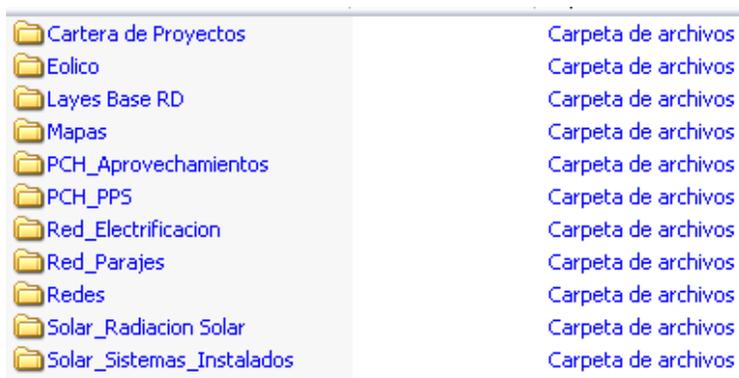
Figura 5.15. Mapa de proyectos de proyectos de mínimo costo de energía



6. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO PARA LA UERS

En la ejecución de este proyecto se desarrolló un Sistema de Información Geográfico (SIG), el cual integra información de la UERS, CNE, EDEESTE, ONE, SWERA, NREL y SEIC, y se crearon varios layers, bases de datos y mapas que muestran esta información. Esta información se organizó en 11 carpetas (ver Figura 6.1) por áreas temáticas como información de Cartera de Proyectos, recurso eólico, solar, PCH, redes, layers de base (provincias, ríos, mapa físico de RD, etc.) y la carpeta Mapas la cual contiene 26 mapas resultado de los análisis de la información del SIG:

Figura 6.1. Constitución del SIG

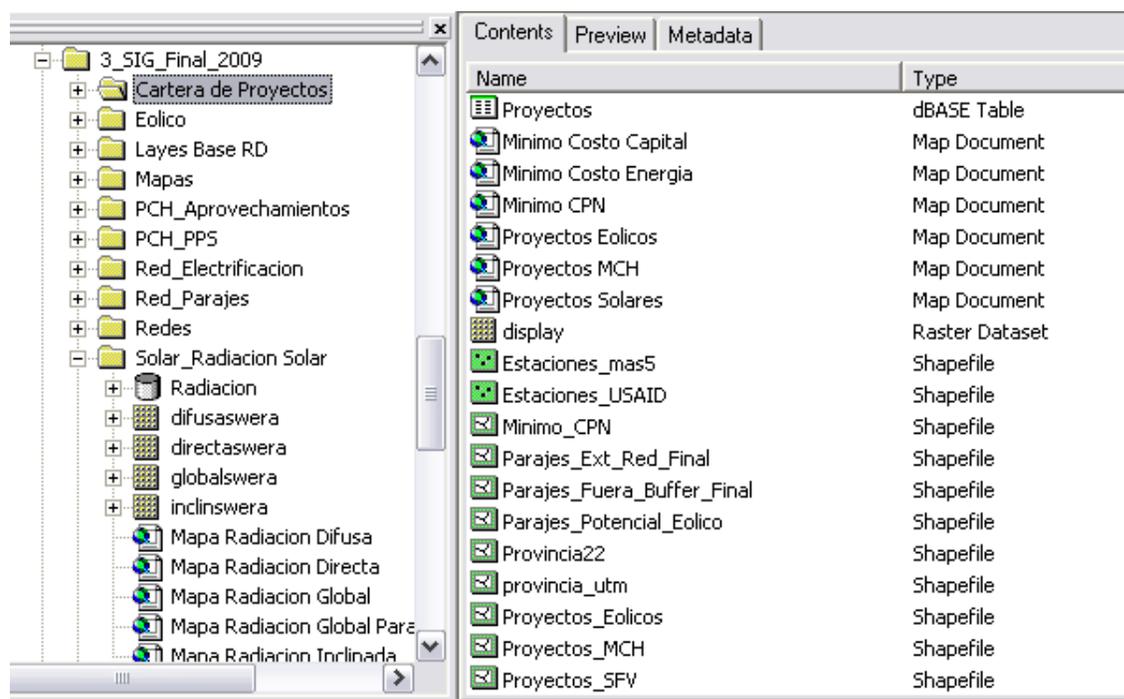


Cartera de Proyectos	Carpeta de archivos
Eolico	Carpeta de archivos
Layes Base RD	Carpeta de archivos
Mapas	Carpeta de archivos
PCH_Aprovechamientos	Carpeta de archivos
PCH_PPS	Carpeta de archivos
Red_Electrificacion	Carpeta de archivos
Red_Parajes	Carpeta de archivos
Redes	Carpeta de archivos
Solar_Radiacion Solar	Carpeta de archivos
Solar_Sistemas_Instalados	Carpeta de archivos

6.1 CARPETA CARTERA DE PROYECTOS

La carpeta *Cartera de Proyectos*, contiene layers que contienen los proyectos en SFV, sistemas Eólicos individuales y MCH's, además contiene los mapas de selección de tecnologías por CPN (Costo Presente Neto), costos de capital y costo de la energía.

Figura 6.2. Contenido Carpeta Cartera de Proyectos

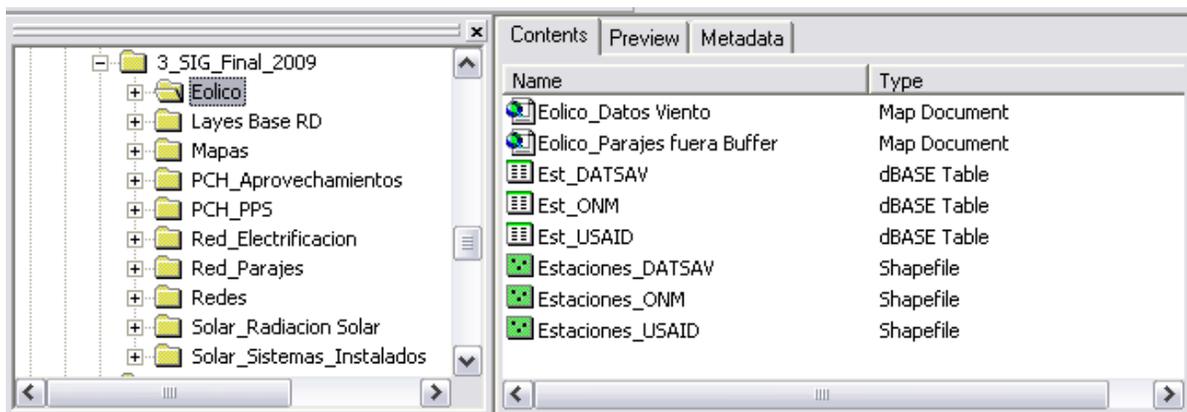


6.2 CARPETA EÓLICO

La carpeta *Eólico*, contiene layers de información de datos de velocidad de viento de estaciones meteorológicas de USAID, ONM y DATSAV. Esta información fue tomada del atlas de recurso eólico desarrollado por NREL⁴¹ para RD e integrada y georeferenciada en el mapa “Eolico_Datos viento”. Además se generó el mapa “Eolico_Parajes fuera Buffer” en donde se muestra los parajes fuera del buffer de 5 km y las estaciones meteorológicas que poseen datos de velocidad de viento.

⁴¹ Elliot, D. et al. (2001). Wind Energy Resource Atlas of the Dominican Republic (Evaluación de la Energía Eólica de República Dominicana). National Renewable Energy Laboratory and RAM Associates. NREL/TP-500-27602

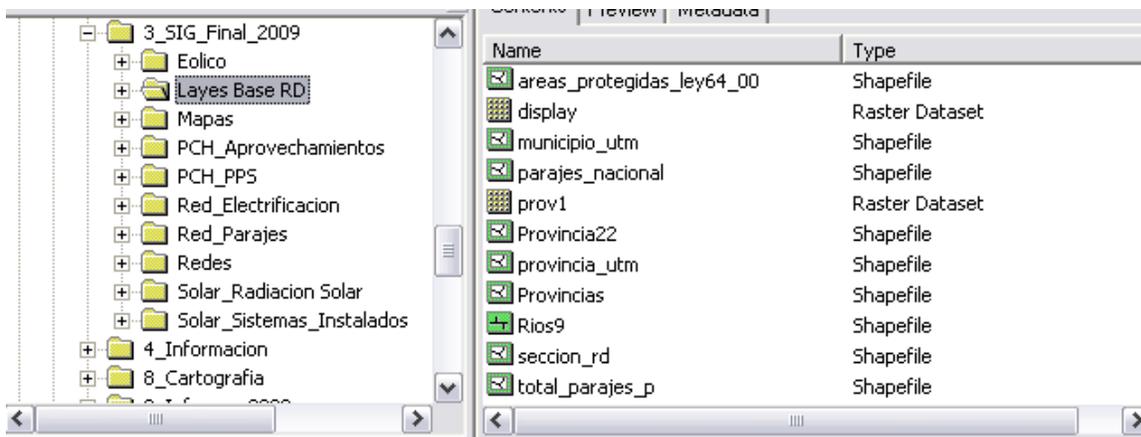
Figura 6.3. Contenido Carpeta Eólico



6.3 CARPETA LAYERS BASE DE RD

La carpeta *Layers Base RD* reúne los layers que se usan como base para la elaboración de los mapas, se encuentra los layers de provincias, municipios, secciones, parajes, ríos, mapa físico y áreas protegidas de República Dominicana.

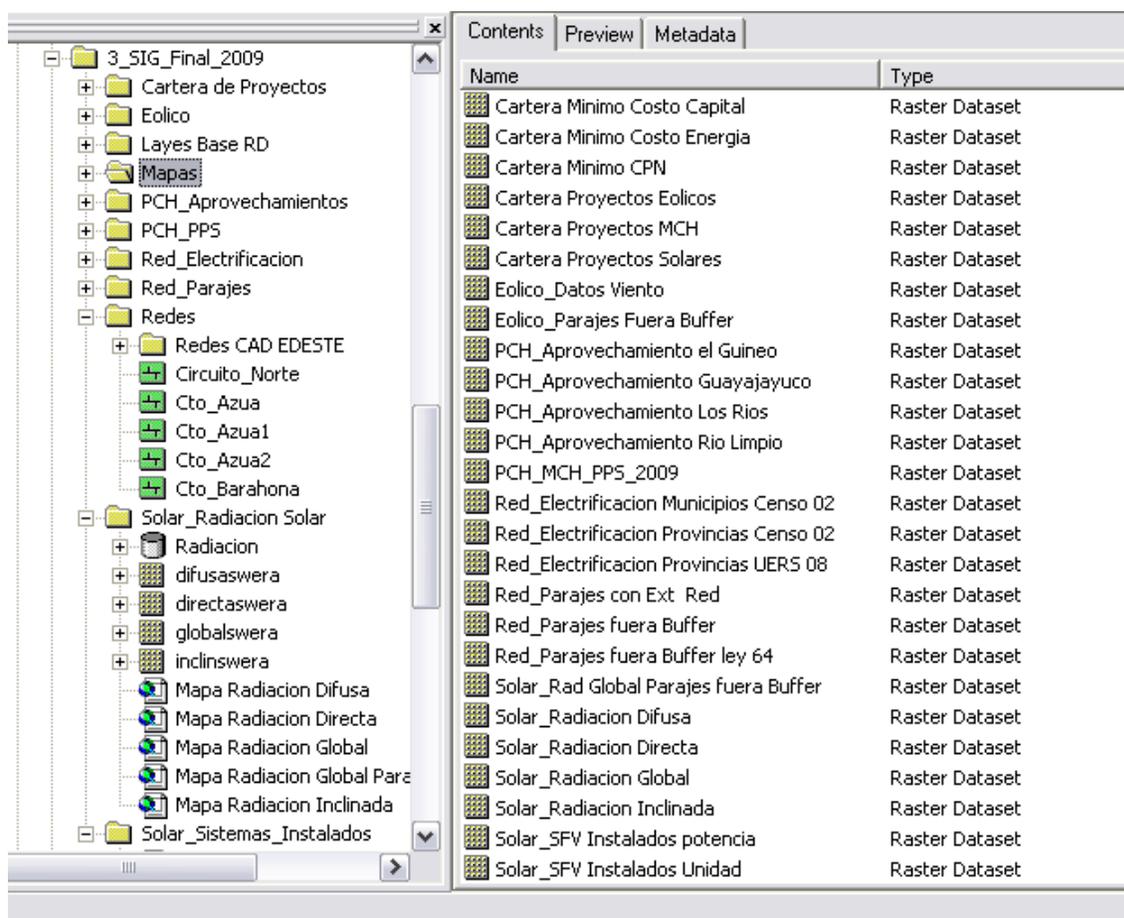
Figura 6.4. Contenido Carpeta Layers Base RD



6.4 CARPETA MAPAS

La carpeta *Mapas* contiene las imágenes de 26 mapas resultado del análisis de las bases de datos y layers contenidos en el SIG.

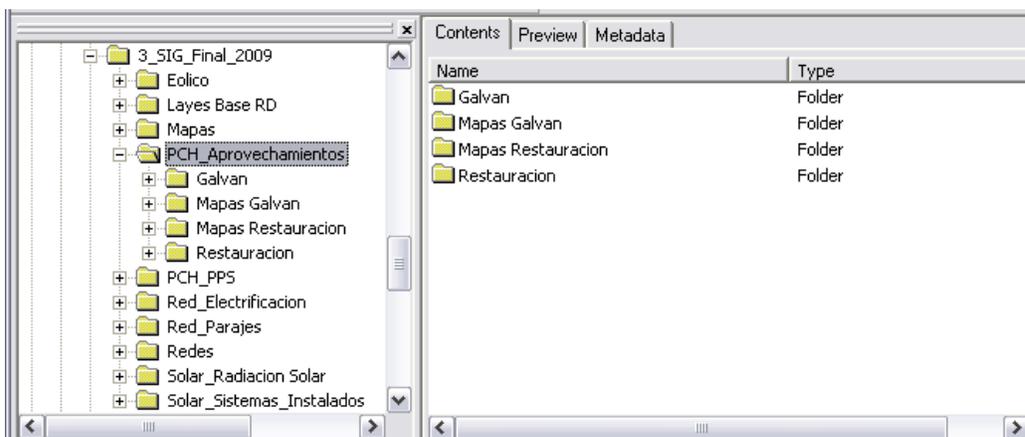
Figura 6.5. Contenido Carpeta Mapas



6.5 CARPETA PCH APROVECHAMIENTOS

En la carpeta *PCH Aprovechamientos* se integra las imágenes cartográficas de Galván, La Descubierta y Restauración, hojas topográficas que son base para la elaboración de los mapas de 5 aprovechamientos de PCH, estos aprovechamientos fueron definidos por el trabajo de campo realizado por el consultor y el grupo de la UERS. En la carpeta Mapas Galvan contiene los aprovechamientos del Guineo y los Ríos, y en la carpeta Mapas Restauración los aprovechamientos de Rio Limpio y dos de Guayajayuco.

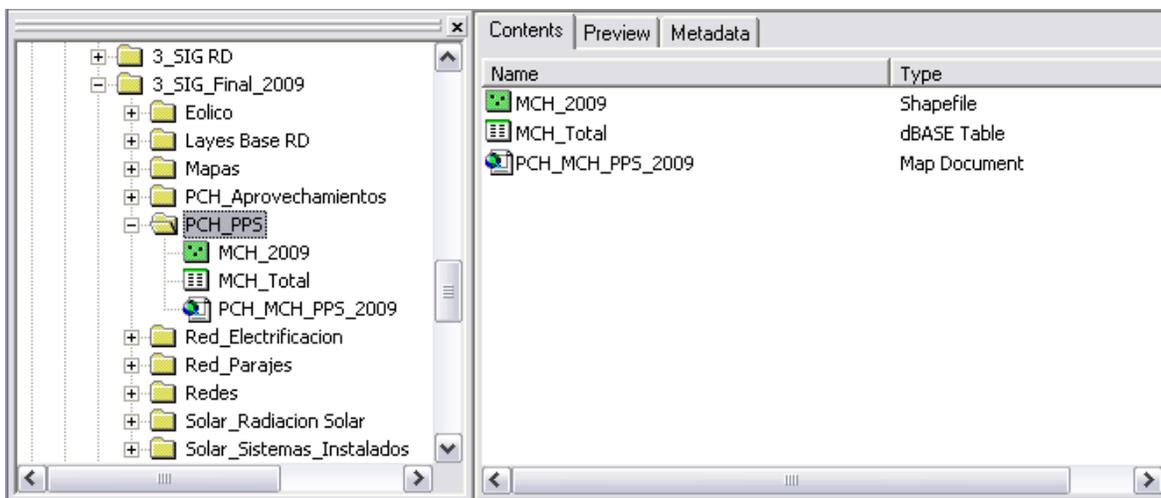
Figura 6.6. Contenido Carpeta PCH_Aprovechamientos



6.6 CARPETA PCH PPS

En *PCH_PPS* reúne la base de datos y layer de los proyectos de pequeñas centrales hidroeléctricas que el programa PPS ha realizado en el país, el mapa *PCH_MCH_PPS_2009* georeferencia estos proyectos realizados a la fecha.

Figura 6.7. Contenido Carpeta PCH_PPS

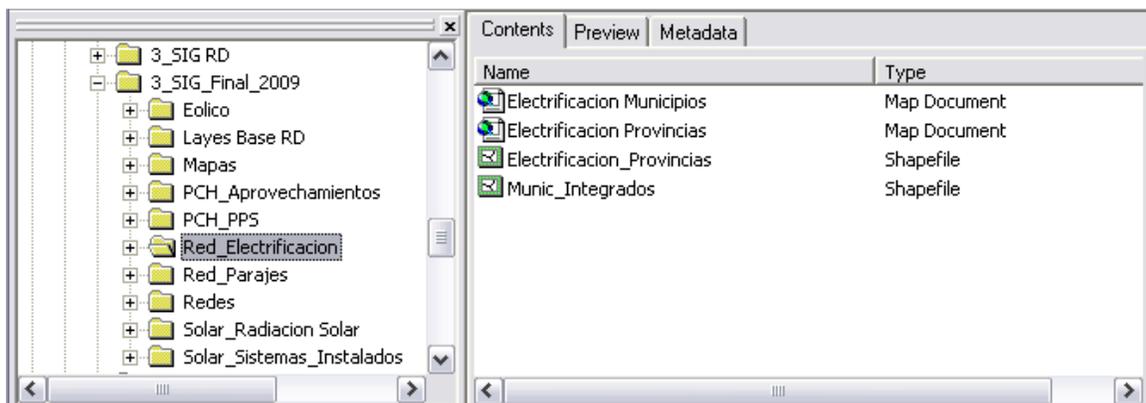


6.7 CARPETA RED ELECTRIFICACIÓN

La carpeta *Red Electrificación* contiene los layers de provincias y municipios. Estos layers muestran el tipo de iluminación por vivienda (iluminación por tendido eléctrico, planta,

lámpara de gas propano o kerosene) y el índice de electrificación, información tomada a partir de datos del censo de 2002.

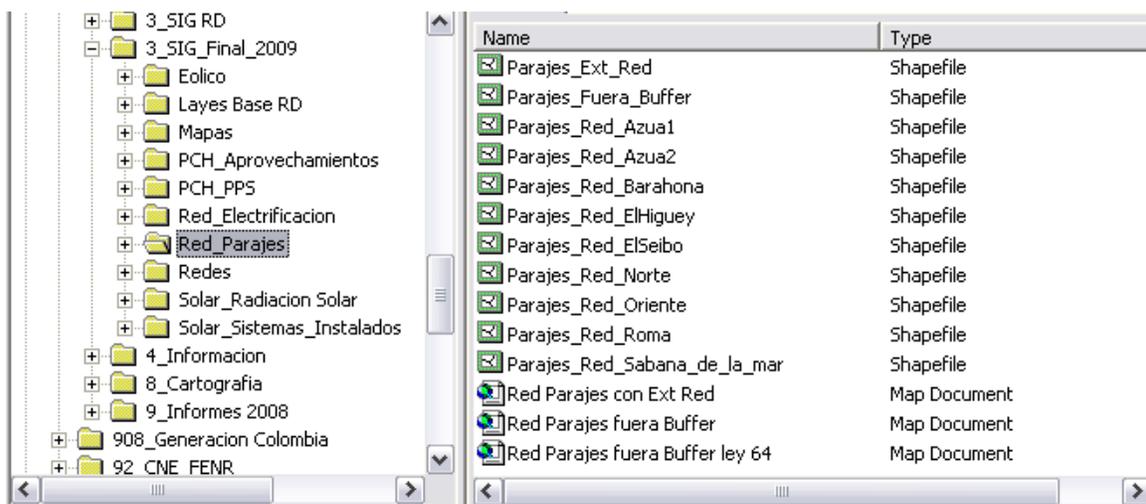
Figura 6.8. Contenido Carpeta Red_Electrificacion



6.8 CARPETA RED PARAJES

La carpeta *Red Parajes* contiene los layers, resultantes de cada circuito del país, se selecciona todos los parajes que intercepten con las diferentes redes en un área de intercepción de 5 km, luego se unen los layers resultantes en uno solo generando así el layer *Parajes_Ext_Red*, el cual contiene los parajes que interceptan con la red y el buffer de 5 km, además a partir de este layer se crea el layer *Parajes_Fuera_Buffer* el cual contiene los parajes que no están en el Buffer de 5 km. Con esta información se crean los mapas *Red Parajes con Ext Red*, *Red Parajes fuera Buffer* y *Red Parajes fuera Buffer ley 64*.

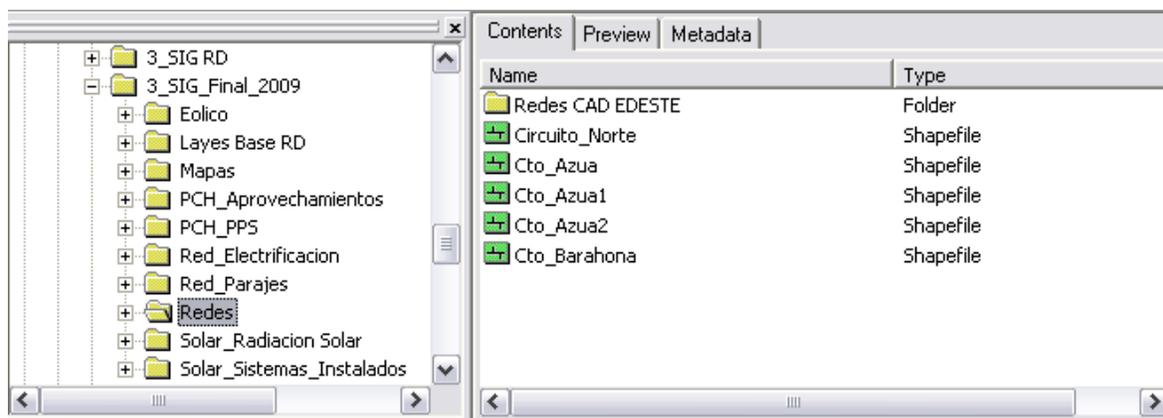
Figura 6.9. Contenido Carpeta Red_Parajes



6.9 CARPETA REDES

La carpeta *Redes* contiene la información de los circuitos de las diferentes redes del país, los circuitos Norte, Azua, Barahona fueron suministrados por la UERS y los circuitos del oriente por EDEESTE, estos layers son base para la construcción de los descritos en la carpeta Red_Parajes.

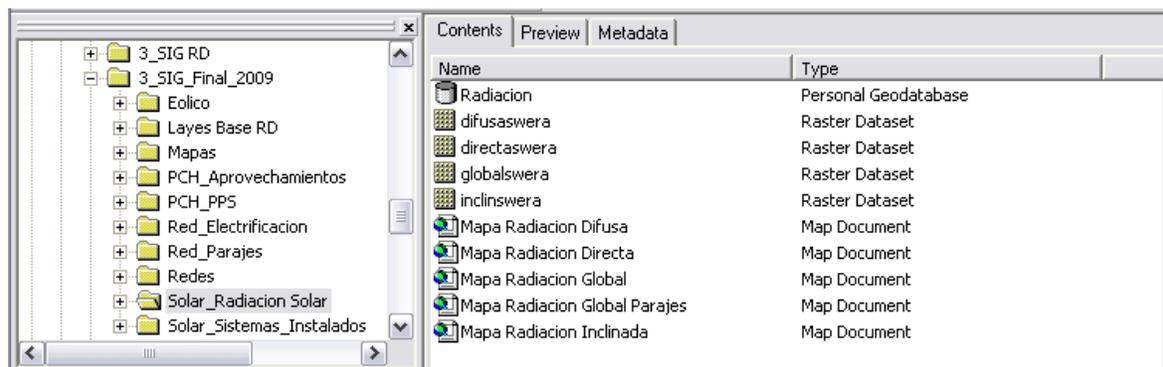
Figura 6.10. Contenido Carpeta Redes



6.10 CARPETA SOLAR_RADIACIÓN SOLAR

En la carpeta *Solar_Radiacion Solar* se encuentra los layers y base de datos de información de SWERA para radiación solar global, directa, difusa e inclinada con la latitud, contiene además los mapas de Radiación Difusa, Directa, Global e Inclinada y el mapa de Radiación Global en los parajes que no cubre el buffer de 5 km.

Figura 6.11. Contenido Carpeta Solar_Radiacion Solar



6.11 CARPETA SOLAR_ SISTEMAS INSTALADOS

La carpeta *Solar Sistemas Instalados* contiene un layer que reúne información de los sistemas fotovoltaicos instalados en viviendas, escuelas, UNAP y centros comunitarios por provincia de información recopilada de la UERS y SEIC. Los mapas de esta carpeta muestran el número de estos sistemas instalados y la potencia total instalada por provincia.

Figura 6.12. Contenido Carpeta Solar_Sistemas_Instalados



7. SOSTENIBILIDAD DE LOS PROYECTOS DE ER

La RD actualmente está desarrollando un estudio de estrategia para el desarrollo de las FER. Este capítulo no pretende sustituir ese estudio sino más bien contribuir a fortalecer ese estudio al proponer consideraciones relacionadas con la visión del desarrollo de las FER, la misión de la UERS, las barreras que se presentan al desarrollo de las FER y hacer un análisis sobre la sostenibilidad del suministro de energía con las FER y sus diferentes matices, y finalmente recomendar algunas políticas.

7.1 VISIÓN

7.1.1 Visión de largo plazo

La electrificación rural es una alternativa y oportunidad para que la gran mayoría de la población de las áreas rurales no interconectadas al servicio de energía eléctrica tenga acceso a formas modernas de energía y su utilización genere beneficios sociales y económicos tanto para la población como para el país, en concordancia con las políticas del estado de República Dominicana.

A largo plazo, se busca la expansión del servicio de electricidad rural a toda la población rural de República Dominicana. Además, la utilización eficiente de la leña y los residuos agrícolas junto con el manejo apropiado del bosque permitirán un uso sostenible del recurso biomasa para los procesos de preparación de alimentos y otros procesos agroindustriales.

7.1.2 Visión de mediano plazo

En el mediano plazo, la opción consiste en suministrar energía eléctrica a los usuarios rurales mediante 1) la conexión de usuarios a redes existentes, 2) la extensión de redes a los usuarios próximos (proximidad definida en términos de viabilidad técnica y económica) a ella y 3) suministrar electricidad con FER a las comunidades que en un horizonte de tiempo, 10 años por ejemplo, se estima no van a ser alcanzados por la red.

Por lo tanto, las dos tecnologías (extensión de red y FER) son complementarias para el aumento de la cobertura del servicio de electricidad rural en República Dominicana.

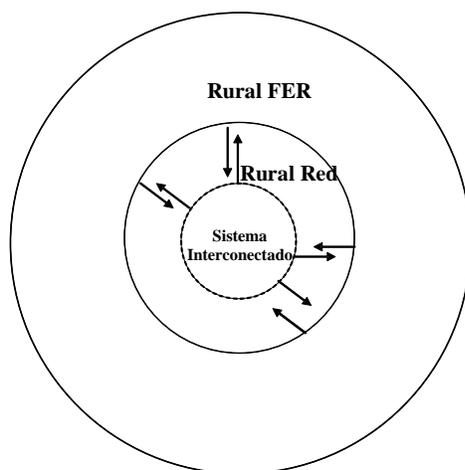
Además, se promovería el uso eficiente de la leña y residuos agrícolas, y el uso sostenible del recurso biomasa.

7.1.3 Interacción de los dos sistemas de suministro

La interacción entre los dos sistemas de suministro se puede esquematizar de la siguiente manera:

Los pobladores de las zona rurales se encuentran dispersos entre el sistema interconectado nacional (Ver Figura 7.1). Para el suministro de energía eléctrica, estos pobladores dispondrán entonces de dos tecnologías: interconexión de red y FER. Los que estén más próximos a la red “en términos técnico-económicos” deberían de acceder a la red mientras que los restantes deberían acceder a FER. La asignación de una u otra tecnología para un proyecto específico deberá corresponder a un estudio técnico-económico de optimización de costos y que conlleve los menores subsidios para el estado. De esta manera, la red se extenderá cuando su uso sea más ventajoso que el uso de las FER y viceversa. Así, las dos tecnologías irían extendiéndose aumentando el grado de cobertura del servicio de energía eléctrica.

Figura 7.1. Expansión del servicio de electricidad rural con red y FER



La cobertura rural del servicio irá avanzando cubriendo mediante red a usuarios en áreas próximas en donde la red está establecida, recurriendo a aportes del estado (provenientes de las municipalidades, UERS, etc.), de los usuarios y de las empresas distribuidoras. Igualmente, la cobertura mediante FER se irá extendiendo empleando recursos de los usuarios, del estado y de las empresas desarrolladoras.

7.2 MISIÓN

Las instituciones del estado tienen, dentro del contexto de su política de desarrollo y del sector rural, la misión de propiciar y establecer las políticas necesarias para el suministro de servicios energéticos rurales estableciendo un entorno que permita que la interacción entre los diferentes actores del proceso.

Como líneas directrices del proceso se deben maximizar los beneficios para las comunidades locales, identificar las barreras que impiden su desarrollo adelantando las acciones necesarias para superarlas y establecer una atmósfera apropiada que permita que el sector privado participe en la prestación de los servicios de energía rural.

7.3 BENEFICIOS

Los beneficios de un programa de esta naturaleza son tanto para los usuarios como para el estado y los desarrolladores. Por otro lado, este tipo de desarrollo ayuda la preservación de los recursos naturales y del medio ambiente.

7.3.1 Beneficios para los usuarios y el gobierno

7.3.1.1 Desarrollo económico

La utilización de la energía eléctrica por parte de los habitantes de las zonas rurales trae beneficios directamente para ellos al mejorar la calidad de los servicios de iluminación, entretenimiento (radio y TV) y comunicaciones (telefonía). El uso de la iluminación de mejor calidad que la suministrada por un mechero o vela permite a los niños la realización de las tareas escolares y a los adultos durante las horas nocturnas la posibilidad de adelantar labores productivas y la realización de reuniones de integración de la comunidad.

Más allá de la satisfacción de las necesidades básicas a nivel de hogares, la disponibilidad de energía eléctrica en las zonas rurales permite el establecimiento o mejoramiento de servicios comunitarios como son los de educación, salud, comunicaciones, religiosos y agua potable. En los servicios de educación es posible introducir nuevos equipos para la enseñanza (video y hasta computación). De hecho se ha encontrado que la electrificación es uno de los servicios que favorece la disminución del analfabetismo en las comunidades rurales.

La disponibilidad de electricidad en las zonas rurales también permite el desarrollo de nuevas actividades productivas. Tal es el caso, a nivel de hogar generalmente, del establecimiento de pequeños almacenes o tiendas para la venta de productos básicos y bebidas refrigeradas. Esta actividad comercial es una de que se da con mayor frecuencia en el sector rural. A una escala

mayor, es posible el desarrollo de actividades productivas que requieran mayor consumo de energía y mayores inversiones. Este tipo de actividades va supeditado a la capacidad micro-empresarial de los habitantes. Desde el punto de vista del desarrollo humano sostenible, la introducción en el sector rural aun de pequeñas cantidades de energía produce grandes cambios en el IDH (Índice de Desarrollo Humano).

Por todas las razones antes mencionadas la electrificación rural se convierte en un fin deseable y un objetivo que el Estado debe promover, invirtiendo recursos principalmente en aquellos proyectos que no resultan rentables para los inversionistas privados, pero que son rentables socialmente. Tomando en cuenta los recursos escasos y que no es posible lograr una cobertura total en tiempo reducido, se deben identificar y ejecutar en forma prioritaria aquellos proyectos de electrificación que presentan una mayor rentabilidad social, es decir aquellos que logran un mayor impacto en el bienestar de la población.

Por otro lado, la introducción de estufas eficientes junto con el uso sostenible del recurso biomasa trae beneficios para los usuarios al reducirse el nivel de emisiones nocivas para la salud en el interior de las viviendas y reducir el consumo de leña.

7.3.1.2 Justificación

Un objetivo adicional de la electrificación, es imprimir un mayor dinamismo a la actividad económica de la población a través de la introducción de nuevas actividades logrando mayor eficiencia en las que ya existen.

“El real potencial de la electricidad no descansa en proveer agrado social sino en estimular, en su sentido más amplio, el desarrollo económico” (Electricity for a Developing World: New Directions). Por lo tanto se debe tener presente que existen varias actividades en los distintos sectores que se ven fortalecidas con la instalación de la electricidad. Las aplicaciones específicas y el impacto que pueda tener la electricidad en el desarrollo de una localidad o región rural dependerán de las características de la población y del resto de inversiones de infraestructura que se emprendan. Lo importante es tener en cuenta que este *es uno de los servicios básicos necesarios* para poder implementar, promover y desarrollar actividades económicas que otorguen a la población rural igualdad de condiciones a la población urbana.

La justificación para dotar a las poblaciones rurales de electricidad se basa en los siguientes puntos:

- No deben olvidarse las limitadas oportunidades de trabajo que puede ofrecer la agricultura dominicana a las demandas de empleo, que cada vez son mayores. La excesiva concentración industrial puede ser un factor de distorsión mayor aun para el sector rural, por lo que la única solución viable es el desarrollo del sector rural.

- Las posibilidades de crear fuentes de empleo rurales radican en la existencia de infraestructura básica indispensable. Uno de los elementos fundamentales es la electricidad como fuente de energía. El impacto social que produce la electrificación de predios y áreas rurales tiene una trascendencia capaz de acelerar el desarrollo rural y frenar las migraciones a sectores urbanos.

La necesidad de continuar extendiendo la electrificación del campo está a la vista y no es necesario profundizar mucho para darse cuenta de la importancia del proceso. La energía eléctrica forma parte de un complejo dinámico de desarrollo y está íntimamente ligada con:

- Mejoramiento del estándar de vida, los niveles de higiene, la salud y la educación.
- Aplicación de modernas técnicas agrícolas.
- Ampliación del mercado productor y consumidor de equipos eléctricos.
- Integración social de un sector a través de los medios de comunicación audiovisuales.
- Creación de oportunidades de trabajo no agrícola.

7.3.2 Beneficios para los desarrolladores

Los consumidores de las áreas rurales tienen como características distintivas bajos niveles de consumo, pobres tasas de crecimiento, pocos clientes (en el caso de redes, por kilómetro de línea construida) y, a veces, un escaso interés de conexión (a la red y posiblemente a utilizar un sistema aislado con FER) por parte de los posibles beneficiarios.

Si bien lo anterior en general es cierto, la primera región a electrificar será aquella elegida por el gobierno, por lo que es razonable esperar que un desarrollo de este tipo no sólo mejore los indicadores anteriores sino que a su vez se generen nuevas oportunidades de actividades productivas, de servicios y comerciales que hagan más rentables los proyectos. En esta situación, las empresas desarrolladoras (distribuidoras y proveedores de servicios energéticos con sistemas aislados con FER) que participen en los proyectos tienen entonces la oportunidad de recibir beneficios al ampliar la cobertura de sus servicios y por ende de sus activos, con un mínimo de inversión.

7.3.3 Aseguramiento de los beneficios

Admitiendo que la energía de por sí no conlleva al desarrollo sino que más bien los planes y programas de desarrollo en las áreas rurales requieren de la energía, la interacción de un programa de energización con otras organizaciones promotoras del desarrollo, principalmente en las áreas rurales, es de vital importancia.

Para asegurar los beneficios anteriormente descritos es necesario que los servicios prestados sean de la mejor calidad técnica (equipos e instalaciones de calidad) y a los menores costos de

Operación y Mantenimiento (O&M) para asegurar la sostenibilidad de la prestación de los mismos.

7.4 PROPUESTA DE MODELO DE NEGOCIOS PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS CON SISTEMAS DE ENERGÍA RENOVABLE

Para el desarrollo de proyectos con sistemas de energía renovable, en esta sección se presentan una serie de recomendaciones para la formulación y organización de los proyectos, y el establecimiento y operación de un modelo de negocios denominado RESCO⁴² que se ha desarrollado para ER, que ha sido empleado en otros países como El Salvador pero que debe ser probado y validado antes de su adopción. Esta propuesta se deriva de las experiencias que hay en el mundo sobre el particular⁴³ y de las del consultor, y *es una propuesta* que debe discutir la UERS.

7.4.1 Modelo de negocios propuesto

Existen diferentes modelos de negocios posibles para la prestación de servicios de energía eléctrica con ER. El más elemental, la donación de equipos, no necesariamente conlleva al suministro sostenible de energía y por otro lado tiene impactos sobre el comportamiento social como es el desarrollo continuado del paternalismo estatal o de organizaciones externas a la comunidad. El otro extremo es la organización de una empresa comercial que preste el servicio en el sector rural, la cual por sus costos requiere de un fuerte subsidio estatal que a la postre puede no resultar sostenible por el estado.

El modelo que aquí se propone es el modelo de negocios denominado “Pago por servicios”. En este modelo el desarrollador es el sector privado representado por los beneficiarios y la empresa desarrolladora denominada RESCO, la cual está constituida a partir de las organizaciones comunitarias reconocidas antes las autoridades municipales en donde se encuentran los usuarios. En el marco de la Ley 57-07 de RD existe la posibilidad de organizar de manera empresarial la figura de la Cooperativa para la generación de energía renovable y la administración de las facilidades⁴⁴.

7.4.2 Formulación del Proyecto

En esta sección se presentan las actividades necesarias para la formulación del proyecto, previas a la constitución de la RESCO.

⁴² RESCO viene del ingles Renewable Energy Service Company.

⁴³ Ver RESuM: Rural Energy Supply Models en <http://www.ises.org/ises.nsf!Open>

⁴⁴ Comunicación personal del Ing. Juan Moreno.

7.4.2.1 Interacción con la comunidad

La experiencia con proyectos de este tipo realizados en otros países y también en RD muestran que **para el éxito de un proyecto de electrificación rural es fundamental la participación de la comunidad y esto desde el comienzo del proyecto.**

La participación de la comunidad y de los promotores (o desarrolladores) del proyecto consiste en:

- Participación de los usuarios en la financiación del proyecto
- Pertenencia y control local de los equipos instalados por parte de los usuarios
- Flexibilidad de los desarrolladores a las necesidades de la comunidad.

Para alcanzar el éxito de los proyectos es necesario implementar las siguientes estrategias:

- La participación de los usuarios en todas las etapas del proyecto debe ser real
- Usar los conocimientos locales para el diseño e implementación del proyecto
- Crear capacidades locales y suministrar la información correspondiente
- Ayudar a la comunidad para que la decisión por la tecnología sea consciente e independiente
- Propiciar la organización autónoma de la comunidad.

Por el contrario, se pueden dar factores debidos al promotor o desarrollador que afecten negativamente el proyecto, como:

- Mantener el control sobre los detalles e implementación del proyecto
- Imponer una tecnología que no está orientada hacia el usuario
- Falta de voluntad para la creación de capacidad local y para la organización autónoma de la comunidad y de la infraestructura local.

Los proyectos de electrificación rural con energía solar pueden surgir promovidos por el gobierno central, sus agencias como la UERS, desarrolladores privados (empresas, ONG's, individuos) o de la misma comunidad.

Los actores en este caso son: la comunidad con sus líderes, las autoridades gubernamentales locales, el gobierno central con sus técnicos y los promotores/desarrolladores del proyecto. Los técnicos y autoridades gubernamentales presentan a la comunidad la idea del proyecto, haciendo énfasis en el servicio ofrecido, la necesidad de la organización y la participación de la comunidad, los aspectos financieros, entre otros.

En esta etapa también se identifican plenamente los actores, competencias y responsabilidades.

Es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los futuros *usuarios son válidos participantes del proyecto*, involucrados en el proceso, cooperadores, independientes, soberanos, con voz y voto y responsables de sus decisiones.
- Los *usuarios son los expertos de su situación* pues ellos saben perfectamente lo que necesitan y desean, cuáles son sus expectativas y sus temores al respecto.
- Los *usuarios cuentan con sus propios recursos*: conocimientos locales, experiencias, capacidades prácticas e intelectuales, su cultura y sus tradiciones; para poder aprovechar esos recursos en el proyecto es esencial su participación.
- Los *profesionales*, en cambio, *son expertos de la tecnología*, de los requerimientos y las posibilidades.
- Los sistemas se instalan en primer lugar para los que necesitan el servicio y que usarán el recurso. Por lo tanto, el diseño de los sistemas debe corresponder con las necesidades y las posibilidades de los usuarios. *El interés de los usuarios se antepone a cualquier otro interés secundario que pueda existir.*
- La electrificación rural no es un proceso hacia un sistema determinado, sino que es un complejo proceso de permanente adaptación y solución de problemas con el fin de aumentar la calidad de vida de los usuarios (servicio, funcionalidad y sostenibilidad).

Los objetivos del contacto entre la comunidad y los desarrolladores del proyecto son:

- Conocer la comunidad y el pueblo en general (datos geográficos, demográficos, sociales, etnológicos, culturales)
- Identificar los interlocutores (líderes formales, informales, autoridades, estructuras sociales)
- Presentación de la idea del proyecto, de las instituciones y profesionales implicados, despertar confianza e interés (posibles diseños de la instalación, de la distribución de la energía, ventajas de energías renovables, etc.)
- Hacer un análisis de la demanda, de las necesidades, de las posibilidades económicas y de las experiencias de los futuros usuarios con el suministro energético, abordar sus experiencias con recursos comunitarios

7.4.2.2 Formulación de proyectos

Para la formulación de proyectos, es conveniente la asistencia técnica provista por la UERS o por los desarrolladores del proyecto. Se propone la siguiente guía:

GUÍA PARA LA FORMULACIÓN DE PROYECTOS

- Nombre del Proyecto
- Ubicación
- Descripción del proyecto
- Monto total del Proyecto
- Beneficiarios
- Consumo mensual de electricidad estimado por familia
- Modalidad de Ejecución
- Beneficios a generarse por la ejecución del proyecto
- Presupuesto
- Cronograma de actividades
- Plano de ubicación del proyecto
- Disponibilidad de recursos energéticos

Puesto que varios de los elementos son auto explicativos, se explicarán los demás.

- *Descripción del proyecto.* Explicar que se trata de un proyecto de electrificación rural, dirigido a usuarios del sector rural.
- *Monto total del proyecto.* Valor aproximado de los equipos de ER a suministrar.
- *Beneficiarios.* Indicar el número total de usuarios y su condición social y económica.
- *Consumo mensual de electricidad.* Mejor explicar el nivel de servicios energéticos a ser provistos.
- *Modalidad de ejecución.* Desarrollo por la RESCO.
- *Beneficios.* Estimado de beneficios generados por el proyecto.
- *Presupuesto.* Monto de los aporte de los usuarios, aportes de la municipalidad, donaciones y cuantía a financiar por el gobierno (a través de la UERS).
- *Cronograma:* Descripción de las actividades y tiempos requeridos para la implementación del proyecto.
- *Plano de ubicación del proyecto.* Preferiblemente un mapa mostrando la ubicación de la comunidad, vías de acceso, poblaciones cercanas, red eléctrica próxima, ríos y otros.

- *Disponibilidad de recursos:* Dar la distancia a la red más próxima (emplear SIG o Google Earth o medir). Dar información de los recursos de ER en la localidad.

7.4.2.3 Implementación del proyecto

Para la implementación del proyecto, se requiere la creación de la RESCO por parte de los asociados. En esta etapa es necesaria la asistencia técnica por parte de la UERS.

La adquisición de los bienes y su instalación, así como la capacitación de los usuarios y del técnico de la RESCO, serán contratadas mediante licitación pública con empresas privadas. La interventoría debe ejecutarse con personal calificado y experto en la tecnología de ER a emplear.

7.4.2.4 Evaluación y seguimiento

La evaluación y el seguimiento del proyecto son competencia de la UERS.

7.4.3 Constitución de la RESCO

7.4.3.1 Qué es una RESCO?

La RESCO es una empresa encargada de prestar el servicio de energía eléctrica con ER. La RESCO puede estar organizada como empresa comercial o empresa de tipo asociativo u organización comunitaria. La organización comunitaria es el ente legal que se inscribe frente a la Superintendencia de Electricidad (SIE) y la RESCO es el concepto empresarial. La RESCO estará conformada por los beneficiarios del proyecto y estará encargada de administrar y supervisar los sistemas de ER que serán instalados en su comunidad. Los integrantes de esta asociación no devengarán ningún tipo de salario a excepción de la persona que estará encargada de hacer el mantenimiento a los sistemas solares a la cual se le reconocerá una pequeña remuneración por la prestación de los servicios y por concepto de transportes.

Las instalaciones de la RESCO estarán ubicadas en alguna casa de la comunidad en el poblado y no se pagará ningún tipo de arriendo.

7.4.3.2 Funciones de la RESCO

Entre las funciones de la RESCO están:

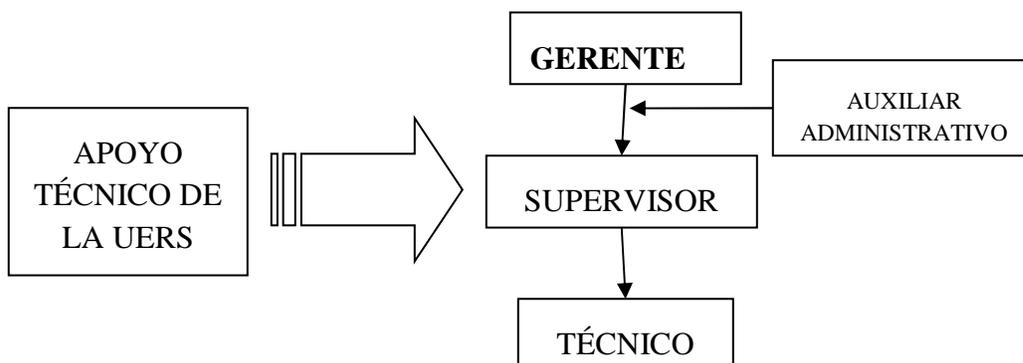
- Hacer los trámites ante los organismos correspondientes para el financiamiento de los equipos.
- Administrar los equipos y darles la operación y el mantenimiento.
- Recaudar y administrar los fondos de la comunidad para la operación de la RESCO y el mantenimiento de los sistemas.

- Capacitar periódicamente a los usuarios en el uso y mantenimiento de los sistemas.
- Recibir asistencia técnica de las instituciones gubernamentales y privadas.

7.4.3.3 Organización básica de la RESCO

Para llevar a cabo las funciones anteriores, se muestran a continuación los diferentes cargos mínimos necesarios para la operación de la empresa. El número de funcionarios estará de acuerdo al número de usuarios que atiendan.

Figura 7.2. Organización básica de la RESCO



Las funciones de cada cargo son las siguientes:

- Un **gerente** o responsable de la empresa legal y regulatoriamente. También será el director de la empresa y coordinará la operación y desarrollo de la misma. Se recomienda utilizar uno de los líderes comunitarios de la comunidad beneficiaria del proyecto.
- Un **técnico** encargado de las instalaciones en cuanto a su puesta en servicio y chequeo permanente para que estas estén operando de manera adecuada. Asesora al usuario y es el encargado de la labor de recolección de las cuotas mensualmente.
- Dependiendo del número de técnicos se requiere de la coordinación operativa de un **supervisor** el cual deberá haber tenido la experiencia técnica y haber sido capacitado en la operación y coordinación de personal técnico.
- El **auxiliar administrativo** se encarga del manejo contable y comercial de la empresa en cuanto a la emisión de facturas, control de cartera, recibo y manejo del dinero y ejecución de gastos, así como la elaboración de los libros contables y su presentación ante las autoridades competentes.

REPÚBLICA DOMINICANA

- **El apoyo técnico** de la UERS se requiere en todas las etapas del proceso, desde la concepción de la idea, el diseño del plan, el diseño de los sistemas, la conformación de la compañía la inscripción ante el regulador, la solicitud de subsidios, la puesta en operación y la operación comercial de la empresa por lo menos durante tres años con el fin de obtener sostenibilidad de la empresa en el mediano y largo plazo.

Para proyectos con un número pequeño de usuarios (del orden de 100 o menos) se recomienda reducir el número del personal de la RESCO asignando a una misma persona, varios de los cargos anteriormente descritos.

7.4.4 Fuentes de financiamiento

Con el fin de comenzar la empresa se requiere de capital inicial, el cual debe ser aportado en diferentes formas. Estos recursos pueden provenir del Gobierno de República Dominicana (nivel municipal y recursos de nivel nacional) y aportes de los usuarios. Es posible también considerar aportes por concepto de donaciones.

7.4.4.1 Composición de la inversión

En general, la inversión total se compone de un capital de riesgo o equity del inversionista, de un préstamo de inversionista, de una línea de crédito especial creada por el gobierno para incentivar el desarrollo de la energía rural en RD y de un aporte de subsidio. No necesariamente estarán presentes los tres tipos y el gobierno puede ser Nacional o Local, y el capital de riesgo puede ser propio de la comunidad o aportado por algún tipo de donación. Sin embargo, siempre se podrán agrupar las tres componentes.

La participación típica puede ser la siguiente:

	Equity	10% de la inversión
Crédito		10% de la inversión
Subsidio		80% de la inversión

Se recomienda tener las tres componentes, por varias razones:

1. Cuando existe capital de riesgo de la comunidad aportada por ellos, permite crear el sentido de pertenencia de la empresa.
2. El crédito los acostumbra a tener relaciones con entidades financieras y así se crea un interesado más en el proyecto, el cual será una palanca importante en el desarrollo

REPÚBLICA DOMINICANA

sostenible de las empresas en el futuro. Esta opción siempre que las condiciones locales lo permitan y existan los mecanismos de obtención de los mismos.

3. El subsidio puede venir del gobierno Nacional por medio de la UERS o por recursos municipales lo cual mejora aún más la presencia del estado en los proyectos y se tiene un control local que muchas veces le es muy difícil tener al Gobierno Nacional sobre todo si estos proyectos no son de gran envergadura.

Finalmente, no debe olvidarse que existe también una necesidad de capital de arranque de la empresa y un capital inicial el cual debe formar parte de los recursos necesarios de la empresa, aunque este capital puede estar expresado en aportes físicos donados por la misma comunidad.

7.4.4.2 Tipos y costos de créditos

En el caso particular de un desarrollador privado, se puede introducir la figura del crédito en el modelo financiero. Podría existir la posibilidad de que el Gobierno de RD con recursos propios o donaciones genere una línea especial de crédito con el fin de impulsar el desarrollo de estas iniciativas.

7.4.5 Estructura tarifaria

Se propone cobrar dos tipos de cargos: Uno por conexión una sola vez y cada vez que se deba reconectar el servicio por haber sido suspendido por falta de pago y un Cargo Fijo por Servicio mensual que cubre los costos de operación y mantenimiento (reposición de la baterías cada 4 o 5 años en el caso de los sistemas solares y eólicos). La estructura tarifaria descrita es la que mejor se podría adaptar al tipo de servicio solar fotovoltaico y eólico, ya que no es posible ni recomendable tener medidores de consumo para efectos de este servicio. *Este punto deberá ser revisado regulatoria y legalmente con el fin de que su aplicación tenga el sustento jurídico necesario.* En el caso de los desarrollos hidroeléctricos se recomienda el empleo de medidores.

7.4.5.1 Cargo de conexión

Se supone que el usuario paga un cargo único por conexión la primera vez a la compañía de servicios RESCO para cubrir los costos de conexión e instalación. El costo típico para este cargo es de alrededor de \$80 y podría oscilar entre \$70 y \$100 dólares dependiendo de la comunidad seleccionada.

Estos pagos podrían volver a causarse en caso de que el servicio sea cortado o suspendido de acuerdo a como lo establezca el contrato entre las partes y la SIE lo haya determinado.

7.4.5.2 Cargo fijo por servicio

El cargo fijo por servicio (CFS) es el cargo mensual que los usuarios pagarían por el servicio de acuerdo al contrato pactado. En proyectos de SFV realizados en RD por la Secretaría de

REPÚBLICA DOMINICANA

Estado de Hacienda se ha fijado un cargo entre 100 y 125 RD\$ (3 y 4 US\$ respectivamente) para sistemas de 50 y 75 Wp respectivamente. Puesto que el sistema estándar aquí propuesto es de 100 Wp, una cifra de 5 US\$ parece ser razonable como cargo fijo.

De este cargo fijo, se propone que \$3 se destinen a la reposición de baterías y \$2 para los costos de operación de la RESCO.

El costo de reposición de la batería para un sistema estándar con capacidad de 120 Ah@100 hour rate y de ciclo profundo se ha estimado en \$243 para compras individuales y una vida útil de 48 a 50 meses. Si para compras masivas esta batería se podría adquirir en US\$150 US\$, 50 meses* \$3 /mes = \$150.

Para los proyectos con hidroenergía se propone el uso de un contador y si es posible uno prepago. La tarifa aún debe considerarse.

7.4.6 Esquema operacional y financiero

7.4.6.1 Reposición de las Baterías y Repuestos

La empresa RESCO deberá reponer las baterías a los usuarios después de cumplida la vida útil de las mismas, la cual se calcula de más de 48 a 50 meses.

7.4.6.2 Costos operacionales de la RESCO

A continuación se mencionan las actividades y los alcances que se deberán poder cubrir dentro de una prestación que se considera sostenible en el tiempo.

Reposición de partes

La RESCO solamente repondrá las baterías y los reguladores de carga en los SFV y en los SE. La reposición de las LFC's y demás componentes estarán a cargo del usuario. Los reguladores de carga tienen una vida útil de 10 años o más. Además se debe proveer a la RESCO de reguladores de repuesto en proporción de 1 por cada 10 sistemas instalados cuando se inaugura el proyecto con SFV o SE. Se supone que en 10 años deben haberse generado algunos excedentes que permitan reponer los reguladores utilizados del stock de repuestos.

Seguro de los equipos

No se ha podido establecer la viabilidad de un seguro para este tipo de sistemas instalados en el sector rural.

Costo de operación comercial

Para una RESCO con 70 usuarios, los costos mensuales de la operación comercial considerados son: técnico \$30; apoyo, capacitación técnica y otros \$30, y transporte \$20. El

promedio por usuario es de ap. \$1/usuario. Si la tarifa son \$5, \$3 son para reposición de baterías y \$1 para costos operacionales, \$1 es el excedente por usuario/mes.

7.4.6.3 Número de clientes

El número de clientes se puede considerar constante durante la vida del proyecto con una tasa de crecimiento de 10% cada año.

7.4.6.4 Costos de arranque

Se considera unos costos de arranque de la empresa por un valor de \$360 para cubrir licencias, servicios legales y manuales contables, entre otros.

7.4.6.5 Sistema Contable

Es muy importante mencionar, que desde el punto de vista contable, se puede buscar la asesoría de la institución que promueve el desarrollo de la pequeña y mediana empresa, en RD, para la asesoría correspondiente.

7.4.6.6 Sistema Comercial

Desde el punto de vista comercial el sistema o manual debe contener por lo menos los siguientes elementos:

1. Inventario de sistemas por cliente. Para cada cliente, listado del equipo entregado con su respectiva referencia o número de control.
2. Hoja por cliente, donde se relacione lo facturado y lo pagado por cliente en monto y fecha de cada acción.
3. Talonario de facturas. Se mencionan los elementos mínimos de contenido en este documento en la parte de contratos. Este es un tema regulatorio que deberá ser revisado jurídicamente para evitar cometer errores por acción u omisión de elementos en la misma.
4. Hoja de control de mantenimiento por sistema. Donde se relaciona los cambios, reparaciones, adiciones o complementos efectuados al sistema durante la vida útil de los mismos.

7.4.7 Etapas en el desarrollo de la RESCO

Los pasos que se deben seguir para la constitución de la RESCO son:

- Organización y participación activa de la comunidad. Compromiso de aportes y de tarifa.

REPÚBLICA DOMINICANA

- Elegir dentro de la comunidad a los integrantes para la organización de la RESCO, asignando a cada una de ellos sus respectivas funciones. Estos cargos se harán efectivos una vez se legalice la RESCO.
- Inscripción de la RESCO ante la SIE como Generador/Distribuidor (G/D).
- Solicitud de asistencia técnica a la UERS para el diseño del proyecto en sus etapas técnica, comercial y financiera.
- Tramite de recursos (aportes usuarios, locales, municipales, donaciones)
- Proyecto remitido a UERS para la financiación.
- Adjudicación, contratación y supervisión del contrato. Pago a la empresa proveedora de los equipos. Transferencia de bienes a la RESCO.

En caso de que la UERS asuma el liderazgo del proyecto, varias de las etapas anteriores se omitirían.

La Figura 7.3 muestra el diagrama de flujo de los pasos requeridos para la ejecución del proyecto.

7.4.7.1 Participación de la comunidad

La comunidad es la que finalmente toma la decisión de desarrollar el proyecto con sistemas solares o eólicos o hidro-energía, bajo la supervisión de la UERS y por tanto, los beneficiarios adquieren compromisos para la constitución de la RESCO, aportes y tarifas.

7.4.7.2 Inscripción de la RESCO ante la SIE

Para la inscripción ante la SIE se debe seguir el procedimiento para Generador/Distribuidor.

Una vez aceptada su inscripción ante la SIE, la RESCO podrá prestar el servicio de energía eléctrica con una tarifa negociada entre la RESCO y sus usuarios. Por otro lado, la RESCO podrá tramitar ante los organismos del estado la financiación del proyecto o si la UERS asume el liderazgo del proyecto, este paso se podría omitir.

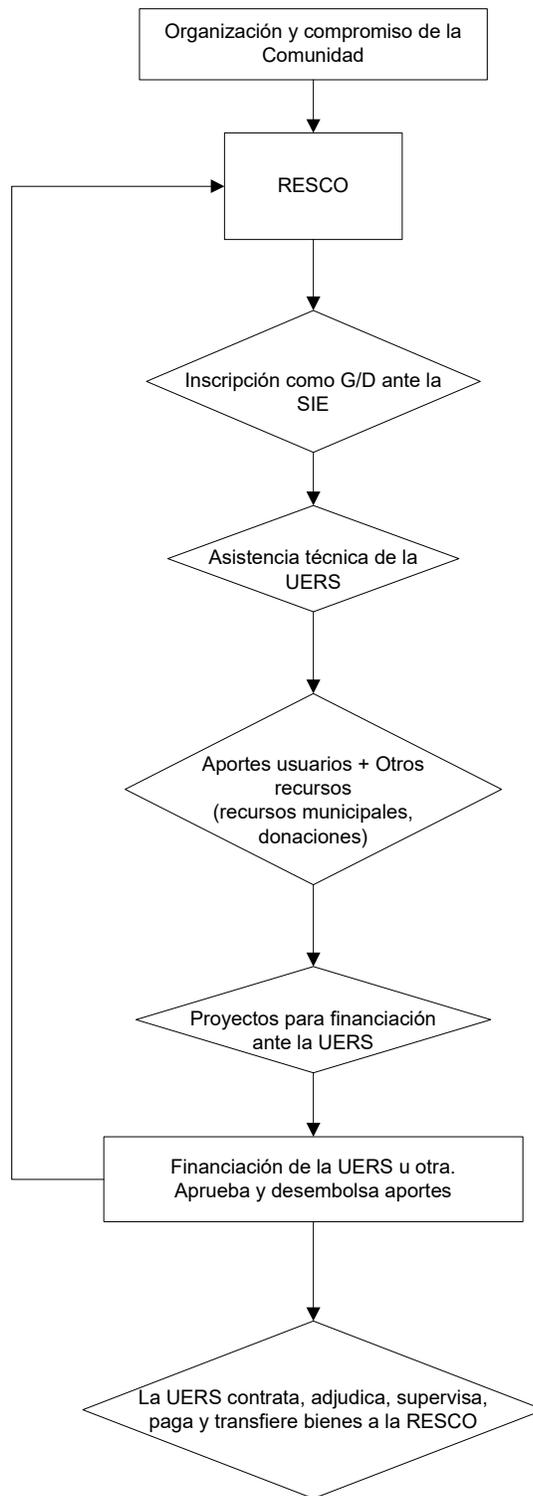
7.4.7.3 Solicitud de Asistencia Técnica

La asistencia técnica necesaria para continuar con el desarrollo de la RESCO y los trámites necesarios para la implementación del proyecto serán provistos por el UERS.

7.4.7.4 Aportes de los usuarios y otros recursos

Se deben captar los aportes de los beneficiarios y los compromisos de aportes de la municipalidad y otros donantes.

Figura 7.3. Diagrama de flujo para la ejecución del proyecto



7.4.7.5 Proyecto para financiación ante la UERS

Se debe complementar cualquier requerimiento adicional e información al documento de proyecto elaborado siguiendo las indicaciones anteriormente mencionados con la asistencia técnica del UERS.

7.4.7.6 Solicitud financiamiento ante la UERS

Cualquier persona natural o jurídica, en particular la RESCO inscrita ante la SIE, podrá presentar ante la UERS una solicitud para que se realicen proyectos de inversión, destinados al desarrollo de los servicios de electricidad en sectores rurales o de bajos ingresos. Dicha solicitud deberá incluir la siguiente información:

- Nombre e información general de la institución solicitante, y en su caso, también la información de quien gestione por la institución.
- Descripción y características técnicas del proyecto.
- Estudios que demuestren los beneficios y costos sociales a generarse por la ejecución del proyecto.

7.4.7.7 Implementación del proyecto

La UERS será la encargada de aprobar o no la financiación del proyecto, si la financiación del proyecto es aprobada, la UERS estará encargada además de licitar, adjudicar, desembolsar los aportes de los usuarios y de la financiación a la empresa instaladora de los equipos y supervisar mediante interventoría la correcta instalación de los equipos a su comunidad. Después que los equipos estén instalados la UERS debe transferir los equipos a la RESCO bajo la modalidad apropiada.

7.4.8 Operación de la RESCO

7.4.8.1 Manejo y control de fondos (parte contable)

La RESCO estará conformada por habitantes de la misma comunidad, quienes tendrán funciones específicas para el manejo de la cooperativa como se mencionó anteriormente. El manejo de la RESCO estará a cargo del gerente con la supervisión de otros integrantes de la RESCO, del alcalde o líder comunal y de la comunidad.

La RESCO y la comunidad deben acordar la frecuencia del pago de la cuota por el servicio prestado que estará destinado al pago de los gastos de la RESCO pero principalmente al mantenimiento de los sistemas y fundamentalmente a la creación de un fondo con destinación específica para la reposición de baterías cuando se trata de SFV y SE. Si este recaudo es semanal, quincenal o mensual, la cuota mínima mensual promedio por este concepto es de US\$ 5 para los SFV y la facturación del contador en el caso de hidroenergía. Los fondos

recaudados se destinarán a los pagos de la operación de la RESCO y los recursos del fondo de reposición de baterías se depositarán en una cuenta bancaria con los respectivos mecanismos de supervisión y control por parte de la RESCO.

7.4.8.2 Operación y mantenimiento de los sistemas

La RESCO será la encargada del mantenimiento de los sistemas de ER mediante la supervisión periódica y capacitación de los usuarios para un mantenimiento preventivo de los sistemas (Ver por ejemplo, Anexo 7 - Guía de mantenimiento de sistemas solares.).

7.4.8.3 Aspectos ambientales

La RESCO como tal, se debe encargar del manejo de las baterías disponiendo de ellas mediante un programa acorde con la Secretaría de Estado del Medio Ambiente y Recursos Naturales. La RESCO debe organizar a la comunidad y debe capacitar a los usuarios sobre el mantenimiento y el correcto manejo que hay que darle a las baterías y qué hacer con éstas cuando ya no funcionen y sea necesario cambiarlas por unas nuevas.

La RESCO como tal debe organizar a la comunidad para un correcto manejo de los recursos naturales en especial la leña usada para la cocción de alimentos, además implementar programas de reforestación teniendo en cuenta recomendaciones y asesorías de los entes gubernamentales. Se debe buscar financiación para poder implementar estos programas de reforestación con las entidades del gobierno y concientizar a la comunidad con el correcto uso de estos recursos energéticos para preservar el recurso hídrico.

7.4.9 Adquisición y montaje de equipos

La RESCO debe adquirir los equipos con asesoría y a través de la UERS mediante licitación pública, y verificar que la empresa a la que se adjudique la oferta, cumpla con las especificaciones dadas en la licitación. Esta verificación debe estar asesorada por funcionarios de la UERS.

El montaje de los equipos estará a cargo de la empresa que suministra los equipos.

Se debe verificar que la empresa instaladora/proveedora imparta capacitación a todos los usuarios e integrantes de la RESCO sobre la operación y el mantenimiento de los equipos de ER.

A la recepción de los equipos, se debe comprobar el correcto funcionamiento de los sistemas, levantar las planillas de inspección e integrar esta información a la base de datos del inventario de usuarios y equipos de la RESCO.

7.5 BARRERAS AL DESARROLLO DE LA ELECTRIFICACIÓN RURAL CON FER

Partiendo del supuesto que la electrificación rural se puede adelantar con dos tecnologías diferentes pero complementarias, entonces es necesaria la identificación de las barreras⁴⁵ que actualmente limitan el desarrollo de la electrificación rural por extensión de red y las que limitan el desarrollo de las FER.

Las barreras al desarrollo de la electrificación rural con FER se pueden agrupar por tipos como sigue:

Tipo regulatorio

1. Puesta en operación del nuevo Marco Regulatorio para las FER establecido por la Ley 57-07 y su Reglamento. Esta Ley y su reglamento son un extraordinario paso del gobierno de RD pero el reglamento debe hacerse operativo
2. Operativización de los procedimientos establecidos por la Legislación en la Ley de Medio Ambiente
3. Marco Metodológico Institucional (Evaluación de Proyectos).

Tipo normativo

4. Falta de Normas para los Equipos de Energías Renovables.
5. Inexistencia de Procedimientos de Certificación para los Sistemas de Energías Renovables y su Instalación

Tipo económico

6. No existen proyectos comerciales con FER que tengan economías de escala.
7. Altos Costos de Inversión en Proyectos con FER.
8. Percepción de Riesgos Asociados con las Tecnologías de Energías Renovables

Tipo información y capacitación

9. Desconocimiento de las FER.
10. Carencia de Programas de Capacitación Formales.

⁴⁵ Barrera: Obstrucción u obstáculo que detiene o impide el desarrollo de un proceso. Las barreras pueden ser naturales o artificiales, y también activas o pasivas. Para que un proceso se detenga o no se de, se requiere la participación de una o más barreras que actúen independiente (en paralelo), secuencialmente (en serie) o mancomunadamente. Las barreras pueden ser de diferente naturaleza: institucionales, legales, regulatorias, normativas, políticas, técnicas, económicas o sociales. Las barreras tienen diferentes grados de importancia para un proceso y se pueden remover total, parcial o temporalmente. Cuando las barreras actúan independientemente, no todas las barreras deben removerse para obtener el desarrollo de un proceso, al menos parcialmente. Si las barreras actúan secuencialmente, se deben remover todas las barreras para lograr el desarrollo del proceso. Las barreras afectan el desarrollo, la operación y el mantenimiento, y los costos de la energía de las fuentes renovables.

Tipo evaluación de recursos

11. Capacidad Técnica, de Equipamiento y Análisis para Efectuar Mediciones del Recurso Eólico.

Otra barrera importante es:

- La barrera de índole cultural que es la prevención hacia el uso de nuevas tecnologías que generan desconfianza

Con el fin de progresar en la introducción de las FRE, es conveniente el desarrollo de proyectos de Asistencia Técnica orientados a remover estas barreras.

7.6 POLÍTICAS

Con el fin de eliminar las barreras anteriores, se considera el desarrollo de medidas de fortalecimiento, políticas y la creación de un ambiente apropiado para la creación y ulterior desarrollo del mercado, con la participación de diferentes actores y con instrumentos legales, económicos y financieros.

7.6.1 Medidas de fortalecimiento

Las políticas en cuanto al desarrollo institucional y financiero se refieren, van dirigidas en primer lugar a reconocer la importancia nacional que tiene la electrificación rural y a disponer los medios administrativos, económicos y regulatorios que propicien y faciliten el desarrollo de la misma.

En segundo lugar, dado que la tarea de electrificación rural que queda por realizar, si bien es mucho más pequeña que la realizada hasta la actualidad, es mucho más difícil y costosa. Además, los usuarios rurales que quedan por ser atendidos son precisamente los más marginados, remotos y de más bajos ingresos. Entonces, esta problemática es necesario abordarla mediante **el fortalecimiento** de la Unidad de Energías Renovables dentro de la UERS.

Esta nueva unidad recientemente creada, estaría dedicada al desarrollo de la electrificación rural y con funciones tales como la coordinación interinstitucional entre los actores, la coordinación del uso de los recursos, la búsqueda de recursos en el ámbito nacional e internacional para los programas, ejecución de las políticas y planes; búsqueda y canalización de recursos y tecnología provenientes de la cooperación internacional y de programas de protección del medio ambiente como puede ser el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) o los Convenios Bilaterales con las naciones desarrolladas; seguimiento, control y evaluación de

los proyectos, mantenimiento de sistemas de información (incluyendo Sistemas de Información Geográfica - SIG) que permitan determinar la magnitud, costo y seguimiento de los proyectos; represente la energía rural en organizaciones estatales, entre otras funciones.

Por otro lado, es necesario el fortalecimiento de los demás actores estatales. La unidad de Energía Renovables en la UERS debería asegurarse el flujo permanente de recursos para dar buenas señales al sector, responder apropiadamente a la asignación de prioridades trazadas por el gobierno central, desarrollar capacidad en la institución en cuanto se refiere a electrificación rural y más específicamente con FER, desarrollar una metodología de evaluación sencilla, clara y transparente para evaluar y decidir sobre las opciones tecnológicas de electrificación rural.

Puesto que la CNE se ocupa de los aspectos regulatorios, la institución necesita incorporar la regulación para los sistemas rurales con FER. Igualmente la incorporación de Normas para Sistemas de FER, procedimientos de pruebas de equipos y prácticas recomendadas.

7.6.2 Políticas de orden regulatorio

Las políticas de orden regulatorio deben estar encaminadas a dar transparencia al desarrollo de los proyectos en electrificación rural tanto revisando los factores que afectan el actual desarrollo de la electrificación rural por extensión de red como a los que se desarrollen con FER.

Es importante anotar que mientras el marco regulatorio para la extensión de redes funciona en República Dominicana, el marco regulatorio para las FER requiere desarrollarse operacionalmente a partir de la Ley 57-07 y su reglamento, como se ha mencionado anteriormente. También es conveniente anotar que este problema es casi universal en las naciones en desarrollo y la experiencia con marcos regulatorios en otros países es prácticamente inexistente. Mientras que el marco regulatorio para la extensión de redes se ha establecido después de muchos años de desarrollo del sector, el marco regulatorio para las FER evolucionará y deberá pasar por diferentes etapas antes de alcanzar algún grado de madurez importante.

La orientación de las políticas debe estar dirigida a asegurar la sostenibilidad de la prestación del servicio de energía eléctrica para lo cual se considera de vital importancia la participación del sector privado, mediante la creación de condiciones que permita a estos actores desarrollar la prestación del servicio como un negocio conveniente para la nación, los usuarios y las empresas del sector privado.

7.6.3 Políticas de aseguramiento de la sostenibilidad

Muy importante para el estado es que la prestación de los servicios energéticos sea sostenible técnica, económica y ambientalmente. En cuanto a la sostenibilidad técnica, debe asegurarse que los sistemas instalados sean de la mejor calidad posible, instalados en las mejores condiciones, operados por el usuario de la manera más conveniente, y mantenidos por el operador y el usuario de la mejor manera posible. Lo anterior implica la adopción de normas técnicas por parte de la CNE y bajo su vigilancia.

7.6.4 Políticas de tipo ambiental

Una de las ventajas de los sistemas con FER es que al emplear recursos naturales energéticos de tipo renovable permiten asegurar la sostenibilidad de la generación, haciéndolos menos vulnerables que otros sistemas centralizados que emplean combustibles fósiles.

La política ambiental debe propiciar el desarrollo de estos sistemas por tratarse de sistemas benignos y sostenibles ambientalmente.

Si bien los sistemas de FER producen impactos ambientales menores o ninguno durante el proceso de generación (como con la energía solar fotovoltaica), el sistema de acumulación de energía de estos sistemas (exceptuando las PCH y la geotermia) consiste generalmente de baterías, las cuales deben ser recogidas y recicladas, y no abandonadas en las áreas rurales porque de esta manera si producirían impactos ambientales.

Una de las ventajas de las FER es que no producen emisiones de GEI y pueden contar con estímulos económicos de parte de la cooperación internacional y las naciones industrializadas.

7.6.5 Recursos

Para el desarrollo de la electrificación rural se han encontrado dos fuentes de fondos:

- los recursos propios del estado canalizados principalmente a través de la UERS, y
- los de la cooperación internacional (agencias y organizaciones).

Las acciones de política deben estar encaminadas a proveer de recursos de manera continua y confiable a la UERS, y a la formulación de programas y proyectos que propicien la participación de las agencias de cooperación internacional. También la participación del país en proyectos como el Fondo Mundial Ambiental o proyectos con países interesados en la implementación del Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) son una fuente de recursos, al igual que proyectos bilaterales con gobiernos y agencias extranjeras que promuevan el desarrollo de las FER.

Igualmente es posible la generación de recursos adicionales mediante una Ley para el desarrollo de la electrificación rural que grave por ejemplo, con una sobretasa a la tarifa del sistema interconectado.

Por otro lado, el desarrollo de proyectos relativamente grandes debería permitir la reducción de las inversiones y disminuir los aportes necesarios del estado en los proyectos.

7.6.6 Reducción de Costos Iniciales

Es bien sabido que las FER tienen costos de inversión iniciales mayores que los requeridos para los sistemas de energía convencionales, con la ventaja de que las FER no tienen costos por combustibles. En este sentido, para la reducción de los costos iniciales se propone varias acciones:

- Subsidiar la inversión inicial (como se hace también con la extensión de redes).
- Para la reducción de los costos financieros, el establecimiento de préstamos blandos para la inversión.
- Por parte de los desarrolladores, la compra en bloque para lograr economías de escala en la adquisición de equipos, materiales e instalaciones.
- Búsqueda de Recursos internacionales.

Se deben buscar fondos de origen internacional sean ya estos de gobiernos o agencias para estimular el desarrollo de proyectos con FER. Es bien conocido que la problemática ambiental global y la necesidad de controlar las emisiones de GEI ha permitido la creación de mecanismos para el cumplimiento a los compromisos sobre el nivel de emisiones establecidos que como el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL) permiten recibir recursos por reducción de emisiones en proyectos de generación de electricidad con FER en sistemas interconectados y en sistemas aislados.

Por otro lado, quedan más recursos y alianzas con otros países y agencias que se pueden capitalizar en un programa de desarrollo de las FER pero que requieren de la búsqueda acuciosa por parte de un ente nacional de República Dominicana que se ocupe de ello.

7.6.7 Utilización de Fondos de beneficio público

Los fondos del estado pueden ser empleados en los proyectos a través del subsidio directo a la infraestructura de generación, tal como ocurre actualmente con el UERS para el desarrollo de los sistemas interconectados a la red. Igualmente, para la promoción de la tecnología, los recursos empleados en las universidades en Investigación y Desarrollo pueden orientarse hacia el desarrollo de aplicaciones de estas tecnologías (más desarrollo que ciencia básica) y que al

no ser muy distantes del nivel actual universitario, si permitiría el desarrollo local de aplicaciones que pueden ser extendidas a toda la región.

7.6.8 Creación y desarrollo de un mercado para las FER

El mercado de las FER es ciertamente incipiente en República Dominicana y su desarrollo es un camino largo por recorrer. Pero uno de los primeros factores a considerar, es el conocimiento por parte del estado de la existencia de tales tecnologías y de los beneficios que se derivan de su uso en las condiciones rurales de República Dominicana.

Un conocimiento de las características de estas tecnologías, con capacidades, potencial de aplicaciones, costos de inversión y O&M, limitaciones, etc., permiten establecer y delimitar el nicho de mercado en el cual se pueden establecer.

Establecido el nicho de mercado, una demanda continuada de sistemas de FER dentro de un programa de energía rural fortalecerá el desarrollo del mercado. Para asegurar el mercado, los sistemas de energía deben ser confiables (se requieren para ello normas para los equipos e instalación, instaladores acreditados, buen O&M) y deben proveer energía a costos que los hagan sostenibles. Además, estos desarrollos deben tener en cuenta la protección del medio ambiente.

Las políticas no solamente se deben orientar a crear un mercado sino también a mantenerlo mediante la creación/fortalecimiento de las instituciones necesarias para el desarrollo de la energización rural.

8. PROCEDIMIENTOS

Este capítulo trata sobre los procedimientos específicos a emplear en el desarrollo de proyectos de energía renovable.

8.1 RECURSOS ENERGÉTICOS - RENER

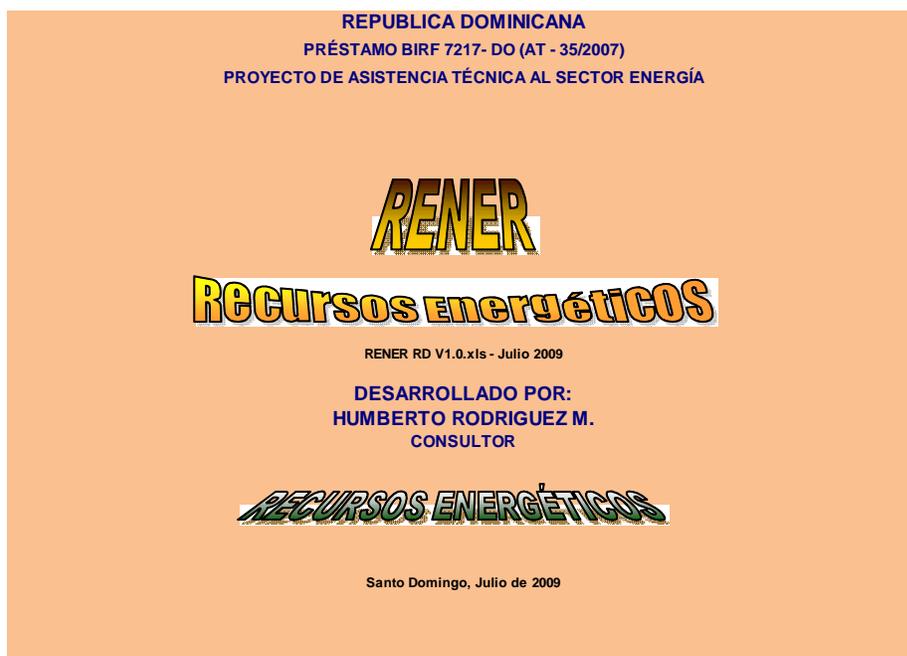
Para este proyecto se desarrollo el software *RENER_RD_V1.0.xls* bajo la plataforma de Excel de Microsoft, el cual permite:

- evaluar el recurso solar en cualquier lugar del país y dimensionar sistemas fotovoltaicos menores de 1 kWp,
- evaluar la energía eólica a partir de datos de velocidad de viento de en los lugares en donde se encuentras las estaciones meteorológicas de República Dominicana y con la información comercial de pequeños aerogeneradores.

La Figura 8.1 muestra la página de inicio de RENER, el cual direcciona a la página de menú del programa.

A continuación se definen cada una de las opciones que presenta el programa.

Figura 8.1. Página de Inicio de RENER



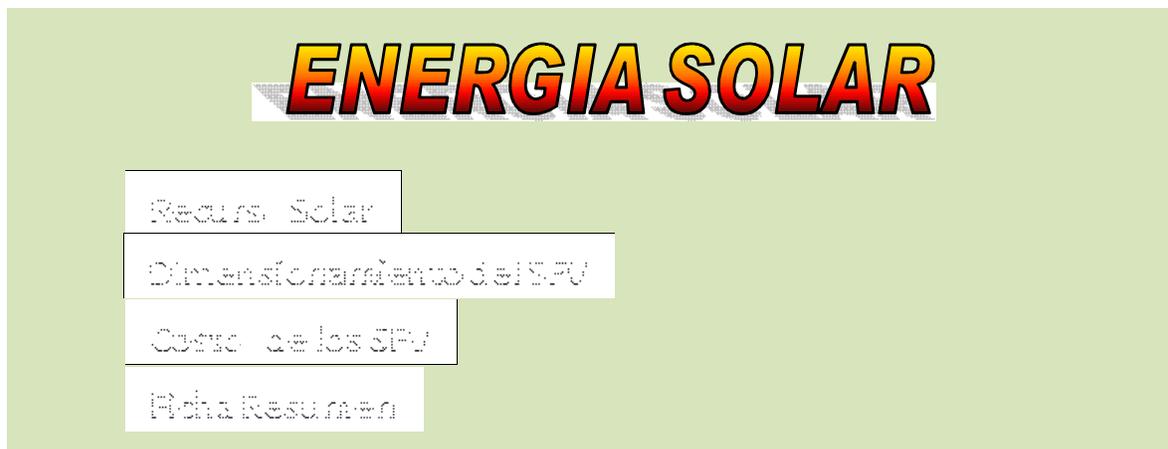
La figura siguiente muestra el menú principal en donde se puede seleccionar ENERGÍA SOLAR o ENERGÍA EÓLICA.

Figura 8.2. Menú Principal



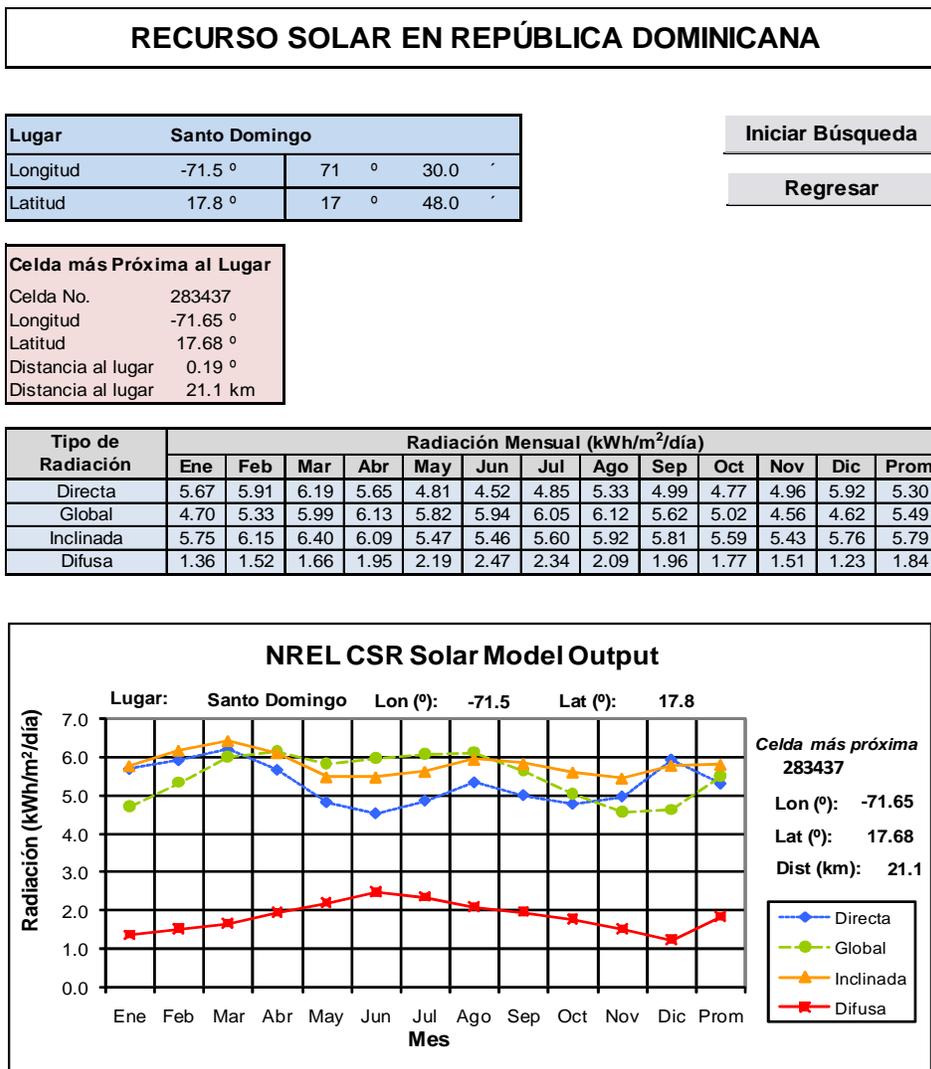
El menú de *ENERGÍA SOLAR* muestra 4 opciones que son: *Recurso Solar*, *Dimensionamiento del SFV*, *Costos de los SFV* y *Ficha Resumen*.

Figura 8.3. Menú de Opción Energía Solar



La opción de *Recurso Solar* permite evaluar el recurso solar de determinado lugar de República Dominicana. En la sección 8.2 se describe el procedimiento para utilizar esta opción. La figura siguiente muestra una imagen de la pantalla de evaluación del recurso solar.

Figura 8.4. Opción Recurso Solar



Cuando se selecciona la opción de *Dimensionamiento del SFV* en el menú de Energía Solar, se muestra la pantalla de la Figura 8.5. En esta parte se definen:

- la carga del sistema,
- la tensión de operación del sistema en Voltios DC y/o AC,
- los días de autonomía (reserva) de la batería, y
- la vida útil del sistema, el tipo de la batería, además las características de eficiencia del inversor y regulador.

REPÚBLICA DOMINICANA

Se debe definir además la vida útil del banco de baterías, del regulador de carga, del inversor. Esta misma pantalla muestra las características del sistema dimensionado (capacidad del generador, banco de baterías, regulador de carga e inversor). En la sección 8.3 se describe el procedimiento para utilizar esta opción.

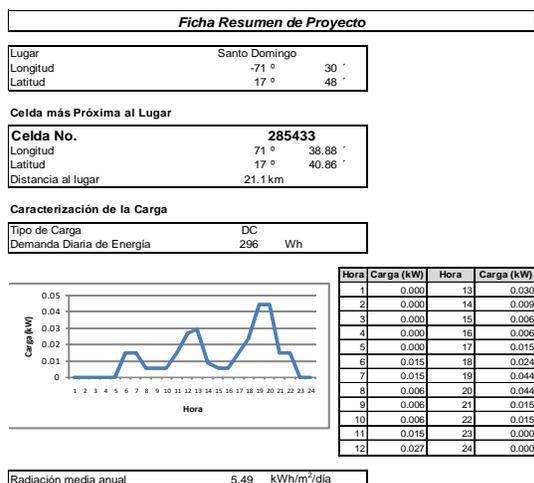
La figura siguiente muestra la pantalla de la opción de *Costos de los SFV*, en esta opción se integran los costos de capital, de reemplazo y de O&M para cada uno de los componentes del SFV. Los costos de “Distribuidor Internacional” corresponden a costos FOB de equipos según promedios referidos en solarbuzz.com. Estas cifras son empleadas como cifras de referencias y no reflejan los costos de las ofertas de proveedores nacionales en RD.

Figura 8.6. Opción Costos de los SFV

Costos de Sistema Fotovoltaicos				
Equipo	Variables	Unidad	Distribuidor	
			Internacional	
Modulos Solares	Costos de Capital	US\$/kWp	5145	
	Costos de Reemplazo	US\$/kWp	5145	
	C. O&M	US\$/año	10	
Baterias	Costos de Capital	US\$/kWh	75	
	Costos de Reemplazo	US\$/kWh	75	
	C. O&M	US\$/año	30	
Regulador de Carga	Costos de Capital	US\$/kW	770	
	Costos de Reemplazo	US\$/kW	770	
	C. O&M	US\$/año	10	
Inversor	Costos de Capital	US\$/kW	770	
	Costos de Reemplazo	US\$/kW	770	
	C. O&M	US\$/año	10	
Otros	Costos Fijos de Capital	US\$/kW	250	
	Costos Fijos de O&M	US\$/año	20	

La Figura 8.7 muestra la opción de *Ficha Resumen*. En esta pantalla se muestra un resumen de toda la información calculada para el proyecto. Se muestran las condiciones del sitio, las características de la carga y del sistema dimensionado con sus costos, y la producción de energía eléctrica.

Figura 8.7. Opción Ficha Resumen

**Características de generación con Sistema Fotovoltaicos**

Capacidad del Generador Solar	0.081	kWp
Vida Útil del Generador	20	Años
Costos de Capital	415.58	\$US
Costos de Reemplazo	415.58	\$US
C. O&M	10	\$US/año

Capacidad del banco de baterías	93	Ah
Capacidad del banco de baterías	1.11	kWh
Vida Útil del Banco de Baterías	4	Años
Costos de Capital	83.25	\$US
Costos de Reemplazo	83.25	\$US
C. O&M	30	\$US/año

Capacidad del Regulador de Carga	7.4	A
Capacidad del Regulador de Carga	0.089	kW
Eficiencia del Regulador	90%	
Capacidad del Inversor	0.000	kW
Vida Útil del regulador e inversor	10	Años
Eficiencia del Inversor	90%	
Costos de Capital	68.4	\$US
Costos de Reemplazo	68.4	\$US
C. O&M	20	\$US/año

Características de la producción de energía eléctrica

Mes	Energía Eléctrica generada * (kWh)	Radiación solar (kWh/m ²)
Enero	11.77	4.70
Febrero	12.05	5.33
Marzo	14.99	5.99
Abril	14.86	6.13
Mayo	14.57	5.82
Junio	14.40	5.94
Julio	15.16	6.05
Agosto	15.31	6.12
Septiembre	13.62	5.62
Octubre	12.56	5.02
Noviembre	11.04	4.56
Diciembre	11.56	4.62
Anual	161.9	5.49

REPÚBLICA DOMINICANA

Al seleccionar la opción de **ENERGÍA EÓLICA**, aparece la pantalla que se muestra en la figura siguiente. Esta opción permite la Caracterización de la Velocidad del Vientos en las estaciones de República Dominicana listadas en el software y estimar la generación anual de energía eléctrica con pequeños aerogeneradores. En la sección 8.4 y 8.5 se explica el procedimiento de uso de esta opción.

Figura 8.8. Opción Energía Eólica

EVALUACIÓN DEL RECURSO EÓLICO EN REPÚBLICA DOMINICANA

Lugar Santo Domingo

Longitud -69.2 °

Latitud 19.3 °

Altura del sitio 150 msnm

Inicio

Personalizar Datos

Estación: Cabrera

Red: ONM

Longitud: -69.90 °

Latitud: 19.62 °

Altitud: 15 msnm

Altura Anemometro: 10 m

Distancia del sitio a la estación: 83.5 km

Velocidad media anual: 4.7 m/s

Producción Estimada de Energía

Datos de entrada

Factor de Weibull K: 2

Horas: 8760 horas

Altura generador: 20 m

Factores de corrección de potencia del aerogenerador

Factor rugosidad: 0.143

Factor de turbulencia: 10%

Factor densidad aire: -3%

Parametros Calculados

Factor de Weibull C: 5.33 m/s

Factor C Corregido a la altura del generador: 5.89 m/s

Factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición: 1.10

Aerogenerador Proven WT 15

Potencia: 15 kW

Voltaje de Salic: DC

Fabricante: Proven Engineering

Resultados

Potencia Nominal del Aerogenerador: 15 kW

Producción Diaria de Energía: 96.8 kWh

Producción Anual de Energía: 35326 kWh

Factor de Capacidad: 26.9%

Velocidad (m/s)	%	Potencia Aerogenerador (kW)	Potencia Corregida (kW)	Energía Anual (kWh)
0	0.0%	0.00	0.00	0
1	5.6%	0.00	0.00	0
2	10.3%	0.30	0.26	235
3	13.4%	1.12	0.98	1144
4	14.5%	2.18	1.91	2432
5	14.0%	3.14	2.74	3372
6	12.3%	5.18	4.53	4865
7	9.8%	6.67	5.83	5119
8	7.3%	9.17	8.02	5119
9	5.0%	11.92	10.42	4581
10	3.2%	14.57	12.75	3598
11	1.9%	15.77	13.80	2337
12	1.1%	16.09	14.02	1334
13	0.6%	15.78	13.81	692
14	0.3%	15.52	13.58	336
15	0.1%	15.21	13.31	153
16	0.1%	15.16	13.26	66
17	0.0%	15.13	13.24	27
18	0.0%	15.10	13.21	10
19	0.0%	15.08	13.19	4
20	0.0%	0.00	0.00	0
21	0.0%	0.00	0.00	0
22	0.0%	0.00	0.00	0
23	0.0%	0.00	0.00	0
24	0.0%	0.00	0.00	0
25	0.0%	0.00	0.00	0
Total	99.5%			35326
	83.6%			

8.2 DETERMINACIÓN DEL RECURSO SOLAR EN RD

Se ha desarrollado el software *RENER_RD_V1.0.XLS* que permite obtener los valores de la radiación solar para los diferentes lugares de RD. El software toma los valores de las tablas de radiación que corresponden a la celda dentro de la que se encuentra la comunidad.

8.2.1 Ejemplo de aplicación *RENER_RD_V1.0.XLS*

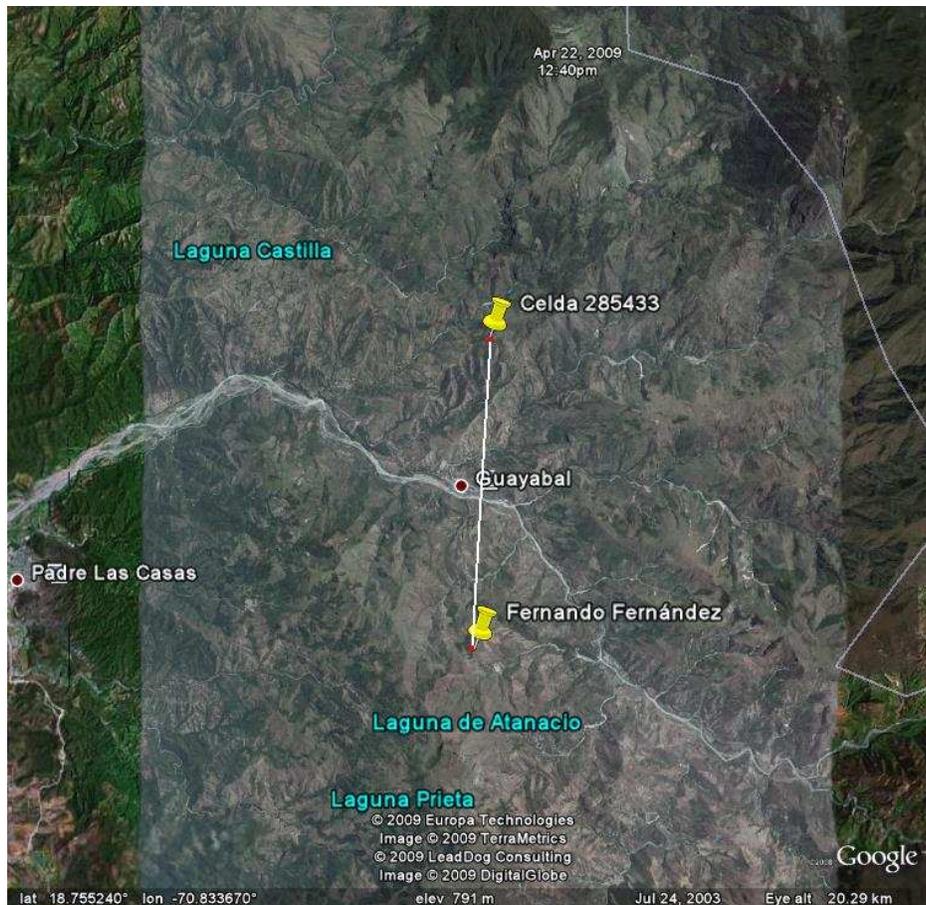
Se desea realizar un proyecto en la casa de Fernando Fernández, cerca de Guayabal. El procedimiento es como sigue:

1. Ubicación del lugar. Dar las coordenadas del lugar. Hay tres maneras:
 - a. Coordenadas aproximadas tomadas de cartas geográficas
 - b. Datos de GPS
 - c. Coordenadas del lugar tomadas de Google Earth.
 - d. En este ejemplo emplearemos el Google Earth.

La figura siguiente muestra la imagen de Google Earth de la casa de Fernando y sus coordenadas son. Long= -70.83° y Lat= 18.71 .

2. Identificación de la celda más próxima. Al dar las coordenadas al software, se identifica como celda más próxima la #285433 cuyo centro tiene como coordenadas Long= -70.83° y Lat= -18.78° ubicada a 7.1 km al norte de la casa de Fernández.
3. La tabla de radiación correspondiente se da en la Tabla 8.1 y los diferentes valores de la radiación en la Figura 8.9.

Figura 8.9. Imagen Google Earth del lugar donde se realizará el proyecto y la celda más próxima al lugar del proyecto



El nivel de radiación es elevado. Para celdas solares colocadas con inclinación igual a la latitud alcanza el promedio anual de 6.1 kWh/m^2 .

Esta información se emplea entonces para el diseño de los sistemas solares tanto térmicos como fotovoltaicos.

Tabla 8.1. Valores mensuales de radiación directa, global, inclinada y difusa – Celda 285433

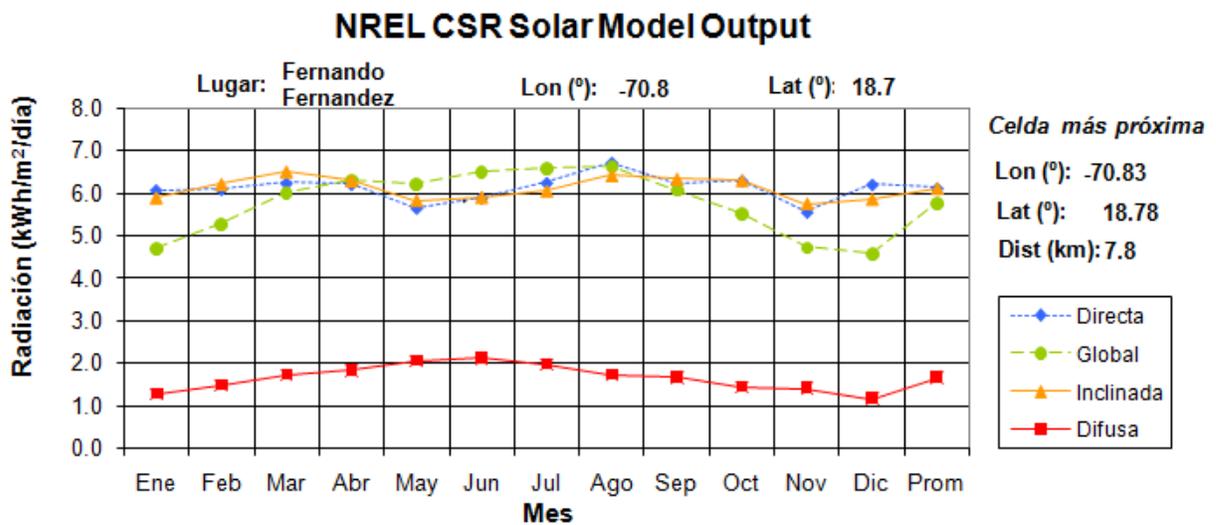
SolRad V_1.0 RD

Lugar	Fernando Fernandez
Longitud	-70.8 °
Latitud	18.7 °

Celda más Próxima al Lugar	
Celda No.	285433
Longitud	-70.83 °
Latitud	18.78 °
Distancia al lugar	0.07 °
Distancia al lugar	7.8 km

Tipo de Radiación	Radiación Mensual (kWh/m ² /día)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Directa	6.07	6.09	6.24	6.21	5.65	5.89	6.24	6.72	6.22	6.30	5.55	6.21	6.11
Global	4.70	5.29	6.02	6.32	6.22	6.50	6.60	6.63	6.07	5.53	4.72	4.57	5.76
Inclinada	5.89	6.20	6.49	6.29	5.82	5.90	6.04	6.40	6.33	6.29	5.75	5.85	6.10
Difusa	1.26	1.48	1.71	1.83	2.06	2.12	1.97	1.72	1.66	1.43	1.41	1.15	1.65

Figura 8.10. Valores mensuales de radiación directa, global, inclinada y difusa – Celda 285433



REPÚBLICA DOMINICANA

8.3 DIMENSIONAMIENTO DE LOS SFV

Se ha desarrollado el software *RENER_RD_V1.0.XLS* el cual permite dimensionar sistemas fotovoltaicos de menos de 1kWp, a partir de una carga que es definida por el usuario y de la localización de la comunidad.

8.3.1 Ejemplo de aplicación *RENER_RD_V1.0.XLS*

Se desea realizar un proyecto de SFV en una comunidad de RD. El procedimiento para usar el software es el siguiente

- Ubicación del lugar. Dar las coordenadas del lugar, tal como se describió en el procedimiento de determinación de energía solar, descrito anteriormente.
- Seleccionar el tipo de carga, sea DC o AC.
- Determinar el equipo, la potencia de este y las horas de uso al día en las tablas de entrada de carga, las figuras siguientes muestran estos input. Las celdas en verde son los datos de entrada, las celdas en azul son calculadas automáticamente.

Figura 8.11. Input para carga DC

EQUIPO DC	A1	A2	A3	A4=A1xA2xA3
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)
LFC	4	11	4	176
Radio-Casette	1	20	3	60
TV Blanco y Negro, 14"	1	30	2	60

Figura 8.12. Input para carga AC

EQUIPO AC	A6	A7	A7'=A6'A7	A8	A9=A1xA2xA3	A10
	CANTIDAD	CARGA (Vatios)	CARGA TOTAL (Vatios)	UTILIZACION (Horas uso/día)	CARGA (Vatios-hora/día)	SURGE (Vatios)
LFC	0	150	0	2	0	0
Radio-Casette	0	500	0	5	0	0
TV Blanco y Negro, 14"	0	135	0	8	0	0

- Posteriormente se define la tensión DC del sistema, la eficiencia del ciclo, profundidad de descarga y días de autonomía de la batería y el factor regulador del controlador de

REPÚBLICA DOMINICANA

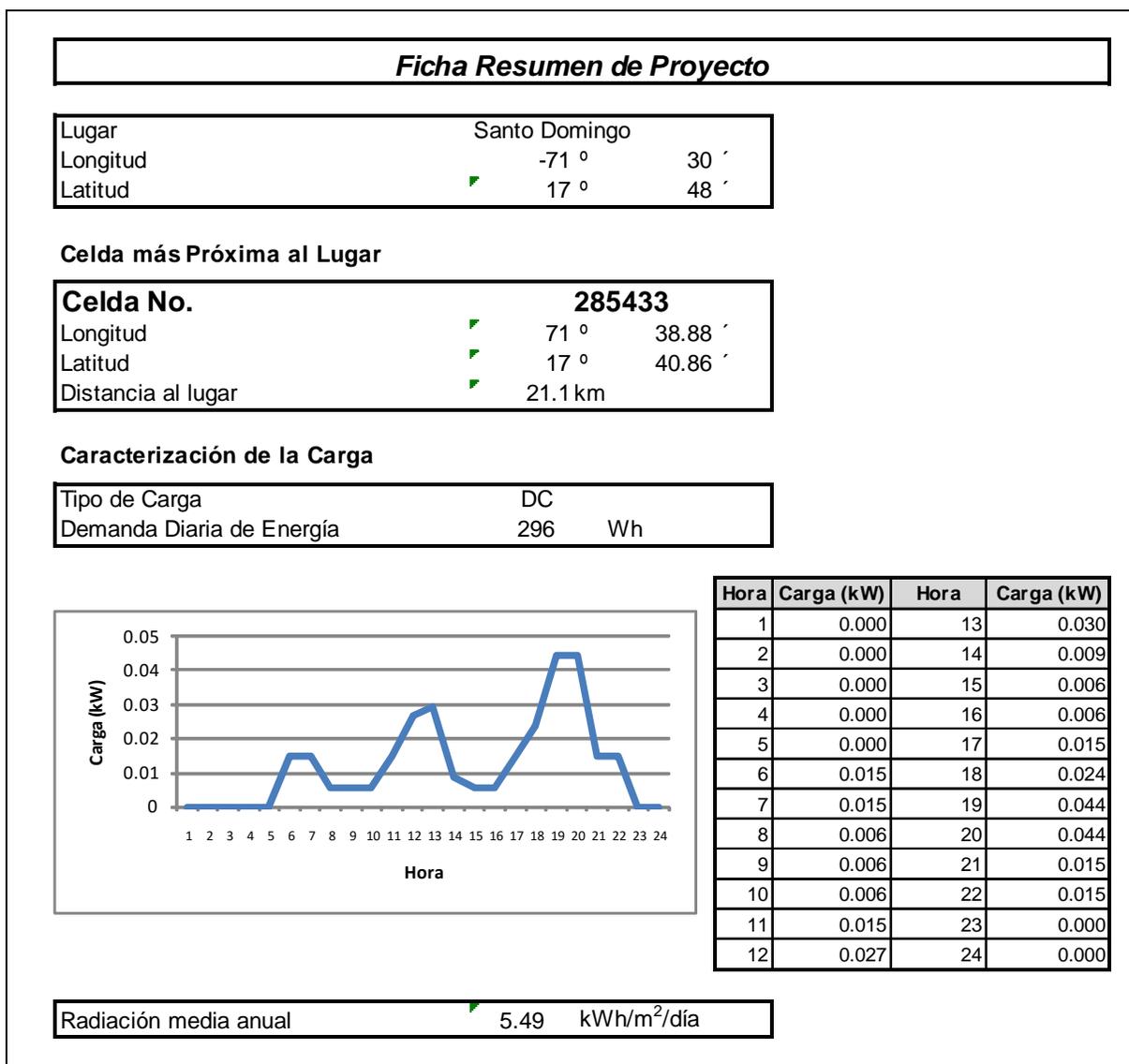
carga, además, si se utiliza el sistema con carga en AC, es necesario precisar el voltaje de suministro en AC y la eficiencia del inversor. Ver figura siguiente.

Figura 8.13. Ficha de dimensionamiento del SFV

A12	Eficiencia inversor (DC-AC)	90.0%
A13	Carga diaria DC equivalente (A11 / A12)	0 Vatios-hora/día DC
A14	Carga máxima continua AC (A7 ')	0 Vatios AC
A15	Carga máxima continua DC (A14 / A12)	0 Vatios DC
A16	Carga máxima surge AC (Suma columna A10 + A14)	0 Vatios
A17	Tensión del Sistema	12 VDC
A18	Tensión AC a suministrar	120 VAC
B1	Carga DC diaria (A5)	296 Wh
B2	Carga DC (de cargas AC) diaria (A13)	0 Wh
B3	Carga DC total diaria (B1 + B2)	296 Wh
B4	Tensión DC del sistema	12 V
B5	Carga diaria corriente DC (B3/B4)	25 Ah
B6	Eficiencia del ciclo de baterías (0.7 a 0.85)	0.75
B7	Carga DC diaria corregida (B3/B6)	394.7 Wh
B8	Carga corriente DC diaria corregida (B7/B4)	32.9 Ah
B9	Corriente pico del SFV (B8/C3)	6.1 Ap
D1	Carga DC total diaria (B7)	24.7 Ah
D2	Días de reserva (emplear de 3 a 7 días)	3 Días
D3	Capacidad nominal banco de baterías (D1xD2)	74 Ah
D4	Profundidad descarga (<100 %)	80%
D5	Capacidad corregida banco baterías (D3/D4)	93 Ah
E1	Corriente pico del generador solar	6.7 A
E2	Factor de Regulador	90%
E3	Capacidad del Regulador de Carga	7.4 A
E4	Carga máxima continua AC	0 W
E5	Carga máxima surge AC	0 W

- A partir de la información que se suministra al modelo, este dimensiona el sistema con las configuraciones mínimas que requiere la carga en un sitio determinado. La figura siguiente muestra la tabla de resultados del dimensionamiento del sistema. Esta ficha resumen muestra, la celda más próxima al lugar del proyecto, tipo de carga, demanda diaria de energía y la curva de carga, radiación media mensual, las características del generador fotovoltaico y las características de producción de energía con el SFV dimensionado.

Figura 8.14. Ficha resumen del proyecto con SFV



REPÚBLICA DOMINICANA

Características de generación con Sistema Fotovoltaicos

Capacidad del Generador Solar	0.081	kWp
Vida Util del Generador	20	Años
Costos de Capital	415.58	\$US
Costos de Reemplazo	415.58	\$US
C. O&M	10	\$US/año

Capacidad del banco de baterías	93	Ah
Capacidad del banco de baterías	1.11	kWh
Vida Util del Banco de Baterías	4	Años
Costos de Capital	83.25	\$US
Costos de Reemplazo	83.25	\$US
C. O&M	30	\$US/año

Capacidad del Regulador de Carga	7.4	A
Capacidad del Regulador de Carga	0.089	kW
Eficiencia del Regulador	90%	
Capacidad del Inversor	0.000	kW
Vida Util del regulador e inversor	10	Años
Eficiencia del Inversor	90%	
Costos de Capital	68.4	\$US
Costos de Reemplazo	68.4	\$US
C. O&M	20	\$US/año

Características de la producción de energía eléctrica

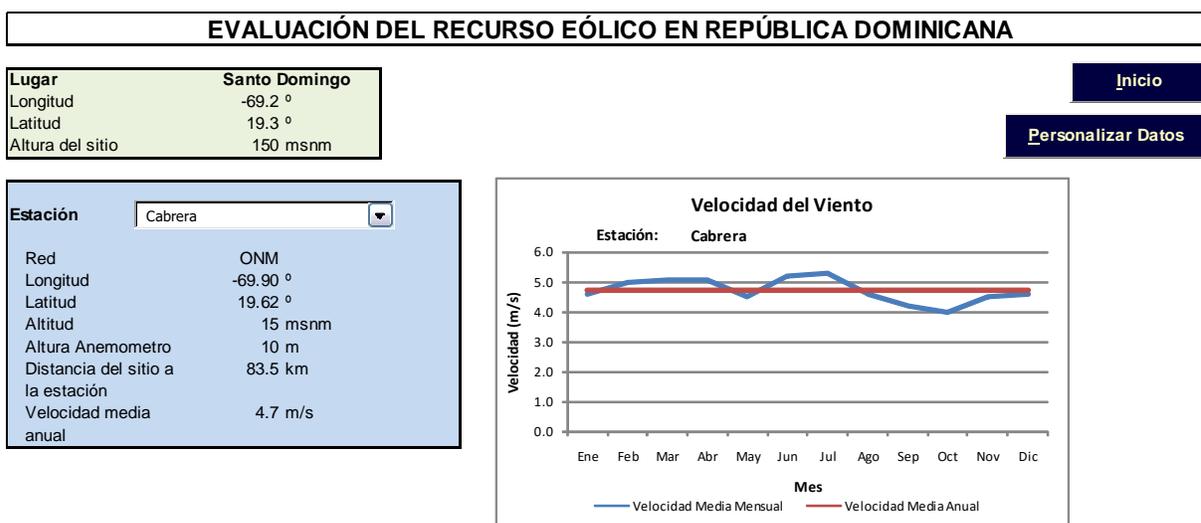
Mes	Energía Eléctrica generada * (kWh)	Radiación solar (kWh/m ²)
Enero	11.77	4.70
Febrero	12.05	5.33
Marzo	14.99	5.99
Abril	14.86	6.13
Mayo	14.57	5.82
Junio	14.40	5.94
Julio	15.16	6.05
Agosto	15.31	6.12
Septiembre	13.62	5.62
Octubre	12.56	5.02
Noviembre	11.04	4.56
Diciembre	11.56	4.62
Anual	161.9	5.49

REPÚBLICA DOMINICANA

8.4 DETERMINACIÓN DEL RECURSO EÓLICO EN RD

En el menú principal de RENER se selecciona la opción de **Recurso Eólico**. Aparece la pantalla que se muestra en la Figura 8.15. Esta pantalla muestra gráficamente información de datos de velocidad de viento para 27 estaciones meteorológicas del país. De esta lista se selecciona la Estación a trabajar. También se muestra la ubicación del sitio de un proyecto determinado que se vaya a realizar en la proximidad de la estación e información de la estación como la red a la que pertenece, ubicación, altura del anemómetro, distancia de la estación al sitio del proyecto y la velocidad promedio anual del viento. En la segunda parte de esta pantalla muestra la producción estimada de energía lo cual se describirá en la siguiente sección.

Figura 8.15. Pantalla de Recurso Eólico de RENER



La información de NREL sobre el recurso eólico en RD permite estimar el potencial anual de la energía eólica muy útil para sistemas interconectados a la res. Sin embargo, para sistemas aislados es necesario conocer el comportamiento mensual del viento.

8.5 GENERACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA EN UNA LOCALIDAD

En la opción de Recurso Eólico de RENER en la segunda parte de la pantalla se muestra la opción de producción estimada de energía (Ver Figura 8.16). A partir de la información del recurso eólico determinada en el procedimiento descrito anteriormente, se selecciona un aerogenerador de la lista que se encuentra en esta opción. Es necesario dar los datos de entrada como el factor k de Weibull, # de horas al año sobre las cuales existe información, altura del generador sobre el piso, factor de rugosidad, factor de turbulencia y el factor de densidad del aire.

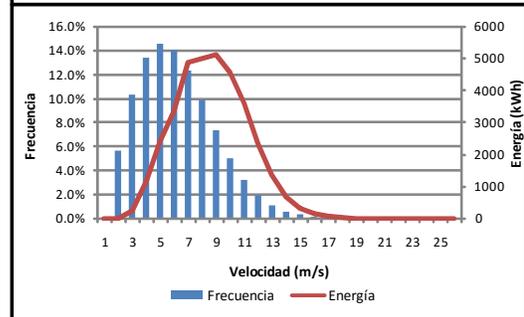
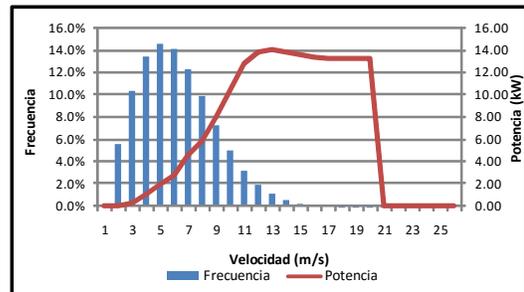
Este procedimiento muestra como resultados:

- Factor de Weibull C (Factor de escala), Factor C Corregido a la altura del generador y el factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición.
- Potencia Nominal del Aerogenerador, Producción Diaria de Energía, Producción Anual de Energía y Factor de Capacidad.
- Graficas y tablas del porcentaje de distribución de Weibull, potencia corregida del aerogenerador y energía anual estimada.

Figura 8.16. Producción estimada de energía

Producción Estimada de Energía															
Datos de entrada															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Factor de Weibull K</td> <td style="text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td># Horas</td> <td style="text-align: center;">8760 horas</td> </tr> <tr> <td>Altura generador</td> <td style="text-align: center;">20 m</td> </tr> </table>	Factor de Weibull K	2	# Horas	8760 horas	Altura generador	20 m	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Aerogenerador</td> <td>Proven WT 15</td> </tr> <tr> <td>Potencia</td> <td style="text-align: center;">15 kW</td> </tr> <tr> <td>Voltaje de Salic</td> <td style="text-align: center;">DC</td> </tr> <tr> <td>Fabricante</td> <td style="text-align: center;">Proven Engineering</td> </tr> </table>	Aerogenerador	Proven WT 15	Potencia	15 kW	Voltaje de Salic	DC	Fabricante	Proven Engineering
Factor de Weibull K	2														
# Horas	8760 horas														
Altura generador	20 m														
Aerogenerador	Proven WT 15														
Potencia	15 kW														
Voltaje de Salic	DC														
Fabricante	Proven Engineering														
Factores de corrección de potencia del aerogenerador															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Factor rugosidad</td> <td style="text-align: center;">0.143</td> </tr> <tr> <td>Factor de turbulencia</td> <td style="text-align: center;">10%</td> </tr> <tr> <td>Factor densidad aire</td> <td style="text-align: center;">-3%</td> </tr> </table>		Factor rugosidad	0.143	Factor de turbulencia	10%	Factor densidad aire	-3%								
Factor rugosidad	0.143														
Factor de turbulencia	10%														
Factor densidad aire	-3%														
Parametros Calculados															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Factor de Weibull C</td> <td style="text-align: center;">5.33 m/s</td> </tr> <tr> <td>Factor C Corregido a la altura del generador</td> <td style="text-align: center;">5.89 m/s</td> </tr> <tr> <td>Factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición</td> <td style="text-align: center;">1.10</td> </tr> </table>		Factor de Weibull C	5.33 m/s	Factor C Corregido a la altura del generador	5.89 m/s	Factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición	1.10								
Factor de Weibull C	5.33 m/s														
Factor C Corregido a la altura del generador	5.89 m/s														
Factor corrección velocidad por diferencia de alturas entre Altura Generador y Altura Medición	1.10														
Resultados															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Potencia Nominal del Aerogenerador</td> <td style="text-align: center;">15 kW</td> </tr> <tr> <td>Producción Diaria de Energía</td> <td style="text-align: center;">96.8 kWh</td> </tr> <tr> <td>Producción Anual de Energía</td> <td style="text-align: center;">35326 kWh</td> </tr> <tr> <td>Factor de Capacidad</td> <td style="text-align: center;">26.9%</td> </tr> </table>		Potencia Nominal del Aerogenerador	15 kW	Producción Diaria de Energía	96.8 kWh	Producción Anual de Energía	35326 kWh	Factor de Capacidad	26.9%						
Potencia Nominal del Aerogenerador	15 kW														
Producción Diaria de Energía	96.8 kWh														
Producción Anual de Energía	35326 kWh														
Factor de Capacidad	26.9%														

Velocidad (m/s)	%	Potencia Aerogenerador (kW)	Potencia Corregida (kW)	Energía Anual (kWh)
0	0.0%	0.00	0.00	0
1	5.6%	0.00	0.00	0
2	10.3%	0.30	0.26	235
3	13.4%	1.12	0.98	1144
4	14.5%	2.18	1.91	2432
5	14.0%	3.14	2.74	3372
6	12.3%	5.18	4.53	4865
7	9.8%	6.67	5.83	5018
8	7.3%	9.17	8.02	5119
9	5.0%	11.92	10.42	4581
10	3.2%	14.57	12.75	3598
11	1.9%	15.77	13.80	2337
12	1.1%	16.03	14.02	1334
13	0.6%	15.78	13.81	692
14	0.3%	15.52	13.58	336
15	0.1%	15.21	13.31	153
16	0.1%	15.16	13.26	66
17	0.0%	15.13	13.24	27
18	0.0%	15.10	13.21	10
19	0.0%	15.08	13.19	4
20	0.0%	0.00	0.00	0
21	0.0%	0.00	0.00	0
22	0.0%	0.00	0.00	0
23	0.0%	0.00	0.00	0
24	0.0%	0.00	0.00	0
25	0.0%	0.00	0.00	0
Total	99.5%			35326
	83.6%			



8.6 INFORMACIÓN PARA HOMER

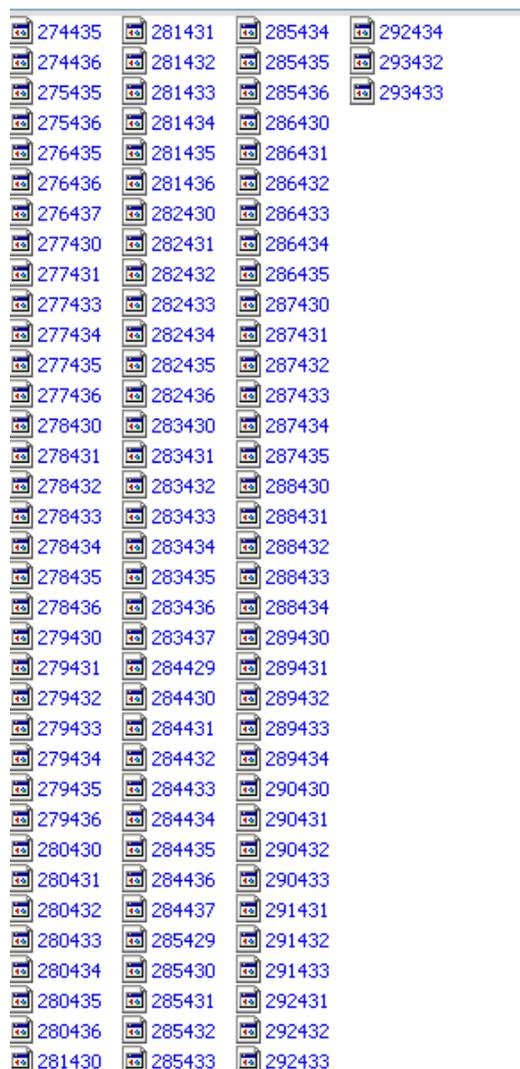
HOMER⁴⁶ es una herramienta de simulación, la cual utiliza entre otras variables, datos de radiación solar, viento, caudales, cargas DC o AC, combustibles, equipos y costos para hacer los diferentes análisis de optimización de un sistema que puede tener diferentes arquitecturas de generación de energía eléctrica, empleando recursos renovables. En cuanto a equipos, HOMER tiene pre instalado características de varios equipos comerciales y de diferentes tecnologías renovables, como de baterías y aerogeneradores, pero para Sistemas Solares Fotovoltaicos la información es genérica y aplicable a cualquier producto. Para el proyecto fue necesario crear archivos con las características técnicas de pequeños aerogeneradores que no están en la base de datos original de HOMER.

En el caso de datos de recursos renovables se pueden introducir manualmente o importar una serie de 8760 datos que corresponden a cada hora de un año. En este caso de RD se crearon las bases de datos de recursos de radiación solar y datos de viento de las estaciones meteorológicas para simplificar el uso de HOMER. Estos archivos se encuentran en la carpeta *5_Archivos HOMER* del informe electrónico.

La Figura 8.17 muestra los archivos *.sol* en la carpeta Solar incluida en la versión electrónica del informe, la cual contiene 108 archivos que representan los datos de radiación solar para cada una de las celdas de datos SWERA que componen el país y que se utilizan en el software *RENER_RD_V1.0.xls*.

⁴⁶ HOMER es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

Figura 8.17. Archivos para HOMER .sol



La Figura 8.18 muestra 27 archivos *.wnd*, los cuales contienen información de datos de velocidad de viento de igual número de estaciones meteorológicas de RD. Esta información esta recopilada en la carpeta *Wind* del informe en versión electrónica.

Figura 8.18. Archivos para HOMER .wnd

La Figura 8.19 muestra los archivos de datos de 14 aerogeneradores de baja potencia, los cuales no están relacionados en la base de datos original de HOMER. Estos archivos reúnen información tal como nombre del fabricante, modelo del aerogenerador, potencia nominal, curva de potencia y algunos comentarios sobre las maquinas.

Figura 8.19. Archivos para HOMER .xml

8.7 SIMULACIÓN DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Se remite al lector a los Capítulos 10 y 11 en donde se describen los resultados del proceso de simulación de sistemas solares fotovoltaicos con capacidad para alimentar una vivienda y una escuela en RD.

Los archivos de estas simulaciones se encuentran en la **Carpeta 5_Archivos Homer** del DVD adjunto al Informe Final.

8.8 SIMULACIÓN DE SISTEMAS EÓLICOS

Se remite al lector a los Capítulos 12, 13 y 14 en donde se describen los resultados del proceso de simulación de sistemas eólicos con capacidad para alimentar una vivienda en dos lugares diferentes de RD y un sistema para servicios comunitarios (escuela, UNAPs y centros comunitarios) en un lugar específico de RD.

Los archivos de estas simulaciones se encuentran en la **Carpeta 5_Archivos Homer** del DVD adjunto al Informe Final.

8.9 SELECCIÓN DE PARAJES A MÁS DE 5 KM DE LA RED

Para la selección de parajes a más de 5 km de la red se procedió como sigue:

1. Se unen todas las capas de redes mediante la función UNION del SIG y se produce una sola capa de redes.
2. Se le hace un buffer de 5 km al layer de redes.
3. El layer de redes anterior se intercepta con el layer de parajes, creando una nueva capa que son los parajes más allá de 5 km de la red.

8.10 MÍNIMO COSTO DE ALTERNATIVAS DE ER

Para la identificación de proyectos de ER se procedió de la siguiente manera:

1. Se identificaron los parajes que se encuentran más allá de 5 km de la red eléctrica (Ver sección anterior).
2. De estos parajes, se identificaron aquellos en los que es viable la energía solar
3. De los parajes fuera de red, se identificaron todos aquellos que se encuentran en la proximidad de estaciones de viento con recurso eólico superior a 5 m/s promedio anual y medidos a 20 metros. La proximidad a la estación se define como todos los parajes que se encuentran a una distancia de 5 km de la estación meteorológica. Para esto se empleó en el ARCGIS una selección por intersección entre el el layer de estaciones con buffer de 5km y el layer de parajes a más de 5 km de la red.
4. De los parajes fuera de red, se identificaron los parajes para los cuales se realizaron visitas de campo para estudiar la viabilidad de energía hidroeléctrica.
5. Para todos los parajes fuera de la red se estimaron los costos de la tecnología solar fotovoltaica, sistemas eólicos y proyectos con MCHs. Los costos fueron evaluados e introducidos para cada paraje en la base de datos que se menciona enseguida. Los sistemas considerados en la tecnología solar fotovoltaica y eólica, son de tipo individual para viviendas y para servicios comunitarios (escuelas y dispensarios médicos). Las MCH son sistemas centralizados que atienden la demanda de varios tipos de usuarios como viviendas y servicios comunitarios.
6. Finalmente se hizo para cada paraje un análisis comparativo de costos, información que está consignada en la base de datos **“Costos_ER_Fuera_Red.xlsx”** y en la carpeta **“Cartera de Proyectos”** del SIG desarrollado.

8.11 CARACTERIZACIÓN DE LAS COMUNIDADES

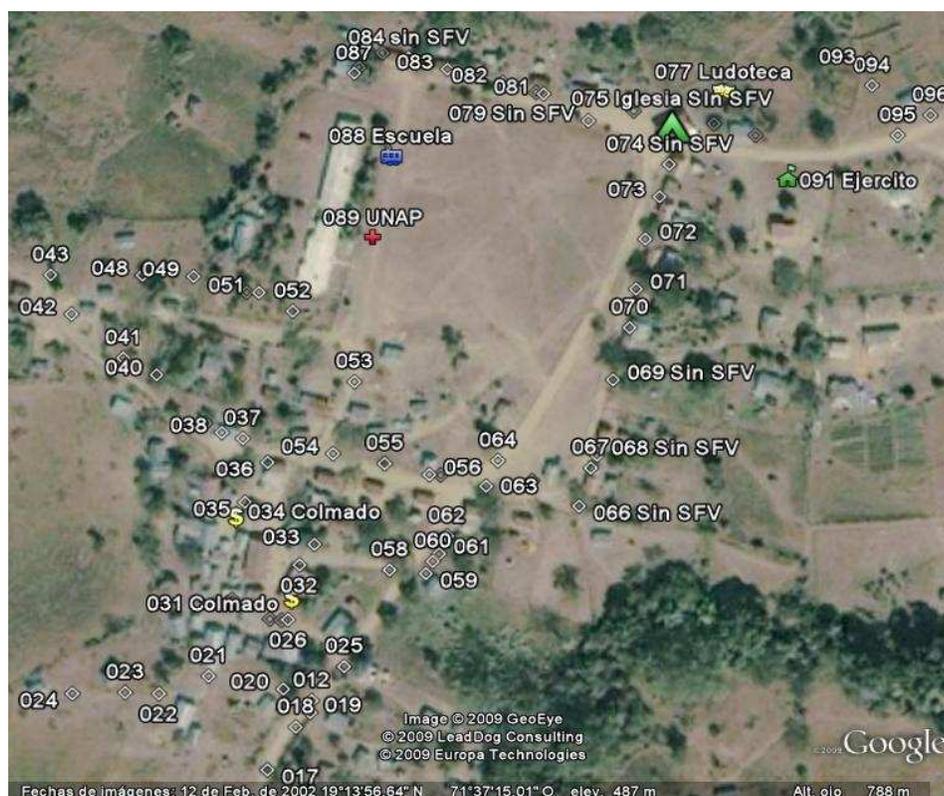
El procedimiento para caracterizar las comunidades que no cuentan con servicio de electricidad de la red está constituido por las siguientes etapas:

- Identificación de la comunidad,
- Georeferenciación de las viviendas
- Encuestas en la comunidad
- Identificación de la infraestructura básica en la comunidad
- Evaluación de recursos energéticos en la comunidad
- Integración de la información en la base de datos de la comunidad

1. **Identificación de la comunidad:** Investigar si existe algún tipo de información de la comunidad antes de visitarla. Ya en la comunidad, se utiliza el formato de encuesta A numerales I, II y III, descrito en el numeral 8.12.1 y se completa la información. Uno o varios dirigentes de la comunidad son de gran ayuda para diligenciar este formato. Se identifica la posición espacial del centro poblado más cercano a la comunidad que tenga servicio de energía eléctrica, y se georeferencia la ubicación del último poste y/o circuito de la red eléctrica. Es necesario entonces determinar la capacidad del sistema eléctrico para considerar la posibilidad de extensión de redes.

Georeferenciación de las viviendas: Se posicionan todas las viviendas de la comunidad con un GPS con el fin de ubicarlas espacialmente y saber su distribución espacial, identificar además si poseen algún tipo de fuente de generación de energía eléctrica (SFV, planta eléctrica o baterías). La Figura 8.20 muestra un ejemplo de esta georeferenciación en la comunidad de Guayajayuco y desplegada sobre EarthGoogle.

Figura 8.20. Posicionamiento GPS de la Comunidad



2. **Encuesta de la comunidad:** Si la comunidad es pequeña (<20 viviendas), se encuestan todas las viviendas de la comunidad utilizando el formulario B. Si la comunidad es de > de 20 viviendas, se escogen algunas viviendas aleatoriamente y se aplica este mismo formato de encuesta. Además se integra la información del GPS con el formulario A numerales V y VI descrito en la sección 8.12.1.
3. **Identificación de la infraestructura básica en la comunidad:** Identificar la infraestructura básica con que cuenta la comunidad y de que servicios carecen. Es importante enfocarse en los servicios comunitarios como UNAPs, escuelas, centros comunitarios, hoteles o albergues, colmados y otros negocios. También es importante determinar con que fuentes de energía se abastecen y el inventario de equipamiento eléctrico actualmente en uso, para tal fin se cuenta con el formulario de encuesta A, numeral IV descrito en la sección 8.12.1.
4. **Evaluación de recursos energéticos en la comunidad:** Se utiliza el formulario C1 descrito en el numeral 8.12.3 y se evalúa los recursos energéticos disponibles en la zona donde se encuentra la comunidad. Para el recurso solar, a partir de las coordenadas del lugar y el software aquí desarrollado, se identifica la celda dentro de

REPÚBLICA DOMINICANA

la cual se encuentra la comunidad. Para el recurso eólico, es conveniente indagar con los moradores locales sobre el régimen del viento y observar la deformación de los árboles para identificar si existe recurso eólico. Por supuesto que lo anterior resulta complementario a la información de una estación meteorológica que exista en la localidad. Para el recurso hídrico, se busca la información de caudales en el INDHRI. Pero con frecuencia los pequeños arroyos no tienen información apropiada, entonces se hace necesario hacer mediciones. Es importante anotar, que siempre lo mejor es tomar datos durante al menos 1 año que permitan determinar el potencial de los recursos eólico e hídrico, y si se puede además, solar.

5. **Integración de la base de datos de la comunidad:** Se ha desarrollado la base de datos COMUNIDADES.accbd la cual permite organizar la información de la comunidad tomada en terreno, La figura siguiente muestra la presentación inicial de la base de datos.

Figura 8.21. Presentación inicial de la base de datos COMUNIDADES



Luego de seleccionar Aceptar, aparece el siguiente menú con tres opciones:

Figura 8.22. Menú de Inicio de la base de datos



REPÚBLICA DOMINICANA

En la opción de “Caracterización de la comunidad”, se sistematiza la información tomada del formulario de encuesta A numerales I, II y III, la Figura 8.23 muestra la pantalla con la información sistematizada.

Figura 8.23. Opción de Caracterización de la Comunidad

A. CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD	
Id:	<input type="text" value="1"/>
Nombre del Proyecto:	<input type="text" value="Rio Limpio - Distrito Municipal"/>
No unico de Registro:	<input type="text" value="11"/>
Fecha de Visita:	<input type="text" value="25 de Mayo de 2009"/>
Provincia:	<input type="text" value="Elias Piña"/>
Municipio:	<input type="text" value="Pedro Santana"/>
Sección:	<input type="text"/>
Paraje:	<input type="text" value="Ravinzal, Las Rosas, Los Cerezos"/>
Otro:	<input type="text"/>
Centro Poblado	
Latitud (°):	<input type="text" value="19.245"/>
Longitud (°):	<input type="text" value="-71.532"/>
Altitud (msnm):	<input type="text" value="778"/>
Cuántas casas hay en el Centro Poblado:	<input type="text" value="369"/>
Poblado más proximo	
Nombre:	<input type="text" value="Restauración"/>
Latitud (°):	<input type="text" value="19.31"/>
Longitud (°):	<input type="text" value="-71.69"/>
Altitud (msnm):	<input type="text" value="600"/>
Distancia via pavimentada (km):	<input type="text" value="0"/>
Distancia via destapada (km):	<input type="text" value="36"/>
Distancia total (km):	<input type="text" value="36"/>
Actividades Productivas	
Ganaderia:	<input type="text" value="Vacuno, para consumo propio"/>
Agricultura:	<input type="text" value="Maiz, Habichuela, Guineo, Ahuyama, Arroz, Café, Yuca"/>
Comercio:	<input type="text" value="Colmados"/>
Total de Poblacion:	<input type="text" value="1780"/>
Distancia a la red mas próxima (km):	<input type="text" value="22"/>
Micro-industria:	
	<input type="text" value="Beneficio de café, molino de arroz, carpinterías, artesanías, ecoturismo"/>
Otros:	
	<input type="text"/>
Contacto en la Comunidad	
Nombre de la persona contacto:	<input type="text" value="Jesús Alcántara, Alcalde"/>
Asociacion:	<input type="text" value="Alcaldía"/>
Telefono:	<input type="text" value="8096433060"/>
Observaciones:	<input type="text" value="GTC: Grupo de Trabajo Comunitario, Genaro Tejada Medina Coordinador"/>

gistro: 1 de 3 Sin filtro Buscar

REPÚBLICA DOMINICANA

En la opción de Infraestructura de la comunidad, en esta opción se integra la información recopilada con el formulario de encuesta A numeral IV, la Figura 8.24 muestra la información sistematizada de la infraestructura básica de la comunidad.

Figura 8.24. Opción de Infraestructura básica

INFRAESTRUCTURA BASICA

Nombre del Proyecto: <input type="text" value="Rio Limpio - Distrito Municipal"/>		ID: <input type="text" value="11"/>	
Establecimiento			
Nombre: <input type="text" value="UNAP - Unidad de Atención Primaria"/>		Fotografía 	
Latitud (°): <input type="text" value="19.245"/>			
Longitud (°): <input type="text" value="-71.531"/>			
Suministro Actual de Energía			
Planta Electrica: <input type="text"/>			
Sistema Fotovoltaico: <input type="text" value="SFV de 900 Wp"/>			
Otro: <input type="text"/>			
Tipo de Servicios			
Iluminación		Refrigeración	
Oficinas y Salas (< 10m2): <input type="text" value="11"/>	No. de Lámparas: <input type="text" value="11 LFC x 15W"/>	Congeladores: <input type="text" value="1"/>	Otros Equipos
Salones (> 10 m2): <input type="text"/>	No. de Lámparas: <input type="text"/>	Neveras (< 12 ft3): <input type="text" value="3"/>	Equipo 1: <input type="text"/>
Baños: <input type="text" value="4"/>	No. de Lámparas: <input type="text" value="4 LFC x 15 W"/>	Computación	Potencia (kW): <input type="text"/>
Áreas Comunes: <input type="text" value="1"/>	No. de Lámparas: <input type="text" value="11 bombillos"/>	Número de Computadores: <input type="text" value="1"/>	Equipo 2: <input type="text"/>
Observaciones: <input type="text" value="Necesitan 2 Nebulizadores de 200W, licuadora, lavadora y Esterilizador Electrico"/>			Potencia (kW): <input type="text"/>

Registro: 1 de 15 Sin filtro Buscar

En la opción Viviendas en la Comunidad, se sistematiza la información obtenida de la georeferenciación con GPS y los datos recopilados con el formulario de encuesta A numeral V y VI y se sistematiza, la Figura 8.25 muestra la base de datos de las viviendas recopilada.

Figura 8.25. Opción de Usuarios de la comunidad

USUARIOS DE LA COMUNIDAD

Nombre del Proyecto:

punto GPS del usuario:

Latitud (°):

Longitud (°):

Altitud (m):

Se Aplica Encuesta?

Tipo de Usuario:

Observaciones:

Usuario:

Telefono:



Nombre del Proyecto	# punto GPS	Longitud (°)	Latitud (°)	Altitud (m)	Usuario	Se Aplica En	Telefono	Tipo de Usu
Rio Limpio - Distrito Municipi	176	-71.53	19.25	777		No		Vivienda
Rio Limpio - Distrito Municipi	183	-71.53	19.25	778		No		Vivienda
Rio Limpio - Distrito Municipi	182	-71.53	19.25	775		No		Vivienda

Registro: 1 de 605 Sin filtro Buscar

8.12 FORMATOS PARA LA RECOLECCIÓN INFORMACIÓN

Para la elaboración del portafolio de proyectos, es necesaria la recolección de información sobre los lugares donde se evaluarán las opciones de suministro de energía alternativa. Esta recolección de información se hará tanto en:

- En Santo Domingo en dependencias gubernamentales e instituciones que participan en el desarrollo de proyectos de energía renovable.
- En el lugar donde se desarrollará el proyecto

La información que se debe recolectar es esencialmente de los siguientes tipos:

- Caracterización de la comunidad
 - Tipo de concentración de viviendas
 - Viviendas concentradas

REPÚBLICA DOMINICANA

- Viviendas dispersas
- Servicios comunitarios que tiene la comunidad y que requieren de energía, servicio repesado que podrían darse si tuvieran energía
 - Escuelas
 - Servicios de salud
 - Servicios religiosos (iglesias y templos)
- Identificación de organizaciones comunitarias y regionales, nivel cultural, productos actuales y perspectivas de desarrollo (planes de desarrollo regionales)
- Caracterización de los usuarios
 - Demanda actual de energía
 - Energéticos empleados actualmente y su aplicación
 - Costos de los energéticos empleados en la actualidad
 - Proyección de demanda de energía
- Disponibilidad de recursos energéticos de energía
 - Redes
 - Energía Solar
 - Energía Eólica
 - Energía Hidráulica

A continuación se presentan los siguientes formularios:

- Formulario A. Caracterización de la comunidad
- Formulario B. Caracterización de los usuarios
- Formulario C. Disponibilidad de Recursos Energéticos
 - Formulario C1. Recurso Solar, Recurso eólico, Extensión de Red
 - Formulario C2. Recurso Hídrico

La caracterización de cada comunidad implica la aplicación del formulario A, mientras que la caracterización de los usuarios significa la aplicación del Formulario B a un número

REPÚBLICA DOMINICANA

representativos de ellos. El formulario C se aplica a la comunidad como un todo. El formulario C1 lleva la información del recurso solar, el cual se obtiene de la información ya generada para RD. La información del recurso eólico, igualmente a partir de la información ya generada por el proyecto para RD y observaciones sobre información local capturada por los ingenieros al visitar el proyecto sobre el efecto que tiene el viento sobre la vegetación y la que provean los habitantes del lugar sobre la disponibilidad del recurso eólico. También incluye información sobre la proximidad de la red. Finalmente, la información sobre el recurso hídrico corresponde a información capturada durante las actividades de reconocimiento al área del proyecto pero además debe incluir posteriormente los resultados resumidos de los estudios llevados a cabo para desarrollar los proyectos.

En la fase siguiente en este proyecto, se incluirán los formularios diligenciados por el consultor para los posibles proyectos visitados a fin no solamente de tener la información necesaria para configurar el portafolio de proyectos sino además para ilustrar cómo se han diligenciado los mismos.

REPÚBLICA DOMINICANA

8.12.1 FORMULARIO A

A. CARACTERIZACIÓN DE LA COMUNIDAD

1. Nombre del Proyecto _____ _____ _____	2. No. Único de Registro [][][][][][][][][] 3. Fecha de Visita _____
---------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------

I. UBICACIÓN	Municipio más próximo por la vía de acceso
4. Provincia []	14. Nombre Lat. _____ Long. _____ msnm _____
5. Municipio []	Desde el municipio más próximo: 15a. Distancia vía pavimentada _____ km
6. Sección []	15b. Distancia vía destapada _____ km
7. Paraje []	15c. Distancia total _____ km
8. Otro: []	III. ACTIVIDADES PRODUCTIVAS
9. Si hay Centro del Poblado, ubicación GPS: Lat. _____ Long. _____ msnm _____ No hay Centro Poblado []	16. Ganadería
10. Distancia a la red más próxima _____ km (medido por carretable)	17. Agricultura
II. CARACTERÍSTICAS DE LA COMUNIDAD	18. Comercio
11. Cuantas casas hay? [][][][][][]	19. Micro-industria
12. Total de Población [][][][][][][]	20. Otros
13. Nombre de la persona contacto Asociación: _____ Teléfono: _____	
OBSERVACIONES	

REPÚBLICA DOMINICANA

IV. INFRAESTRUCTURA BÁSICA

ESTABLECIMIENTO	Ubicación GPS		ENERGÉTICOS ACTUALES			SERVICIOS															
			Planta	SFV	Otro	ILUMINACIÓN								Refrigeradores	Congeladores	COMPUTADORES	Equipo 1		Equipo 2		
	Latitud	Longitud				Oficinas, salas (< 10m2)	# Lámparas	Salones (>10 m2)	# Lámparas	Baños	# Lámparas	Áreas Comunes	# Lámparas	Cantidad	Cantidad	Cantidad	Tipo	Potencia	Tipo	Potencia	
Escuela																					
UNAP - Unidad de Atención Primaria																					
Templo																					
Observaciones:																					

REPÚBLICA DOMINICANA

V. VIVIENDAS EN LA COMUNIDAD

VI. UBICACIÓN EN LA COMUNIDAD

(de GPS)

Id	# GPS	UBICACIÓN GPS			Se aplicó encuesta?	Tipo de Usuario	USUARIO	Telefono o Contacto	Observaciones
		LATITUD (°)	LONGITUD (°)	ALTITUD (msnm)					
1									
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									
23									
24									
25									
26									
27									
28									
29									
30									

8.12.2 Formulario B

B. CARACTERIZACIÓN DE USUARIOS

Los datos suministrados tienen fines estadísticos

Nº de Formulario / /

I. IDENTIFICACION GEOGRAFICA

LOCALIZACION	NOMBRE
1. Provincia	
2. Municipio	
3. Sección	
3.a. Paraje	

UBICACION	NUMERO USUARIO
4. Usuario Número	

II. DIRECCION DE LA VIVIENDA

8. Dirección exacta (con punto referencia)

1 Latitud: _____

2 Longitud: _____

3 Altitud: _____

IDENTIFICACION

5. Nombre del Cabeza de Hogar: _____

6. Informante

Jefe de Hogar 1 Cónyuge 2 Otro 3

7. Sexo del Informante: H 1 M 2

III. CARACTERIZACION DE LA VIVIENDA (Por observación)

9. Esta vivienda se encuentra en área rural: Concentrada <input type="checkbox"/> 1 Dispersa <input type="checkbox"/> 2 Lineal <input type="checkbox"/> 3	10. Tipo de vivienda Casa <input type="checkbox"/> 1 Quinta/finca <input type="checkbox"/> 2 Rancho o choza <input type="checkbox"/> 3 Vivienda improvisada <input type="checkbox"/> 4 Otro cuál? _____ <input type="checkbox"/> 5	11. Material que predomina en los pisos. Ladrillo <input type="checkbox"/> 1 Teja <input type="checkbox"/> 2 Cemento <input type="checkbox"/> 3 Tierra <input type="checkbox"/> 4 Otro cuál? _____ <input type="checkbox"/> 5	12. Material que predomina en el techo. Zinc <input type="checkbox"/> 1 Palma o afines <input type="checkbox"/> 4 Teja de barro <input type="checkbox"/> 2 Ripios o Desechos <input type="checkbox"/> 5 Plancha en concreto <input type="checkbox"/> 3 Otro cual? _____ <input type="checkbox"/> 6
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

13. Materiales que predominan en las paredes exteriores de la vivienda. Ladrillo o bloque de barro <input type="checkbox"/> 1 Bloque de cemento o concreto <input type="checkbox"/> 2 Pared de barro <input type="checkbox"/> 3 Piedra cantera <input type="checkbox"/> 4 Bambú, caña o palma <input type="checkbox"/> 5 Madera <input type="checkbox"/> 6 Madera y concreto (minifalda) <input type="checkbox"/> 7 Lámina <input type="checkbox"/> 8 Rípios o desechos <input type="checkbox"/> 9 Otro, cual? _____ <input type="checkbox"/> 10	IV. CONTROL DE ENTREVISTA <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 10%;">VISITA</th> <th style="width: 10%;">FECHA</th> <th style="width: 80%;">RESULTADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">14</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> </tbody> </table> CODIGO DE RESULTADO DE LA ENTREVISTA <table style="width: 100%;"> <tr> <td>EC = Completa</td> <td style="text-align: right;">1</td> </tr> <tr> <td>EI = Incompleta</td> <td style="text-align: right;">2</td> </tr> </table>	VISITA	FECHA	RESULTADO	14	1		EC = Completa	1	EI = Incompleta	2	V. NOMBRE DEL PERSONAL DE LA ENCUESTA <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">15 Encuestador(a):</td> <td>Humberto Rodriguez</td> </tr> <tr> <td>16 Digitador(a):</td> <td>Humberto Rodriguez</td> </tr> </table>	15 Encuestador(a):	Humberto Rodriguez	16 Digitador(a):	Humberto Rodriguez
VISITA	FECHA	RESULTADO														
14	1															
EC = Completa	1															
EI = Incompleta	2															
15 Encuestador(a):	Humberto Rodriguez															
16 Digitador(a):	Humberto Rodriguez															

REPÚBLICA DOMINICANA

Sección I. IDENTIFICACION DEL HOGAR PRINCIPAL Y CARACTERISTICAS DE VIVIENDA		SECCION II. ENERGETICOS UTILIZADOS ANTES DEL PROYECTO!!!	
1. ¿Cuántos hogares o grupos de personas hay en esta vivienda que cocinen por separado? GRUPOS /_/_/	7. ¿Dónde está ubicada la cocina? Cuarto separado dentro de casa <input type="checkbox"/> 1 Cuarto compartido en la casa <input type="checkbox"/> 2 Fuera de la casa <input type="checkbox"/> 3 No tiene/ no cocina <input type="checkbox"/> 4	11. ¿Utilizaba el gas para iluminarse? NO <input type="checkbox"/> 1 ⇌ 24 SI <input type="checkbox"/> 2	12. ¿Cuántos candiles o lámparas de gas utilizaban en este hogar y cuánto tiempo los encendía cuando los utilizaba?: 23a. Candil (lámpara simple) #Lámparas Horas Minutos /_/_/ /_/_/ /_/_/
2. ¿Cuántas personas del hogar (principal) residen habitualmente en esta vivienda? NUMERO DE PERSONAS /_/_/	PARTE I UTILIZACION DE GAS 8. Durante el año pasado, ¿Utilizó Gas?: Siempre <input type="checkbox"/> 1 Casi siempre <input type="checkbox"/> 2 Nunca <input type="checkbox"/> 3 A veces <input type="checkbox"/> 4 } 24	23b. Lámpara Coleman /_/_/ /_/_/ /_/_/	13. En promedio, ¿Cuántas noches por semana los utilizaba?: 24a. Candil (lámpara simple) Todas <input type="checkbox"/> 7 Otro cual? /_/_/ 24b. Lámpara Coleman Todas <input type="checkbox"/> 7 Otro cual? /_/_/
3. En los últimos 12 meses, ¿Algún miembro de su familia ha salido de aquí para trabajar en forma temporal o permanente y contribuir a los gastos del hogar? Sí, temporalmente <input type="checkbox"/> 1 Sí, permanentemente <input type="checkbox"/> 2 Sí, de ambas formas <input type="checkbox"/> 3 No <input type="checkbox"/> 4	9. ¿Dónde compraba el Gas? En esta comunidad <input type="checkbox"/> 1 En otra comunidad <input type="checkbox"/> 2 En la cabecera de este municipio <input type="checkbox"/> 3 En la cabecera de otro municipio <input type="checkbox"/> 4 Otro, especifique: _____ <input type="checkbox"/> 5	14. (Utilización de cocinas de gas) 14a. ¿Utiliza cocina de gas? Si, sólo lo uso para prender fogón de leña <input type="checkbox"/> 1 } 15 Si, uso una cocina de "gas" <input type="checkbox"/> 3 ⇌ 14b	14b. ¿Qué cantidad de gas utilizaba para cocinar? Cantidad Unidad* # Duración? D S M /_/_/ _____ <input type="checkbox"/> /_/_/ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 *Unidades: GL = Galón 1 MG = ½ Galón 5 BT = Botella 2 MB = ½ Botella 6 LT = Litro 3 ML = ½ Litro 7 = 4 = 8 Otra, especifique _____ <input type="checkbox"/>
4. ¿Esta vivienda es propia? Sí <input type="checkbox"/> 1 No <input type="checkbox"/> 2	10. En su última compra, ¿Cuánto gas compró, cuánto le costó y cuánto tiempo le duraba? Cantidad Unidad* Precio Duración? # D S M /_/_/ _____ Dom\$/unidad /_/_/ /_/_/ /_/_/ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 *Unidades: GL = Galón 1 MG = ½ Galón 5 BT = Botella 2 MB = ½ Botella 6 LT = Litro 3 ML = ½ Litro 7 = 4 = 8 Otra, especifique _____ <input type="checkbox"/>	15. (Utilización de refrigeradores de gas) 15a. ¿Utiliza refrigerador de gas? NO <input type="checkbox"/> 1 ⇌ 24 SI <input type="checkbox"/> 2 ⇌ 15b	15b. ¿Qué cantidad de gas utiliza para el refrigerador? Cantidad Unidad* # Duración? D S M /_/_/ _____ <input type="checkbox"/> /_/_/ <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 *Unidades: usar códigos de la 14b.
5. ¿Cómo se abastece de agua para beber el hogar en esta vivienda en invierno y en verano? 5a. invierno 5b. verano Tubería dentro de la vivienda <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 1 Tubería fuera de la vivienda pero dentro del terreno <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 2 Río, manantial o quebrada <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 3 Puesto público <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 4 Pozo público o privado <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 5 Lago <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 6 Otra forma <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> 7	6a. TOTAL DE CUARTOS /_/_/	6b. CUARTOS EN QUE DUERMEN /_/_/	

REPÚBLICA DOMINICANA

**PARTE II
UTILIZACION DE PILAS**

24 Durante el año pasado, ¿Usted utilizó en su hogar pilas para aparatos domésticos tales como linternas, radio, radio cassette, etc?:

Siempre () 1
Casi siempre () 2
Nunca () 3
A veces () 4 } 30

25 En su última compra, ¿Cuántas pilas compró, a qué precios las compró y cuánto tiempo le duraban?:
[Si informa por pares, divida cantidad y precio por 2]

Cantidad	Tipo	Precio		¿Duración?		
		Dom\$/unidad	#	D	S	M
25a /_/_/	Grande	/_/_/ /_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3
25b /_/_/	Mediana	/_/_/ /_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3
25c /_/_/	Pequeña	/_/_/ /_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3
25d /_/_/	AAA	/_/_/ /_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3

26 ¿En cuáles de los siguientes aparatos utilizaba pilas y cuánto tiempo los utilizaba normalmente?:
[Dejar fila en blanco si no tiene el equipo]

	Horas		Minutos		¿Cada cuánto?			
	#	D	S	M	#	D	S	M
26a Foco/linterna	/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3	() 3
26b Lámpara (neón)	/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3	() 3
27a Radio simple	/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3	() 3
26b Radio grabadora	/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3	() 3
28a Televisor B/N	/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3	() 3
26b Televisor color	/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3	() 3

**PARTE III
UTILIZACION DE VELAS PARA ILUMINACIÓN**

30. Durante el año pasado, ¿Usted utilizó en su hogar velas para la iluminación de su casa?:

Siempre () 1
Casi siempre () 2
Nunca () 3
A veces () 4 } 36.

31. En su última compra, ¿Cuántas velas compró, cuánto le costaron y cuánto tiempo le duraron?

Cantidad	Unidad*	Precio		¿Duración?		
		Dom\$/unidad	#	D	S	M
/_/_/	_____	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3

*Unidades: vela/unidad = 1 Medio Paquete = 3
Paquete de 8 = 2

32. En promedio, ¿Cuántas velas encendía Usted simultáneamente y por cuánto tiempo?

# Velas	Horas	Minutos	¿Cada cuánto?			
			#	D	S	M
/_/_/	/_/_/	/_/_/	/_/_/	() 1	() 2	() 3

REPÚBLICA DOMINICANA

**PARTE IV
UTILIZACION DE BATERIA DE AUTOMOVIL PARA
SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD DEL HOGAR**

36 Durante el año pasado, ¿Usted utilizo batería de carro para suministrar electricidad a su hogar?:

Siempre () 1
Casi siempre () 2
Nunca () 3
A veces () 4 } 54

37 ¿Cuántas baterías de carro tiene en su hogar para suministrar electricidad?

Nº de baterías de carro /___/

SI EL HOGAR TIENE MAS DE UNA BATERIA DE CARRO, SOLAMENTE PREGUNTAR POR LA MAS USADA

38 ¿Cuánto le costó la batería y hace cuánto tiempo la ha usado?

Precio ¿Hace cuánto?
Dom\$ # D S M
/___/ /___/ () 1 () 2 () 3

39 En promedio, ¿Cuánto tiempo producía electricidad en su hogar utilizando esta batería de carro y cada cuanto?

Horas Minutos ¿Cada cuánto?
D S M
/___/ /___/ /___/ () 1 () 2 () 3

40 En promedio, ¿cuánto tiempo le duraba una batería operando antes de descargarse?

D S M
/___/ () 1 () 2 () 3

41 En promedio, ¿cada cuánto recargaba la batería?

¿Cada cuánto?
D S M
/___/ () 1 () 2 () 3

42 ¿A qué distancia está el lugar en donde recarga la batería?
[Si es necesario, incluya fracciones]

km mt Varas
/___/ . /___/ () 1 () 2 () 3

43 En promedio, ¿cuánto dinero gastaba en recargar las baterías?

Dom\$

43a Costo de recarga Dom\$ /___/ . /___/

43b Costo de transporte si es viaje expreso Dom\$ /___/ . /___/

44 ¿En cuales de los siguientes artefactos utilizaba usted la batería como fuente de energía?

	SI	NO
44a Televisor en blanco y negro	() 1	() 2
44b Televisor en color	() 1	() 2
44c Radio/cassette	() 1	() 2
44d Lámparas	() 1	() 2
44e Otros, especifique _____	() 1	() 2

PARTE V. UTILIZACION DE SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

54 Durante los últimos 6 meses, ¿Su hogar ha utilizado energía solar FV?

Nunca () 1
A veces () 2
Siempre () 3
Casi siempre () 4 } 60

55 ¿Cuál es el tamaño (en Watt pico, WP) del panel solar FV?

Tamaño _____

56 ¿Cuál es la capacidad (medido en amperios por hora) de la batería del SFV?

Ah /___/

57 ¿Cuánto tiempo por día utiliza generalmente su sistema FV?

Horas Minutos
/___/ /___/

58 ¿Cuántos días por mes utiliza generalmente su sistema FV?

Días/mes
/___ 30

59 ¿Durante los últimos 12 meses tuvo que reparar o reemplazar los siguientes elementos de su sistema FV?:

	SI	NO
1 Lámpara	() 1	() 2
2 El control de carga/descarga	() 1	() 2
3 Convertidor DC/DC	() 1	() 2
4 Panel solar/módulo	() 1	() 2
5 Otro	() 1	() 2

59b Cuantas lámparas se le han dañado en los últimos 6 meses?

() () 1

**PARTE VI
UTILIZACION DE GLP**

60 ¿Utiliza cocina de GLP?

Siempre () 1
 Casi siempre () 2
 Nunca () 3 } **63**
 A veces () 4 }

61 ¿Dónde compra el GLP?

En esta comunidad () 1
 En otra comunidad () 2
 En la cabecera de este municipio () 3
 En la cabecera de otro municipio () 4
 Otro, especifique: _____ () 5

62 En su última compra, ¿Cuánto GLP compró, cuánto le costó y cuánto tiempo le duraba?

			Precio	¿Duración?	
Cantidad	Unidad*	Dom\$/unidad	#	D S M	
/____/	_____	/____/	/____/	() 1 () 2 () 3	
	*Unidades:	CL = Cilindro	1		
		=	2		
		Otra, especifique _____			<input style="width: 30px; height: 15px;" type="text"/>

63 (Utilización de refrigeradores de GLP)

63a ¿Utiliza refrigerador de GLP?

NO 1 ⇨ **64**
 SI 2 ⇨ **63b**

63b ¿Qué cantidad de GLP utilizaba para el refrigerador?

			#	D S M	
Cantidad	Unidad*	/____/	/____/	() 1 () 2 () 3	
/____/	_____	/____/	/____/	() 1 () 2 () 3	

*Unidades: usar códigos de la 62.

REPÚBLICA DOMINICANA

SECCION III. EQUIPAMIENTO DEL HOGAR

A. EQUIPOS MANUALES

64 ¿Con cuáles de los siguientes equipos manuales cuenta su hogar:			65 ¿Cuántos tienen?	66 ¿Cuánto tiempo los utilizan en promedio?					
				66a	66b	66c	66d		
	Equipos Manuales	-NO -SI-	#	Horas	Mins	¿Cada cuánto?			
						#	D	S	M
01	Máquina de moler	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
02	Bomba de agua	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
03	Máquina de coser	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		

B EQUIPOS ELECTRICOS

67 ¿Con qué tipo de bujías y equipos eléctricos cuenta su hogar?			68 ¿Cuántos tienen?	69 ¿Cuánto tiempo los utilizan en promedio?					
				69a	69b	69c	69d		
	Equipos eléctricos	-NO -SI-	#	Horas	Mins	¿Cada cuánto?			
						#	D	S	M
01	LFC de 11 W	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
02	LFC de 7 W	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
03	Otro LFC	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
04	Radio	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
05	Radiograbadora	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
06	Equipo de Sonido	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
07	Televisor B/N	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
08	Televisor color	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		
09	Otro	() 2 () 1					() 1 () 2 () 3		

OBSERVACIONES:
(Haga referencia a la pregunta y equipo)

8.12.3 Formulario C1

C1. DISPONIBILIDAD DE RECURSOS SOLAR, EÓLICO Y EXTENSIÓN DE RED

I. UBICACIÓN	
1. Provincia	[]
2. Municipio	[]
3. Sección	[]
4. Paraje	[]
5. Otro:	[]
6. Si hay Centro del Poblado, ubicación GPS: Lat. _____ Long. _____ msnm _____ No hay Centro Poblac []	
7. Distancia a la red más próxima _____ km (medido por carretable)	

II. RECURSO SOLAR

8. Celda mas Próxima _____

III. RECURSO EÓLICO

9. Indique cual es el índice de vientos de Giggs - Putnam para la comunidad

Viento tipo: _____

Flagging
Viento prevalecientes →

0 Sin deformidad
I Pulimento y un ligero Flagging
II Flagging Ligero
III Flagging Moderado
IV Flagging completo
V Parcialmente proyectado
VI Totalmente proyectado
VII En el piso

Índice de deformación de Griggs-Putnam

Index	I	II	III	IV	V	VI	VII
Wind mph	7-9	9-11	11-13	13-16	15-18	16-21	22+
Speed m/s	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	10

02979310m_sp

IV. FOTOGRAFÍA

REPÚBLICA DOMINICANA

FORMULARIO C2

REPUBLICA DOMINICANA UNIDAD DE ELECTRIFICACION RURAL							
							FORMATO No. <input style="width: 50px;" type="text"/>
DATOS BASICOS DE ENERGIA DE LA LOCALIDAD							
DATOS BASICOS	<input style="width: 100px;" type="text"/>	REPORTE DE NOVEDADES	<input style="width: 100px;" type="text"/>	No. LOCALIDAD	<input style="width: 100px;" type="text"/>	IDENITIFICACION	<input style="width: 100px;" type="text"/>
FECHA DE ELABORACION	<input style="width: 100px;" type="text"/>	FUNCIONARIO	<input style="width: 100px;" type="text"/>	DEPENDENCIA	<input style="width: 100px;" type="text"/>		
IDENTIFICACION DE LA LOCALIDAD							
ZONA	<input style="width: 150px;" type="text"/>	FUNCIONARIO	<input style="width: 100px;" type="text"/>	VEREDA	<input style="width: 100px;" type="text"/>	TELEFONO/FAX	<input style="width: 100px;" type="text"/>
DEPARTAMENTO	<input style="width: 150px;" type="text"/>	E-MAIL	<input style="width: 100px;" type="text"/>				
MUNICIPIO	<input style="width: 150px;" type="text"/>						
TIPO DE ACCESO	<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>						
PERFIL SOCIOECONOMICO							
NUMERO DE HABITANTES	<input style="width: 50px;" type="text"/>	NUMERO DE ESTABLECIMIENTOS COMERCIALES					
NUMERO DE VIVIENDAS	<input style="width: 50px;" type="text"/>	TIENDAS	<input style="width: 50px;" type="text"/>				
NUMERO DE MANZANAS	<input style="width: 50px;" type="text"/>	RESTAURANTES	<input style="width: 50px;" type="text"/>				
		BANCOS	<input style="width: 50px;" type="text"/>				
		OTROS	<input style="width: 50px;" type="text"/>				
ACTIVIDAD ECONOMICA DE LA LOCALIDAD			ESTABLECIMIENTOS PUBLICOS	CANTIDAD	CAPACIDAD		
AGRICULTURA			ALCALDIA	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
PRODUCTOS:			INSPECCION DE POLICIA	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
			IGLESIA	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
			TELECOMUNICACIONES	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
			ESCUELAS	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
COMERCIO			COLEGIO	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
PRODUCTOS:			HOSPITALES	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
			SALON COMUNAL	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
			PUESTOS DE ATENCION MEDICA	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
			OTROS ESTABLECIMIENTOS	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>		
GANADERIA	<input style="width: 50px;" type="text"/>	OBSERVACIONES: <input style="width: 100%; height: 40px;" type="text"/>					
PESCA	<input style="width: 50px;" type="text"/>						
ARTESANIAS	<input style="width: 50px;" type="text"/>						
OTROS	<input style="width: 50px;" type="text"/>						
MEDIOS DE TRANSPORTE							
TIPOS DE TRANSPORTE							
DESDE	HASTA	AEREO	FLUVIAL	TERRESTRE	COSTO	DURACION	OBSERVACIONES
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>
<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 50px;" type="text"/>	<input style="width: 100px;" type="text"/>

REPÚBLICA DOMINICANA

SISTEMA TARIFARIO			
	VALOR	UNIDAD DE COBRO	OBSERVACIONES:
VALOR FIJADO POR USUARIO			
VALOR FIJADO POR UNIDAD DE DEMANDA DE ENERGIA			
VALOR FIJADO POR BOMBILLOS			
VALOR FIJADO POR BOMBILLOS Y TOMACORRIENTES			
VALOR FIJADO POR kWh CONSUMIDO			
OTRO SISTEMA			
PARA DILIGENCIAMIENTO DE LA UNIDAD - USO OFICIAL INTERNO			
ELABORO	Ing. J. Alvarez	FECHA	MAYO 2009
APROBO		CONSULTOR	Fco. H. RODRIGUEZ

9. ANEXO 1 – DVD

10. ANEXO 2. SIMULACIÓN SFV STANDARD PARA VIVIENDAS

En este anexo se desarrolla la simulación del comportamiento del SFV Standard para viviendas en RD empleando el software avanzado HOMER^{47, 48} y la información de radiación solar que se ha desarrollado para RD, en particular para la localidad de baja radiación solar para la que se ha propuesto el SFV Standard y cuyo *uso generalizado se extrapola a toda RD*.

10.1 CONFIGURACIÓN DEL SFV STANDARD

El SFV Standard tiene entonces los siguientes elementos:

- Unidad de generación
 - Generador FV (o generador solar)
- Almacenamiento de energía
 - Banco de Baterías
- Electrónica de potencia y regulación (controlador/regulador de carga e inversor).

La Figura 10.1 muestra la arquitectura del SFV propuesto.

10.2 SIMULACIÓN DEL SFV ESTÁNDAR PARA VIVIENDAS EN RD

Para la evaluación de los costos de generación de la energía eléctrica en cada uno de los escenarios se empleará el programa HOMER. HOMER es un modelo de optimización de micro potencia que simplifica la tarea de simulación/complementa el diseño de sistemas de generación de potencia fuera-de-red para una variedad de aplicaciones. Cuando se diseña un sistema de potencia, se deben tomar muchas decisiones sobre la configuración del sistema: Qué componentes se deben incluir en el diseño del sistema? ¿Cuántos y qué capacidad de cada componente se deben emplear? Esta toma de decisiones es difícil por el gran número de opciones tecnológicas y la variación en los costos de las tecnologías y la disponibilidad de los recursos energéticos, por lo que la toma de decisiones se torna difícil. El algoritmo de HOMER de optimización y de análisis de sensibilidad permite hacer más fácilmente esta difícil y extensa tarea. El método empleado consiste en alimentar el HOMER con las configuraciones de los equipos de la sección anterior de tal manera que el

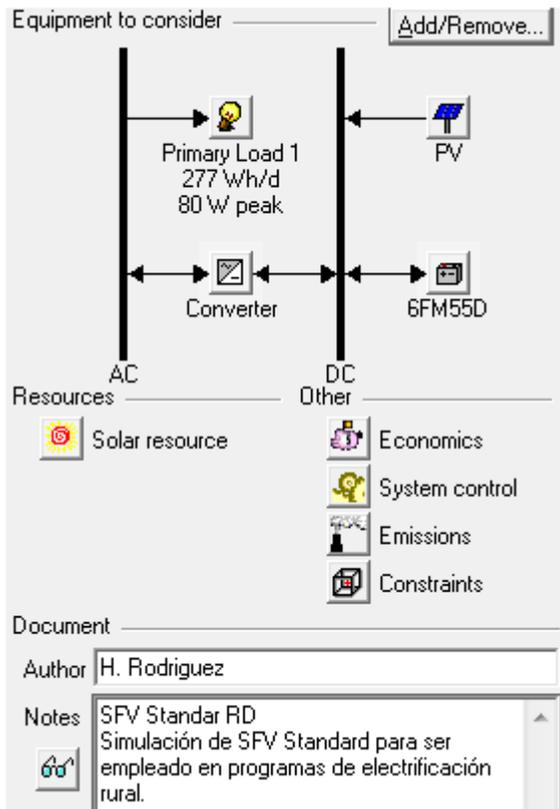
⁴⁷ HOMER® es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

⁴⁸ (Ver archivo HOMER:& link)

REPÚBLICA DOMINICANA

sistema genera resultados del costo de generación de la energía en el sistema diseñado, con un análisis de sensibilidad del costo del combustible (cuando se tienen estos costos) y otras, como por ejemplo, costo de equipos solares. Posteriormente, a este diseño se le permiten variaciones en la configuración y el software determina cuales son los costos para las diferentes configuraciones permitidas. Es entonces claro que para cada escenario se generarán diferentes configuraciones del sistema con sus respectivos costos.

Figura 10.1. Arquitectura del SFV viviendas para RD



10.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER

10.2.1.1 Recurso de energía solar

Para El Seibo, Naranjo Dulce, la tabla siguiente muestra la disponibilidad del recurso solar en sus diferentes formas (Ver Tabla 10.1). El programa de simulación HOMER emplea la información de los 12 meses de radiación Global para la celda dentro de la cual se encuentra la localidad (Celda #291432) y calcula la radiación para inclinación igual a la latitud.

REPÚBLICA DOMINICANA

10.2.1.2 Caracterización de la demanda

La demanda se caracteriza por el equipo empleado por los usuarios y su modo de uso. Este puede ser desagregado a nivel de equipos individuales (W) y su patrón de uso diario (h/día), como se ha dado en la Sección 4.1. HOMER requiere de la curva de carga diaria del sistema, la cual se da en la Tabla 10.2.

Tabla 10.1. Disponibilidad de energía solar en El Seibo, Naranjo Dulce

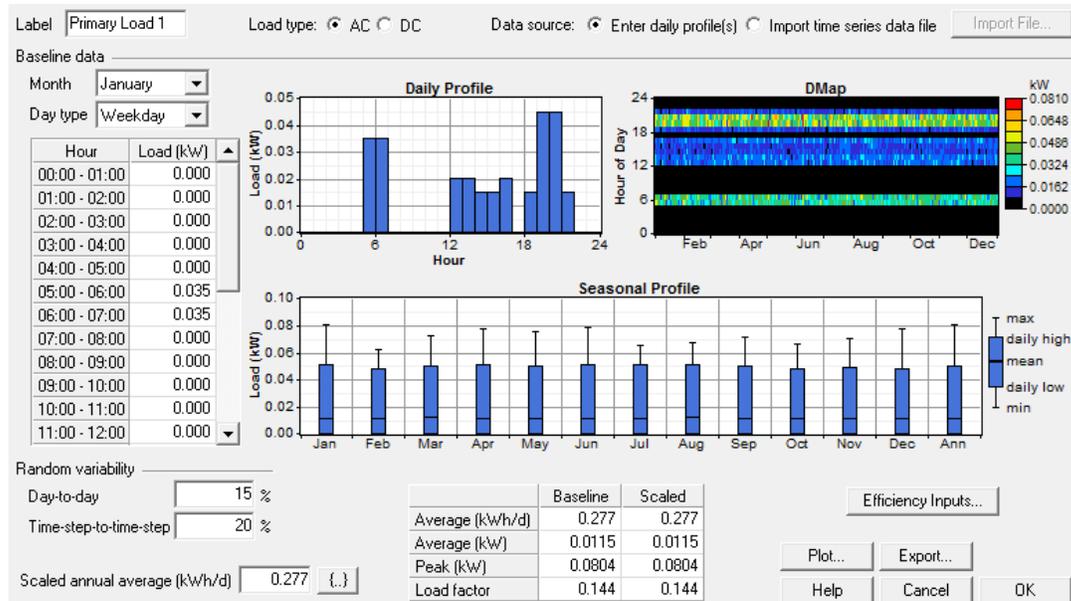
RECURSO SOLAR EN REPÚBLICA DOMINICANA

Lugar	El Seibo- Naranjo Dulce		
Longitud	-68.9 °	68 °	52.8 °
Latitud	18.8 °	18 °	48.6 °

Celda más Próxima al Lugar
 Celda No. 291432
 Longitud -68.88 °
 Latitud 18.76 °
 Distancia al lugar 0.05 °
 Distancia al lugar 5.8 km

Tipo de Radiación	Radiación Mensual (kWh/m ² /día)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Directa	5.58	5.56	5.72	5.37	4.38	4.65	4.63	4.82	4.85	5.33	4.94	5.44	5.11
Global	4.55	5.12	5.87	6.18	5.87	6.04	6.01	5.95	5.65	5.29	4.50	4.33	5.45
Inclinada	5.43	5.70	6.08	5.91	5.37	5.46	5.54	5.70	5.59	5.69	5.18	5.25	5.57
Difusa	1.37	1.61	1.88	2.20	2.54	2.51	2.49	2.31	2.11	1.73	1.54	1.31	1.97

Tabla 10.2. Curva de carga del SFV viviendas



REPÚBLICA DOMINICANA

10.2.1.3 Capacidades preliminares del SFV vivienda para RD

En esta sección se retoman los valores ya determinados en la Sección de Dimensionalización (Sección 4.1.7), como punto de partida para simular el comportamiento del sistema.

Tabla 10.3. Especificaciones PRELIMINARES del SFV vivienda

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	280	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	94.8	Wp
Capacidad del banco de baterías	92	Ah
Regulador de carga	7.7	A
Inversor	400	W

10.2.1.4 Factores de diseño empleados

Los factores de diseño empleados por en el HOMER para considerar las pérdidas propias de estos sistemas se dan en la Tabla 10.4. Es importante anotar que las eficiencias de carga/descarga son elevadas pero el factor final, ciclo carga/descarga, conocido como roundtrip, es de 85%. El cargador y el inversor tienen eficiencias de 95%. El banco de baterías se ha dimensionado para 3 días de autonomía.

Tabla 10.4. Factores de diseño empleados

Parte/proceso	%
Derateo de módulos solares	80%
Eficiencias batería round trip	85%
Descarga	92%
Carga	92%
Eficiencia del cargador	95%
Eficiencia del inversor	95%

Fuente: Elaboración propia

10.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER

El software considera Costos de Capital de los equipos, Costo de Reemplazo, Costos Fijos de O&M, Costos Variables de O&M y Costos Fijos de Capital. Los costos de los SFV se han tomado de la información de la UERS para sistemas instalados recientemente.

Para los estimados de costos es necesario compatibilizarlos con los requerimientos del HOMER:

REPÚBLICA DOMINICANA

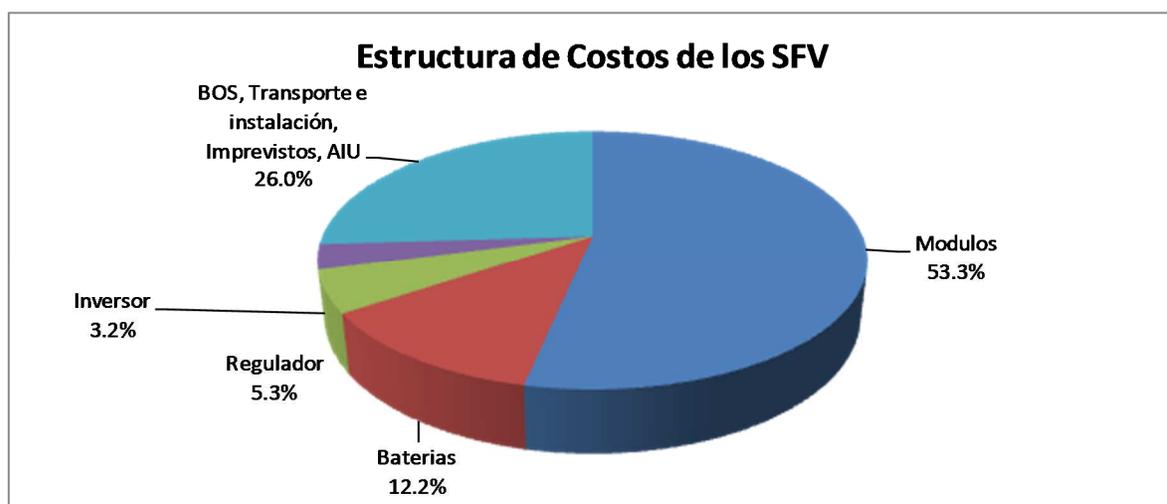
- El **Costo del Regulador de Carga y del Inversor** deben estar incluidos en un solo ítem (convertor).
- Los **Costos Fijos de Capital** del SFV Estándar incluyen el BOS (Balance of System: todos los elementos necesarios para la instalación como cableado, estructuras metálicas, fundamentos de concreto, canalizaciones, puestas a tierra, sistemas de protección y otros), terreno para el generador solar, ingeniería, permisos y licencias.

La tabla siguiente muestra los costos unitarios de un SFV Standard para RD, tomando como base los costos de los SFV instalados para los hogares por parte de la UERS durante 2009. La figura siguiente muestra la estructura de costos del mismo sistema. El costo del SFV asciende a 19.872 US\$/kW.

Tabla 10.5. Costos unitarios del SFV vivienda para RD

Item	Precio RD\$	Precio US\$	Participación	Capacidad
Modulos	\$ 37,090	\$ 1,059.7	53.3%	100 Wp
Baterias	\$ 8,509	\$ 243.1	12.2%	110 Ah @ 100 HR
Regulador	\$ 3,696	\$ 105.6	5.3%	11 A
Inversor	\$ 2,198	\$ 62.8	3.2%	400 W
BOS, Transporte e instalación, Imprevistos, AIU	\$ 18,060	\$ 516.0	26.0%	
Total SFV	\$ 69,552	\$ 1,987	100.0%	
Tasa de Cambio	35.00	RD\$/US\$		
Costo por kW	\$ 19,872	US\$/kW		

Figura 10.2. Estructura de costos de los SFV vivienda



REPÚBLICA DOMINICANA

Para el HOMER, el periodo de evaluación es de 20 años y la tasa de descuento es de 10% anual.

La tabla siguiente muestra todos los parámetros introducidos al HOMER para la evaluación del SFV Standard para RD.

Tabla 10.6. Parámetros del SVF vivienda para el HOMER

	PARÁMETROS ENTRADA	US\$	RD \$	NOTA
Modulos PV	Capacidad (kWp)	0.100		
	Módulos: Costos de Capital (US\$/kWp)	1060	\$ 37,090	
	Costos de Capital (US\$/kWp)	1576	\$ 55,150	Quando incluye costos fijos de capital
	Módulos: Reemplazos (US\$/kWp)	1060	\$ 37,090	
	Módulos: Vida Util (yr)	20		
	O&M (US\$/yr/kWp)	0		
	Derating factor (%)	90		
	Inclinación (°)	18.7		
Baterías	Capacidad (Ah)	110.0		
	Costos de Capital (US\$/kWh)	243.1	\$ 8,509	
	Reemplazos (US\$/kWh)	243.1	\$ 8,509	
	O&M (US\$/yr)	12	\$ 420	
	Eficiencia carga/descarga (%)	80%		
Inversor convertidor	Capacidad (kW)	0.400		
	Costos de Capital (US\$/400W)	168	\$ 5,894	Incluye el regulador de carga de 11 A
	Reemplazos (US\$/kW)	168	\$ 5,894	
	O&M (US\$/yr/kW)	0		
	Vida Util (yr)	15		
	Eficiencia inversor (%)	95%		
	Eficiencia rectificador (%)	95%		
Parámetros económicos				
Otros costos	Tasa de descuento (%/yr)	12.0		
	Periodo de evaluación (yr)	20.0		
	Costos fijos de capital (US\$)	516	\$ 18,060	Incluye: BOS, Transporte e instalación, seguros e Imprevistos
	Costos fijos de capital (US\$/kWp)	5160	\$ 180,600	Calculados para un sistema de 100Wp
	Costos fijos de O&M (US\$/yr)	24.0	\$ 840	Incluye 2 inspecciones anuales por sistema. Este costo conlleva costo del técnico y transporte.
Equipo	Unidad	Capacidad	US\$	RD\$
Generador solar	kWp	0.100	1,060	37,090
Inversor/Cargador	kW	0.400	168	5,894
Baterías	kWh	1.32	243	8,509
BOS			516	18,060
Subtotal Sistema			1,987	69,552
Costo unitario	US\$/kWp	19,872		
	RD\$/kWp	695,520		
CAMBIO 1 US\$/RD\$	35			

REPÚBLICA DOMINICANA

10.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del SFV vivienda para RD

La Tabla 10.7 muestra el output de HOMER para el sistema standard optimizado. El costo de Capital Inicial es de US\$1.988 por sistema, Costo Presente Neto de US\$2.640, costos de O&M de 77 US\$/año, costo nivelado de la energía US\$3,07/kWh.

Tabla 10.7. SFV vivienda Optimizado para RD

  	PV (kW)	6FM55D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
  	0.100	2	0.4	\$ 1,988	77	\$ 2,640	3.068	1.00

Tabla 10.8. Características del SFV vivienda Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	280	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	100	Wp
Capacidad del banco de baterías	2*55 = 110	Ah
Regulador de carga	>7.7	A
Inversor	400	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 100 Wp, 2 baterías de 12 VDC de 55 Ah en paralelo del tipo “Absorbent glass mat (AGM) sealed deep-cycle lead-acid battery”, un regulador de carga de capacidad superior a 7.7 A a 12 VDC (preferiblemente de 10 A o más para que corresponda con productos comerciales) y un inversor de 400 W.

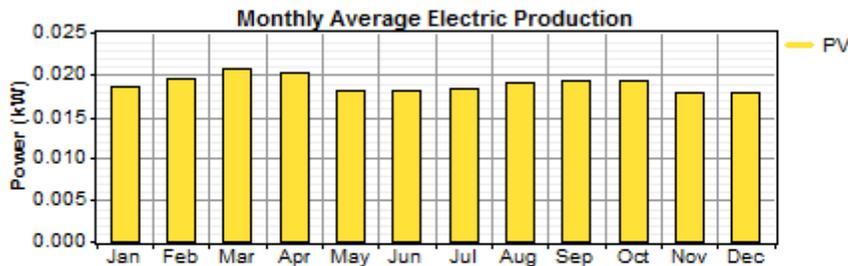
10.2.4 Desempeño energético del SFV vivienda*10.2.4.1 Sistema como un todo*

La generación del sistema es de 166 kWh/año y la demanda de 101 kWh/año, indicando un excedente de generación de 41.5 kWh/año, debido las variaciones estacionales de la energía solar. ***El SFV Standard es 100% fotovoltaico, 100% renovable, con una elevadísima confiabilidad*** (Unmet load = 0.0615 kWh/yr).

Tabla 10.9. Desempeño eléctrico del SFV vivienda

Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	166	100%
Total	166	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	101	100%
Total	101	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	41.5	kWh/yr
Unmet load	0.0615	kWh/yr
Capacity shortage	0.0690	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

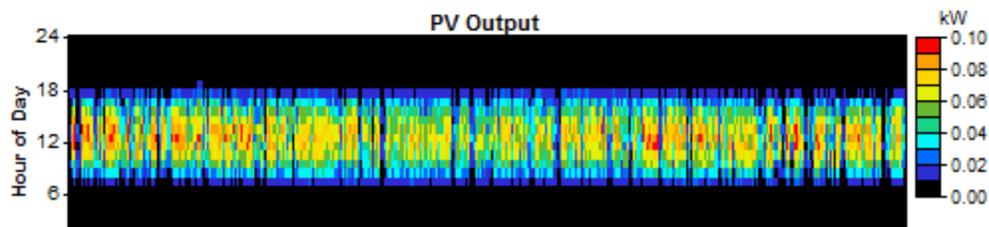
10.2.4.2 Generación Solar

El generador fotovoltaico (PV) genera anualmente 166 kWh y tiene un factor de capacidad de 18.9%. La generación máxima es de 99.5 W, opera durante 4408 horas al año y el costo nivelado de generación a nivel generador solar es de \$0.751 US\$/kWh. La figura muestra como el generador solar se comporta durante todos los días del año, generando hasta 0.1 kW al mediodía.

Figura 10.3. Desempeño del generador solar del SFV vivienda**PV**

Quantity	Value	Units
Rated capacity	0.100	kW
Mean output	0.0189	kW
Mean output	0.454	kWh/d
Capacity factor	18.9	%
Total production	166	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	0.0995	kW
PV penetration	164	%
Hours of operation	4,408	hr/yr
Levelized cost	0.751	\$/kWh

**10.2.4.3 Banco de baterías**

La batería se ha diseñado para 1.32 kWh de capacidad Nominal y consiste de 2 baterías de 12 VDC, con una capacidad total de 110 kWh. Tiene para carga de diseño una autonomía de 68.6 h y el costo de uso es de US\$ 0.533/kWh. Sus pérdidas alcanzan 17.5 kWh/año. La vida útil esperada es de 6.27 años. El estado de carga de la batería (SOC: State of Charge) desciende hasta 50 a 60% y en el mes de agosto puede llegar a su mínimo de aproximadamente 40%.

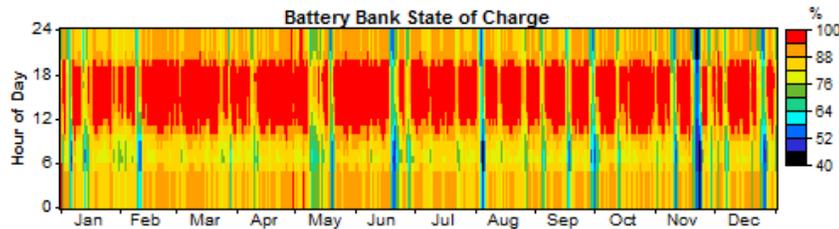
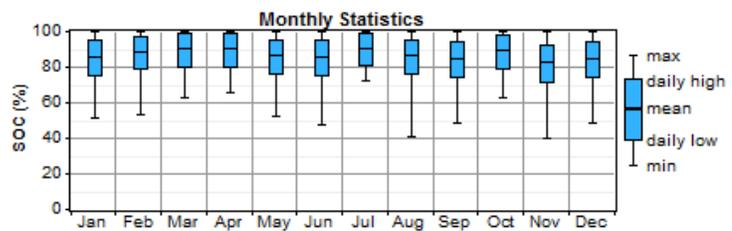
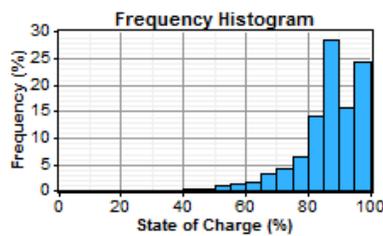
Figura 10.4. Desempeño de la batería del SFV vivienda

Battery

Quantity	Value
String size	1
Strings in parallel	2
Batteries	2
Bus voltage (V)	12

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	1.32	kWh
Usable nominal capacity	0.792	kWh
Autonomy	68.6	hr
Lifetime throughput	512	kWh
Battery wear cost	0.533	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	90.9	kWh/yr
Energy out	73.0	kWh/yr
Storage depletion	0.372	kWh/yr
Losses	17.5	kWh/yr
Annual throughput	82	kWh/yr
Expected life	6.27	yr



10.2.4.4 Regulador/Inversor

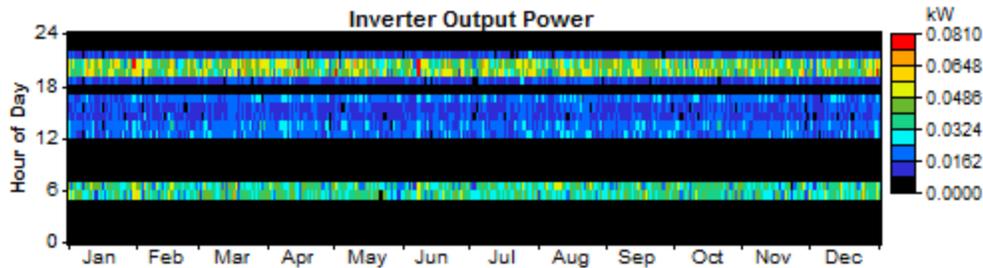
El regulador/inversor (o convertidor o convertidor) considerados como una sola unidad, tiene una eficiencia elevada (superior al 85%) y su operación intensiva es en las horas de la noche, como esperado.

Figura 10.5. Desempeño del convertor del SFV vivienda

Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	0.40	0.40	kW
Mean output	0.01	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	0.08	0.00	kW
Capacity factor	2.9	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,013	0	hrs/yr
Energy in	106	0	kWh/yr
Energy out	101	0	kWh/yr
Losses	5	0	kWh/yr



En conclusión, la simulación indica que el SFV Standard para viviendas propuesto satisface en altísimo grado la demanda de energía estimada para los hogares en RD.

10.2.5 Costo anualizado de la energía generada

Para calcular el costo de generación de energía generada por el sistema, se tienen en cuenta los costos de inversión y los supuestos mostrados en el Tabla 10.6.

La Tabla 10.10 es el resumen del desempeño económico del sistema. En el resumen de costos, el costo nivelado de la energía eléctrica es de US\$3.068/kWh. El costo anual de operación alcanza US\$76.5/año.

El CPN (Costo Presente Neto o Net Present Cost) del SFV Standard es de **US\$2.640** y la mayor parte de los costos corresponden al capital inicial (**US\$1.988**) seguidos de la operación y el mantenimiento, y el reemplazo de baterías. En cuanto al valor anualizado, este es de US\$302/year, de los cuales US\$234/yr corresponden al capital inicial.

El diagrama de flujo de fondos muestra la importancia de asignar recursos para garantizar la operación de los sistemas durante la vida útil de los mismos.

10.2.6 Análisis de sensibilidad a Costo del Sistema Fotovoltaico

La Figura 10.6 muestra el efecto que tiene sobre el CPN del proyecto una reducción de los costos de capital. Es importante anotar que a favor de una reducción de costos de Inversión Inicial se tienen los siguientes argumentos:

- Para un programa de uso masivo de estos sistemas los proveedores de los SFV deben poder ofrecer un descuento sobre los costos de los equipos en razón al volumen de compras.
- Los módulos de los SFV tienden a decrecer en los próximos años y se esperan reducciones superiores al 25% en los próximos 3 años según la literatura especializada.
- El desarrollo de un programa masivo debe significar una reducción de los costos de instalación por concepto de manejo logístico del proyecto por parte de la UERS.

En estas condiciones, para un 30% de reducción en los costos de capital iniciales, el CPN debe ser cercano a los US\$2183, lo que representa una reducción de 20% del Costo Presente Neto. Pero consecuentemente el costo del kWh se reduce de 3.07 US\$/kWh a US\$2.54 cuando se logra una reducción de costos iniciales de 30%.

Tabla 10.10. Resumen de costos del SFV vivienda para RD

System Report - SFV_standard_RD

Sensitivity case

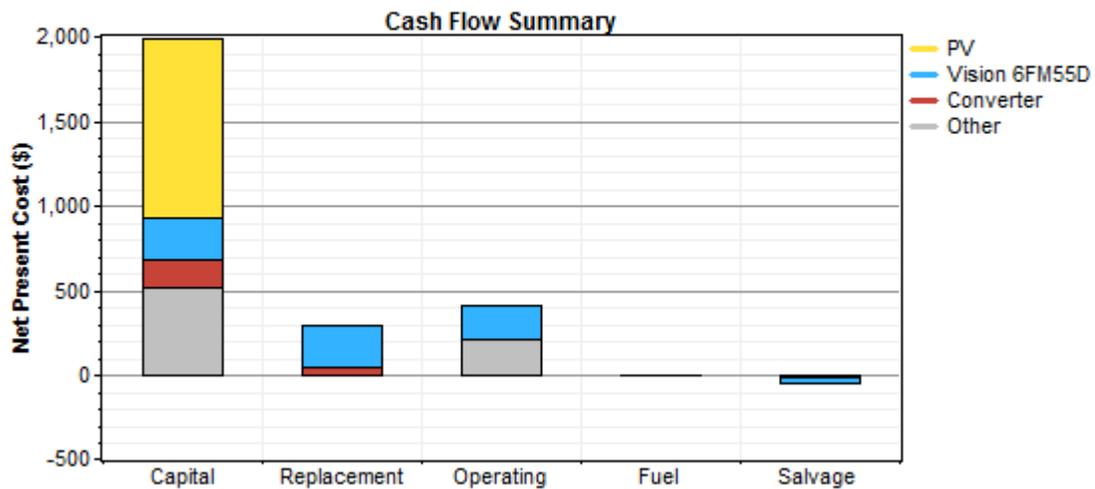
PV Capital Cost Multiplier:	1
PV Replacement Cost Multiplier:	1
Vision 6FM55D Capital Cost Multiplier:	1
Vision 6FM55D Replacement Cost Multiplier:	1

System architecture

PV Array 0.1 kW
Battery 2 Vision 6FM55D
Inverter 0.4 kW
Rectifier 0.4 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 2,640
Levelized cost of energy	\$ 3.068/kWh
Operating cost	\$ 76.5/yr



REPÚBLICA DOMINICANA

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	1,060	0	0	0	0	1,060
Vision 6FM55D	244	249	204	0	-29	668
Converter	168	40	0	0	-17	192
Other	516	0	204	0	0	720
System	1,988	289	409	0	-46	2,640

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	124	0	0	0	0	124
Vision 6FM55D	29	29	24	0	-3	78
Converter	20	5	0	0	-2	23
Other	61	0	24	0	0	85
System	234	34	48	0	-5	310

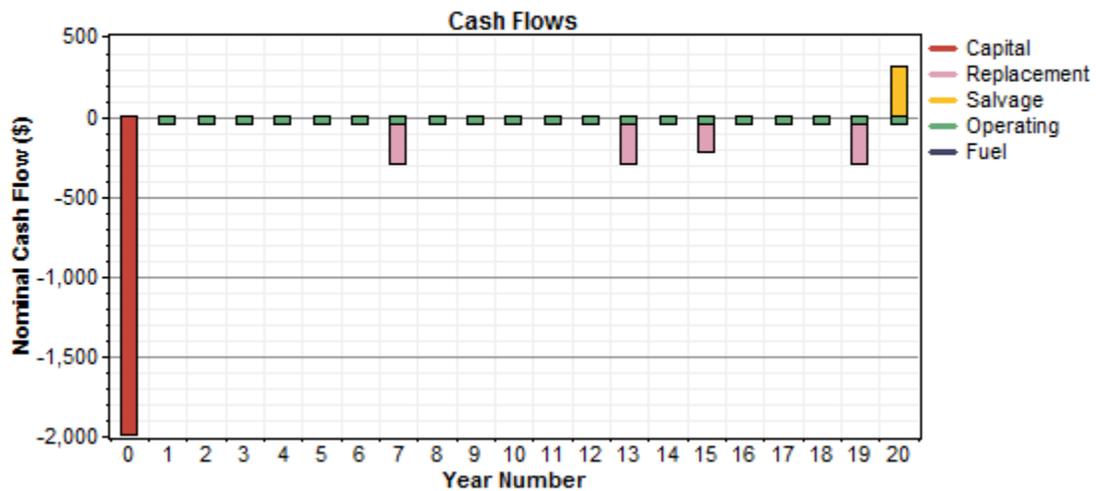
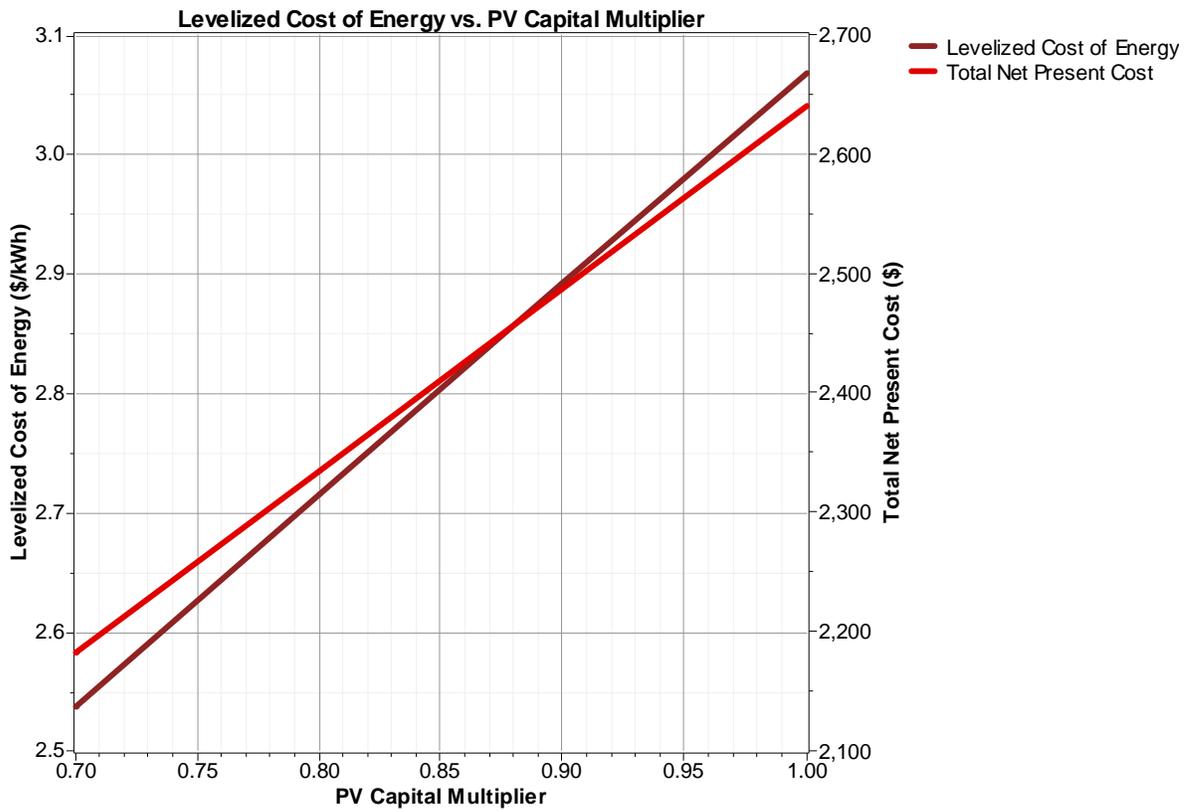


Figura 10.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial



La Tabla 10.11 muestra el análisis de sensibilidad para la reducción de costos de Capital Inicial y posteriormente para los reemplazos de las baterías. Se muestra claramente el efecto que tiene sobre el Costo Presente Neto del SFV Standard la reducción de costos de un programa masivo adelantado por la UERS.

Tabla 10.11. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV vivienda

PV Cap. Mult.	PV Repl. Mult.	6FM55D Cap. Mult.	6FM55D Repl. Mult.				PV (kW)	6FM55D	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
1.00	1.00	1.00	1.00				0.100	2	0.4	\$ 1,988	77	\$ 2,640	3.068	1.00	6.3
0.90	0.90	0.90	0.90				0.100	2	0.4	\$ 1,858	74	\$ 2,487	2.891	1.00	6.3
0.80	0.80	0.80	0.80				0.100	2	0.4	\$ 1,727	71	\$ 2,335	2.714	1.00	6.3
0.70	0.70	0.70	0.70				0.100	2	0.4	\$ 1,597	69	\$ 2,183	2.537	1.00	6.3

10.3 CONCLUSIÓN

El análisis anterior muestra que el sistema considerado representa una alternativa para el suministro de energía eléctrica para usuarios rurales dispersos en RD, teniendo el usuario un suministro confiable de energía eléctrica para sus necesidades básicas. Es importante anotar que deben buscarse economías de escala para sacar plena ventaja económica de la utilización de estos sistemas. Es también importante anotar la conveniencia de manejar apropiadamente la O&M y asegurar el costo de los reemplazos de las baterías que es necesario renovar a los 6.3 años pero la utilización de baterías inapropiadas podría reducir la vida útil de las mismas, afectando severamente los costos de reemplazo de las mismas durante la vida útil de los sistemas.

11. ANEXO 3. SIMULACIÓN SFV STANDARD PARA ESCUELAS

En este anexo se desarrolla la simulación del comportamiento del SFV para escuelas en RD empleando el software avanzado HOMER^{49, 50} y la información de radiación solar que se ha desarrollado para RD, en particular para la localidad de baja radiación solar para la que se ha propuesto el SFV Escuelas y cuyo *uso generalizado se extrapola a toda RD*.

11.1 CONFIGURACIÓN DEL SFV ESCUELAS

El SFV Escuelas tiene entonces los siguientes elementos:

- Unidad de generación
 - Generador FV (o generador solar)
- Almacenamiento de energía
 - Banco de Baterías
- Electrónica de potencia y regulación (controlador/regulador de carga e inversor).

La Figura 11.1 muestra la arquitectura del SFV propuesto.

11.2 SIMULACIÓN DEL SFV PARA ESCUELAS EN RD

Para la evaluación de los costos de generación de la energía eléctrica en cada uno de los escenarios se empleará el programa HOMER. HOMER es un modelo de optimización de micro potencia que simplifica la tarea de simulación/complementa el diseño de sistemas de generación de potencia fuera-de-red para una variedad de aplicaciones. Cuando se diseña un sistema de potencia, se deben tomar muchas decisiones sobre la configuración del sistema: Qué componentes se deben incluir en el diseño del sistema? ¿Cuántos y qué capacidad de cada componente se deben emplear? Esta toma de decisiones es difícil por el gran número de opciones tecnológicas y la variación en los costos de las tecnologías y la disponibilidad de los recursos energéticos, por lo que la toma de decisiones se torna difícil. El algoritmo de HOMER de optimización y de análisis de sensibilidad permite hacer más fácilmente esta difícil y extensa tarea. El método empleado consiste en alimentar el HOMER con las configuraciones de los equipos de la sección anterior de tal manera que el

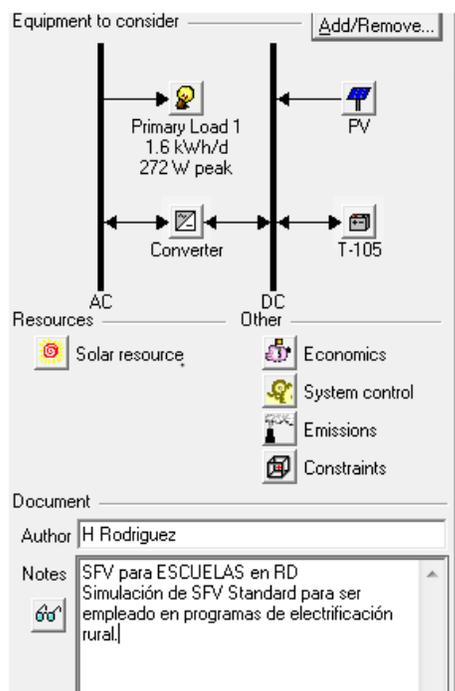
⁴⁹ HOMER® es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

⁵⁰ (Ver archivo HOMER:& link)

REPÚBLICA DOMINICANA

sistema genera resultados del costo de generación de la energía en el sistema diseñado, con un análisis de sensibilidad del costo del combustible (cuando se tienen estos costos) y otras, como por ejemplo, costo de equipos solares. Posteriormente, a este diseño se le permiten variaciones en la configuración y el software determina cuales son los costos para las diferentes configuraciones permitidas. Es entonces claro que para cada escenario se generarán diferentes configuraciones del sistema con sus respectivos costos.

Figura 11.1. Arquitectura del SFV Escuelas para viviendas en RD



11.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER

11.2.1.1 Recurso de energía solar

Para El Seibo, Naranjo Dulce, la tabla siguiente muestra la disponibilidad del recurso solar en sus diferentes formas. El programa de simulación HOMER emplea la información de los 12 meses de radiación Global para la celda dentro de la cual se encuentra la localidad (Celda #291432) y calcula la radiación para inclinación igual a la latitud.

11.2.1.2 Caracterización de la demanda

La demanda se caracteriza por el equipo empleado por los usuarios y su modo de uso. Este puede ser desagregado a nivel de equipos individuales (W) y su patrón de uso diario (h/día), como se ha dado en la Sección 4.2.1. HOMER requiere de la curva de carga diaria del sistema, la cual se da en la Tabla 11.2

Tabla 11.1. Disponibilidad de energía solar en El Seibo, Naranjo Dulce

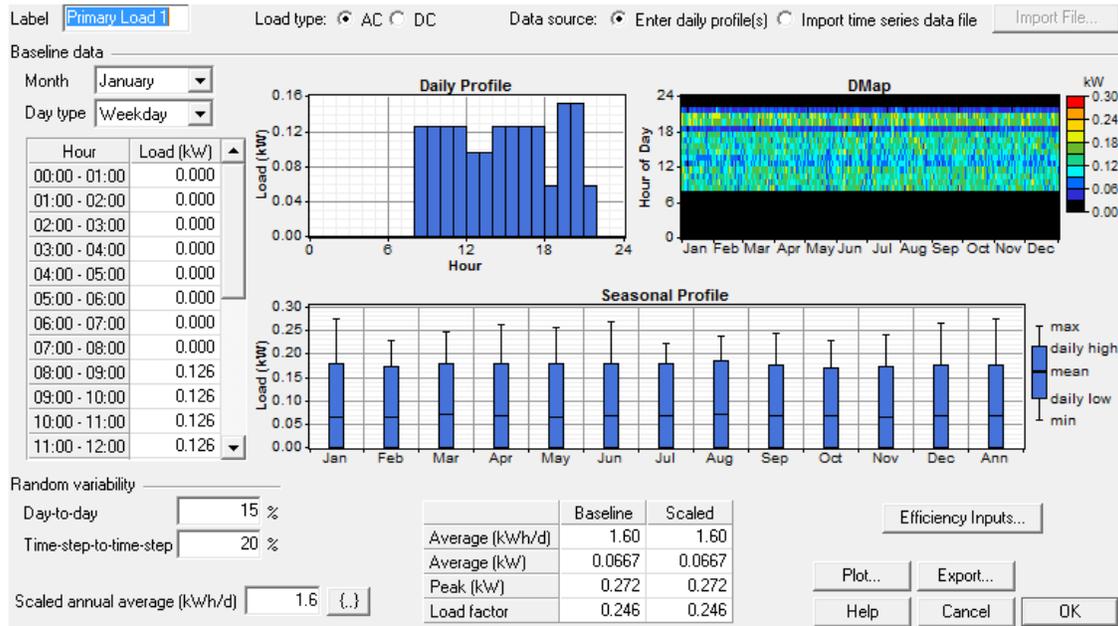
RECURSO SOLAR EN REPÚBLICA DOMINICANA

Lugar	El Seibo- Naranjo Dulce		
Longitud	-68.9 °	68 °	52.8 °
Latitud	18.8 °	18 °	48.6 °

Celda más Próxima al Lugar	
Celda No.	291432
Longitud	-68.88 °
Latitud	18.76 °
Distancia al lugar	0.05 °
Distancia al lugar	5.8 km

Tipo de Radiación	Radiación Mensual (kWh/m ² /día)												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Directa	5.58	5.56	5.72	5.37	4.38	4.65	4.63	4.82	4.85	5.33	4.94	5.44	5.11
Global	4.55	5.12	5.87	6.18	5.87	6.04	6.01	5.95	5.65	5.29	4.50	4.33	5.45
Inclinada	5.43	5.70	6.08	5.91	5.37	5.46	5.54	5.70	5.59	5.69	5.18	5.25	5.57
Difusa	1.37	1.61	1.88	2.20	2.54	2.51	2.49	2.31	2.11	1.73	1.54	1.31	1.97

Tabla 11.2. Curva de carga del SFV Escuelas para RD



11.2.1.3 Capacidades preliminares del SFV Escuelas

En esta sección se retoman los valores ya determinados en la Sección de Dimensionalización (Secc. 4.2.4), como punto de partida para simular el comportamiento del sistema.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 11.3. Especificaciones PRELIMINARES del SFV Escuelas

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1536	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	459	Wp
Capacidad del banco de baterías	505	Ah
Regulador de carga	40.2	A
Inversor	384	W

11.2.1.4 Factores de diseño empleados

Los factores de diseño empleados por en el HOMER para considerar las pérdidas propias de estos sistemas se dan en la Tabla 11.4. Es importante anotar que las eficiencias de carga/descarga son elevadas pero el factor final, ciclo carga/descarga, conocido como roundtrip, es de 85%. El cargador y el inversor tienen eficiencias de 95%. El banco de baterías se ha dimensionado para 3 días de autonomía.

Tabla 11.4. Factores de diseño empleados

Parte/proceso	%
Derateo de módulos solares	80%
Eficiencias batería round trip	85%
Descarga	92%
Carga	92%
Eficiencia del cargador	95%
Eficiencia del inversor	95%

Fuente: Elaboración propia

11.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER

El software considera Costos de Capital de los equipos, Costo de Reemplazo, Costos Fijos de O&M, Costos Variables de O&M y Costos Fijos de Capital. Los costos de los SFV se han tomado de la información de la UERS para sistemas instalados recientemente.

Para los estimados de costos es necesario compatibilizarlos con los requerimientos del HOMER:

- El **Costo del Regulador de Carga y del Inversor** deben estar incluidos en un solo ítem (convertor).
- Los **Costos Fijos de Capital** del SFV Estándar incluyen el BOS (Balance of System: todos los elementos necesarios para la instalación como cableado,

REPÚBLICA DOMINICANA

estructuras metálicas, fundamentos de concreto, canalizaciones, puestas a tierra, sistemas de protección y otros), terreno para el generador solar, ingeniería, permisos y licencias.

La tabla siguiente muestra los costos unitarios de un SFV Escuelas para RD, tomando como base los costos de los SFV instalados para las escuelas por parte de la UERS durante 2009. La figura siguiente muestra la estructura de costos del mismo sistema. El costo del SFV asciende a US\$11.068 (22.137 US\$/kW).

Tabla 11.5. Costos unitarios del SFV Escuelas para RD

Item	Precio RD\$	Precio US\$	Participación	Capacidad
Modulos	\$ 185,448	\$ 5,298.5	47.9%	500 Wp
Baterías	\$ 19,862	\$ 567.5	5.1%	450 Ah @ 100 HR
Regulador	\$ 13,316	\$ 380.4	3.4%	50 A
Inversor	\$ 14,719	\$ 420.6	3.8%	1,000 W
BOS, Transporte e instalación, Imprevistos, AIU	\$ 154,047	\$ 4,401.3	39.8%	
Total SFV	\$ 387,391	\$ 11,068	100.0%	
Tasa de Cambio	35.00	RD\$/US\$		
Costo por kW	\$ 22,137	US\$/kW		

Figura 11.2. Estructura de costos de los SFV Escuelas



Para el HOMER, el periodo de evaluación es de 20 años y la tasa de descuento es de 10% anual.

La tabla siguiente muestra todos los parámetros introducidos al HOMER para la evaluación del SFV Escuelas para RD.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 11.6. Parámetros del SVF Escuelas para el HOMER

	PARÁMETROS ENTRADA	US\$	RD \$	NOTA
Módulos PV	Capacidad (kWp)	0.500		
	Módulos: Costos de Capital (US\$/kWp)	5299	\$ 185,448	
	Costos de Capital (US\$/kWp)	9700	\$ 339,494	Cuando incluye costos fijos de capital
	Módulos: Reemplazos (US\$/kWp)	5299	\$ 185,448	
	Módulos: Vida Útil (yr)	20		
	O&M (US\$/yr/kWp)	0		
	Derating factor (%)	80		
	Inclinación (°)	18.7		
Baterías	Capacidad (Ah)	450.0		
	Costos de Capital (US\$/kWh)	567.5	\$ 19,862	
	Reemplazos (US\$/kWh)	567.5	\$ 19,862	
	O&M (US\$/yr)	12	\$ 420	
	Eficiencia carga/descarga (%)	80%		
Inversor convertidor	Capacidad (kW)	1.000		
	Costos de Capital (US\$/1kW)	801	\$ 28,035	Incluye el regulador de carga de 50 A
	Reemplazos (US\$/kW)	801	\$ 28,035	
	O&M (US\$/yr/kW)	0		
	Vida Útil (yr)	15		
	Eficiencia inversor (%)	95%		
	Eficiencia rectificador (%)	95%		
Parámetros económicos				
Otros costos	Tasa de descuento (%/yr)	12.0		
	Periodo de evaluación (yr)	20.0		
	Costos fijos de capital (US\$)	4,401	\$ 154,047	Incluye: BOS, Transporte e instalación, seguros e Imprevistos
	Costos fijos de capital (US\$/kWp)	8,803	\$ 308,094	Calculados para un sistema de 500Wp
	Costos fijos de O&M (US\$/yr)	240.0	\$ 8,400	Incluye 2 inspecciones anuales por sistema. Este costo conlleva costo del técnico y transporte.
Equipo	Unidad	Capacidad	US\$	RD\$
Generador solar	kWp	0.500	5,299	185,448
Inversor/Cargador	kW	1.000	801	28,035
Baterías	kWh	5.40	567	19,862
BOS			4,401	154,047
Subtotal Sistema			11,068	387,391
Costo unitario	US\$/kWp	22,137		
	RD\$/kWp	774,782		
	1 US\$/RD\$ = 35			

11.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del SFV Escuelas para RD

La Tabla 11.7 muestra el output de HOMER para el sistema escuela optimizado. El costo de Capital Inicial es de US\$11.069 por sistema, Costo Presente Neto de US\$13.852, costos de O&M de 327 US\$/year, costo nivelado de la energía US\$2.79/kWh y una vida esperada de las baterías de 10 años.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 11.7. SFV Escuelas Optimizado para RD

	PV (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
	0.5	4	1	\$ 11,069	327	\$ 13,852	2.787	1.00	10.0

Tabla 11.8. Características del SFV Escuelas Optimizado para RD

Característica	SFV Standard RD	
		Unidad
Tensión del sistema fotovoltaico	12	V DC
Tensión de suministro	120	V AC
Demanda de energía	1536	Wh AC
Capacidad del generador fotovoltaico	500	Wp
Capacidad del banco de baterías	450	Ah
Regulador de carga	50	A
Inversor	1000	W

De acuerdo a la tabla anterior, el sistema optimizado tendría un generador solar de 500 Wp, 2 baterías de 6 VDC de 225 Ah * 2 en paralelo, un regulador de carga de capacidad superior a 50 A a 12 VDC y un inversor de 1000 W 120 AC/12 VDC. Se ha empleado un inversor de mayor capacidad para darle mayor flexibilidad al sistema.

11.2.4 Desempeño energético del SFV Escuelas

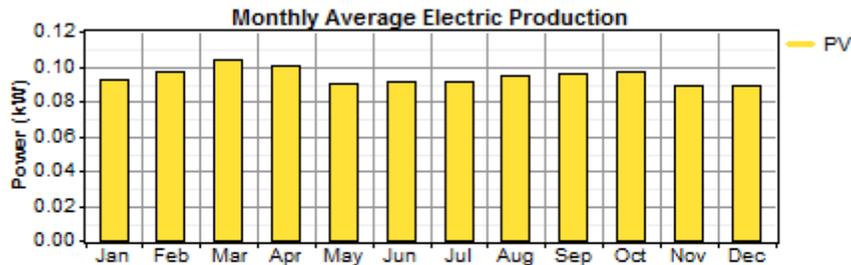
11.2.4.1 Sistema como un todo

La generación del sistema es de 829 kWh/año y la demanda de 584 kWh/año, indicando un excedente de generación de 179 kWh/año, debido las variaciones estacionales de la energía solar. *El SFV Escuelas es 100% fotovoltaico, 100% renovable, con una elevadísima confiabilidad* (Unmet load = 0.178 kWh/yr).

Tabla 11.9. Desempeño eléctrico del SFV Escuelas

Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	829	100%
Total	829	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	584	100%
Total	584	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	179	kWh/yr
Unmet load	0.178	kWh/yr
Capacity shortage	0.200	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

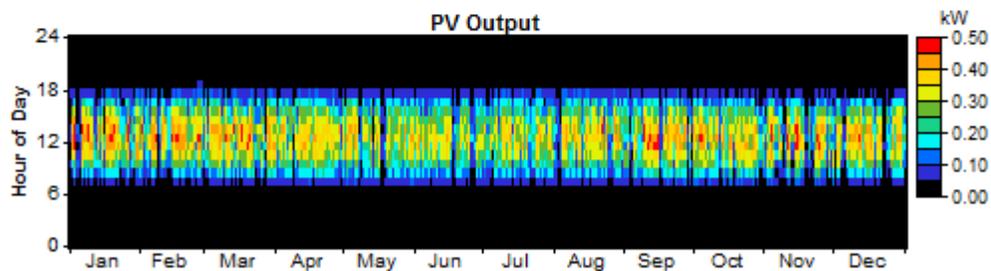
11.2.4.2 Generación Solar

El generador fotovoltaico (PV) genera anualmente 829 kWh y tiene un factor de capacidad de 18.9%. La generación máxima es de 497 W, opera durante 4408 horas al año y el costo nivelado de generación a nivel generador solar es de \$0.751 US\$/kWh. La figura muestra como el generador solar se comporta durante todos los días del año, generando hasta 0.5 kW al mediodía.

Figura 11.3. Desempeño del generador solar del SFV Escuelas**PV**

Quantity	Value	Units
Rated capacity	0.500	kW
Mean output	0.0946	kW
Mean output	2.27	kWh/d
Capacity factor	18.9	%
Total production	829	kWh/yr

Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	0.497	kW
PV penetration	142	%
Hours of operation	4,408	hr/yr
Levelized cost	0.751	\$/kWh

**11.2.4.3 Banco de baterías**

El banco de baterías se ha diseñado para 5.4 kWh de capacidad Nominal y consiste de 4 baterías de 6 VDC. Tiene para carga de diseño una autonomía de 56.7 h y el costo de uso es de US\$ 0.182/kWh. Sus pérdidas alcanzan 229 kWh/año. La vida útil esperada es de 10 años. El estado de carga de la batería (SOC: State of Charge) desciende hasta 40% y en el mes de agosto puede llegar a su mínimo de aproximadamente 35%.

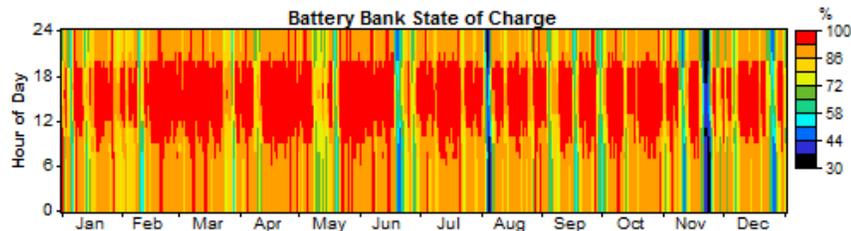
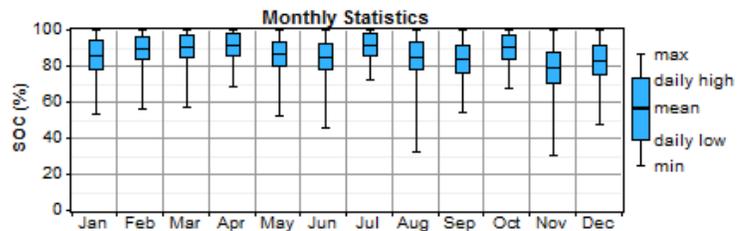
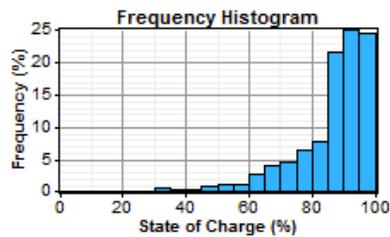
Figura 11.4. Desempeño de la batería del SFV Escuelas

Battery

Quantity	Value
String size	2
Strings in parallel	2
Batteries	4
Bus voltage (V)	12

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	5.40	kWh
Usable nominal capacity	3.78	kWh
Autonomy	56.7	hr
Lifetime throughput	3,380	kWh
Battery wear cost	0.182	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	247	kWh/yr
Energy out	211	kWh/yr
Storage depletion	1.78	kWh/yr
Losses	33.6	kWh/yr
Annual throughput	229	kWh/yr
Expected life	10.0	yr



11.2.4.4 Regulador/Inversor

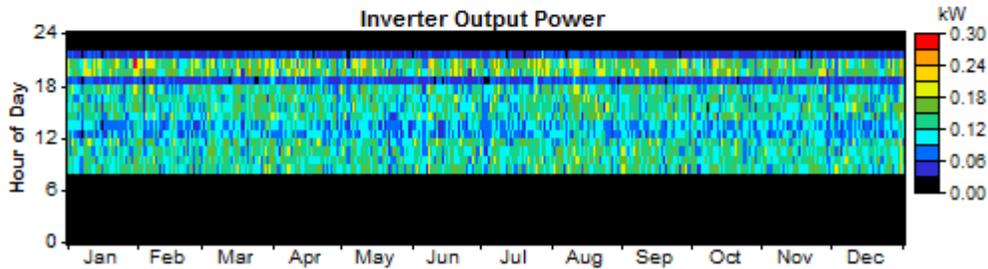
El regulador/inversor (o convertidor o convertidor) considerados como una sola unidad, tiene una eficiencia elevada (superior al 85%) y su operación intensiva es en las horas de la noche, como esperado.

Figura 11.5. Desempeño del conversor del SFV Escuelas

Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	1.00	1.00	kW
Mean output	0.07	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	0.27	0.00	kW
Capacity factor	6.7	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	5,109	0	hrs/yr
Energy in	615	0	kWh/yr
Energy out	584	0	kWh/yr
Losses	31	0	kWh/yr



En conclusión, la simulación indica que el SFV Escuelas propuesto satisface en altísimo grado la demanda de energía estimada para las escuelas en RD y además puede emplearse para aplicaciones institucionales similares.

11.2.5 Costo anualizado de la energía generada

Para calcular el costo de generación de energía generada por el sistema, se tienen en cuenta los costos de inversión y los supuestos mostrados en la Tabla 11.6.

La Tabla 11.10 es el resumen del desempeño económico del sistema. En el resumen de costos, el costo nivelado de la energía eléctrica es de US\$2.79/kWh. El costo anual de operación alcanza US\$327/año.

El CPN (Costo Presente Neto o Net Present Cost) del SFV Escuelas es de **US\$13.852** y la mayor parte de los costos corresponden al capital inicial (**US\$11.069**) seguidos de la operación y el mantenimiento, y el reemplazo de baterías. En cuanto al valor anualizado, este es de US\$1.627/year, de los cuales US\$1.300/yr corresponden al capital inicial.

El diagrama de flujo de fondos muestra la importancia de asignar recursos para garantizar la operación de los sistemas durante la vida útil de los mismos.

11.2.6 Análisis de sensibilidad al Costo del Sistema Fotovoltaico

La Figura 11.6 muestra el efecto que tiene sobre el CPN del proyecto una reducción de los costos de capital. Es importante anotar que a favor de una reducción de costos de Inversión Inicial se tienen los siguientes argumentos:

- Para un programa de uso masivo de estos sistemas los proveedores de los SFV deben poder ofrecer un descuento sobre los costos de los equipos en razón al volumen de compras.
- Los módulos de los SFV tienden a decrecer en los próximos años y se esperan reducciones superiores al 25% en los próximos 3 años según la literatura especializada.
- El desarrollo de un programa masivo debe significar una reducción de los costos de instalación por concepto de manejo logístico del proyecto por parte de la UERS.

En estas condiciones, para un 30% de reducción en los costos de capital iniciales, el CPN es de US\$9.309, lo que representa una reducción de 16% del Costo Presente Neto. Pero consecuentemente el costo del kWh se reduce de 2.79 US\$/kWh a US\$2.42 cuando se logra una reducción de costos iniciales de 30%.

Tabla 11.10. Resumen de costos del SFV Escuelas para RD
System Report - SFV_Escuela_RD

Sensitivity case

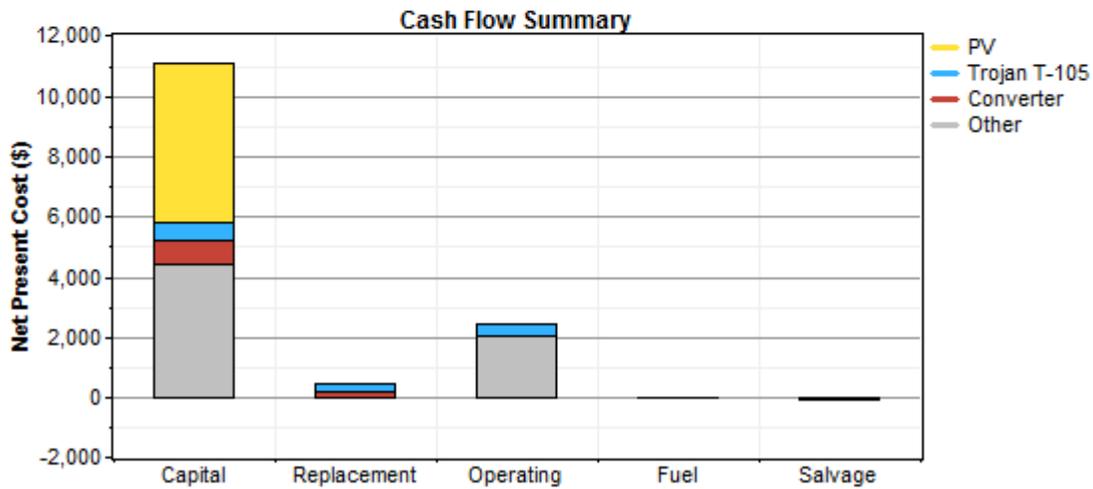
PV Capital Cost Multiplier:	1
PV Replacement Cost Multiplier:	1
Trojan T-105 Capital Cost Multiplier:	1
Trojan T-105 Replacement Cost Multiplier:	1

System architecture

PV Array 0.5 kW
Battery 4 Trojan T-105
Inverter 1 kW
Rectifier 1 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 13,852
Levelized cost of energy	\$ 2.787/kWh
Operating cost	\$ 327/yr



REPÚBLICA DOMINICANA

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	5,299	0	0	0	0	5,299
Trojan T-105	568	219	409	0	0	1,196
Converter	801	192	0	0	-79	913
Other	4,401	0	2,043	0	0	6,444
System	11,069	411	2,452	0	-79	13,852

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	622	0	0	0	0	622
Trojan T-105	67	26	48	0	0	140
Converter	94	23	0	0	-9	107
Other	517	0	240	0	0	757
System	1,300	48	288	0	-9	1,627

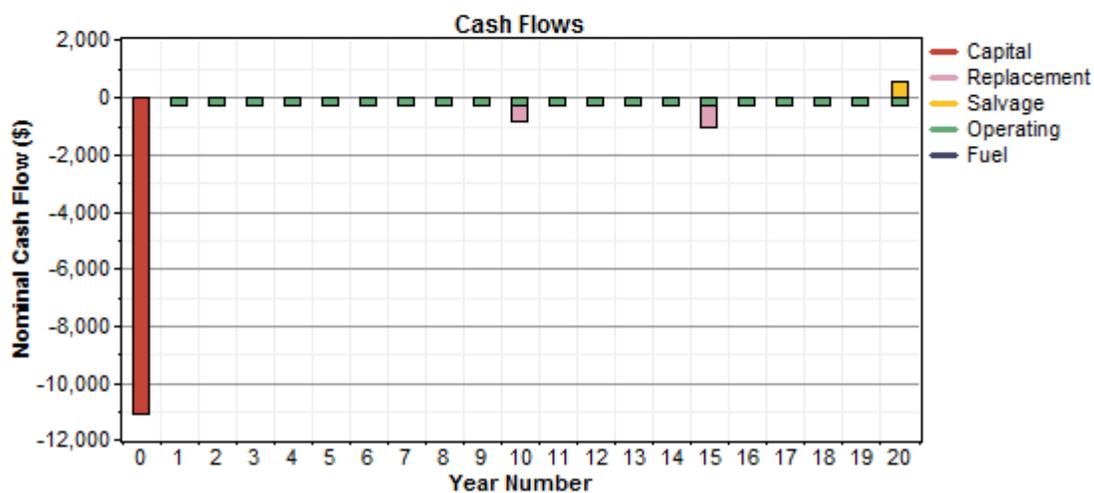
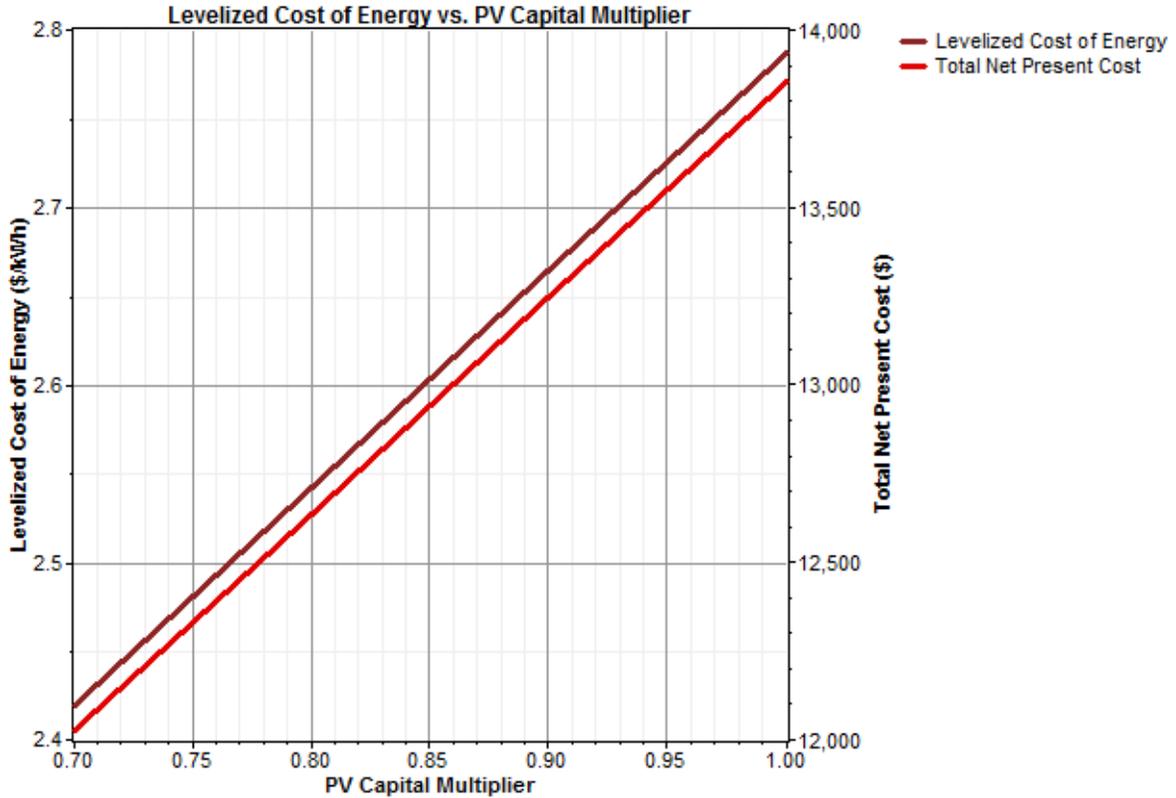


Figura 11.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial



La Tabla 11.11 muestra el análisis de sensibilidad para la reducción de costos de Capital Inicial y posteriormente para los reemplazos de las baterías. Se muestra claramente el efecto que tiene sobre el Costo Presente Neto del SFV Escuelas la reducción de costos de un programa masivo adelantado por la UERS.

Tabla 11.11. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de SFV Escuelas

PV Cap. Mult.	PV Repl. Mult.	T-105 Cap. Mult.	T-105 Repl. Mult.				PV (kW)	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Batt. Lf. (yr)
1.00	1.00	1.00	1.00				0.5	4	1	\$ 11,069	327	\$ 13,852	2.787	1.00	10.0
0.90	0.90	0.90	0.90				0.5	4	1	\$ 10,482	324	\$ 13,243	2.664	1.00	10.0
0.80	0.80	0.80	0.80				0.5	4	1	\$ 9,895	322	\$ 12,635	2.542	1.00	10.0
0.70	0.00	0.70	0.70				0.5	4	1	\$ 9,309	319	\$ 12,026	2.420	1.00	10.0

11.3 CONCLUSIÓN

El análisis anterior muestra que el sistema considerado representa una alternativa para el suministro de energía eléctrica para las escuelas dispersas en RD, teniendo las escuelas un suministro confiable de energía eléctrica. Es importante anotar que deben buscarse economías de escala para sacar plena ventaja económica de la utilización de estos sistemas. Es también importante anotar la conveniencia de manejar apropiadamente la O&M y asegurar el costo de los reemplazos de las baterías que es necesario renovar a los 10 años, pero la utilización de baterías inapropiadas podría reducir su vida útil, afectando severamente los costos de reemplazo de las mismas durante la vida útil de los sistemas.

12. ANEXO 4. SIMULACIÓN DEL “SE STANDARD PARA VIVIENDAS - GUZMANCITOS”

En este anexo se desarrolla la simulación del comportamiento del SE (Sistema Eólico) para viviendas en el área de Guzmancitos en RD empleando el software avanzado HOMER^{51, 52} y la información de energía eólica que se ha desarrollado para RD, en particular Guzmancitos que es una de las mejores áreas de energía eólica en el país.

Es importante anotar que esta simulación emplea información localizada al área de Guzmancitos y de ninguna manera extrapolable a otras regiones del país.

12.1 CONFIGURACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GUZMANCITOS”

El SE Viviendas tiene entonces los siguientes elementos:

- Unidad de generación
 - Generador Eólico
- Almacenamiento de energía
 - Banco de Baterías
- Electrónica de potencia y regulación (controlador/regulador de carga e inversor).

La Figura 12.1 muestra la arquitectura del SFV propuesto.

12.2 SIMULACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GUZMANCITOS”

Para la evaluación de los costos de generación de la energía eléctrica en cada uno de los escenarios se empleará el programa HOMER. HOMER es un modelo de optimización de micro potencia que simplifica la tarea de simulación/complementa el diseño de sistemas de generación de potencia fuera-de-red para una variedad de aplicaciones. Cuando se diseña un sistema de potencia, se deben tomar muchas decisiones sobre la configuración del sistema: Qué componentes se deben incluir en el diseño del sistema? ¿Cuántos y qué capacidad de cada componente se deben emplear? Esta toma de decisiones es difícil por el gran número de opciones tecnológicas y la variación en los costos de las tecnologías y la disponibilidad de los recursos energéticos, por lo que la toma de decisiones se torna difícil. El algoritmo de HOMER de optimización y de análisis de sensibilidad permite hacer más

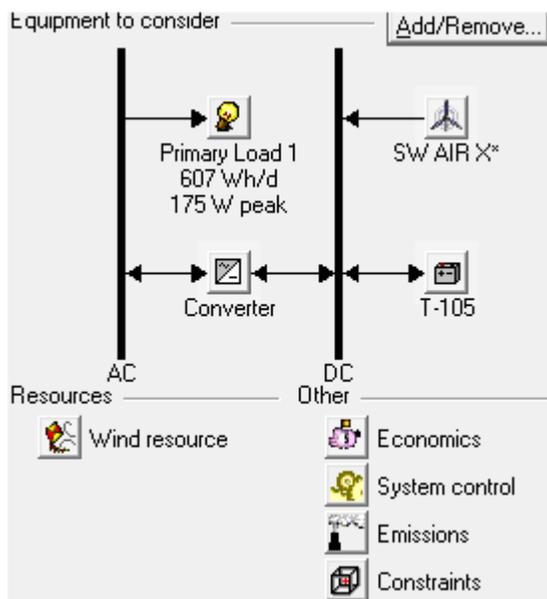
⁵¹ HOMER® es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

⁵² (Ver archivo HOMER:& link)

REPÚBLICA DOMINICANA

fácilmente esta difícil y extensa tarea. El método empleado consiste en alimentar el HOMER con las configuraciones de los equipos de la sección anterior de tal manera que el sistema genera resultados del costo de generación de la energía en el sistema diseñado, con un análisis de sensibilidad del costo del combustible (cuando se tienen estos costos) y otras, como por ejemplo, costo de equipos eólicos. Posteriormente, a este diseño se le permiten variaciones en la configuración y el software determina cuales son los costos para las diferentes configuraciones permitidas. Es entonces claro que para cada escenario se generarán diferentes configuraciones del sistema con sus respectivos costos.

Figura 12.1. Arquitectura del “SE vivienda Guzmancitos”



12.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER

12.2.1.1 Recurso de energía eólica

Para el área de Guzmancitos, el programa de simulación HOMER emplea la información de los 12 meses de velocidad media del viento del lugar de la estación y calcula la energía que genera un aerogenerador en particular.

12.2.1.2 Caracterización de la demanda

La demanda se caracteriza por el equipo empleado por los usuarios y su modo de uso. Este puede ser desagregado a nivel de equipos individuales (W) y su patrón de uso diario (h/día), como se ha dado en la Sección 4.3.2. HOMER requiere de la curva de carga diaria del sistema, la cual se da en la Tabla 12.2. Como puede observarse, la carga para el sistema

eólico es 2 veces superior a la carga del SFV Standard dando al usuario mayores posibilidades de uso de la energía eléctrica.

Tabla 12.1. Velocidad de Vientos en Guzmancitos

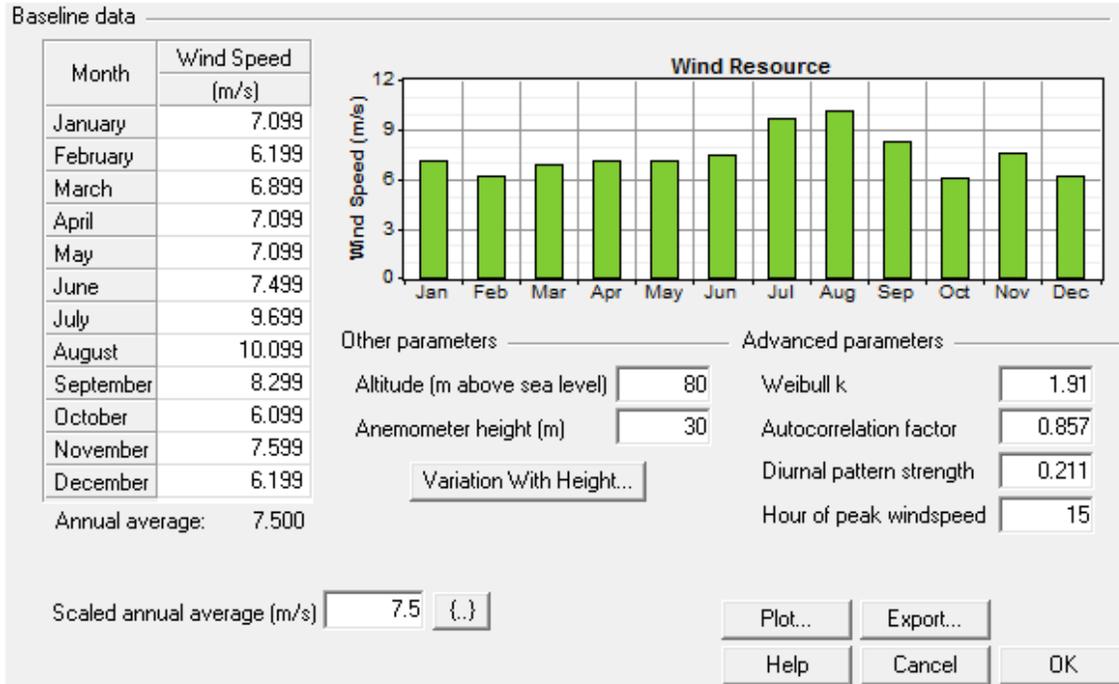
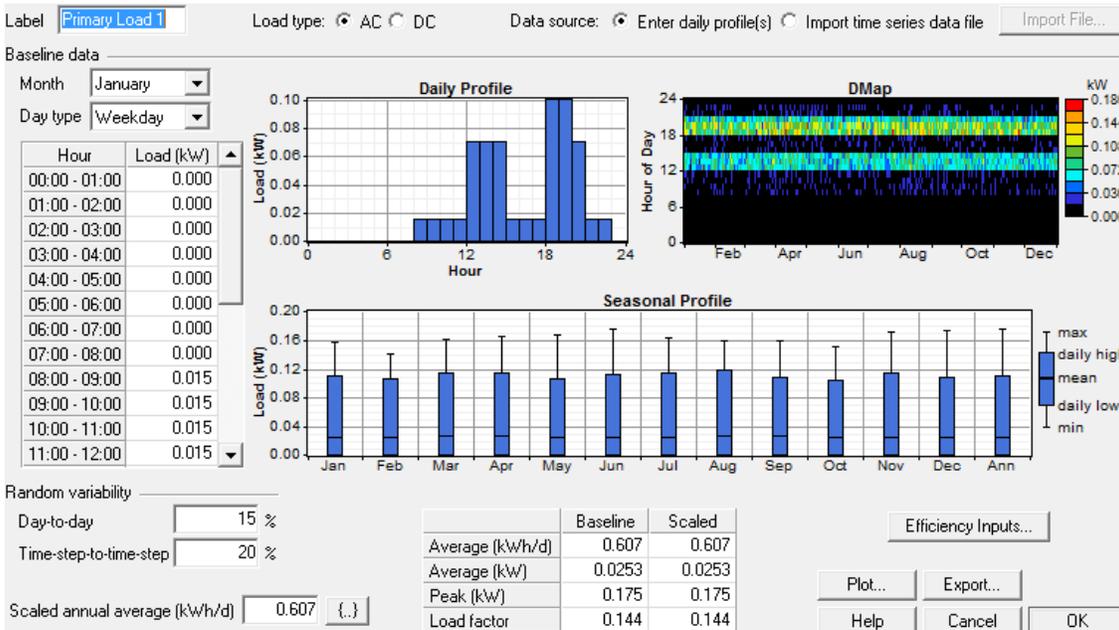


Tabla 12.2. Curva de carga del “SE Viviendas Guzmancitos”



12.2.1.3 Factores de diseño empleados

Los factores de diseño empleados por en el HOMER para considerar las pérdidas propias de estos sistemas se dan en la Tabla 12.3. Es importante anotar que las eficiencias de carga/descarga son elevadas pero el factor final, ciclo carga/descarga, conocido como roundtrip, es de 85%. El cargador y el inversor tienen eficiencias de 95%. El banco de baterías se ha dimensionado para 3 días de autonomía.

Tabla 12.3. Factores de diseño empleados

Parte/proceso	%
Eficiencias batería round trip	85%
Descarga	92%
Carga	92%
Eficiencia del cargador	95%
Eficiencia del inversor	95%

Fuente: Elaboración propia

12.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER

El software considera Costos de Capital de los equipos, Costo de Reemplazo, Costos Fijos de O&M, Costos Variables de O&M y Costos Fijos de Capital. Los costos de los SE se han tomado de la información de la empresa TRADE MASTER de Santo Domingo, distribuidores que aerogeneradores AIR-X.

Para los estimados de costos es necesario compatibilizarlos con los requerimientos del HOMER:

- El **Costo del Regulador de Carga y del Inversor** deben estar incluidos en un solo ítem (convertor).
- Los **Costos Fijos de Capital** del SFV Estándar incluyen el BOS (Balance of System: todos los elementos necesarios para la instalación como cableado, estructuras metálicas, fundamentos de concreto, canalizaciones, puestas a tierra, sistemas de protección y otros), terreno para el aerogenerador, ingeniería, permisos y licencias.

La tabla siguiente muestra los costos unitarios de un SE para Guzmancitos. La figura siguiente muestra la estructura de costos del mismo sistema. El costo del SE asciende a 7.405 US\$/kW.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 12.4. Costos unitarios de los “SE Viviendas Guzmancitos”

Item	Precio RD\$	Precio US\$	Participación	Capacidad	
Aerogenerador AIR X + torre 20 m	\$ 64,400	\$ 1,840.0	62.1%	400	W
Baterías	\$ 9,931	\$ 283.7	9.6%	450	Ah @ 100 HR
Regulador/Inversor	\$ 5,894	\$ 168.4	5.7%	20	A *
BOS, Transporte e instalación, Imprevistos, AIU	\$ 23,450	\$ 670.0	22.6%		
Total SE	\$ 103,675	\$ 2,962	100.0%		
Tasa de Cambio	35.00 RD\$/US\$				

Costo por kW	\$ 7,405 US\$/kW
---------------------	-------------------------

* Inversor de 400 W

Figura 12.2. Estructura de costos de los “SE Viviendas Guzmancitos”



Para el HOMER, el periodo de evaluación es de 20 años y la tasa de descuento es de 10% anual.

La tabla siguiente muestra todos los parámetros introducidos al HOMER para la evaluación del SE para Guzmancitos.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 12.5. Parámetros del “SE Viviendas Guzmancitos” para el HOMER

	PARÁMETROS ENTRADA	US\$	RD \$	NOTA
Aerogenerador	Capacidad (kW)	0.400		
	Aerogenerador Air X: Costos de Capital (US\$)	840	\$ 29,400	Solo aerogenerador
	Torre Aerogenerador de 20 m: Costos de Capital (US\$)	1000	\$ 35,000	Torre incluye instalación
	Reemplazos (US\$/kW)	840	\$ 29,400	
	Aerogenerador: Vida Util (yr)	15		
	O&M (US\$/yr/kW)	25		
Baterias	Capacidad (Ah)	225.0		
	Costos de Capital (US\$/kWh)	283.7	\$ 9,931	
	Reemplazos (US\$/kWh)	283.7	\$ 9,931	
	O&M (US\$/yr)	12	\$ 420	
	Eficiencia carga/descarga (%)	85%		
Inversor convertidor	Capacidad (kW)	0.400		
	Costos de Capital (US\$/400W)	168	\$ 5,894	Incluye el regulador de carga de 20 A
	Reemplazos (US\$/kW)	168	\$ 5,894	
	O&M (US\$/yr/kW)	0		
	Vida Util (yr)	15		
	Eficiencia inversor (%)	95%		
	Eficiencia rectificador (%)	95%		
Parámetros económicos				
Otros costos	Tasa de descuento (%/yr)	10.0		
	Periodo de evaluación (yr)	20.0		
	Costos fijos de capital (US\$)	670	\$ 23,450	Incluye: BOS, Transporte e instalación, seguros e Imprevistos
	Costos fijos de capital (US\$/kW)	1675	\$ 58,625	Calculados para un sistema de 400W
	Costos fijos de O&M (US\$/yr)	24.0	\$ 840	Incluye 2 inspecciones anuales por sistema. Este costo conlleva costo del técnico y transporte.
Equipo	Unidad	Capacidad	US\$	RD\$
Aerogenerador + torre	kW	0.400	1,840	64,400
Inversor/Cargador	kW	0.400	168	5,894
Baterias	kWh	1.32	284	9,931
BOS			670	23,450
Subtotal Sistema			2,962	103,675
Costo unitario	US\$/kWp	7,405		
	RD\$/kWp	259,187		
TRM 1 US\$/RD\$ =	35			

REPÚBLICA DOMINICANA

12.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del “SE Viviendas Guzmancitos”

La muestra el output de HOMER para el SE optimizado. El costo de Capital Inicial es de US\$2,960 por sistema, Costo Presente Neto de US\$3,714, costos de O&M de 89 US\$/year, costo nivelado de la energía US\$1,97/kWh.

Tabla 12.6. Evaluación de “SE Viviendas Guzmancitos”

AIR Capital Multiplier 1

Double click on a system below for simulation results.

	AIR	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	1	2	0.4	\$ 2,960	89	\$ 3,714	1.969	1.00

De acuerdo a la tabla, el sistema optimizado tendría un generador AIR X de 400W, 2 baterías de 6 VDC de 225 Ah en serie de marca Trojan y del tipo T-105, un regulador de carga de capacidad superior a 20 A a 12 VDC y un inversor de 400 W.

12.2.4 Desempeño energético del “SE Viviendas Guzmancitos”

12.2.4.1 Sistema como un todo

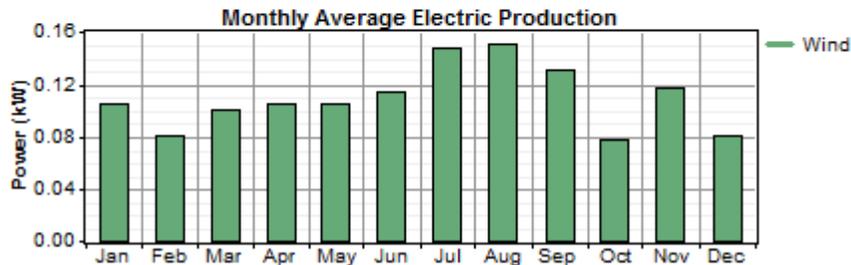
La generación del sistema es de 963 kWh/año y la demanda de 222 kWh/año, indicando un excedente de generación de 719 kWh/año, debido las variaciones estacionales de la energía eólica. *El “SE Viviendas Guzmancitos” es 100% eólico, 100% renovable, con una elevadísima confiabilidad* (Unmet load casi 0 kWh/yr).

Este diseño muestra entonces una **dificultad de los sistemas eólicos en sistemas aislados que está ligado con el régimen de vientos de la localidad**: El HOMER al optimizar busca atender la demanda todos los meses del año y termina tomando como base el peor mes (Febrero, Octubre y Diciembre) de tal suerte que el sistema atiende la demanda en esos meses pero genera en exceso con relación a la demanda en los demás meses del año.

Tabla 12.7. Desempeño eléctrico del “SE Viviendas Guzmancitos”

Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
Wind turbine	963	100%
Total	963	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	222	100%
Total	222	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	719	kWh/yr
Unmet load	0.000000570	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

12.2.4.2 Generación Eólica

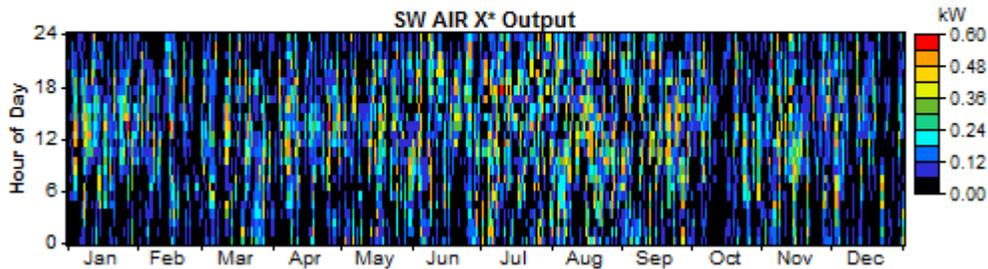
El generador eólico genera anualmente 963 kWh y tiene un factor de capacidad de 20%. La generación máxima es de 543 W, opera durante 8151 horas al año y el costo nivelado de generación a nivel generador eólico es de \$0.25 US\$/kWh, 3 veces más barato que un sistema fotovoltaico de carga equivalente. La gráfica muestra como el generador eólico se comporta durante todos los días del año, generando hasta 0.5 kW hacia las 3 pm.

Figura 12.3. Desempeño del aerogenerador de “SE Viviendas Guzmancitos”

DC Wind Turbine: SW AIR X*

Variable	Value	Units
Total rated capacity	0.550	kW
Mean output	0.110	kW
Capacity factor	20.0	%
Total production	963	kWh/yr

Variable	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	0.543	kW
Wind penetration	434	%
Hours of operation	8,151	hr/yr
Levelized cost	0.250	\$/kWh



12.2.4.3 Banco de baterías

La batería se ha diseñado para 2.7 kWh de capacidad Nominal y consiste de 2 baterías de 6 VDC. Tiene para carga de diseño una autonomía de 74.7 h y el costo de uso es de US\$ 0.181/kWh. Sus pérdidas alcanzan 10.6 kWh/año. La vida útil esperada es de 10 años. El estado de carga de la batería (SOC: State of Charge) desciende hasta 60% en octubre pero el mínimo diario no excede 90%.

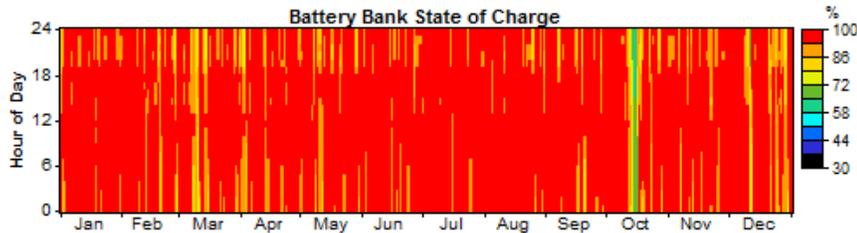
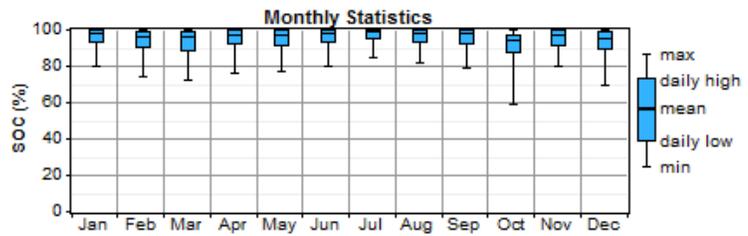
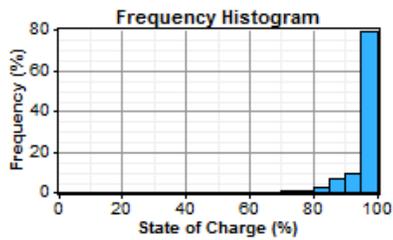
Figura 12.4. Desempeño de la batería del “SE Viviendas Guzmancitos”

Battery

Quantity	Value
String size	2
Strings in parallel	1
Batteries	2
Bus voltage (V)	12

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	2.70	kWh
Usable nominal capacity	1.89	kWh
Autonomy	74.7	hr
Lifetime throughput	1,690	kWh
Battery wear cost	0.181	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	71.3	kWh/yr
Energy out	60.6	kWh/yr
Storage depletion	0.0399	kWh/yr
Losses	10.6	kWh/yr
Annual throughput	66	kWh/yr
Expected life	10.0	yr



12.2.4.4 Regulador/Inversor

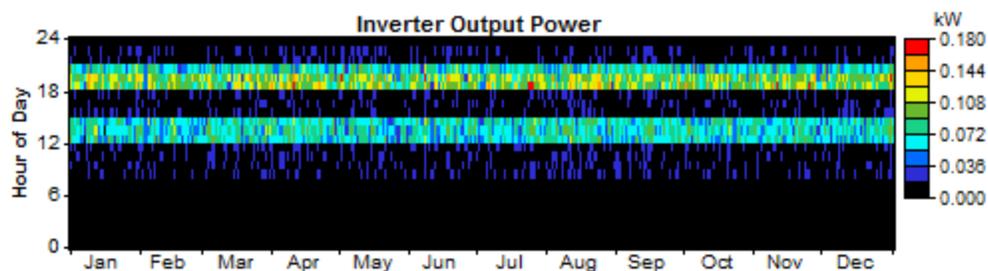
El regulador/inversor (o convertidor o convertidor) considerados como una sola unidad, tiene una eficiencia elevada (superior al 85%) y su operación intensiva es en las horas de la noche, como esperado.

Figura 12.5. Desempeño del convertor del “SE Viviendas Guzmancitos”

Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	0.40	0.40	kW
Mean output	0.03	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	0.18	0.00	kW
Capacity factor	6.3	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	5,475	0	hrs/yr
Energy in	233	0	kWh/yr
Energy out	222	0	kWh/yr
Losses	12	0	kWh/yr



En conclusión, la simulación indica que el “SE Viviendas Guzmancitos” propuesto satisface en altísimo grado la demanda de energía estimada para los hogares en las proximidades de la estación Guzmancitos en RD.

12.2.5 Costo anualizado de la energía generada

Para calcular el costo de generación de energía generada por el sistema, se tienen en cuenta los costos de inversión y los supuestos mostrados en la Tabla 12.4. La Tabla 12.8 es el resumen del desempeño económico del sistema. En el resumen de costos, el costo nivelado de la energía eléctrica es de US\$1.97/kWh. El costo anual de operación alcanza US\$88.5/año.

El CPN (Costo Presente Neto o Net Present Cost) del “SE Viviendas Guzmancitos” es de **US\$3.714** y la mayor parte de los costos corresponden al capital inicial (**US\$2.960**) seguidos de la operación y el mantenimiento, y el reemplazo de baterías. En cuanto al valor anualizado, este es de US\$436/year, de los cuales US\$348/yr corresponden al capital inicial.

El diagrama de flujo de fondos muestra la importancia de asignar recursos para garantizar la operación de los sistemas durante la vida útil de los mismos.

12.2.6 Análisis de sensibilidad a Costo del “SE Viviendas Guzmancitos”

La Figura 12.6 muestra el efecto que tiene sobre el CPN del proyecto una reducción de los costos de capital. Es importante anotar que a favor de una reducción de costos de Inversión Inicial se tienen los siguientes argumentos:

- Para un programa de uso masivo de estos sistemas los proveedores de los SE deben poder ofrecer un descuento sobre los costos de los equipos en razón al volumen de compras.
- El desarrollo de un programa masivo debe significar una reducción de los costos de instalación por concepto de manejo logístico del proyecto por parte de la UERS.

En estas condiciones, para un 30% de reducción en los costos de capital iniciales, el CPN debe ser cercano a los US\$2323 lo que representa una reducción de 23% del Costo Presente Neto. Pero consecuentemente el costo del kWh se reduce de 1.97 US\$/kWh a US\$1.61 cuando se logra una reducción de costos iniciales de 30%.

Tabla 12.8. Resumen de costos del “SE Viviendas Guzmancitos”
System Report - Wind_Vivienda_300W_Guzmancitos

Sensitivity case

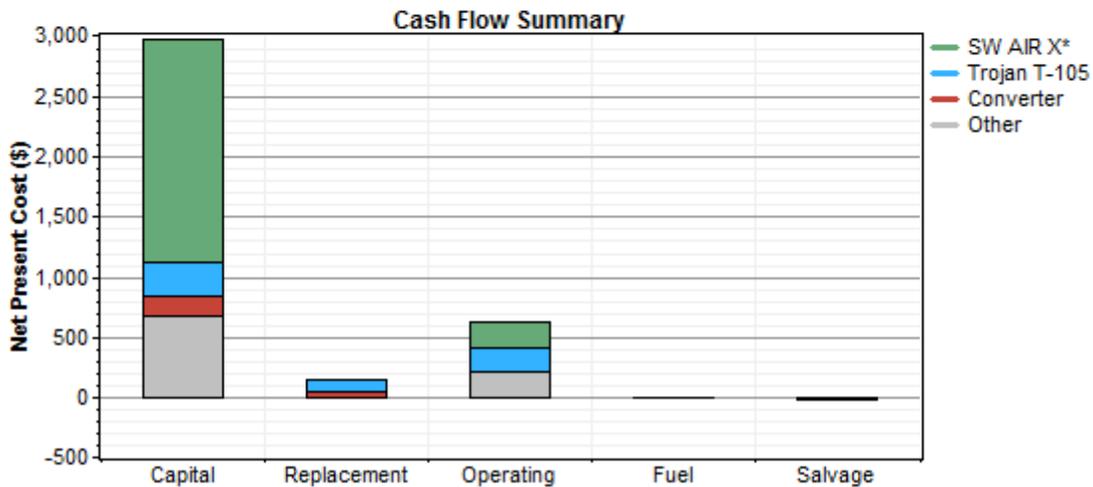
SW AIR X* Capital Cost Multiplier: 1
 SW AIR X* Replacement Cost Multiplier: 1
 Trojan T-105 Capital Cost Multiplier: 1
 Trojan T-105 Replacement Cost Multiplier: 1

System architecture

Wind turbine 1 SW AIR X*	
Battery	2 Trojan T-105
Inverter	0.4 kW
Rectifier	0.4 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 3,714
Levelized cost of energy	\$ 1.969/kWh
Operating cost	\$ 88.5/yr



REPÚBLICA DOMINICANA

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
SW AIR X*	1,840	0	213	0	0	2,053
Trojan T-105	282	109	204	0	0	595
Converter	168	40	0	0	-17	192
Other	670	0	204	0	0	874
System	2,960	149	621	0	-17	3,714

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
SW AIR X*	216	0	25	0	0	241
Trojan T-105	33	13	24	0	0	70
Converter	20	5	0	0	-2	23
Other	79	0	24	0	0	103
System	348	17	73	0	-2	436

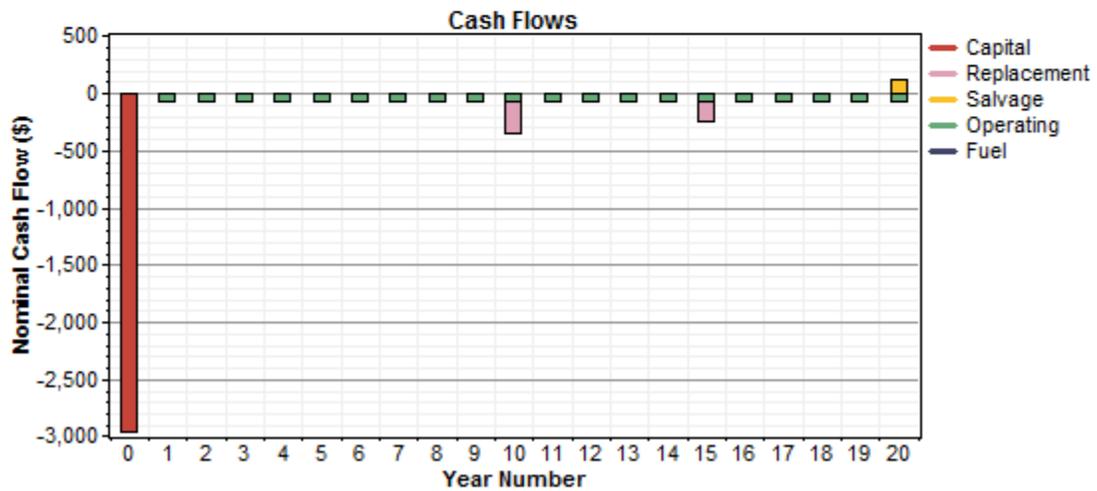
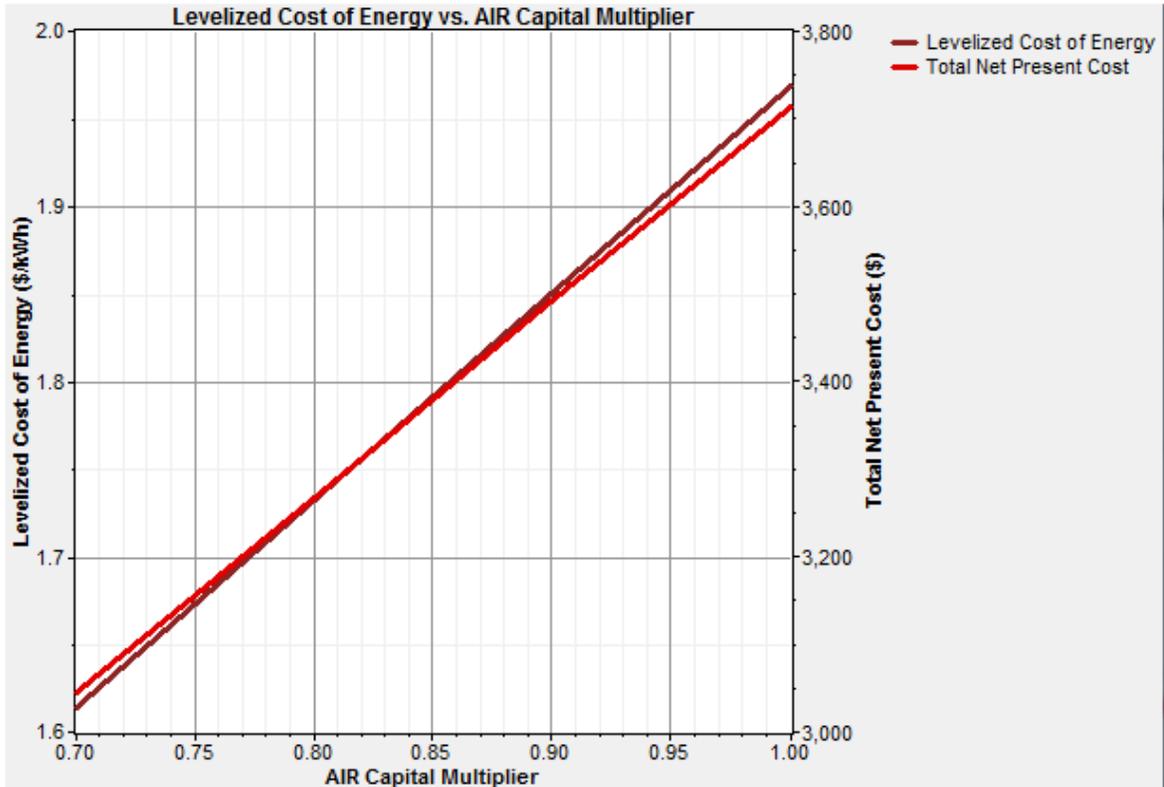


Figura 12.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial



La Tabla 12.9 muestra el análisis de sensibilidad para la reducción de costos de Capital Inicial y posteriormente para los reemplazos de las baterías. Se muestra claramente el efecto que tiene sobre el Costo Presente Neto del “SE Viviendas Guzmancitos” la reducción de costos de un programa masivo adelantado por la UERS.

Tabla 12.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Guzmancitos”

AIR Cap. Mult.	AIR Repl. Mult.	T-105 Cap. Mult.	T-105 Repl. Mult.			AIR	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
1.00	1.00	1.00	1.00			1	2	0.4	\$ 2,960	89	\$ 3,714	1.969	1.00
0.90	0.90	0.90	0.90			1	2	0.4	\$ 2,748	87	\$ 3,491	1.851	1.00
0.80	0.80	0.80	0.80			1	2	0.4	\$ 2,536	86	\$ 3,268	1.732	1.00
0.70	0.70	0.70	0.70			1	2	0.4	\$ 2,323	85	\$ 3,045	1.614	1.00

12.3 CONCLUSIÓN

El análisis anterior muestra que el sistema considerado representa una alternativa para el suministro de energía eléctrica para usuarios rurales dispersos en RD pero próximos a la estación Guzmancitos, teniendo el usuario un suministro confiable de energía eléctrica para sus necesidades básicas. Es importante anotar que deben buscarse economías de escala para sacar plena ventaja económica de la utilización de estos sistemas. Es también importante anotar la conveniencia de manejar apropiadamente la O&M y asegurar el costo de los reemplazos de las baterías que es necesario renovar a los 10 años pero la utilización de baterías inapropiadas podría reducir la vida útil de las mismas, afectando severamente los costos de reemplazo de las mismas durante la vida útil de los sistemas.

En este tipo de sistemas queda abierta la posibilidad para un uso más intensivo de la energía durante los meses de mayor generación, energía que de otra manera se perdería. Sin embargo, en la práctica tener una demanda estacional que siga el régimen de vientos no es siempre posible y el sistema puede entonces desaprovechar una elevada cantidad de energía, como es este el caso.

13. ANEXO 5. SIMULACIÓN DEL “SE ESTÁNDAR PARA VIVIENDAS - GALERAS”

En este anexo se desarrolla la simulación del comportamiento del SE (Sistema Eólico) para viviendas en el área de Galeras en RD empleando el software avanzado HOMER^{53, 54} y la información de energía eólica que se ha desarrollado para RD, en particular Galeras que es una de las áreas del país de la que existe información de energía eólica en el país.

Es importante anotar que esta simulación emplea información localizada al área de Galeras y de ninguna manera extrapolable a otras regiones del país.

13.1 CONFIGURACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GALERAS”

El “SE Viviendas Galeras” tiene entonces los siguientes elementos:

- Unidad de generación
 - Generador Eólico
- Almacenamiento de energía
 - Banco de Baterías
- Electrónica de potencia y regulación (controlador/regulador de carga e inversor).

La Figura 13.1 muestra la arquitectura del SFV propuesto.

13.2 SIMULACIÓN DEL “SE VIVIENDAS GALERAS”

Para la evaluación de los costos de generación de la energía eléctrica en cada uno de los escenarios se empleará el programa HOMER. HOMER es un modelo de optimización de micro potencia que simplifica la tarea de simulación/complementa el diseño de sistemas de generación de potencia fuera-de-red para una variedad de aplicaciones. Cuando se diseña un sistema de potencia, se deben tomar muchas decisiones sobre la configuración del sistema: Qué componentes se deben incluir en el diseño del sistema? ¿Cuántos y qué capacidad de cada componente se deben emplear? Esta toma de decisiones es difícil por el gran número de opciones tecnológicas y la variación en los costos de las tecnologías y la disponibilidad de los recursos energéticos, por lo que la toma de decisiones se torna difícil. El algoritmo de HOMER de optimización y de análisis de sensibilidad permite hacer más

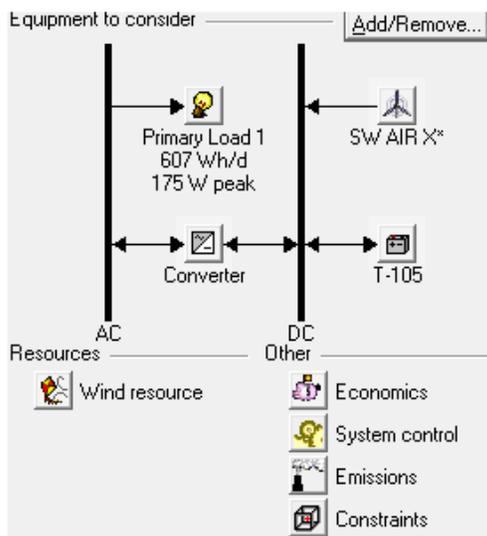
⁵³ HOMER® es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

⁵⁴ (Ver archivo HOMER:& link)

REPÚBLICA DOMINICANA

fácilmente esta difícil y extensa tarea. El método empleado consiste en alimentar el HOMER con las configuraciones de los equipos de la sección anterior de tal manera que el sistema genera resultados del costo de generación de la energía en el sistema diseñado, con un análisis de sensibilidad del costo del combustible (cuando se tienen estos costos) y otras, como por ejemplo, costo de equipos eólicos. Posteriormente, a este diseño se le permiten variaciones en la configuración y el software determina cuales son los costos para las diferentes configuraciones permitidas. Es entonces claro que para cada escenario se generarán diferentes configuraciones del sistema con sus respectivos costos.

Figura 13.1. Arquitectura del “SE Viviendas Galeras”



13.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER

13.2.1.1 Recurso de energía eólica

Para el área de Galeras, el programa de simulación HOMER emplea la información de los 12 meses de velocidad media del viento del lugar de la estación y calcula la energía que genera un aerogenerador en particular. El aerogenerador empleador es el AIR X. Importante en relación con Guzmancitos es notar que los promedios de a velocidad del viento son inferiores en Galeras y consecuentemente, la generación de energía disminuirá.

13.2.1.2 Caracterización de la demanda

La demanda se caracteriza por el equipo empleado por los usuarios y su modo de uso. Este puede ser desagregado a nivel de equipos individuales (W) y su patrón de uso diario (h/día), como se ha dado en la Sección 4.3.2. HOMER requiere de la curva de carga diaria del sistema, la cual se da en la Tabla 13.2. Como puede observarse, la carga para el sistema eólico es 2 veces superior a la carga del SFV Standard dando al usuario mayores posibilidades de uso de la energía eléctrica.

Tabla 13.1. Velocidad de Vientos en Galeras

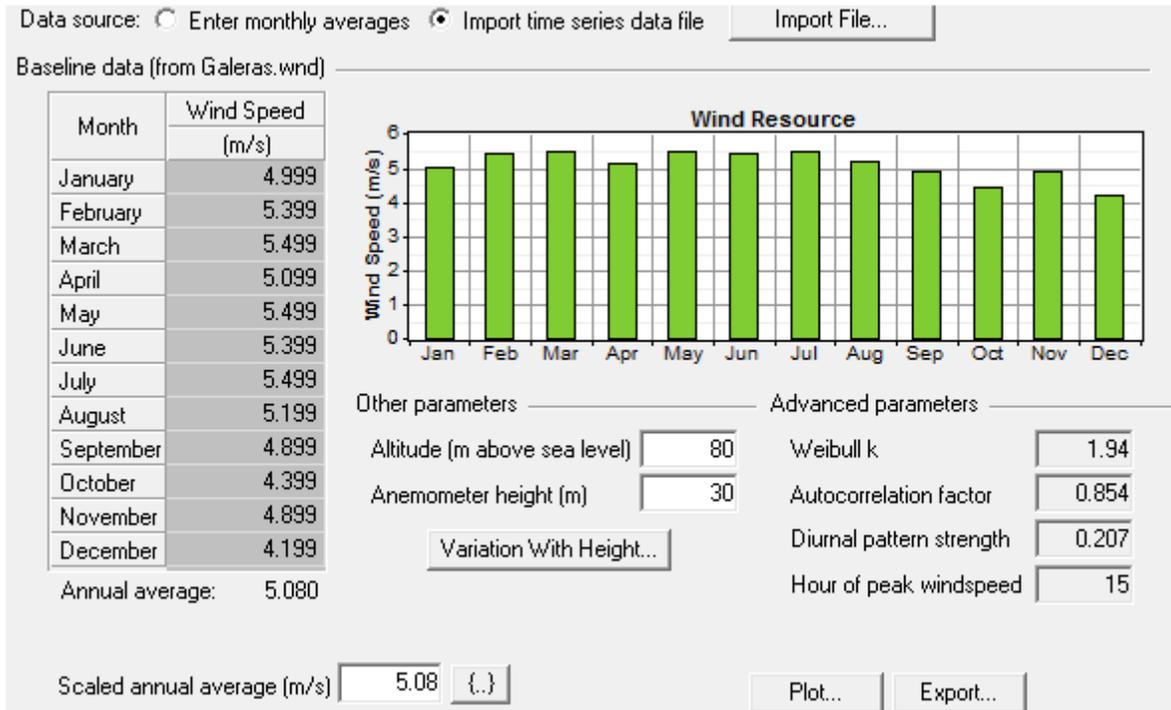
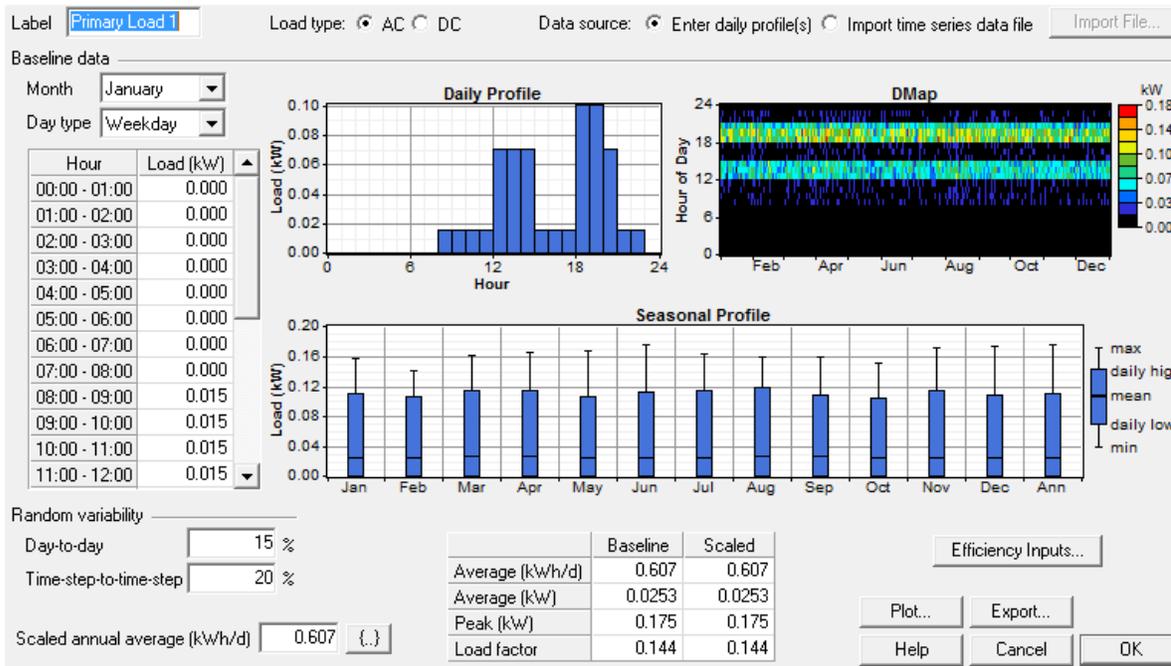


Tabla 13.2. Curva de carga del “SE Viviendas Galeras”



13.2.1.3 Factores de diseño empleados

Los factores de diseño empleados por en el HOMER para considerar las pérdidas propias de estos sistemas se dan en la Tabla 13.3. Es importante anotar que las eficiencias de carga/descarga son elevadas pero el factor final, ciclo carga/descarga, conocido como roundtrip, es de 85%. El cargador y el inversor tienen eficiencias de 95%. El banco de baterías se ha dimensionado para 3 días de autonomía.

Tabla 13.3. Factores de diseño empleados

Parte/proceso	%
Eficiencias batería round trip	85%
Descarga	92%
Carga	92%
Eficiencia del cargador	95%
Eficiencia del inversor	95%

Fuente: Elaboración propia

13.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER

El software considera Costos de Capital de los equipos, Costo de Reemplazo, Costos Fijos de O&M, Costos Variables de O&M y Costos Fijos de Capital. Los costos de los SE se han tomado de la información de la empresa TRADE MASTER de Santo Domingo, distribuidores que aerogeneradores AIR X.

Para los estimados de costos es necesario compatibilizarlos con los requerimientos del HOMER:

- El **Costo del Regulador de Carga y del Inversor** deben estar incluidos en un solo ítem (convertor).
- Los **Costos Fijos de Capital** del SFV Estándar incluyen el BOS (Balance of System: todos los elementos necesarios para la instalación como cableado, estructuras metálicas, fundamentos de concreto, canalizaciones, puestas a tierra, sistemas de protección y otros), terreno para el aerogenerador, ingeniería, permisos y licencias.

La tabla siguiente muestra los costos unitarios de un “SE Vivienda Galeras”. La figura siguiente muestra la estructura de costos del mismo sistema. El costo del SE asciende a 7.405 US\$/kW.

REPÚBLICA DOMINICANA

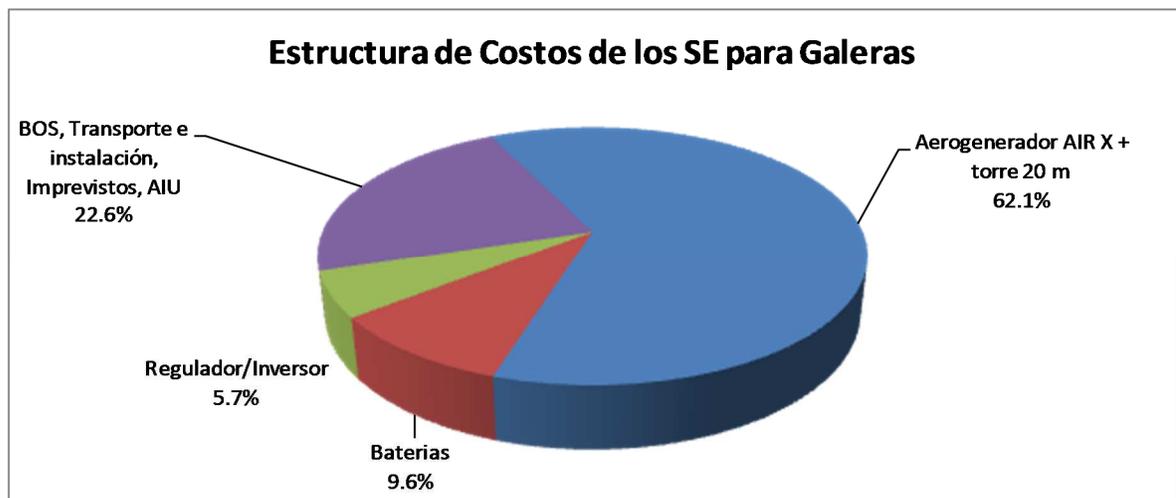
Tabla 13.4. Costos unitarios de los “SE Viviendas Galeras”

Item	Precio RD\$	Precio US\$	Participación	Capacidad	
Aerogenerador AIR X + torre 20 m	\$ 64,400	\$ 1,840.0	62.1%	400	W
Baterías	\$ 9,931	\$ 283.7	9.6%	450	Ah @ 100 HR
Regulador/Inversor	\$ 5,894	\$ 168.4	5.7%	20	A *
BOS, Transporte e instalación, Imprevistos, AIU	\$ 23,450	\$ 670.0	22.6%		
Total SE	\$ 103,675	\$ 2,962	100.0%		
Tasa de Cambio	35.00 RD\$/US\$				

Costo por kW	\$ 7,405 US\$/kW
---------------------	-------------------------

* Inversor de 400 W

Figura 13.2. Estructura de costos de los “SE Viviendas Galeras”



Para el HOMER, el periodo de evaluación es de 20 años y la tasa de descuento es de 10% anual.

La tabla siguiente muestra todos los parámetros introducidos al HOMER para la evaluación del SE para Galeras.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 13.5. Parámetros del “SE Viviendas Galeras” para el HOMER

	PARÁMETROS ENTRADA	US\$	RD \$	NOTA
Aerogenerador	Capacidad (kW)	0.400		
	Aerogenerador Air X: Costos de Capital (US\$)	840	\$ 29,400	Solo aerogenerador
	Torre Aerogenerador de 20 m: Costos de Capital (US\$)	1000	\$ 35,000	Torre incluye instalación
	Reemplazos (US\$/kW)	840	\$ 29,400	
	Aerogenerador: Vida Util (yr)	15		
	O&M (US\$/yr/kW)	25		
Baterías	Capacidad (Ah)	225.0		
	Costos de Capital (US\$/kWh)	283.7	\$ 9,931	
	Reemplazos (US\$/kWh)	283.7	\$ 9,931	
	O&M (US\$/yr)	12	\$ 420	
	Eficiencia carga/descarga (%)	85%		
Inversor convertidor	Capacidad (kW)	0.400		
	Costos de Capital (US\$/400W)	168	\$ 5,894	Incluye el regulador de carga de 20 A
	Reemplazos (US\$/kW)	168	\$ 5,894	
	O&M (US\$/yr/kW)	0		
	Vida Util (yr)	15		
	Eficiencia inversor (%)	95%		
	Eficiencia rectificador (%)	95%		
Parámetros económicos				
Otros costos	Tasa de descuento (%/yr)	10.0		
	Periodo de evaluación (yr)	20.0		
	Costos fijos de capital (US\$)	670	\$ 23,450	Incluye: BOS, Transporte e instalación, seguros e Imprevistos
	Costos fijos de capital (US\$/kW)	1675	\$ 58,625	Calculados para un sistema de 400W
	Costos fijos de O&M (US\$/yr)	24.0	\$ 840	Incluye 2 inspecciones anuales por sistema. Este costo conlleva costo del técnico y transporte.
Equipo	Unidad	Capacidad	US\$	RD\$
Aerogenerador + torre	kW	0.400	1,840	64,400
Inversor/Cargador	kW	0.400	168	5,894
Baterías	kWh	1.32	284	9,931
BOS			670	23,450
Subtotal Sistema			2,962	103,675
Costo unitario	US\$/kWp	7,405		
	RD\$/kWp	259,187		
TRM 1 US\$/RD\$ = 35				

13.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del “SE Viviendas Galeras”

La Tabla 13.6 muestra el output de HOMER para el SE optimizado. El costo de Capital Inicial es de US\$3,242 por sistema, Costo Presente Neto de US\$4,309, costos de O&M de 125 US\$/year, costo nivelado de la energía US\$2,28/kWh. Puede observarse un incremento

REPÚBLICA DOMINICANA

de costos en relación Guzmancitos debido a que el sistema requiere de mayor capacidad en baterías y por tanto requiere un poco de mayores costos de O&M, para que finalmente el costo del kWh resulta también mayor.

Tabla 13.6. Evaluación de “SE Viviendas Galeras”

AIR Capital Multiplier 1

Double click on a system below for simulation results.

	AIR	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
	1	4	0.4	\$ 3,242	125	\$ 4,309	2.284	1.00

De acuerdo a la tabla, el sistema optimizado tendría un generador AIR X de 400W, 4 baterías de 6 VDC de 225 Ah en serie de marca Trojan y del tipo T-105, un regulador de carga de capacidad superior a 20 A a 12 VDC y un inversor de 400 W.

13.2.4 Desempeño energético del “SE Viviendas Galeras”

13.2.4.1 Sistema como un todo

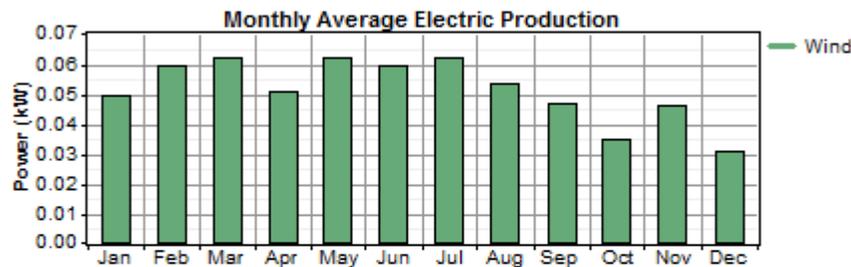
La generación del sistema es de 449 kWh/año y la demanda de 222 kWh/año, indicando un excedente de generación de 200 kWh/año, debido las variaciones estacionales de la energía eólica. *El “SE Viviendas Galeras” es 100% eólico, 100% renovable, con una elevadísima confiabilidad* (Unmet load casi 0 kWh/yr).

Este diseño muestra entonces una **dificultad de los sistemas eólicos en sistemas aislados que está ligado con el régimen de vientos de la localidad**: El HOMER al optimizar busca atender la demanda todos los meses del año y termina tomando como base el peor mes (Octubre y Diciembre en esa estación) de tal suerte que el sistema atiende la demanda en esos meses pero genera en exceso con relación a la demanda en los demás meses del año.

Tabla 13.7. Desempeño eléctrico del “SE Viviendas Galeras”

Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
Wind turbine	449	100%
Total	449	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	222	100%
Total	222	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	200	kWh/yr
Unmet load	0.000000682	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

13.2.4.2 Generación Eólica

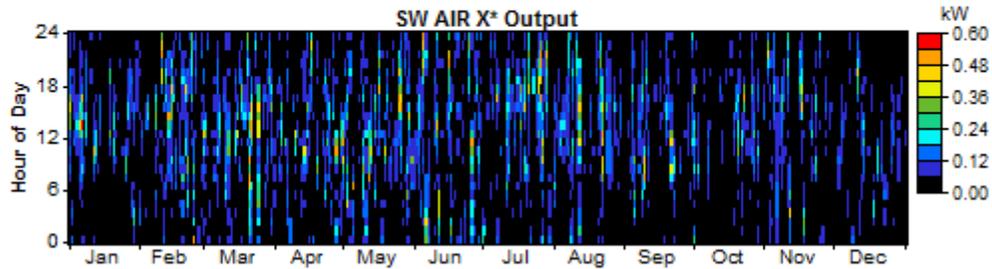
El generador eólico genera anualmente 449 kWh y tiene un factor de capacidad de 9.3%. La generación máxima es de 540 W, opera durante 7,579 horas al año y el costo nivelado de generación a nivel generador eólico es de \$0.54 US\$/kWh, veces más barato que un sistema fotovoltaico de carga equivalente. La gráfica muestra como el generador eólico se comporta durante todos los días del año, generando hasta 0.5 kW hacia las 3 pm.

Figura 13.3. Desempeño del aerogenerador de “SE Viviendas Galeras”

DC Wind Turbine: SW AIR X*

Variable	Value	Units
Total rated capacity	0.550	kW
Mean output	0.0513	kW
Capacity factor	9.32	%
Total production	449	kWh/yr

Variable	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	0.540	kW
Wind penetration	203	%
Hours of operation	7,579	hr/yr
Levelized cost	0.537	\$/kWh



13.2.4.3 Banco de baterías

La batería se ha diseñado para 5.4 kWh de capacidad nominal y consiste de 4 baterías de 6 VDC. Tiene para carga de diseño una autonomía de 149 h y el costo de uso es de US\$ 0.181/kWh. Sus pérdidas alcanzan 14.7 kWh/año. La vida útil esperada es de 10 años. El estado de carga de la batería (SOC: State of Charge) desciende hasta 80% en octubre pero el mínimo diario no excede 40%.

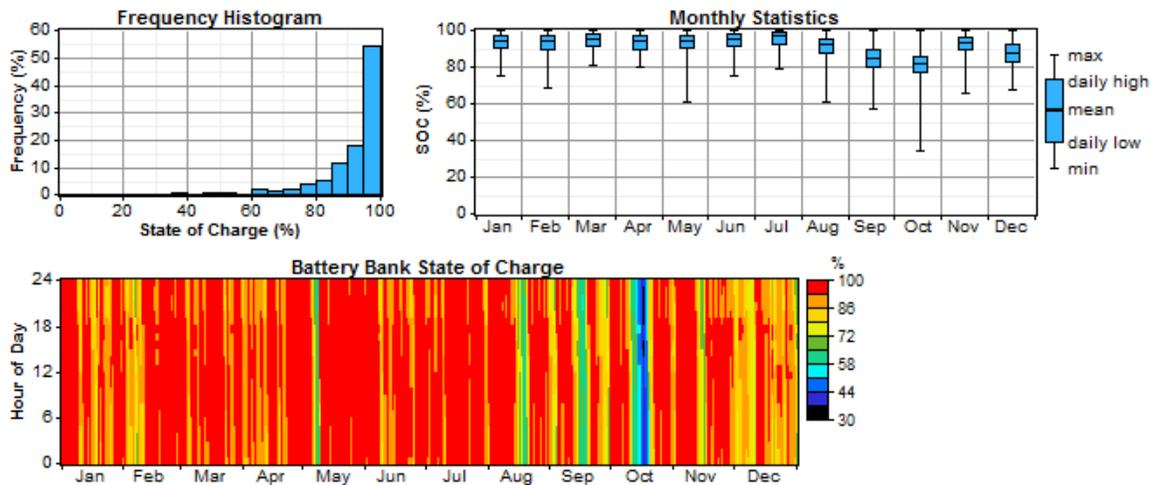
Figura 13.4. Desempeño de la batería del “SE Viviendas Galeras”

Battery

Quantity	Value
String size	2
Strings in parallel	2
Batteries	4
Bus voltage (V)	12

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	5.40	kWh
Usable nominal capacity	3.78	kWh
Autonomy	149	hr
Lifetime throughput	3,380	kWh
Battery wear cost	0.181	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	121	kWh/yr
Energy out	104	kWh/yr
Storage depletion	1.75	kWh/yr
Losses	14.7	kWh/yr
Annual throughput	113	kWh/yr
Expected life	10.0	yr



13.2.4.4 Regulador/Inversor

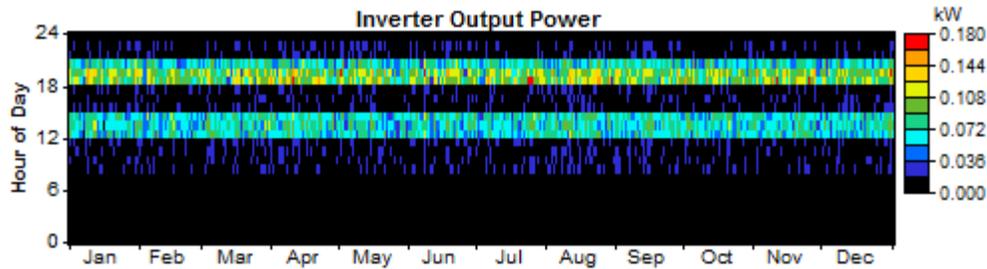
El regulador/inversor (o converter o convertidor) considerados como una sola unidad, tiene una eficiencia elevada (superior al 85%) y su operación intensiva es en las horas de la noche, como es esperado.

Figura 13.5. Desempeño del conversor del “SE Viviendas Galeras”

Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	0.40	0.40	kW
Mean output	0.03	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	0.18	0.00	kW
Capacity factor	6.3	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	5,475	0	hrs/yr
Energy in	233	0	kWh/yr
Energy out	222	0	kWh/yr
Losses	12	0	kWh/yr



En conclusión, la simulación indica que el “SE Viviendas Galeras”propuesto satisface la demanda de energía estimada para los hogares en las proximidades de la estación Galeras en RD.

13.2.5 Costo anualizado de la energía generada

Para calcular el costo de generación de energía generada por el sistema, se tienen en cuenta los costos de inversión y los supuestos mostrados en la Tabla 13.3. La Tabla 13.8 es el resumen del desempeño económico del sistema. En el resumen de costos, el costo nivelado de la energía eléctrica es de US\$2.28/kWh. El costo anual de operación alcanza US\$125/año.

El CPN (Costo Presente Neto o Net Present Cost) del “SE Viviendas Galeras” es de **US\$4.309** y la mayor parte de los costos corresponden al capital inicial (**US\$3.242**) seguidos de la operación y el mantenimiento, y el reemplazo de baterías. En cuanto al valor anualizado, este es de US\$506/year, de los cuales US\$381/yr corresponden al capital inicial.

El diagrama de flujo de fondos muestra la importancia de asignar recursos para garantizar la operación de los sistemas durante la vida útil de los mismos.

13.2.6 Análisis de sensibilidad a Costo del “SE Viviendas Galeras”

La Figura 13.6 muestra el efecto que tiene sobre el CPN del proyecto una reducción de los costos de capital. Es importante anotar que a favor de una reducción de costos de Inversión Inicial se tienen los siguientes argumentos:

- Para un programa de uso masivo de estos sistemas los proveedores de los SE deben poder ofrecer un descuento sobre los costos de los equipos en razón al volumen de compras.
- El desarrollo de un programa masivo debe significar una reducción de los costos de instalación por concepto de manejo logístico del proyecto por parte de la UERS.

En estas condiciones, para un 30% de reducción en los costos de capital iniciales, el CPN debe ser cercano a los US\$3522 o que representa una reducción de 18% del Costo Presente Neto. Pero consecuentemente el costo del kWh se reduce de 2.28 US\$/kWh a US\$1.87 cuando se logra una reducción de costos iniciales de 30%.

Tabla 13.8. Resumen de costos del “SE Viviendas Galeras”
System Report - Wind_Vivienda_300W_Galeras

Sensitivity case

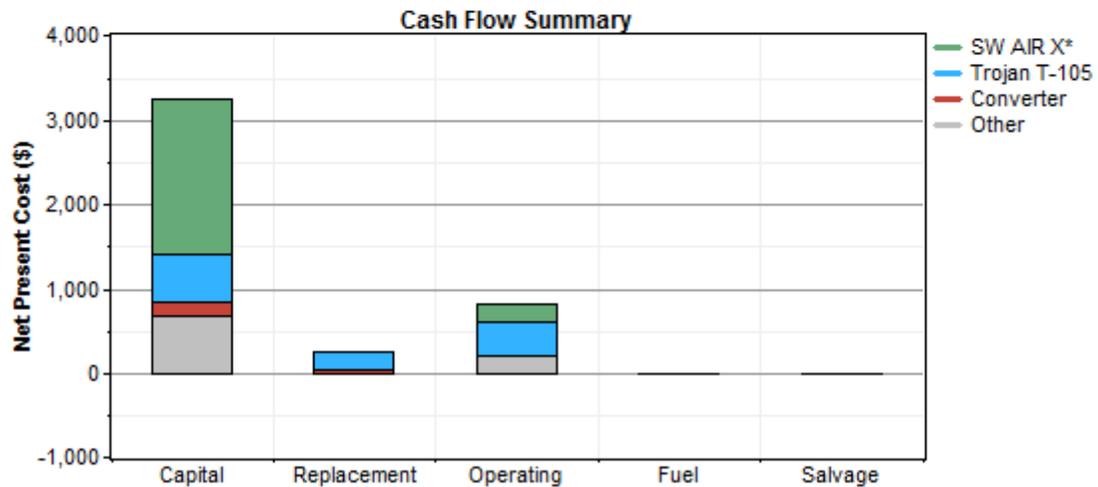
SW AIR X* Capital Cost Multiplier: 1
 SW AIR X* Replacement Cost Multiplier: 1
 Trojan T-105 Capital Cost Multiplier: 1
 Trojan T-105 Replacement Cost Multiplier: 1

System architecture

Wind turbine	1 SW AIR X*
Battery	4 Trojan T-105
Inverter	0.4 kW
Rectifier	0.4 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 4,309
Levelized cost of energy	\$ 2.284/kWh
Operating cost	\$ 125/yr



REPÚBLICA DOMINICANA

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
SW AIR X*	1,840	0	213	0	0	2,053
Trojan T-105	564	217	409	0	0	1,190
Converter	168	40	0	0	-17	192
Other	670	0	204	0	0	874
System	3,242	258	826	0	-17	4,309

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
SW AIR X*	216	0	25	0	0	241
Trojan T-105	66	26	48	0	0	140
Converter	20	5	0	0	-2	23
Other	79	0	24	0	0	103
System	381	30	97	0	-2	506

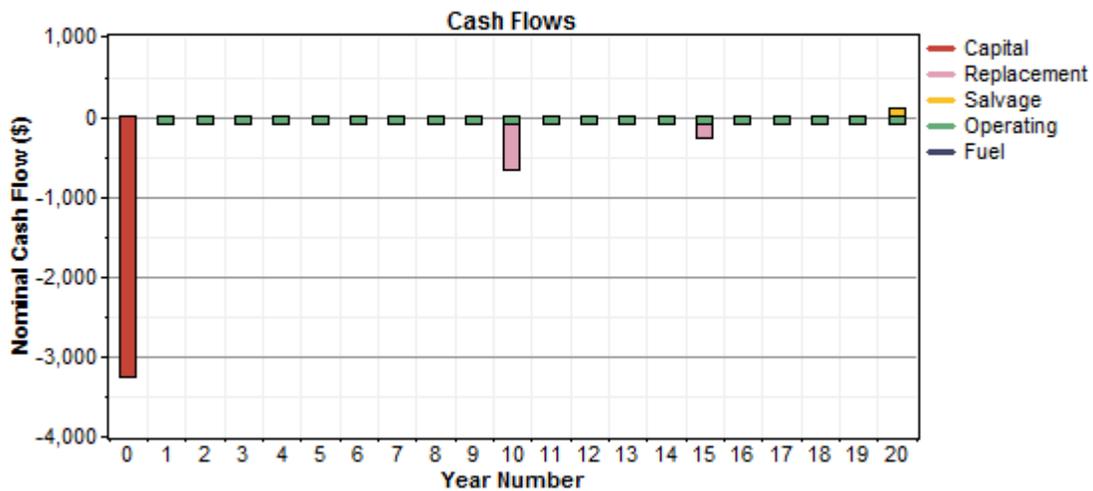
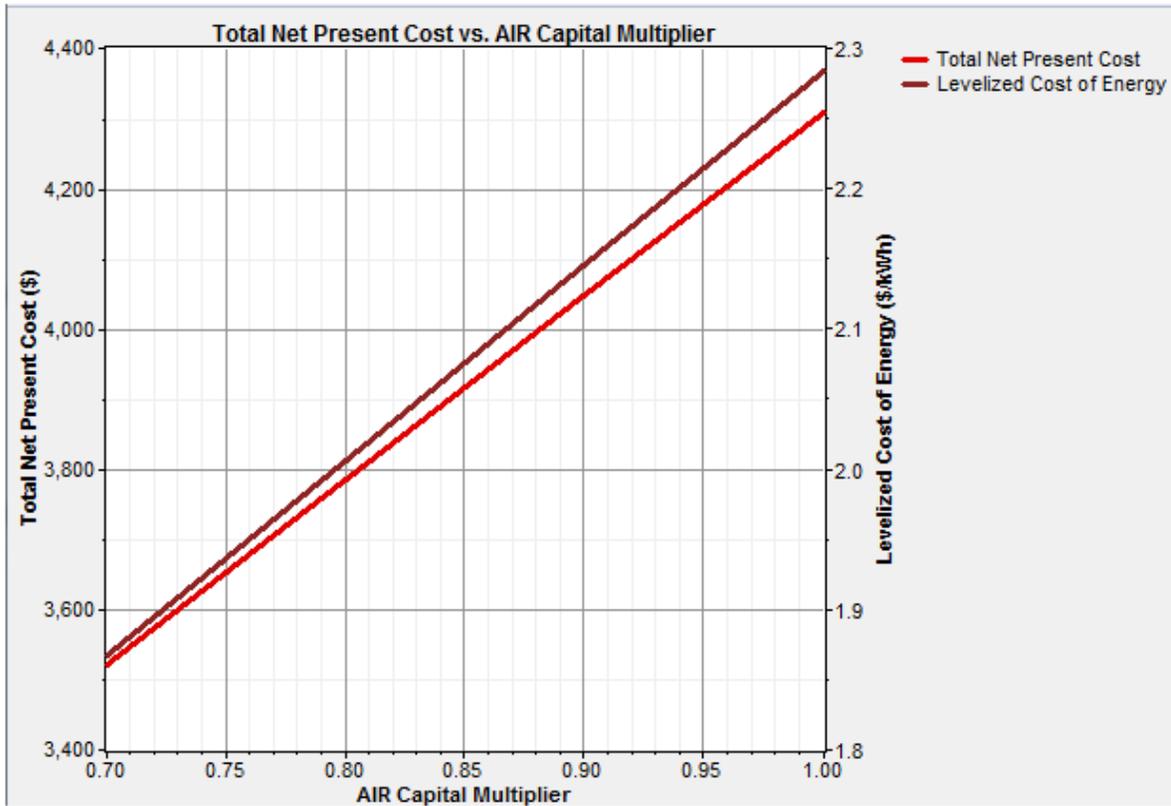


Figura 13.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial



La Tabla 13.9 muestra el análisis de sensibilidad para la reducción de costos de Capital Inicial y posteriormente para los reemplazos de las baterías. Se muestra claramente el efecto que tiene sobre el Costo Presente Neto del “SE Viviendas Galeras” la reducción de costos de un programa masivo adelantado por la UERS.

Tabla 13.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Viviendas Galeras”

AIR Cap. Mult.	AIR Repl. Mult.	T-105 Cap. Mult.	T-105 Repl. Mult.			AIR	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
1.00	1.00	1.00	1.00			1	4	0.4	\$ 3,242	125	\$ 4,309	2.284	1.00
0.90	0.90	0.90	0.90			1	4	0.4	\$ 3,002	123	\$ 4,047	2.145	1.00
0.80	0.80	0.80	0.80			1	4	0.4	\$ 2,761	120	\$ 3,785	2.006	1.00
0.70	0.70	0.70	0.70			1	4	0.4	\$ 2,521	118	\$ 3,522	1.867	1.00

13.3 CONCLUSIÓN

El análisis anterior muestra que el sistema considerado representa una alternativa para el suministro de energía eléctrica para usuarios rurales dispersos en RD pero próximos a la estación Galeras, teniendo el usuario un suministro confiable de energía eléctrica para sus necesidades básicas. Es importante anotar que deben buscarse economías de escala para sacar plena ventaja económica de la utilización de estos sistemas. Es también importante anotar la conveniencia de manejar apropiadamente la O&M y asegurar el costo de los reemplazos de las baterías que es necesario renovar a los 10 años pero la utilización de baterías inapropiadas podría reducir la vida útil de las mismas, afectando severamente los costos de reemplazo de las mismas durante la vida útil de los sistemas.

En este tipo de sistemas queda abierta la posibilidad para un uso más intensivo de la energía durante los meses de mayor generación, energía que de otra manera se perdería. Sin embargo, en la práctica tener una demanda estacional que siga el régimen de vientos no es siempre posible y el sistema puede entonces desaprovechar una elevada cantidad de energía, como es este el caso.

14. ANEXO 6. SIMULACIÓN DEL “SE STANDARD PARA ESCUELAS - GALERAS”

En este anexo se desarrolla la simulación del comportamiento del SE (Sistema Eólico) para servicios comunitarios en el área de Galeras en RD empleando el software avanzado HOMER^{55, 56} y la información de energía eólica que se ha desarrollado para RD, en particular Galeras que es una de las áreas de del país de la que existe información de energía eólica en el país.

Es importante anotar que esta simulación emplea información localizada al área de Galeras y de ninguna manera extrapolable a otras regiones del país.

14.1 CONFIGURACIÓN DEL “SE ESCUELAS GALERAS”

El “SE Comunitario Galeras” tiene entonces los siguientes elementos:

- Unidad de generación
 - Generador Eólico
- Almacenamiento de energía
 - Banco de Baterías
- Electrónica de potencia y regulación (controlador/regulador de carga e inversor).

La Figura 14.1 muestra la arquitectura del SFV propuesto.

14.2 SIMULACIÓN DEL “SE ESCUELAS GALERAS”

Para la evaluación de los costos de generación de la energía eléctrica en cada uno de los escenarios se empleará el programa HOMER. HOMER es un modelo de optimización de micro potencia que simplifica la tarea de simulación/complementa el diseño de sistemas de generación de potencia fuera-de-red para una variedad de aplicaciones. Cuando se diseña un sistema de potencia, se deben tomar muchas decisiones sobre la configuración del sistema: Qué componentes se deben incluir en el diseño del sistema? ¿Cuántos y qué capacidad de cada componente se deben emplear? Esta toma de decisiones es difícil por el gran número de opciones tecnológicas y la variación en los costos de las tecnologías y la disponibilidad de los recursos energéticos, por lo que la toma de decisiones se torna difícil. El algoritmo de HOMER de optimización y de análisis de sensibilidad permite hacer más fácilmente esta difícil y extensa tarea. El método empleado consiste en alimentar el

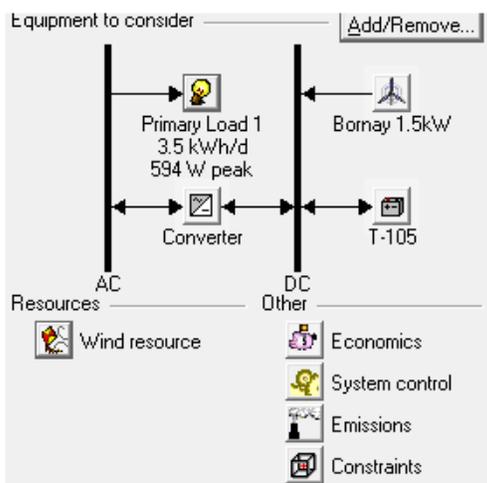
⁵⁵ HOMER® es un software avanzado de simulación desarrollado por NREL (National Renewable Energy Lab), Golden, Co, USA.

⁵⁶ (Ver archivo HOMER:& link)

REPÚBLICA DOMINICANA

HOMER con las configuraciones de los equipos de la sección anterior de tal manera que el sistema genera resultados del costo de generación de la energía en el sistema diseñado, con un análisis de sensibilidad del costo del combustible (cuando se tienen estos costos) y otras, como por ejemplo, costo de equipos eólicos. Posteriormente, a este diseño se le permiten variaciones en la configuración y el software determina cuales son los costos para las diferentes configuraciones permitidas. Es entonces claro que para cada escenario se generarán diferentes configuraciones del sistema con sus respectivos costos.

Figura 14.1. Arquitectura del “SE Escuelas Galeras”



14.2.1 Parámetros técnicos para la simulación en HOMER

14.2.1.1 Recurso de energía eólica

Para el área de Galeras, el programa de simulación HOMER emplea la información de los 12 meses de velocidad media del viento del lugar de la estación y calcula la energía que genera un aerogenerador en particular. El aerogenerador empleador es el Bornay 1.5 kW, que se ha instalado ya en RD. Importante en relación con Guzmancitos es notar que los promedios de la velocidad del viento son inferiores en Galeras y consecuentemente, la generación de energía disminuirá.

14.2.1.2 Caracterización de la demanda

La demanda se caracteriza por el equipo empleado por los usuarios y su modo de uso. Este puede ser desagregado a nivel de equipos individuales (W) y su patrón de uso diario (h/día). HOMER requiere de la curva de carga diaria del sistema, la cual se da en la Tabla 14.2. Como puede observarse, la carga para el sistema eólico corresponde a 3.5 kWh/día, que corresponde a una carga de 105 kWh/mes y que resulta apropiada para Centros de Servicios Comunitarios como Escuelas y Pequeños Hospitales (UNAP: Unidad de Atención Primaria).

Tabla 14.1. Velocidad de Vientos en Galeras

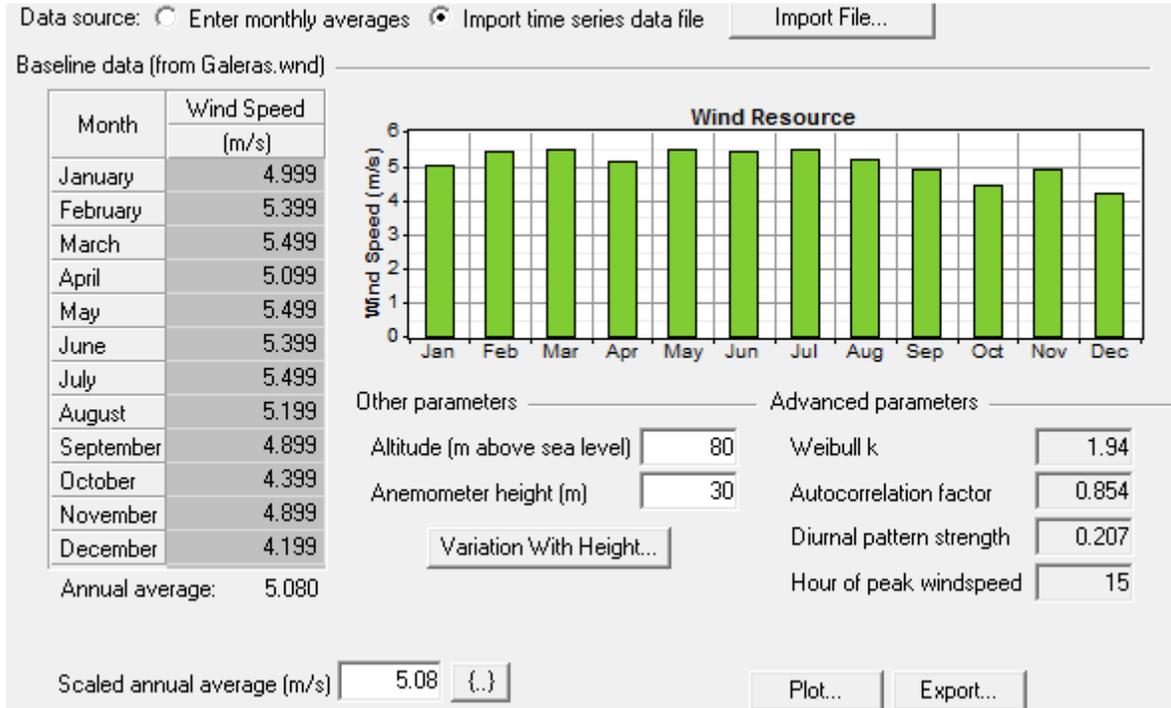
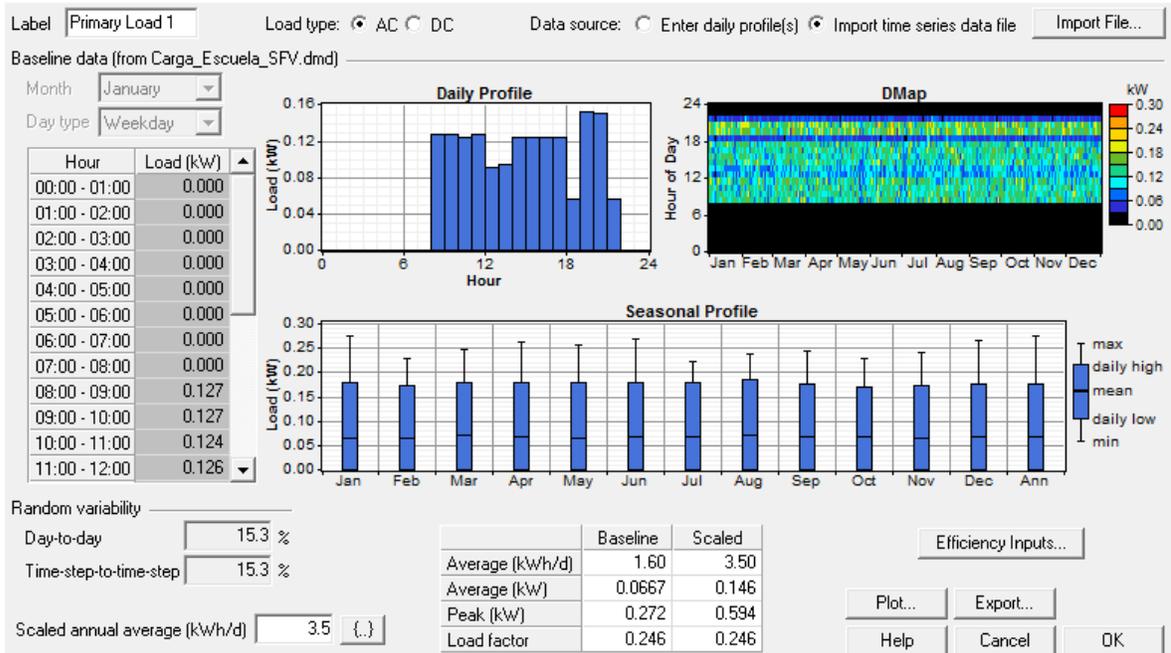


Tabla 14.2. Curva de carga del “SE Escuelas Galeras”



14.2.1.3 Factores de diseño empleados

Los factores de diseño empleados por en el HOMER para considerar las pérdidas propias de estos sistemas se dan en la Tabla 14.3. Es importante anotar que las eficiencias de carga/descarga son elevadas pero el factor final, ciclo carga/descarga, conocido como roundtrip, es de 85%. El cargador y el inversor tienen eficiencias de 95%. El banco de baterías se ha dimensionado para 3 días de autonomía.

Tabla 14.3. Factores de diseño empleados

Parte/proceso	%
Eficiencias batería round trip	85%
Descarga	92%
Carga	92%
Eficiencia del cargador	95%
Eficiencia del inversor	95%

Fuente: Elaboración propia

14.2.2 Parámetros de costos y económicos para la simulación en HOMER

El software considera Costos de Capital de los equipos, Costo de Reemplazo, Costos Fijos de O&M, Costos Variables de O&M y Costos Fijos de Capital. Los costos de los SE se han tomado de la información de la empresa TECSOL de Santo Domingo, distribuidores que aerogeneradores Bornay de 1.5 kW.

Para los estimados de costos es necesario compatibilizarlos con los requerimientos del HOMER:

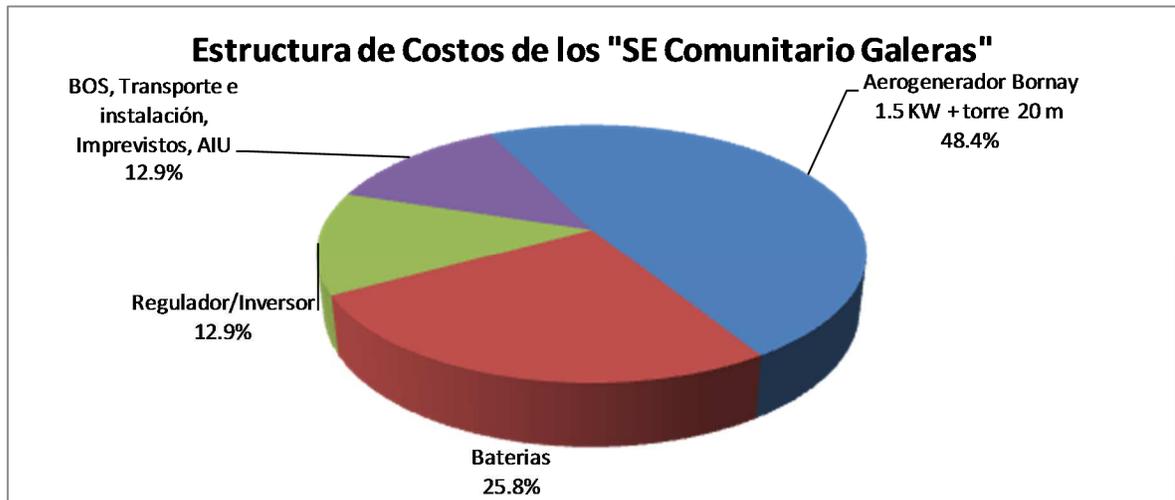
- El **Costo del Regulador de Carga y del Inversor** deben estar incluidos en un solo ítem (convertor).
- Los **Costos Fijos de Capital** del SFV Estándar incluyen el BOS (Balance of System: todos los elementos necesarios para la instalación como cableado, estructuras metálicas, fundamentos de concreto, canalizaciones, puestas a tierra, sistemas de protección y otros), terreno para el aerogenerador, ingeniería, permisos y licencias.

La tabla siguiente muestra los costos unitarios de un “SE Comunitario Galeras”. La figura siguiente muestra la estructura de costos del mismo sistema. El costo del SE asciende a 29,621 US\$/kW.

Tabla 14.4. Costos unitarios de los “SE Escuelas Galeras”

Item	Precio RD\$	Precio US\$	Participación	Capacidad	
Aerogenerador Bornay 1.5 KW + torre 20 m	\$ 262,500	\$ 7,500.0	48.4%	1,500	W
Baterías	\$ 140,000	\$ 4,000.0	25.8%	900	Ah @ 100 HR, 24 V
Regulador/Inversor	\$ 70,000	\$ 2,000.0	12.9%	50	A *
BOS, Transporte e instalación, Imprevistos, AIU	\$ 70,000	\$ 2,000.0	12.9%		
Total SFV	\$ 542,500	\$ 15,500	100.0%		
Tasa de Cambio	35.00	RD\$/US\$			
Costo por kW	\$ 10,333	US\$/kW			
* Inversor de 2000 W					

Figura 14.2. Estructura de costos de los “SE Escuelas Galeras”



Para el HOMER, el periodo de evaluación es de 20 años y la tasa de descuento es de 10% anual.

La tabla siguiente muestra todos los parámetros introducidos al HOMER para la evaluación del SE para Galeras.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 14.5. Parámetros del “SE Escuelas Galeras” para el HOMER

	PARÁMETROS ENTRADA	US\$	RD \$		NOTA
Aerogenerador	Capacidad (kW)	1.500		0.100	
	Aerogenerador Womay: Costos de Capital (US\$)	6500	\$ 227,500		Solo aerogenerador
	Torre Aerogenerador de 20 m: Costos de Capital (US\$)	1000	\$ 35,000	50	Torre incluye instalación
	Reemplazos (US\$/kW)	6500	\$ 227,500	-	
	Aerogenerador: Vida Util (yr)	20		15	
	O&M (US\$/yr/kW)	30		0	
Baterías	Capacidad (Ah)	900.0		1.0	
	Costos de Capital (US\$/kWh)	4000.0	\$ 140,000	250.0	
	Reemplazos (US\$/kWh)	4000.0	\$ 140,000	250.0	
	O&M (US\$/yr)	12	\$ 420	12	
	Eficiencia carga/descarga (%)	85%		85%	
Inversor convertidor	Capacidad (kW)	2.000		0.400	
	Costos de Capital (US\$/400W)	2000	\$ 70,000	1,000	Incluye el regulador de carga de 20 A
	Reemplazos (US\$/kW)	2000	\$ 70,000	1,000	
	O&M (US\$/yr/kW)	0		0	
	Vida Util (yr)	15		15	
	Eficiencia inversor (%)	95%		95%	
	Eficiencia rectificador (%)	95%		95%	
Parámetros económicos					
Otros costos	Tasa de descuento (%/yr)	10.0		12.0	
	Período de evaluación (yr)	20.0		20.0	
	Costos fijos de capital (US\$)	2000	\$ 70,000	670	Incluye: BOS, Transporte e instalación, seguros e Imprevistos
	Costos fijos de O&M (US\$/yr)	50.0	\$ 1,750	50.00	Incluye 2 inspecciones anuales por sistema. Este costo conlleva costo del técnico y transporte.
Equipo	Unidad	Capacidad	US\$		RD\$
Aerogenerador + torre	kW	1.500	7,500		262,500
Inversor/Cargador	kW	2.000	2,000		70,000
Baterías	kWh	1.32	4,000		140,000
BOS			2,000		70,000
Subtotal Sistema			15,500		542,500
Costo unitario	US\$/kWp	10,333			
	RD\$/kWp	361,667			
TRM 1 US\$/RD\$ = 35					

14.2.3 Configuración optimizada técnico-económicamente del “SE Escuelas Galeras”

La Tabla 14.6 muestra el output de HOMER para el SE optimizado. El costo de Capital Inicial es de US\$15.500 por sistema, Costo Presente Neto de US\$19.638, costos de O&M de 486 US\$/year, costo nivelado de la energía US\$1.81/kWh.

REPÚBLICA DOMINICANA

Tabla 14.6. Evaluación de “SE Escuelas Galeras”

B1.5 Capital Multiplier 1

Double click on a system below for simulation results.

	B1.5	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
  	1	16	2	\$ 15,500	486	\$ 19,638	1.806	1.00

De acuerdo a la tabla, el sistema optimizado tendría un generador Bornay de 1.5 kW, 16 baterías de 6 VDC de 225 Ah en serie de marca Trojan, sistema a 24 VDC y del tipo T-105, un regulador de carga de capacidad superior a 50 A a 24 VDC y un inversor de 2000 W.

14.2.4 Desempeño energético del “SE Comunitario Galeras”

14.2.4.1 Sistema como un todo

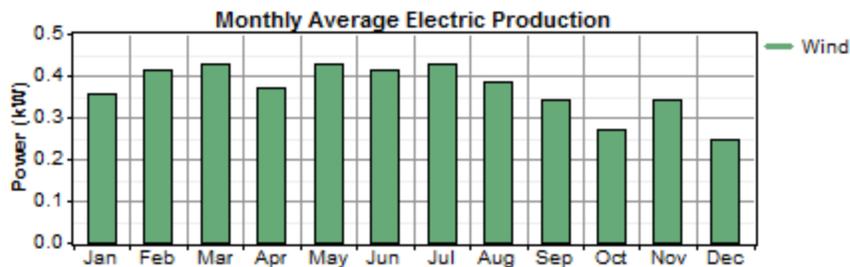
La generación del sistema es de 3.222 kWh/año y la demanda de 1.277 kWh/año, indicando un excedente de generación de 1816 kWh/año, debido las variaciones estacionales de la energía eólica. *El “SE Comunitario Galeras” es 100% eólico, 100% renovable, con una elevadísima confiabilidad* (Unmet load casi 0 kWhr/yr).

Este diseño muestra entonces una **dificultad de los sistemas eólicos en sistemas aislados que está ligado con el régimen de vientos de la localidad**: El HOMER al optimizar busca atender la demanda todos los meses del año y termina tomando como base el peor mes (Octubre y Diciembre en esa estación) de tal suerte que el sistema atiende la demanda en esos meses pero genera en exceso con relación a la demanda en los demás meses del año.

Tabla 14.7. Desempeño eléctrico del “SE Escuelas Galeras”

Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
Wind turbine	3,222	100%
Total	3,222	100%



Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	1,277	100%
Total	1,277	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	1,816	kWh/yr
Unmet load	0.00000309	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	1.000	

14.2.4.2 Generación Eólica

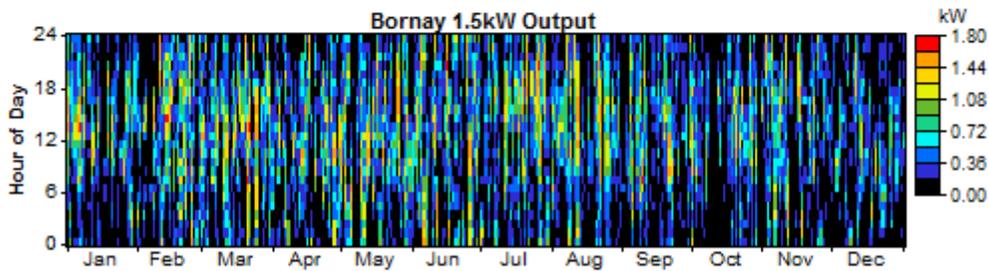
El generador eólico genera anualmente 3222 kWh y tiene un factor de capacidad de 24.5%. La generación máxima es de 1650 W, opera durante 7,579 horas al año y el costo nivelado de generación a nivel generador eólico es de \$0.283 US\$/kWh, más barato que un sistema fotovoltaico de carga equivalente. La gráfica muestra como el generador eólico se comporta durante todos los días del año, generando hasta 1.44 kW hacia las 3 pm.

Figura 14.3. Desempeño del aerogenerador de “SE Escuelas Galeras”

DC Wind Turbine: Bornay 1.5kW

Variable	Value	Units
Total rated capacity	1.50	kW
Mean output	0.368	kW
Capacity factor	24.5	%
Total production	3,222	kWh/yr

Variable	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	1.65	kW
Wind penetration	252	%
Hours of operation	7,579	hr/yr
Levelized cost	0.283	\$/kWh



14.2.4.3 Banco de baterías

La batería se ha diseñado para 21.6 kWh de capacidad Nominal y consiste de 16 baterías de 6 VDC en un sistema de 24 VDC. Tiene para carga de diseño una autonomía de 104 h y el costo de uso es de US\$ 0.32/kWh. Sus pérdidas alcanzan 57 kWh/año. La vida útil esperada es de 10 años. El estado de carga de la batería (SOC: State of Charge) desciende hasta 40% en octubre pero el mínimo diario no excede 80%.

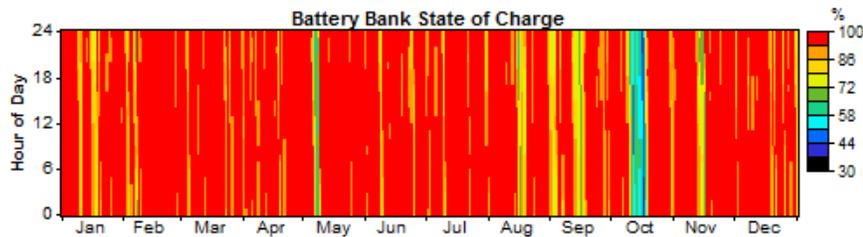
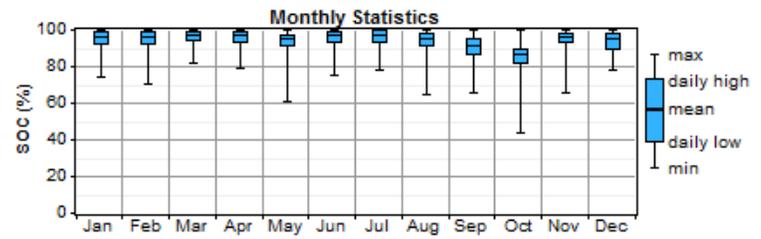
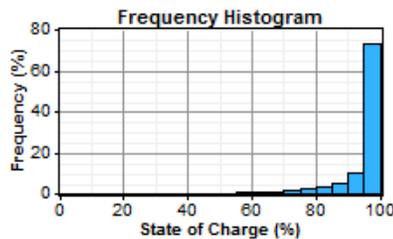
Figura 14.4. Desempeño de la batería del “SE Escuelas Galeras”

Battery

Quantity	Value
String size	4
Strings in parallel	4
Batteries	16
Bus voltage (V)	24

Quantity	Value	Units
Nominal capacity	21.6	kWh
Usable nominal capacity	15.1	kWh
Autonomy	104	hr
Lifetime throughput	13,520	kWh
Battery wear cost	0.321	\$/kWh
Average energy cost	0.000	\$/kWh

Quantity	Value	Units
Energy in	432	kWh/yr
Energy out	371	kWh/yr
Storage depletion	4.07	kWh/yr
Losses	57.0	kWh/yr
Annual throughput	403	kWh/yr
Expected life	10.0	yr



14.2.4.4 Regulador/Inversor

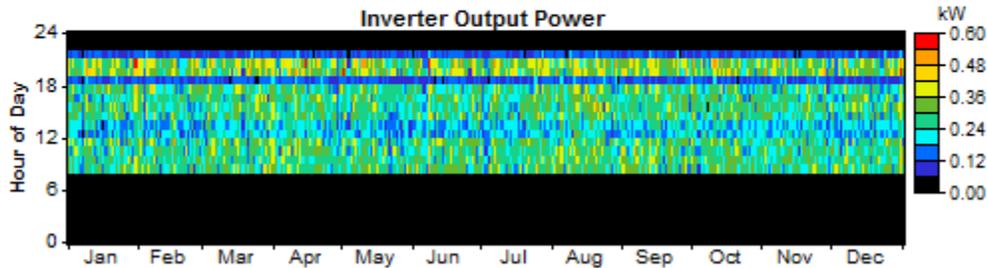
El regulador/inversor (o converter o convertidor) considerados como una sola unidad, tiene una eficiencia elevada (superior al 85%) y su operación intensiva es en las horas de la noche, como esperado.

Figura 14.5. Desempeño del conversor del “SE Escuelas Galeras”

Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	2.00	2.00	kW
Mean output	0.15	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	0.59	0.00	kW
Capacity factor	7.3	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	5,110	0	hrs/yr
Energy in	1,345	0	kWh/yr
Energy out	1,277	0	kWh/yr
Losses	67	0	kWh/yr



En conclusión, la simulación indica que el “SE Escuelas Galeras”propuesto satisface la demanda de energía estimada para los servicios comunitarios en las proximidades de la estación Galeras en RD.

14.2.5 Costo anualizado de la energía generada

Para calcular el costo de generación de energía generada por el sistema, se tienen en cuenta los costos de inversión y los supuestos mostrados en la Tabla 14.4. La Tabla 14.8 es el resumen del desempeño económico del sistema. En el resumen de costos, el costo nivelado de la energía eléctrica es de US\$1.81/kWh. El costo anual de operación alcanza US\$486/año.

El CPN (Costo Presente Neto o Net Present Cost) del “SE Comunitario Galeras” es de **US\$19.638** y la mayor parte de los costos corresponden al capital inicial (**US\$15.500**) seguidos de la operación y el mantenimiento, y el reemplazo de baterías. En cuanto al valor anualizado, este es de US\$2307/year, de los cuales US\$1821/yr corresponden al capital inicial.

El diagrama de flujo de fondos muestra la importancia de asignar recursos para garantizar la operación de los sistemas durante la vida útil de los mismos.

14.2.6 Análisis de sensibilidad a Costo del “SE Comunitario Galeras”

La Figura 14.6 muestra el efecto que tiene sobre el CPN del proyecto una reducción de los costos de capital. Es importante anotar que a favor de una reducción de costos de Inversión Inicial se tienen los siguientes argumentos:

- Para un programa de uso masivo de estos sistemas los proveedores de los SE deben poder ofrecer un descuento sobre los costos de los equipos en razón al volumen de compras.
- El desarrollo de un programa masivo debe significar una reducción de los costos de instalación por concepto de manejo logístico del proyecto por parte de la UERS.

En estas condiciones, para un 30% de reducción en los costos de capital iniciales, el CPN debe ser cercano a los US\$15726, lo que representa una reducción de 20% del Costo Presente Neto. Pero consecuentemente el costo del kWh se reduce de 1.81 US\$/kWh a US\$1.45 cuando se logra una reducción de costos iniciales de 30%.

Tabla 14.8. Resumen de costos del “SE Escuelas Galeras”

System Report - Wind_Escuela_1500W_Galeras

Sensitivity case

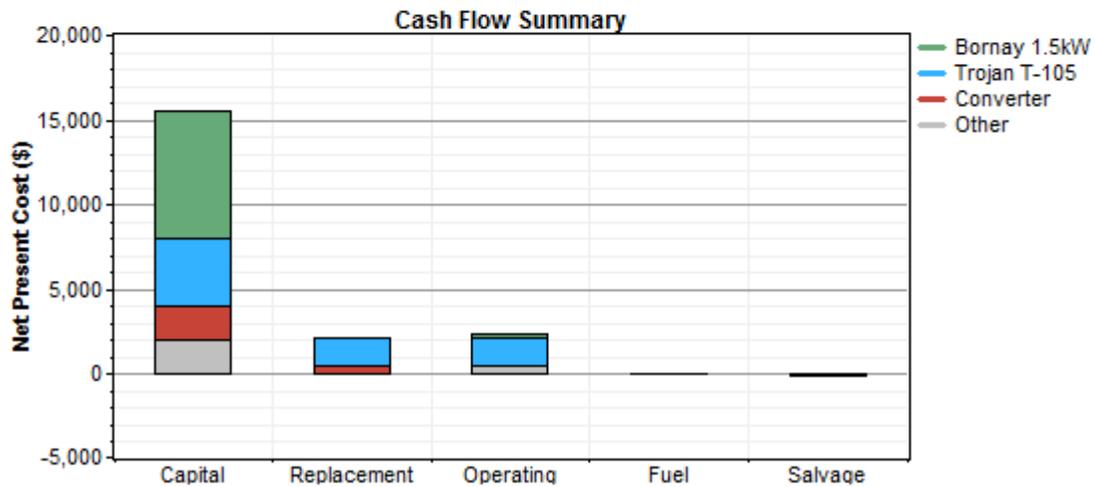
Bornay 1.5kW Capital Cost Multiplier: 1
 Bornay 1.5kW Replacement Cost Multiplier: 1
 Trojan T-105 Capital Cost Multiplier: 1
 Trojan T-105 Replacement Cost Multiplier: 1

System architecture

Wind turbine	1 Bornay 1.5kW
Battery	16 Trojan T-105
Inverter	2 kW
Rectifier	2 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 19,638
Levelized cost of energy	\$ 1.806/kWh
Operating cost	\$ 486/yr



REPÚBLICA DOMINICANA

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
Bornay 1.5kW	7,500	0	255	0	0	7,755
Trojan T-105	4,000	1,542	1,635	0	0	7,177
Converter	2,000	479	0	0	-198	2,281
Other	2,000	0	426	0	0	2,426
System	15,500	2,021	2,316	0	-198	19,638

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
Bornay 1.5kW	881	0	30	0	0	911
Trojan T-105	470	181	192	0	0	843
Converter	235	56	0	0	-23	268
Other	235	0	50	0	0	285
System	1,821	237	272	0	-23	2,307

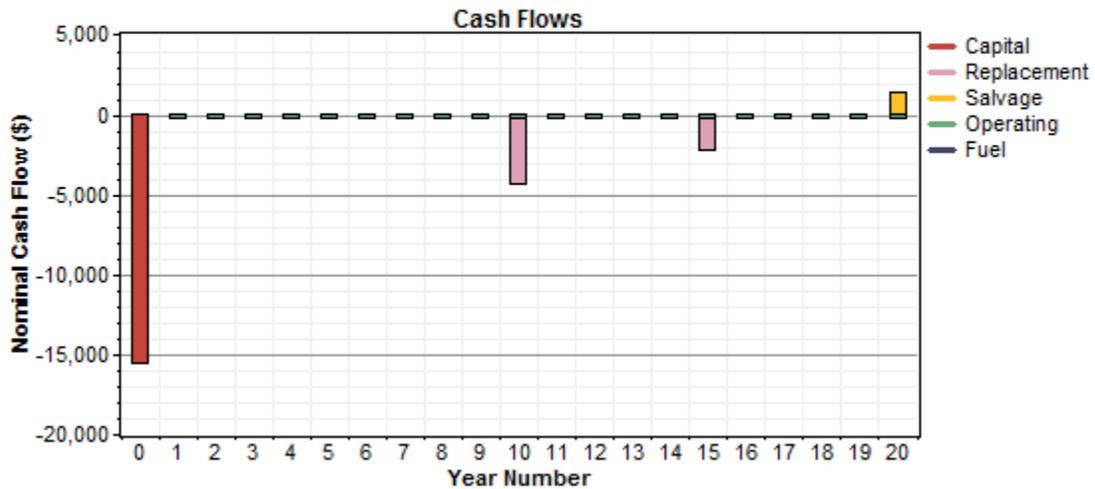
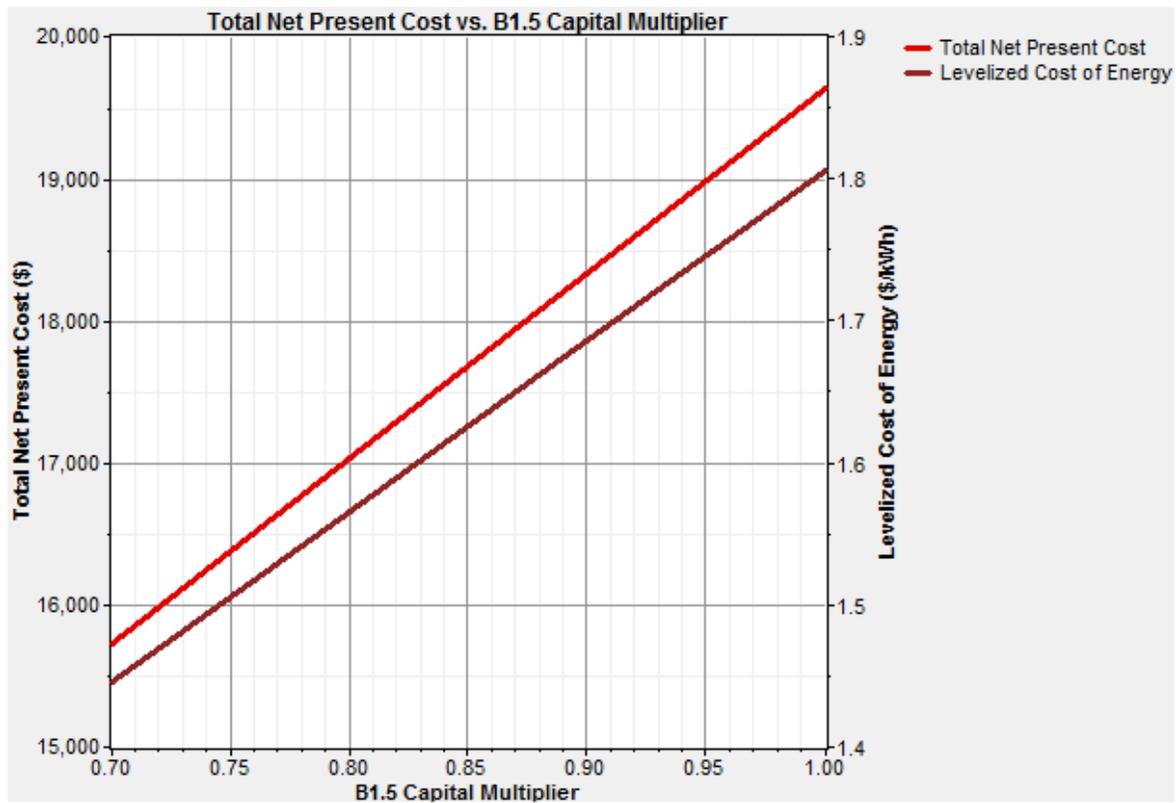


Figura 14.6. Costo nivelado de la energía y Costo Presente Neto vs Reducción de costo del Capital Inicial



La Tabla 14.9 muestra el análisis de sensibilidad para la reducción de costos de Capital Inicial y posteriormente para los reemplazos de las baterías. Se muestra claramente el efecto que tiene sobre el Costo Presente Neto del “SE Escuelas Galeras” la reducción de costos de un programa masivo adelantado por la UERS.

Tabla 14.9. Análisis de sensibilidad para reducción de costos iniciales de “SE Escuelas Galeras”

B1.5 Cap. Mult.	B1.5 Repl. Mult.	T-105 Cap. Mult.	T-105 Repl. Mult.			B1.5	T-105	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.
1.00	1.00	1.00	1.00			1	16	2	\$ 15,500	486	\$ 19,638	1.806	1.00
0.90	0.90	0.90	0.90			1	16	2	\$ 14,350	468	\$ 18,334	1.686	1.00
0.80	0.80	0.80	0.80			1	16	2	\$ 13,200	450	\$ 17,030	1.566	1.00
0.70	0.70	0.70	0.70			1	16	2	\$ 12,050	432	\$ 15,726	1.446	1.00

14.3 CONCLUSIÓN

El análisis anterior muestra que el sistema considerado representa una alternativa para el suministro de energía eléctrica para servicios rurales en lugares dispersos en RD pero próximos a la estación Galeras, teniendo el usuario un suministro confiable de energía eléctrica para sus necesidades básicas. Es importante anotar que deben buscarse economías de escala para sacar plena ventaja económica de la utilización de estos sistemas. Es también importante anotar la conveniencia de manejar apropiadamente la O&M y asegurar el costo de los reemplazos de las baterías que es necesario renovar a los 10 años pero la utilización de baterías inapropiadas podría reducir la vida útil de las mismas, afectando severamente los costos de reemplazo de las mismas durante la vida útil de los sistemas.

En este tipo de sistemas queda abierta la posibilidad para un uso más intensivo de la energía durante los meses de mayor generación, energía que de otra manera se perdería. Sin embargo, en la práctica tener una demanda estacional que siga el régimen de vientos no es siempre posible y el sistema puede entonces desaprovechar una elevada cantidad de energía, como es este el caso.

15. ANEXO 7. MANTENIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

I. MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

1. Usted debe quitar de encima del módulo las hojas, ramas, estiércol de aves, entre otros, que tapen el módulo.

Hágalo cada vez que vea que sea necesario!

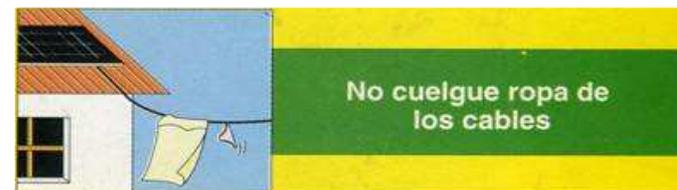
2. Con un trapo suave y mojado, limpie la superficie de encima del módulo.

Hágalo cada 2 meses y en las horas de la mañana o tarde cuando el módulo esté frío.

3. No permita que el módulo fotovoltaico sea golpeado por piedras o troncos.

4. Mire que los módulos estén correctamente ajustados y fijados en los postes o en el techo, y mire que las conexiones estén limpias y los cables estén bien colocados. *No cuelgue ropa u otros elementos a los cables del módulo.*

Hágalo cada tres meses!



II. BATERÍAS

1. Mire el nivel del líquido de la batería en cada vaso y llénelo hasta el nivel indicado, *con agua destilada o desmineralizada, nunca añada ácido sulfúrico.*

Hágalo cada 15 días!

2. Mire las terminales en búsqueda de conexiones sueltas o sulfatadas, en especial el terminal positivo. Ajustelas y límpielas. Engrase los bornes de las baterías con regularidad, use vaselina neutra o grasa. *Tenga en cuenta de no cambiar los polos, ya que podría causar daños irreversibles a la batería.*

Hágalo cada 15 días!

3. Mantenga la batería bien limpia, mire que el sitio donde esta la batería tenga buena ventilación y este sin objetos que obstaculicen el paso del aire.

Hágalo cada 15 días!



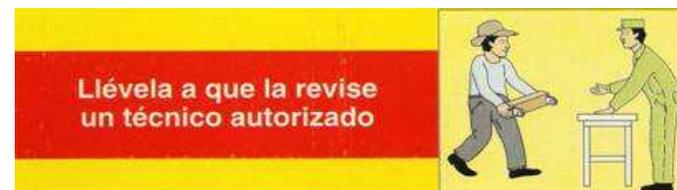
REPÚBLICA DOMINICANA

4. No deje descargada la batería durante mucho tiempo. Una batería descargada se arruina en menos de dos meses, si no va a utilizar la instalación en mucho tiempo conviene dejar la batería completamente cargada y con la carga desconectada, pero no de los paneles, estos sirven para recargar la batería cuando esta se descarga naturalmente.
5. No use la batería o su sistema para recargar baterías de otras personas o vecinos, ya que daña su batería.



III. TUBOS O LÁMPARAS

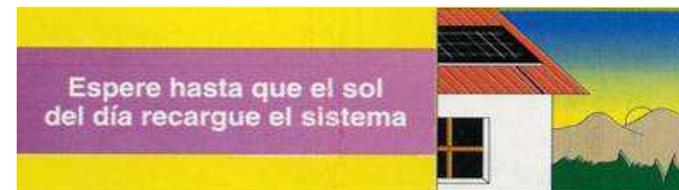
1. Si el tubo o lámpara no enciende, ajústelo, si no funciona déle vuelta o desenrósquelo y quítelo.
2. Coloque un nuevo tubo o lámpara.
3. Si todavía no prende llame a un técnico autorizado por la RESCO para que la revise.



IV. REGULADOR DE CARGA

1. Si se prende la luz que indica batería descargada en el regulador, no toque el aparato.
2. Apague todas las lámparas y aparatos que estén conectados.
3. Espere hasta que el sol del día recargue nuevamente la batería.
4. Si todavía no se ha recargado el sistema y este no funciona, acuda inmediatamente al técnico autorizado por la RESCO.
5. Revise que todo el sistema este funcionando bien, mire que no haya humedad u oxido en cualquiera de los elementos del sistema (conexiones y cables).

Hágalo cada mes!



PLANILLA DE MANTENIMIENTO

ACTIVIDAD	CADA	FECHA								
Nivel del liquido de la batería	15 días									
Terminales de la batería	15 días									
Limpieza de la batería	15 días									
Revisión de todo el sistema	1 mes									
Limpieza de módulos	2 meses									
Ajuste de módulos	3 meses									
Visita del técnico de la RESCO	Cuando se requiera o una vez al año.									

ÚLTIMA PÁGINA