



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SISTEMA HÍBRIDO DIESEL-ENERGÍAS RENOVABLES PARA GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD: ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS**

POR:

ANNIE DANIELA CRUZ MALPICA

**INFORME FINAL DE PASANTÍA
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO COMO
INGENIERO ELECTRICISTA**

Sartenejas, Abril 2007



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
DECANATO DE ESTUDIOS PROFESIONALES
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**SISTEMA HÍBRIDO DIESEL-ENERGÍAS RENOVABLES PARA GENERACIÓN DE
ELECTRICIDAD: ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS**

POR:

ANNIE DANIELA CRUZ MALPICA

TUTOR ACADÉMICO: PhD. ALBERTO J. URDANETA

TUTORA INDUSTRIAL: ANA SIFONTES

**INFORME FINAL DE PASANTÍA
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO COMO
INGENIERO ELECTRICISTA**

Sartenejas, Abril 2007

SISTEMA HÍBRIDO DIESEL-ENERGÍAS RENOVABLES PARA GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD: ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS

POR

ANNIE DANIELA CRUZ MALPICA

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio para determinar el sistema híbrido Diesel-Energías renovables apropiado a instalarse en el Archipiélago Los Testigos. Para determinar las necesidades energéticas de los habitantes en el Archipiélago se efectuó una visita de campo al sitio donde se pudo hacer un diagnóstico previo que permitió determinar las carencias en cuanto a servicios públicos se refiere. Igualmente la visita contribuyó en la estimación de los recursos renovables con los que cuenta el lugar, así como los espacios tentativos para el emplazamiento del sistema.

Se procedió a la adquisición de data meteorológica procedente de estaciones más cercanas al Archipiélago, y en la zona norte costera de Venezuela, debido a que las características meteorológicas son similares. Con ello, mediante modelos matemáticos se pudo estimar el comportamiento de los recursos en el Archipiélago.

Posteriormente se optimizó la arquitectura del sistema de generación definida para alta penetración a instalarse en cada uno de los sitios propuestos, se simuló la producción energética anual de cada una de las propuestas, y se efectuó el análisis económico para cada una de ellas, lo que permitió seleccionar el sistema Diesel-Energía renovable más apropiado.

Finalmente se propuso la instalación de un sistema híbrido eólico-diesel de 82% de penetración eólica para isla La Iguana, y un sistema de 90% de penetración eólica para la isla Testigo Grande.

DEDICATORIA

Al ser incondicional, que ha reído y llorado por mí, y conmigo... Por los traspasos compartidos, por los consejos que aunque no creas siempre escucho, por enseñarme a luchar para alcanzar las metas anheladas, y hasta por muchos regaños, A ti Madre te dedico mi Proyecto de Grado.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas aquellas personas colaboradoras que ha puesto en este duro camino, por las oportunidades, y vivencias que forman parte del aprendizaje cotidiano como profesional y ser humano.

A mi madre Alexis Malpica por sus veintitrés años de dedicación, afecto y esfuerzo, para lograr uno de los sueños que hoy se nos hace realidad.

A mi tía Trina por el apoyo, y afecto que contribuyeron desde mi niñez a buscar siempre el punto de equilibrio y confluencia.

A aquellos familiares y amigos que me han brindado afecto y apoyo en momentos difíciles: Flias. Malpica, Hernández G., Tobella U., Ramirez S., Cardozo, Benítez, Nicastri. A Cibeles, Yliana, Randy, Gerardo, John J.

A mis tutores académico e industrial, Profesores Alberto Urdaneta, Hernán Díaz, Ings. Sergio Quiróz, Ana Sifontes, José R. Arias. Al personal de C.V.P., quienes me brindaron su apoyo, y me permitieron formar parte de la empresa. A compañeros de trabajo como Eliana Torcatt, Rafael Pedrón, Esteban Obando, German Desmoineaux, Armando Sifontes, Carlos Jiménez, Verónica Rojas, Arnelys, entre otros. Y por supuesto a Carolina y Vanessa Ruiz.

Al personal del Departamento de Bienestar Social por su colaboración, y apoyo durante estos cinco años de estudio, en especial a la Lic. Nereida García.

A mis amigos de la U.S.B. por los trasnochos, esfuerzos compartidos y apoyo en lo académico y personal. A Tomás, Isabel, Luis, Freddy, Jessika, Manuel, Anita, Fernando, Willi, Jesús, Verónica, Sebastián, Ricardo L. Juan C. A Juancito y Carlos C. por su colaboración y orientación. Entre otros... A Ana T. y María G. por su comprensión, apoyo y colaboración incondicional, en especial durante este último trimestre.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
INDICE DE TABLAS	xiv
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2: OBJETIVOS	2
2.1. OBJETIVO GENERAL	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	3
CAPÍTULO 4: MARCO DE REFERENCIA	5
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS	5
4.1.1. Características físicas	5
4.1.2. Características del ecosistema	9
4.1.3. Características de la Población	10
4.2. GENERALIDADES SOBRE FUENTES ALTERNATIVAS RENOVABLES DE ENERGÍA	15
4.2.1. Bioenergía	15
4.2.2. Geotérmica	17
4.2.3. Biodiesel	18
4.2.4. Hidráulica	18
4.2.5. Mareomotriz	19

4.2.6. Instalaciones fotovoltaicas.....	20
4.2.7. Energía eólica	23
4.3. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS	34
4.3.1. Métodos de evaluación de la viabilidad económica de un proyecto	34
CAPÍTULO 5: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	36
CAPÍTULO 6: METODOLOGÍA.....	39
6.1. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO	39
6.1.1. Consumo actual	39
6.1.2. Estimación de demanda futura	39
6.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS	42
6.2.1. SOLAR.....	42
6.2.2. EÓLICO	42
6.3. PRE-SELECCIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.....	44
6.3.1. Método analítico de las jerarquías para la selección del lugar de emplazamiento	44
6.4. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS ANALIZADOS	46
CAPÍTULO 7: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL EN EL ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS	49
7.1. ISLA LA IGUANA	49
7.1.1. Sistema de generación	49
7.1.2. Red de distribución.....	51
7.1.3. Caracterización de la demanda.....	52
7.2. ISLA TESTIGO GRANDE.....	56
7.2.1. Sistema de generación	56

7.2.2. Red de distribución.....	59
7.2.3. Caracterización de la demanda.....	59
CAPÍTULO 8: CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS.....	60
8.1. SOLAR.....	60
8.2. EÓLICO.....	63
CAPÍTULO 9: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN.....	69
9.1. SELECCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA HÍBRIDO.....	69
9.2. SELECCIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO: <i>Método analítico de las jerarquías para la selección del lugar de emplazamiento</i>	75
9.2.1. Caso I: Isla La Iguana.....	76
9.2.2. Caso II: Isla Testigo Grande.....	78
9.3. RESULTADOS ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO.....	80
9.3.1. CASO I: Isla La Iguana.....	80
9.3.2. CASO II: Isla Testigo Grande.....	87
CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
CAPÍTULO 11: BIBLOGRAFIA.....	96
APÉNDICES.....	101
APÉNDICE A: Informe de campo sobre la visita al Archipiélago Los Testigos.....	101
APÉNDICE B: Subsistemas de un aerogenerador.....	109
APÉNDICE C: Caracterización del recurso eólico.....	114
APÉNDICE D: Programas utilizados para la modelación de los recursos y el análisis técnico económico.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Estructura Organizacional.....	4
Fig. 2 Zona norte costera del país.....	5
Fig. 3 Islas La Iguana y Testigo Grande – Archipiélago Los Testigos.....	6
Fig. 4 Isla La Iguana.....	8
Fig. 5 Vegetación típica en las islas del Archipiélago Los Testigos.....	9
Fig. 6 Viviendas típicas en Isla La Iguana.....	10
Fig. 7 Almacenamiento de agua típico en una vivienda en Isla La Iguana.....	11
Fig. 8 Barco Patrullero de la Armada de Venezuela.....	11
Fig. 9 Escuela Básica Los Testigos.....	12
Fig. 10 Transporte escolar.....	12
Fig. 11 Veleros: Actividad turística en el Archipiélago.....	13
Fig. 12 Embarcaciones típicas de los pescadores de la región.....	14
Fig. 13 Partes de un módulo fotovoltaico.....	20
Fig. 14 Sistema fotovoltaico simple autónomo.....	22
Fig. 15 Comportamiento direccional de los vientos a escala global.....	24
Fig. 16 Comportamiento direccional de los vientos en un valle.....	25
Fig. 17 Rosa de vientos.....	33
Fig. 18 Escuela Básica Los Testigos.....	38
Fig. 19 Sala de computadoras alimentada por el sistema fotovoltaico.....	38
Fig. 20 Repetidora meteorológica del Aeropuerto Internacional “Santiago Mariño”.....	42
Fig. 21 Repetidora meteorológica del Aeropuerto Internacional “Santiago Mariño”.....	43
Fig. 22 Estación meteorológica (SVLO 804050) ubicada en Isla La Orchila.....	43
Fig. 23 Placa del generador Diesel del Comando de Guardacostas – Isla La Iguana.....	50

Fig. 24 Red de distribución y alumbrado público – Isla La Iguana	51
Fig. 25 Vivienda de madera bifamiliar – Isla La Iguana.....	52
Fig. 26 Vivienda de bloques – Isla La Iguana.....	52
Fig. 27 Estación de Guardacostas Isla La Iguana.....	53
Fig. 28 Ambulatorio de la Estación de Guardacostas Isla La Iguana.....	53
Fig. 29 Escuela en Isla La Iguana.....	54
Fig. 30 Curvas de carga – Isla La Iguana.....	55
Fig. 31 Consumo futuro estimado para isla La Iguana.....	55
Fig. 32 Placa del Generador Diesel – Sector El Tamarindo.....	57
Fig. 33 Generador Diesel – Sector Playa Los Ingleses.....	58
Fig. 34 Generador Diesel – Sector Playa Chiquita.....	59
Fig. 35 Curva de carga actual de la isla Testigo Grande caracterizada por sectores.....	60
Fig. 36 Consumo futuro estimado para isla Testigo Grande caracterizada por sector.....	60
Fig. 37 Radiación promedio mensual para los años 2004 y 2005.....	61
Fig.38 Insolación promedio mensual para los años 2004 y 2005.....	62
Fig. 39 Velocidades de viento horarias – Archipiélago Los Testigos – 2001.....	64
Fig. 40 Velocidades de viento horarias – Archipiélago Los Testigos – 2001.....	64
Fig. 41 DMAP de velocidades de viento a 10 m – Archipiélago Los Testigos – 2001.....	65
Fig. 42 DMAP de velocidades de viento a 100 m – Archipiélago Los Testigos – 2001.....	65
Fig. 43 Histogramas de frecuencia y distribución de Weibull – Los Testigos – 2001.....	66
Fig. 44 Histogramas de frecuencia y distribución de Weibull – Los Testigos – 2001.....	66
Fig. 45 Flag – tree. Efecto de la incidencia del viento sobre la vegetación.....	67
Fig. 46 Incidencia del viento sobre la vegetación playa El Tamarindo hacia Barlovento.....	67

Fig. 47 Rosa de vientos – Frecuencia de incidencia de vientos según su orientación - Porlamar.....	68
Fig. 48 Rosa de vientos – Orientación de as velocidades de viento – Porlamar – Los Testigos...	68
Fig. 49 Posibles localizaciones – Isla La Iguana.....	76
Fig. 50 Zonificación del Archipiélago Los Testigos.....	79
Fig. 51 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	81
Fig. 52 Producción mensual de las aeroturbinas AOC 15-50..	81
Fig. 53 Producción mensual del generador Cummins de 175kW con las aeroturbinas AOC 15-50.....	81
Fig. 54 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	82
Fig. 55 Producción mensual de las aeroturbinas FL-100.....	82
Fig. 56 Producción mensual del generador Cummins de 175kW operando con las aeroturbinas FL-100.....	82
Fig. 57 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	83
Fig. 58 Producción mensual de la aeroturbina FL-250.....	83
Fig. 59 Producción mensual del generador Cummins de 175kW operando con la aeroturbina FL-250.....	83
Fig. 60 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	84
Fig. 61 Producción mensual de las aeroturbinas FL-250.....	84
Fig. 62 Producción mensual del generador Cummins de 175kW operando con las aeroturbinas FL-250.....	84
Fig. 63 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	89
Fig. 64 Producción mensual de la aeroturbina FL-30.....	89
Fig. 65 Producción mensual del generador John Deere 50kW con la aeroturbina FL-30.....	89

Fig. 66 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	90
Fig. 67 Producción mensual de la aeroturbina AOC 15-50.....	90
Fig. 68 Producción mensual del generador John Deere de 50kW con la aeroturbina AOC15-50.....	90
Fig. 69 Producción promedio mensual del sistema híbrido.....	91
Fig. 70 Producción mensual de la aeroturbina FL-100.....	91
Fig. 71 Producción mensual del generador John Deere de 40kW con la aeroturbina FL-100.....	91

INDICE DE TABLAS

Tabla I. Distribución Poblacional según la Armada.....	10
Tabla II Escala de ocurrencia de los vientos	24
Tabla. III Coeficiente de rugosidad para cada tipo de terreno.....	30
Tabla IV Clasificación de la potencia de viento.....	33
Tabla V Viviendas construidas en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006.....	37
Tabla VI. Viviendas construidas en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006.....	40
Tabla VII. Distancias horizontales utilizadas para la extrapolación horizontal.....	43
Tabla VIII. Variables económicas utilizadas para el estudio económico.....	47
Tabla IX. Costos asociados a los sistemas de control según la penetración de las energías renovables para el estudio económico.....	48
Tabla X. Costos asociados a los aerogeneradores utilizados para el estudio económico.....	48
Tabla XI. Costos asociados a los generadores diesel utilizados para el estudio económico.....	48
Tabla XII Datos de Placa de la planta generadora del Comando de Guardacostas.....	50
Tabla XIII. Datos de Placa de la planta generadora Sector El Tamarindo.....	57
Tabla XIV. Datos de Placa de la planta generadora Playa Los Ingleses.....	58
Tabla XV. Datos de Placa de la planta generadora Playa Chiquita.....	59
Tabla XVI. Radiación promedio – Porlamar.....	61
Tabla XVII. Insolación promedio – Porlamar.....	62
Tabla. XVIII Velocidades de viento promedio para el año 2001 – Archipiélago Los Testigos....	64
Tabla XIX. Parámetros de Weibull anuales – Archipiélago Los Testigos – 2001.....	65
Tabla. XX Factores ponderables.....	69
Tabla. XXI Ponderación de los factores.....	69
Tabla. XXII Importancia relativa de los factores.....	70

Tabla.XXIII Fuentes Alternativas Renovables de Energía.....	70
Tabla. XXIV Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F1.....	70
Tabla. XXV Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F1.....	70
Tabla.XXVI Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F2.....	71
Tabla.XXVII Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F2.....	71
Tabla. XXVIII Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F3.....	71
Tabla.XXIX Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F3.....	71
Tabla.XXX Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F4.....	72
Tabla.XXXI Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F4.....	72
Tabla.XXXII Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F5.....	72
Tabla.XXXIII Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F5.....	73
Tabla.XXXIV Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F6.....	73
Tabla.XXXV Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F6.....	73
Tabla.XXXVI Estimación total respecto a factores ponderados.....	73
Tabla.XXXVII Ponderación total de las F.A.R.E.S.....	74
Tabla.XXXVIII Factores asociados a la ingeniería del proyecto.....	75
TablaXXXIX. Factores asociados a la infraestructura del proyecto.....	75
Tabla.XXXX Ponderación de los factores.....	75
Tabla.XXXXI Importancia relativa de los factores.....	76
Tabla.XXXXII Ponderación para las localidades respecto al factor F1.....	76
Tabla.XXXXIII Importancia relativa de las localidades respecto al factor F1.....	76
Tabla. XXXXIV Ponderación para las localidades respecto al factor F9.....	77
Tabla.XXXXV Importancia relativa de las localidades respecto al factor F9.....	77
Tabla.XXXXVI Estimación total respecto a factores ponderados.....	77

Tabla.XXXXXVII Ponderación total de las localidades.....	77
Tabla XXXXXVIII. Resultados para del análisis económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla La Iguana.....	80
Tabla XXXXXIX. Desempeño esperado del sistema híbrido AOC 15-50 Cummins 175kW.....	81
Tabla. XXXXXX Desempeño esperado del sistema híbrido FL-100 Cummins 175kW.....	82
Tabla.XXXXXXI Desempeño esperado del sistema híbrido L-250 (1) Cummins 175kW.....	83
Tabla.XXXXXXII Desempeño esperado del sistema híbrido FL-250 (2) Cummins 175kW.....	84
Tabla XXXXXXIII. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande – Playa Los Ingleses.....	86
Tabla XXXXXXIV. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande – El Tamarindo.....	86
Tabla XXXXXXV. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande – Playa Chiquita.....	87
Tabla XXXXXXVI. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande.....	87
Tabla.XXXXXXVII Desempeño esperado del sistema híbrido FL-30 (1) John Deere 50kW.....	89
Tabla.XXXXXXVIII Desempeño esperado del sistema híbrido AOC 15-50 (1) John Deere 50kW.....	90
Tabla.XXXXXXIX Desempeño esperado del sistema híbrido FL-100 (1) John Deere 50kW.....	91

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Las características climatológicas de las Dependencias Federales apuntan hacia ellas como zonas potenciales para el aprovechamiento de sus recursos ambientales. La fragilidad de su ecosistema hace de ellas zonas preservadas del territorio venezolano. Los Testigos pertenecen a estas Dependencias, y son islas oceánicas que forman parte de las islas marítimas no integradas al territorio de un estado. Se encuentran ubicadas a 80km al Noreste del Archipiélago Los Frailes, y a 68km aproximadamente al Norte de Río Caribe, Estado Sucre. Son la puerta natural de entrada a territorio venezolano de las embarcaciones turísticas y pesqueras. Su clima y ecosistema son similares al del resto de las dependencias, es por ello y por la necesidad energética que presentan los habitantes de la misma que surge la necesidad de la prestación de un buen servicio eléctrico mediante un sistema de generación que supla la demanda de los habitantes de forma “limpia”. Es importante acotar que estas islas forman parte de las zonas de desarrollo sustentable del país, por lo que pueden experimentar un crecimiento laboral-económico, lo que justifica aún más solventar la necesidad energética en ese territorio para el desarrollo de nuevos proyectos, o bien para potenciar la fuerza laboral.

El uso de sistemas que consten de Fuentes Alternativas Renovables de Energía, son apropiados para este tipo de ecosistemas pues minimizan el impacto ambiental. Con la elaboración de este estudio se espera obtener una solución técnico-económica ante la problemática energética en el Archipiélago Los Testigos, mediante el uso de fuentes alternativas renovables de energía, involucrando una estimación de costos que permitiría definir cual de los planteamientos es el más conveniente, orientado hacia el abastecimiento de las necesidades energéticas de los habitantes, y tomando en cuenta el posible crecimiento energético a desencadenarse en las islas, por haber sido decretadas Zonas Especiales de Desarrollo Sustentable(ZEDES).

CAPÍTULO 2: OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar los posibles sistemas de generación híbridos usando fuentes alternativas renovables de energía a implantarse en las islas Los Testigos.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las características demográficas, económicas, sociales, políticas, legales y ambientales del Archipiélago Los Testigos para definir el alcance técnico-económico del proyecto.
- Determinar el consumo eléctrico y las necesidades energéticas de la población.
- Evaluar las diferentes tecnologías de generación eléctrica mediante el uso de fuentes alternativas renovables de energía.
- Seleccionar el sistema de generación para cada caso de estudio.
- Desarrollar las propuestas seleccionadas indicando equipos necesarios, y costos tentativos asociados.

CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

La Corporación Venezolana del Petróleo, es una empresa filial de Petróleos de Venezuela, que controla y administra todo lo concerniente a los negocios que se realizan con otras empresas petroleras de capital nacional o extranjero. ^[1]

Esta filial de PDVSA maximiza el valor de los hidrocarburos para el Estado venezolano en función del bienestar colectivo, a través de:

- 🚧 Empresas Mixtas
- 🚧 Convenios de Asociación
- 🚧 Convenios de Exploración a Riesgo y Ganancias Compartidas
- 🚧 Desarrollo de los proyectos de gas Costa Afuera
- 🚧 **Proyecto de Cuantificación y Certificación de la Faja Petrolífera del Orinoco,** mediante el cual se probará que Venezuela es el país con las mayores reservas de hidrocarburos del mundo.

Así mismo, la CVP participa en la definición de modelos de negocios futuros con terceros que se celebren en el marco de la Ley Orgánica de Hidrocarburos. ^[1]

PDVSA, a través de la CVP ejecuta el financiamiento de obras de servicios destinadas al desarrollo de infraestructura para el país, vialidad, actividad agrícola, cooperativismo, salud, educación, apoyo a las Empresas de Producción Social y cualquiera otra inversión productiva, gracias a importantes fideicomisos establecidos con el Banco de Desarrollo Económico y Social (Bandes) y el Banco del Tesoro. ^[1]

La Corporación Venezolana del Petróleo, a través de sus proyectos de desarrollo, constituye el brazo ejecutor de PDVSA para apalancar el desarrollo económico, endógeno y social de Venezuela, cumpliendo de esta manera con los lineamientos del Gobierno Bolivariano de Venezuela y en correspondencia con el Plan de Desarrollo Económico y Social de la Nación.^[1]



Fig. 1 Estructura Organizacional

CAPÍTULO 4: MARCO DE REFERENCIA

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS

4.1.1. Características físicas

4.1.1.1. Ubicación geográfica

Los Testigos son islas oceánicas que están ubicadas a 80kms al Noreste del Archipiélago Los Frailes, y a 68kms aproximadamente al Norte de Río Caribe, Estado Sucre. Todo el conjunto se encuentra situado entre los $11^{\circ} 20'47''$ y $11^{\circ} 24'46''$ Latitud Norte y $63^{\circ} 02'34''$ y $63^{\circ} 08'21''$ Longitud Oeste. (Fig. 2 y 3). Constituye la avanzada insular más oriental de Venezuela en el Caribe y la de mayor importancia estratégica después de la isla Las Aves, ya que se encuentra en la ruta que se dirige a las Antillas de Barlovento, y además es la puerta natural de entrada a territorio venezolano de las embarcaciones turísticas y pesqueras, que usan el archipiélago como lugar de refugio. Según La Constitución Bolivariana de la República de Venezuela son *islas marítimas no integradas al territorio de un estado*. [2], [3]



Fig. 2. Zona norte costera del país^[41]

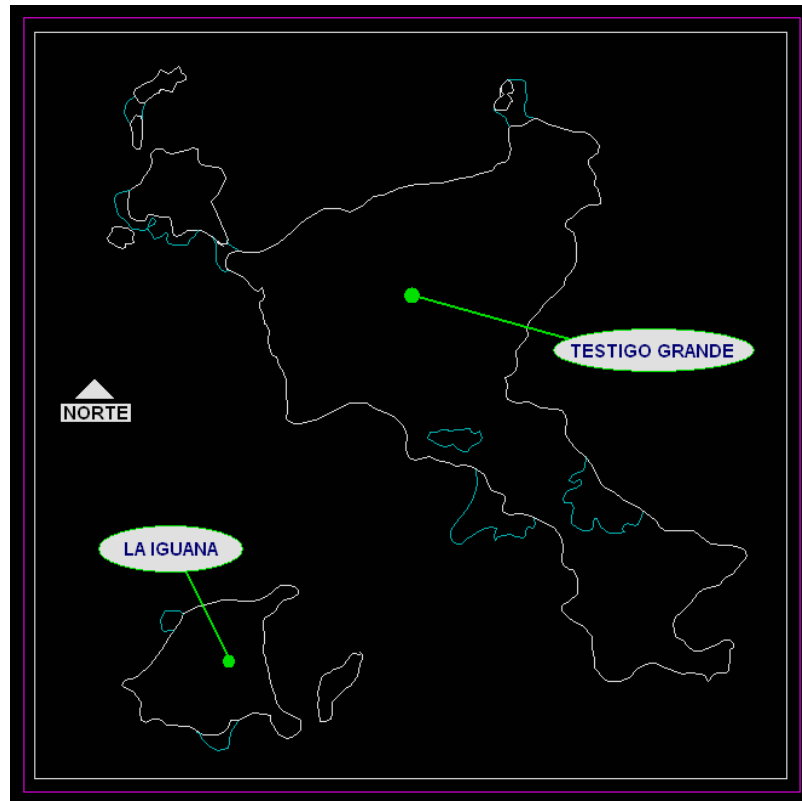


Fig. 3 Islas La Iguana y Testigo Grande – Archipiélago Los Testigos

4.1.1.2. Superficie y forma

Los Testigos forman un Archipiélago de dieciséis formaciones rocosas, de las cuales siete son islotes. El más grande del grupo es “Testigo Grande”, que tiene una altura máxima de 260m, una extensión de norte a sur de aproximadamente 4km y una anchura máxima de 2.5km. Al sur de Testigo Grande se encuentran: isla La Iguana, con una extensión de aproximadamente 1km de longitud; isla Angoleta ubicada entre las islas antes mencionadas. Al sureste de La Iguana respectivamente se encuentran las islas El Chivo y Morro Blanco, las cuales forman el límite meridional del archipiélago. Al este de Testigo Grande, a unos 2.8km se localiza La Isla Conejo. A un poco menos de 2km hacia el sureste de Isla Conejo se encuentra Isla Rajada, y al noreste de esta se encuentra Isla Nordeste. Se puede decir que Los Testigos presentan características similares a las de una sabana xerófila tipo insular. ^[2]

La superficie de los seis islotes que comprenden el conjunto insular es la siguiente: Testigo Grande (466 hectáreas), Conejo (71h.), Iguana (64 h.), Morro Blanco (11.8 h), Rajada (12h.), Noreste (10h.), y nueve unidades menores, de las cuales el islote o Morro La Cabra situado al sureste de La Iguana es el que presenta una mayor extensión (5 hectáreas), el resto de los islotes posee una extensión menor a 2 hectáreas. ^[3]

4.1.1.3. Características geológicas

Al sur del conjunto insular se extiende el Banco Verde, el cual tiene una extensión de 25km de norte a sur, por unos 16 de este a oeste; y una profundidad inferior a 10m, el sustrato del banco está formado por Coral cacho e' venao (*Acropora cervicornis*), también existe una zona donde se presenta emisión de gases, abundan las tortugas pequeñas. En estas islas se encuentran rocas de granito gruesamente granulado (hornoblenda), que se pueden encontrar comúnmente entre la vegetación. Al este de la isla Testigo grande se puede encontrar sobre el granito una capa de rocas pizarrosas. En cuanto al color del suelo y las rocas descubiertas se puede describir como ferruginoso. ^[2]

4.1.1.4. Características fisiográficas

La isla Testigo Grande posee un relieve que alcanza en su parte central una altura de 200 metros. Está unido por un istmo rocoso e irregular a la parte sureste en la que hay otra colina de 80 metros de altura. A 460 metros hacia el Sur de un islote de casi 140 metros de largo se extiende un arrecife. Hacia el Norte y Este del islote hay dos bahías de aguas poco profundas, con buenas y resguardadas playas usadas para el desembarco. A unos 550m de la costa Norte hay varios islotes y rocas a flor de agua. En otros sitios de la costa de la isla no hay peligros a 180 metros de ella. Isla Iguana con 950 metros de longitud, en sus alturas no sobrepasa los 100 metros. Su costa es empinada, excepto en el lado oriental, donde hay una playa para desembarcar. Entre el paso entre Testigo Grande e isla La Iguana la profundidad mínima en el medio del canal

es menor a 15 metros, es importante mencionar que en este paso, hay una fuerte corriente en dirección Oeste-Noroeste, que forma pequeñas marejadas en el extremo Sureste del canal.

Esta bahía está protegida por el sur por el Morro o islote La Cabra, unido a la Iguana por un arrecife bajo de poca profundidad, que sólo permite el paso de embarcaciones menores por su extremo occidental. El noroeste por su parte se encuentra a mar abierto.



Fig. 4 Isla La Iguana

4.1.1.5. Características Climatológicas

Se puede estimar una temperatura media entre las islas de 27°C, aunque en meses cálidos esta media puede alcanzar valores alrededor de los 32,3°C.

Las precipitaciones generalmente son aisladas en forma de chubascos de pequeño volumen. El nivel de pluviosidad alcanza valores de hasta 400mm anuales. Los valores de humedad relativa media oscilan entre 75% y 80% aproximadamente; sin embargo, abundan los períodos de sequía. Los vientos predominantes son del Noreste (Ver Fig. 45). ^{[2], [4]}

4.1.1.6. Características oceanográficas

Recibe de forma directa y frontalmente por el este el embate de la corriente de Guayanas que penetra en el Mar Caribe entre las islas de Trinidad y Tobago, y Granada. Estas corrientes se estrechan entre los islotes del Archipiélago, y agregando el efecto del viento y las corrientes marinas pueden producir fenómenos contrapuestos a la dirección del viento. ^[3]

4.1.2. Características del ecosistema

4.1.2.1. Características de la flora

El alto nivel de pluviosidad comparado con el resto de las islas pertenecientes a las Dependencias Federales repercute en la vegetación, siendo esta densa y en algunos sitios frondosa, aunque siempre enmarcada dentro del bosque xerófilo, caracterizada esencialmente por la vegetación insular. ^{[2],[3]}



Fig. 5 Vegetación típica en las islas del Archipiélago Los Testigos

4.1.2.2. Características de la fauna

La fauna se encuentra adaptada al régimen xerófilo. De la avifauna se puede decir que predominan las aves marinas se encuentran alcatraces, la boba blanca, la boba marrón, tijeretas de mar, garzón cenizo, tigua-tigua, playero coleador, entre otras.

El carácter oceánico que tiene parcialmente estas aguas hacen posible que en ellas aun se puedan encontrar especies pelágicas como tiburones, jurel, ojo gordo, cazones, y rayas de diferentes especies; también se pescan langostas, siendo esta isla después de Los Roques la segunda productora de esta especie en el país. ^{[2],[3]}

4.1.3. Características de la Población

4.1.3.1. Características demográficas

Área deprimida pero con posibilidad de desarrollo sustentable en el área turística y agrícola-pesquera. Según el censo del año 2001 ^[5], la población registrada fue de 173 personas, 103 hombres y 70 mujeres. La edad promedio fue de 22 años, y se conoció que un poco más del 50% de la población es menor a 21 años.

Tabla I. Distribución Poblacional según la Armada¹

SECTOR	FAMILIAS PERMANENTES	FAMILIAS FLOTANTES	TOTAL CASAS
La Iguana	30	4	34
Tamarindo	11	-	11
Playa Chiquita	4	2	6
Playa Los Ingleses	3	-	3
TOTAL	51	6	58

La arquitectura de las casas es similar (Ver Fig. 6), se estima que fueron construidas alrededor de los años setenta, también se encuentran una Plaza Bolívar y una iglesia. Hacia el sur de la playa se encuentra la Estación Secundaria de Guardacostas de la Armada, encargada de custodiar el territorio y prestar apoyo logístico a la población. Según un censo efectuado por el personal de la Armada en el año 2004 la población fija fue de 161 habitantes; sin embargo, durante la temporada de langosta se puede percibir un incremento poblacional del 40%. ^[6]



Fig. 6 Viviendas típicas en Isla La Iguana

¹ Las viviendas en construcción fueron contabilizadas como ya construidas

4.1.3.2 Servicios

4.1.3.2.1. Aseo

Para los desechos fecales se hace uso de pozos sépticos. Los habitantes de la isla recolectan la basura y desperdicios en general, para quemarla; sin embargo, durante la visita al Archipiélago se pudo percibir la problemática que representa para el ecosistema el procesamiento y recolección de desechos sólidos.

4.1.3.2.2. Suministro de agua Potable

El agua potable principalmente se obtiene mediante la recolección de agua de lluvia, se pudo observar que las viviendas en su mayoría poseen canales en los techos dirigidos a los pipotes donde se almacena el recurso (Ver Fig. 8). En épocas de sequía los pobladores y el personal de la Armada (Ver Fig. 8) se trasladan a los estados Sucre o Nueva Esparta para obtenerla directamente en tierra firme.



Fig. 7 Almacenamiento de agua típico en una vivienda en Isla La Iguana



Fig. 8 Barco Patrullero de la Armada de Venezuela

4.1.3.2.3. Salud

Se encuentran dos módulos para la atención médica, ambos ubicados en la isla La Iguana:

- *Ambulatorio del Ministerio de Sanidad:* Durante su periodo operativo su dotación fue escasa, su atención estuvo a cargo de una enfermera y un médico que asistió algunos fines de semana. No dispone de transporte aéreo o marítimo. Actualmente el centro no presta servicio.

- *Enfermería de la estación de guardacostas/ Armada*: posee una mejor dotación; sin embargo, los casos de emergencia no pueden ser atendidos por lo que también requieren traslado a los sitios antes mencionados. (Ver Fig. 28)

4.1.3.3. Educación

En cuanto al acceso a actividades educativas - recreacionales en la isla podemos decir que es muy limitado. En Isla la Iguana se encuentra la Escuela Bolivariana de Educación Básica "Los Testigos", a la que actualmente asisten 34 estudiantes, donde laboran 8 docentes, algunos son trasladados desde la isla Testigo Grande en un peñero destinado para tal fin. La asistencia escolar total registrada para el año 2001 fue de 35 personas, de las cuales 30 asisten a institución oficial y 5 a instituciones privadas ubicadas fuera de las islas, generalmente las personas que desean continuar sus estudios deben costearse y dirigirse a la Isla de Margarita o a Carúpano. Es importante acotar que la tasa de deserción escolar generalmente aumenta a partir del cuarto grado, donde los jóvenes suelen incorporarse a la actividad pesquera. También se imparten clases de misión Robinson y Rivas en el aula interactiva de la escuela. En cuanto a las tasas de alfabetismo podemos mencionar que para el año 2001 117 personas declararon ser alfabetas, y 27 analfabetas. ^[5]



Fig. 9 Escuela Básica Los Testigos



Fig. 10 Transporte escolar

4.1.3.4. Economía

Los Testigos pertenecen a la zona pesquera de oriente, entre ellos y Los Frailes se practica la pesca de altura de: atún, pez vela, dorado, mero, carite, jurel dorado, cachalote, etc. Desde el mes de Noviembre comienza la temporada de langosta, la cual finaliza en Abril, siendo el Archipiélago Los Testigos el segundo productor de langosta a nivel nacional. El transporte se efectúa en embarcaciones a motor, y por medio de él se obtienen los artículos de primera necesidad en Carúpano, donde venden generalmente los productos de la pesca. La pesca de altura se efectúa bajo escasa vigilancia y control. La pesca costanera es la actividad de subsistencia tradicional. La siembra y cría de caprinos, aves y conejos es sólo utilizable en mínimas cantidades para el consumo propio. La actividad comercial se caracteriza por la venta de pescado y artículos que se expenden en una bodega ubicada en isla la Iguana y El Tamarindo respectivamente. ^[2] La actividad turística bien podría ser explotada masivamente en este lugar; sin embargo, la población no está de acuerdo, pues insisten en que esto traería como consecuencia inseguridad individual y comunal, desaseo en la zona, inclusive daños al ecosistema. La mayoría sólo pretenden ofrecer servicios a los veleros (Ver Fig. 11); sin embargo, se ha percibido la iniciativa por parte de algunos pobladores en el alquiler de habitaciones, funcionando como posadas ^[3]. La fuerza de trabajo según datos del censo del año 2001, está constituida por 125 personas, de las cuales 92 se encontraban ocupadas, y 33 de ellas fuera de la fuerza de trabajo. ^[5]



Fig. 11 Veleros: Actividad turística en el Archipiélago

4.1.3.5. Accesibilidad

Hay dos vías de acceso: marítima o aérea, en la Estación de Guardacostas existe una pequeña pista de aterrizaje para helicópteros. La accesibilidad marítima a las islas es bastante compleja, en algunas de ellas la presencia de acantilados, fuerte oleaje de aguas profundas y ausencia de playas limita las acciones de apoyo. Generalmente los pescadores se movilizan en embarcaciones menores conocidas como “peñeros”. [3]



Fig. 12 Embarcaciones típicas de los pescadores de la región

4.1.3.6. Seguridad

- La autoridad de la zona era un comisario que se jubiló, y hasta ahora no hay persona designada en dicho cargo, las funciones que éste cumplía eran: certificar matrimonios, nacimientos, defunciones, entre otras.
- El resguardo fronterizo y ambiental, la seguridad marítima, prevención de narcotráfico, y atención de guardacostas es realizado por la Armada
- No hay inseguridad en las islas.
- En alta mar en ocasiones hay presencia de piratas y tráfico de drogas. [6]

4.2. GENERALIDADES SOBRE FUENTES ALTERNATIVAS RENOVABLES DE ENERGÍA

A continuación se presenta una breve reseña de las fuentes alternativas de energía renovables utilizadas actualmente.

4.2.1. Bioenergía

Es aquella que se deriva de la biomasa (material orgánico no fósil procedente de materia vegetal o animal). La energía que puede obtenerse de los compuestos orgánicos carbonados como son las biomásas vegetales y animales, es función directa de su proporción en carbono y en hidrógeno, ya que estos dos elementos al oxidarse son los que producen calor por vía exotérmica, al convertirse en dióxido de carbono y agua.^[8]

Entre las ventajas de su uso podemos mencionar que resulta económica siempre y cuando *no se transporte a grandes distancias*, la tecnología que emplea es una de las más sencillas tanto en proceso como utilización, puede servir como complemento energético para actividades agrícolas, forestales, puede originar subproductos útiles tales como abonos, carbón vegetal, entre otros.^[8]

Las desventajas asociadas a este tipo de sistema de generación suelen ser: es una de las fuentes energéticas con menor densidad de masa y por ende menor densidad de energía, los niveles de humedad presentes en la biomasa hacen necesario un proceso previo de secado, o su procesamiento por vía húmeda lo que hace más lento el proceso, si se usa en zonas con altas densidades demográficas puede producirse un desgaste o deterioro de los recursos naturales, de no aplicarse las tecnologías adecuadas, podrían ser pequeños focos de contaminación.^[8]

Recursos bioenergéticos^[7]

- Recursos vegetales primarios: recursos forestales naturales tales como leña, carbón y coque vegetal, residuos dejados en los bosques. Residuos de cosechas como pajas, hojas y

otras partes aéreas. Plantaciones energéticas: *terrestres*: leñosas, fibrosas, pastos, productoras de fluidos, amiláceas y sacarinas. *Acuáticas*: de agua dulce y de agua salada. Acumulación en descomposición de materiales vegetales (turba reciente "semi-renovable").

- Recursos derivados de animales y del hombre: Excrementos: animales, humanos(letrinas, aguas servidas). Fuerza viva(energía mecánica directa): animal, humana.
- Recursos bioenergéticos derivados de actividades industriales y urbanas: residuos vegetales: del procesamiento forestal, del procesamiento de cosechas. Residuos del procesamiento de productos animales: de matadero, otros. Residuos urbanos municipales: domésticos, comerciales y de servicios, rellenos sanitarios.

Especies vegetales acuáticos como fuente de biomasa

La biomasa utilizable de origen oceánico es de *menor volumen que la de origen terrestre*, ya que esta se encuentra en mayores cantidades en zonas profundas. Otro punto negativo en cuanto al uso de especies vegetales de origen acuático es el previo proceso de secado que deben tener, o bien el uso de ella para el proceso húmedo de biomasa retrasan el tiempo de obtención de la energía. Para lograr recolectar estos materiales en la superficie es necesario un sistema de recolección de los mismos. Entre las especies de agua salada que podrían ser utilizadas se pueden nombrar: Algas gigantes del género *Macrocystis* cultivadas en granjas, alga roja *Gracilaria tikvahiae*, sargazo *Sargassum natans* y *s. fluitans*, del género *Phaeodactylum*. Entre las especies vegetales se encuentran: Euforbia *E. Lathyris*, Guayule *Parthenium argentatum* gray, jojoba, hierba de leche *Asclepias spp*, palma dende o también llamada "coco de bahía", algodón, girasol y soya.

4.2.2. Geotérmica

Es aquella que aprovecha la circulación de fluidos a altas temperaturas para accionar turbinas acopladas a un generador. [8]

Entre los tipos de energía geotérmica podemos encontrar

- *De alta temperatura*: su rango de temperaturas oscila entre 150 – 400°C, por lo general en estos casos ocurren emisiones de calor en la superficie, la tecnología aplicada para la explotación de este recurso es similar a la extracción de petróleo.
- *De media temperatura*: su rango de temperaturas oscila entre 70 – 150°C.
- *De baja temperatura*: su rango de temperaturas oscila entre 20 - 60°C, se aprovecha en aplicaciones domésticas, agrícolas y urbanas.
- *Térmica oceánica*: para aprovecharla es necesaria una diferencia de temperatura de 20°C aproximadamente.

Entre las ventajas de aplicación de esta tecnología podemos mencionar que permite aprovechar la energía limpiamente, la mayor parte de residuos que producen pueden ser limpiados antes de llegar a la atmósfera, el espacio requerido para su emplazamiento suele ser pequeño en comparación al requerido por otro tipo de planta generadora, no presenta fluctuaciones, pues no depende de variaciones estacionales tales como vientos, lluvias, caudales de ríos, entre otros recursos naturales asociados al aprovechamiento de otro tipo de energías.

Las desventajas que presentan este tipo de sistemas son: altos costos asociados a las perforaciones necesarias, algunos de los gases expulsados pueden ser tóxicos en grandes cantidades, produce olores molestos, por lo que se hace necesaria la instalación de una planta depuradora de olores lo que implica un costo adicional.

4.2.3. Biodiesel

El biocombustible se obtiene la semilla de productos oleaginosos tales como: soja, aceitunas, girasol. El proceso utilizado para la extracción del aceite es la transesterificación, la cual también produce harina cuya aplicación a posterior suele ser forraje animal. ^[8]

Entre las ventajas de este tipo de sistemas se encuentran: es libre de residuos tóxicos/cancerígenos, ahorra alrededor de un 80% de emisiones de CO₂, puede ser usado como complemento para motores diesel, mejorando características operativas del mismo. ^[8]

Entre sus desventajas podemos mencionar: aun presenta emisiones de CO₂ al ambiente, presenta costos más elevados al compararse con la instalación de plantas generadoras convencionales, continúa siendo más costoso que los combustibles fósiles, alrededor de un setenta por ciento más caro. ^[8]

4.2.4. Hidráulica

Consiste en el aprovechamiento de la energía cinética y potencial de los recursos hídricos del lugar, se pueden aprovechar características de los ríos tales como caudales y grandes saltos o caídas de agua, es importante acotar que la generación mareomotriz forma parte del aprovechamiento de un recurso hídrico por lo que se encuentra categorizada como aprovechamiento hidráulico. El intercambio de energía ocurre en las turbinas de las centrales hidroeléctricas, siendo capaces estas últimas de generar energía eléctrica en distintos órdenes de mega vatios. Este tipo de centrales ha permitido durante años abastecer la demanda energética mundial, nuestro sistema de generación nacional depende casi totalmente de este tipo de centrales, siendo Guri la mayor planta de generación nacional. Es importante acotar que la ingeniería y tecnología usada tanto para la concepción, construcción y puesta en marcha del proyecto no ha sufrido cambios significativos desde el siglo XX. ^[8]

4.2.5. Mareomotriz

Consiste en el aprovechamiento de los movimientos de flujo y reflujo de corrientes marinas para su transformación en energía eléctrica. En los momentos de alta marea el agua pasa de un lugar a otro en el dique originando corrientes que dan movimiento a las turbinas, adicionalmente en ese momento el sistema aprisiona el agua para hacerlas pasar por una turbina durante la bajamar. ^[8]

Las zonas potenciales para la explotación de este recurso generalmente son aquellas que presentan ondas marinas con grandes potencias se forman en zonas específicas del planeta, generalmente éstas tienden a ser zonas ciclónicas, donde por sus características de vientos ocurre un gran empuje sobre las masas de agua, lo que contribuye considerablemente en un incremento de su altura, masa y velocidad de avance. ^[8]

Aunque resultaría atractiva la posibilidad de este tipo de energía para el lugar de estudio, es importante acotar las desventajas que implican este tipo de sistemas: la tecnología aplicada para el aprovechamiento del recurso hasta los momentos no ha logrado ser eficiente, pues en ocasiones no es capaz de soportar los esfuerzos mecánicos que ocurren sobre sus partes debido a las grandes cantidades de potencia manejadas por las masas de agua, el agua marina tiende a corroer o causar un deterioro apreciable en el equipo, lo que conlleva a un mal desempeño del mismo, debido a que el desarrollo de una tecnología eficiente aplicable aun está en estudio la instalación de este proyecto piloto elevaría los costos, alteraciones en el ecosistema del lugar. ^[8]

4.2.6. Instalaciones fotovoltaicas

La versatilidad las instalaciones fotovoltaicas hacen de ellas un importante recurso dentro de las fuentes alternativas renovables de energía. Su fácil operación y mantenimiento, y sus dimensiones hacen de ellas alternativas viables para el suministro de energía eléctrica en zonas aisladas, donde se disponga de un potencial fotovoltaico que permita su funcionamiento de una manera eficiente.

4.2.6.1. Principio de funcionamiento

Su principio básico de funcionamiento es una aplicación clara del efecto fotoeléctrico. La celda está compuesta por dos capas una tipo N y una tipo P separadas por una capa semiconductor. Los fotones inciden sobre la superficie de la capa tipo P la cual libera electrones que al haber pasado por la capa semiconductor no pueden regresar, estos electrones pueden ser liberados porque el material ha sido previamente dopado, dando origen a una diferencia de potencial entre los terminales de las capas ^[9]. Según el tipo de material utilizado para su construcción se pueden dividir en monocristalinas, policristalinas y amorfas; siendo estas últimas las menos costosas pero más deficientes, inclusive tendiendo a degradarse tras la exposición al sol. La eficiencia de las celdas aumenta cuando los cristales son más grandes en cuanto a peso y grosor. ^[9],^[10]

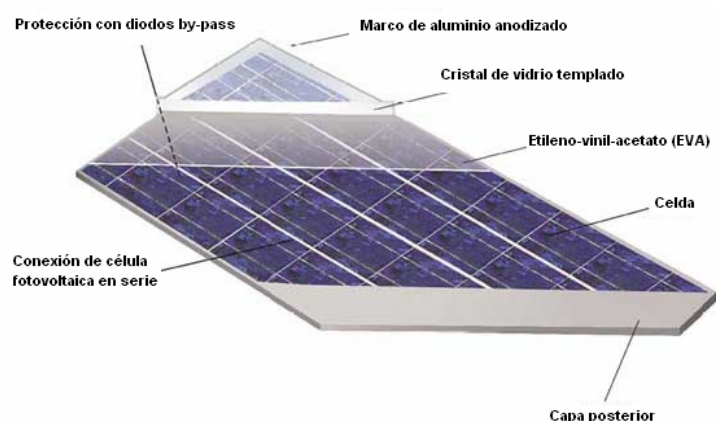


Fig. 13 Partes de un módulo fotovoltaico

4.2.6.2. Factores determinantes en su rendimiento

Para determinar cuales zonas permiten el máximo aprovechamiento de este recurso es necesario determinar con exactitud ciertas variables de interés como lo son: numero de horas que el sol está sobre el horizonte, nubosidad media, transparencia del aire, velocidad de los vientos, pluviosidad, temperatura media ambiente del aire, latitud, altura del lugar, cantidad de energía disponible por unidad de área, entre otros. ^{[10], [11], [12]}

4.2.6.3. Ventajas

Entre las principales ventajas que ofrece este tipo de instalaciones podemos mencionar su fácil instalación, operación y mantenimiento requerido. Su impacto sobre el ecosistema del lugar donde es instalado es nula, ya que no produce ruido, ni contaminación alguna, por lo que podemos agregar que este tipo de equipos no contribuye a la agudización del efecto invernadero.

Sin embargo, también debemos mencionar que este tipo de energía por depender de factores climatológicos suele presentar fluctuaciones durante el proceso de generación, así mismo requieren abarcar cantidades de superficie para lograr una producción adecuada. Al comparar económicamente este tipo de tecnologías con respecto a otras fuentes alternativas renovables de energía encontraremos que los equipos aun suelen ser costosos.

4.2.6.4. Alternativas de instalación ^[10]

- *Autónomos(SFA)*: se han utilizado para el suministro energético a regiones aisladas. El diseño de este tipo de sistemas puede llegar a ser impreciso, pues la instalación se calcula de acuerdo al consumo diario estimado señalado por el usuario, es por ello que estos deben crear una conciencia energética del recurso con el que cuentan. (Ver Fig. 14)
- *Conectados a la red(SFCR)*: se puede decir que son una herramienta energética que complementa la energía necesaria para cubrir los picos de carga que el sistema de generación no es capaz de cubrir.

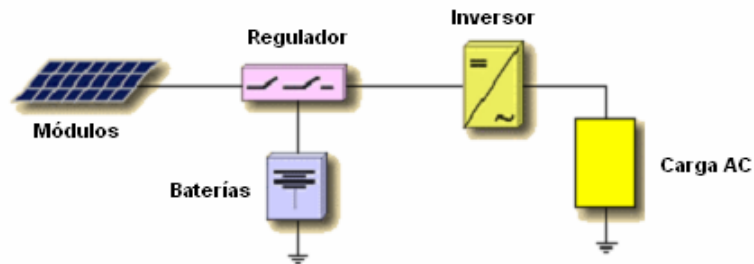


Fig. 14 Sistema fotovoltaico simple autónomo

4.2.6.5. Costos generales de instalación y mantenimiento

Los costos de la instalación fotovoltaica vienen dados por el precio para la potencia pico (W_p), definido como la potencia aportada por el panel en condiciones estándar, entendiéndose por estas: insolación solar 1 kW/m^2 a temperatura ambiente de 25°C ^[10].

El costo de los módulos representa generalmente entre un 40 a 60% del costo total del sistema fotovoltaico, el otro costo representativo en la instalación es el del inversor. Los costos de mantenimientos son muy bajos, y por reemplazo están asociados a actos de vandalismo, o daños en los módulos debidos a aumentos en la temperatura. El costo total por concepto de operación y mantenimiento se encuentra alrededor del 2% sobre el costo total de la instalación.

El retorno de la inversión se estima de dos a cuatro años, bajo condiciones standard. Sin embargo, dado que estos equipos aun no se fabrican en grandes masas, presentan un costo de energía producida de aproximadamente $0.6 \text{ \$/Wp}$, lo que comparado con otros sistemas de generación con fuentes alternativas la hace poco competitiva.

4.2.7. Energía eólica

4.2.7.1. Características cualitativas del recurso eólico

Los vientos (recurso eólico) tienen su origen en el calentamiento desigual de la superficie terrestre, esto se traduce en el calentamiento de masas de aire que por ser menos densas se elevan por encima de otras desplazándose así por el globo terráqueo, hasta llegar a zonas frías donde descienden hasta la superficie. El calentamiento desigual de la superficie terrestre tiene lugar a la propiedad que presenten las distintas superficies para refractar y reflejar la luz solar, siendo a través de la reflexión que se produce el calentamiento de la atmósfera. ^[13]

Para el estudio del recurso eólico se entenderán por vientos los movimientos de masas de aire en el eje horizontal, entendiéndose por corriente de convección aquellos movimientos de las masas en sentido vertical. La dirección de los vientos puede asociarse a la distribución de centros isobáricos; sin embargo, también se ve afectado por la distribución orográfica, fuerzas centrífugas y de Coriolis, lo que conduce en líneas generales a una distribución espacial de los vientos en el globo terráqueo. En líneas generales los vientos se pueden clasificar en geostróficos: generados por diferencias de temperatura y presión en los distintos puntos de la superficie (ocurren generalmente 1km a partir del suelo), y vientos de superficie que ocurren generalmente a 100 metros sobre el suelo. Estos últimos pueden presentar cambios severos en su dirección y velocidad por influencia de las características orográficas del terreno, claro ejemplo de dicho efecto es el frenado por la rugosidad y obstáculos en su superficie, estos vientos reflejan en su direccionalidad el efecto producido por las fuerzas centrífugas y de Coriolis (Ver Fig. 15). ^[14]

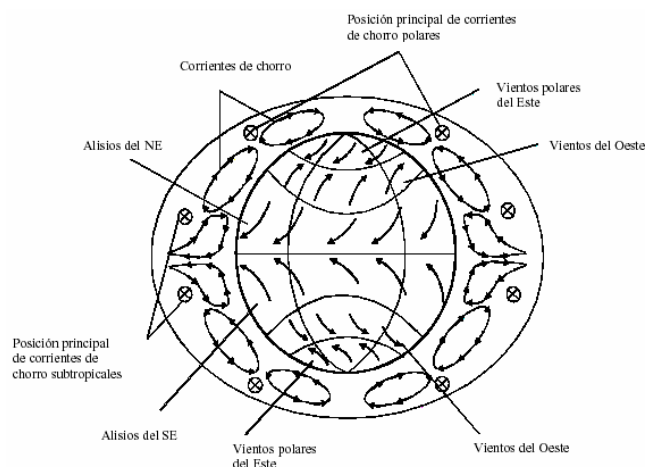


Fig. 15 Comportamiento direccional de los vientos a escala global

Tabla II Escala de ocurrencia de los vientos ^[13]

Escala	DISTANCIA SOBRE EL SUELO(km)
Global	10.000
Macro Escala	1.000
Meso escala	100
Micro escala	10
Zona de Turbulencia	<10

En general se cumplen ciertos patrones de calentamiento diurnos y nocturnos en cualquier superficie terrestre o marítima (mesoescala), que en las zonas costeras dan origen a los siguientes fenómenos ^[13]:

- Brisa marina: durante el día los rayos solares inciden sobre las superficies terrestres y marítima, siendo la primera quien se calienta más fácilmente y por propiedades de reflexión hace que su aire se caliente más rápidamente, lo que ocasiona que este ascienda y se mueva hacia el mar, las masas de aire sobre el mar son más densas y frías por lo que tienden a moverse hacia la costa para igualmente intentar lograr un equilibrio térmico entre las masas de aire de ambas superficies.
- Brisa terral: en horas de la noche el mar almacena más calor que la superficie terrestre, y de manera análoga al fenómeno diurno, su aire se calienta, asciende y se desplaza hacia la

superficie terrestre, igualmente para lograr el equilibrio térmico las masa de aire frías se mueven hacia la zona de aire caliente.

Algunas condiciones favorables para la formación de brisas ^[14] son: gradiente térmico mayor a 1 °C, nubosidad débil, existencia de gradiente térmico horizontal, ausencia de zonas boscosas, formación de costa y valles.

El conocimiento de las características orográficas de la superficie es un factor determinante para la elección del lugar de emplazamiento de aerogeneradores, pues permite modelar matemáticamente las posibles incertidumbres que estos pueden introducir, logrando una mejor aproximación del modelo físico-matemático a la realidad direccional generalizada del recurso.

Los valles, por ejemplo, presentan un patrón generalizado sobre el comportamiento direccional de los vientos como el que se muestra en la Figura 16. Este comportamiento es conocido como efecto túnel, y consiste en la compresión del aire y el incremento de la velocidad de viento cuando éste circula entre dos edificaciones o montañas. Eventualmente este tipo de zonas suelen ser propicias para la instalación de aerogeneradores; no obstante, la existencia de obstáculos que agudizan los problemas de turbulencia en el lugar minimizan las posibilidades de aprovechamiento energético del espacio. ^[14]

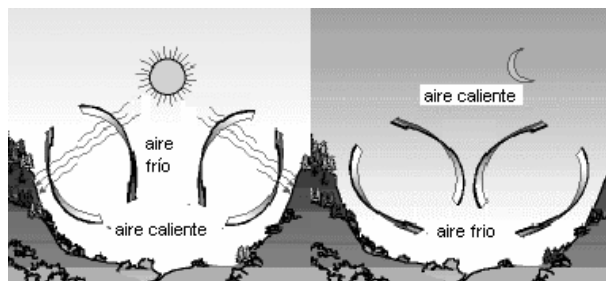


Fig. 16 Comportamiento direccional de los vientos en un valle. ^[13]

En la montaña el fenómeno ocuriente en esencia es similar, conocido como viento de cañón, y básicamente consiste en que las masas de aire menos densas(calientes) suben por las

laderas hacia la cima de la montaña donde hay mayor circulación de aire, lo que provoca su enfriamiento y densificación, por lo que posteriormente desciende. Adicionalmente en zonas montañosas el aire se comprime del lado de incidencia del viento sobre la montaña y hasta la cima donde finalmente se expande para luego descender hacia la zona de bajas presiones. Su aprovechamiento también se puede ver limitado por la influencia del desorden orientacional de vientos en la cima que igualmente incrementan la turbulencia en la zona (Ver Fig. 16).^[14]

4.2.7.1.1. Fenómenos ocurridos en la mesoescala

- *Variación del viento con la altura:* es un hecho que la velocidad de viento aumente al aumentar la altura sobre el suelo. Es por ello que se han incrementado las alturas de las torres y por ende ha sido necesario el aumento de las dimensiones de las palas del rotor, tal que estén capacitados para absorber mayor energía.^[14]
- *Rugosidad:* los efectos de fricción entre la superficie terrestre y el viento hacen que de éste último se vean alterados la velocidad y dirección del mismo.^[14]
- *Cizalladura:* es una descripción del cambio de la velocidad de viento con la altura, Es particular para cada terreno pues depende de ciertas propiedades físicas del mismo, también depende de la dirección, velocidad de viento, y estabilidad atmosférica. Con esta aproximación es posible extrapolar verticalmente las velocidades de viento, obteniendo así los valores de interés.^[14]
- *Turbulencia:* son fluctuaciones temporales y espaciales rápidas y desordenadas de la velocidad alrededor de un valor medio que varía más lentamente con el tiempo. Su variación es directamente proporcional a la rugosidad del terreno e inversamente proporcional a la altura a la que ocurre, éste fenómeno en particular puede disminuir el rendimiento de los

aerogeneradores en cuanto a la potencia generada, generar oscilaciones en el par, y desgaste de los equipos por cargas mecánicas y fatigas. Las oscilaciones turbulentas se cuantifican mediante la desviación típica de las oscilaciones de cada una de las componentes de la velocidad alrededor de la media. Los métodos comúnmente utilizados son: *espectrales*, suponen respuesta lineal de la aeroturbina, *ráfagas*, se basan en acontecimientos aislados, *simulación directa y respuesta continua*.^[14]

- *Alteración direccional del viento antes de su aprovechamiento eólico, producto de la aerodinámica del aerogenerador*: cargas alternativas, fatiga en componentes del equipo, fluctuaciones en la potencia eléctrica.^[14]
- *Efecto estela*: es la variación del contenido energético y direccional del viento al salir de la turbina, presentando ésta última patrones de turbulencia. Al tener varias unidades generadoras en un emplazamiento dado, el efecto estela produce el llamado efecto parque, que consiste en el incremento de los patrones de turbulencia al pasar el viento de una unidad generadora a otra.^[14]

4.2.7.2. Métodos de adquisición de la data eólica

La adquisición de data para la caracterización del recurso eólico repercutirá directamente en la elección del sistema de generación y emplazamiento del mismo, obviamente mientras la adquisición de datos se haga de una manera más detallada y precisa, mejores serán los resultados obtenidos. Entre las formas de adquisición de datos eólicos comúnmente usados se pueden mencionar^[14]:

- *Mediciones de viento*: Se efectúa con anemómetros los cuales determinan velocidades y direccionalidad de los vientos. Este tipo de mediciones pueden ser a diferentes escalas de

tiempo (inclusive años de estudio), pueden ser conectados a la Web, o instalarse en aerogeneradores utilizados como proyectos pilotos.

- Uso de data existente: Se considerará como elemento fundamental el uso de interpolación y extrapolación de datos suministrados por servicios meteorológicos venezolanos, de estaciones meteorológicas aledañas al sitio de estudio.
- Observación directa: Es la menos precisa, y la más económica, consiste en el estudio de evidencias biológicas, tales como cambios permanentes en la orientación de las plantas, características geomorfológicas.

Es una tendencia muy común que las mediciones efectuadas para la adquisición de la data tenga un paso de tiempo de 10min. Una de las causas fundamentales para ello es la diferenciación entre una variación dentro de la media y patrones de turbulencia, siendo estos últimos los que presentan una duración mayor a dicho intervalo, también es importante el estudio en ese intervalo, pues los sistemas de control suelen actuar en un tiempo menor, por lo que deben ser calibrados correctamente.

Sin embargo, es importante indicar que las cantidades de energía utilizadas para el aprovechamiento del recurso se desprenden del análisis de intervalos mayores. ^[13]

Como se ha podido conocer existen muchas variables que pueden influir drásticamente en el comportamiento y dirección de los vientos, por lo que un análisis de aprovechamiento del recurso eólico puede resultar ser sumamente complejo. No obstante en la actualidad se usan herramientas estadísticas, probabilísticas, entre otros modelos matemáticos que pueden conducir a una caracterización un poco más precisa del recurso.

4.2.7.3. Recursos evaluados en la mesoescala para la selección del lugar de emplazamiento ^{[14], [15]}

- Exploración, planificación y operación: elevada velocidad media, orientación favorable, disponibilidad del terreno, efectos ambientales, regulaciones aplicables.
- *Evaluación de la viabilidad técnica*: potencial eólico, verificación de vías de acceso, perfil del terreno, infraestructura eléctrica existente, cobertura vegetal, tipo de terreno, obstáculos existentes, poblaciones cercanas.
- *Evaluación del recurso*: medición del recurso durante 1 año, elección del punto de medida, tramitación de permisos. instalación de la estación, análisis de datos de viento procedentes de la estación de medida, determinar densidad media del aire, correlación estadística entre las estaciones, evaluación de patrones de turbulencia y frecuencia de las ráfagas, obtención de perfiles verticales de viento, mapa de recursos energéticos, diseño e implantación de aerogeneradores que cumplan con las normativas para cálculos de seguridad. determinación de producción de las unidades y del parque

4.2.7.4. Características favorables para la selección del lugar de emplazamiento más adecuado

- ✓ Velocidad media de vientos elevada
- ✓ Valores aceptables de turbulencia y vientos extremos
- ✓ Zonas con gradiente de presión o temperatura
- ✓ Zonas elevadas tales como cimas, colinas, entre otras.

4.2.7.5. Cuantificación y comportamiento direccional del recurso^[16]

Para el diseño conceptual del sistema de generación usando aerogeneradores es necesario tener un conocimiento sobre el comportamiento general de los vientos en la zona de estudio, para así poder determinar el factor de capacidad². Se ha comprobado empíricamente que el comportamiento de los vientos se ajusta a modelos estadísticos y probabilísticos.

4.2.7.5.1. Ajustes de los datos y parámetros del recurso^[16]

Las medidas de velocidad y direccionalidad de vientos generalmente son realizadas a 10 m sobre el nivel del suelo; sin embargo, las turbinas de los aerogeneradores suelen ubicarse 50m por encima del nivel del suelo, es por ello que se debe realizar un ajuste sobre los datos:

$$v' = v \cdot \left(\frac{z'}{z} \right)^\alpha \quad (\text{Ec.1}) \quad \alpha = 0.24 + 0.04 \cdot \ln(z_o) + 0.003 \cdot (\ln(z_o))^2 \quad (\text{Ec.2})$$

Donde: z: altura a la que se efectuó la medición originalmente

z': altura a la que se ubicaría la turbina del aerogenerador

v: velocidad de viento medida a la altura z

v': velocidad de viento a la altura z'

α : coeficiente dependiente de la longitud de la rugosidad del terreno

z_o : longitud de la rugosidad del terreno

Tabla. III Coeficiente de rugosidad para cada tipo de terreno^[18]

TIPO DE TERRENO	α
Arena	0,1
Hierba segada	0,13
Hierba alta	0,19
Suburbio	0,32

² Estimación de la energía eléctrica que puede generarse de forma anual^[17]

De igual forma si la medición no se ha efectuado en el lugar de estudio se debe interpolar horizontalmente. ^[16]

$$v' = \varepsilon \cdot \frac{\sum_{n=1}^N \frac{\overline{v_n}}{d_n^2}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{d_n^2}} + (1 - \varepsilon) \cdot \frac{\sum_{n=1}^N \frac{\overline{v_n}}{|\Delta h_n|}}{\sum_{n=1}^N \frac{1}{|\Delta h_n|}} \quad (\text{Ec. 3}) \quad 0 < \varepsilon < 1$$

Donde: \bar{v} : velocidad media de viento en el lugar donde se efectuó la medición

d: distancia horizontal entre el sitio de estudio, y el lugar donde se efectuó la medición

Δh : diferencia de altura entre los dos puntos de estudio

4.2.7.5.2. Caracterización estadística del viento

Histogramas de frecuencia: Para su construcción es necesario obtener la frecuencia relativa de velocidad de viento para los rangos determinados, con ello es posible obtener un aproximado sobre la ocurrencia de las velocidades de viento anualmente. ^[19]

$$fr = \frac{fab}{N} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde: fab: frecuencia absoluta

fr: frecuencia relativa

N: tamaño de la muestra

Factor de autocorrelación: indica el grado de correlación de los datos entre sí, bien sea por la fuerte aleatoriedad o semejanza de los mismos.

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^{N-r} (v_i - \bar{v}) \cdot (v_{i+k} - \bar{v})}{\sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2} \quad (\text{Ec. 5})$$

Donde: A_k : es el factor de autocorrelación para el k-ésimo valor.

\bar{v} : velocidad de viento media

v_i : i-ésima velocidad de viento.

Distribución de Weibull, la *función de densidad* es una medida de la frecuencia relativa de ocurrencia de la velocidad de viento, es por ello, que por convección del punto extremo de los histogramas de frecuencia esta se aproxima a dicho comportamiento. ^[20]

$$f(V) = -\frac{dF}{dV_o} \Big|_{V_o=V} = k \cdot \frac{V^{k-1}}{C^k} \cdot e^{-(V/C)^k} \quad (\text{Ec.6})$$

Donde: $f(V)$: función de densidad de probabilidad

C: Factor de escala (m/s)

k: Factor de forma

V_o : valor umbral de la velocidad de viento para el que se está calculando la probabilidad

La función de distribución acumulativa: pretende predecir una media sobre la variación de la velocidad media durante períodos prolongados de tiempo. Esto se logra analizando la probabilidad de ocurrencia de velocidades menores a cierto valor.

$$F(V) = P(V < V_o) = 1 - e^{-(V_o/C)^k} \quad (\text{Ec.7})$$

Donde: $F(V)$: función de distribución acumulada relativa

$P(V < V_o)$: probabilidad de que la velocidad de viento V sea menor a cierto valor limite

Obtención de los parámetros de escala y forma ^[20]

Los valores de C y k se obtienen a partir de las medidas tomadas en los emplazamientos definidos, o en los sitios cercanos donde se haya efectuado un registro de este tipo. A continuación se presenta una breve descripción del análisis matemático aplicado a la data para la obtención de los factores C y k respectivamente

$$Y = Y_o + k \cdot x \quad (\text{Ec.8}) \quad x = \ln(V) \quad (\text{Ec.10})$$

$$Y = \ln(-\ln(1 - F(V))) \quad (\text{Ec.9}) \quad Y_o = -k \cdot \ln(C) \quad (\text{Ec.11})$$

4.2.7.5.3. Densidad de potencia de viento ^[13]

La potencia eólica disponible o densidad de potencia de viento se puede calcular a partir de la función de densidad de probabilidad

$$P_t = \frac{1}{2} \rho \int_0^{\infty} v^3 f(v) dv \quad (\text{Ec. 15})$$

Tabla IV Clasificación de la potencia de viento ^[21]

CLASE	POTENCIAL DE RECURSOS	DENSIDAD DE POTENCIA DE VIENTO (W/m ²) @ 50m	VELOCIDAD DE VIENTO (m/s) @ 50m
1	Pobre	0 – 200	0.0 – 5.3
2	Escaso	200 – 300	5.3 – 6.1
3	Moderado	300 – 400	6.1 – 6.7
4	Bueno	400 – 500	6.7 – 7.3
5	Excelente	500 – 600	7.3 – 7.7
6	Excelente	600 – 800	7.7 – 8.5
7	Excelente	>800	>8.5

4.2.7.5.4. Direccionalidad de los vientos ^[13]

La caracterización del recurso eólico comprende también un estudio sobre su direccionalidad en el espacio y tiempo.

Rosa de vientos: es una herramienta gráfica que permite representar espacialmente en circunferencias circunscritas entre sí la frecuencia de incidencia las distintas velocidades de vientos en las coordenadas geográficas, por lo que se puede decir que muestra la tendencia direccional de los vientos. Usualmente la rosa se encuentra dividida en 12 o 16 secciones.

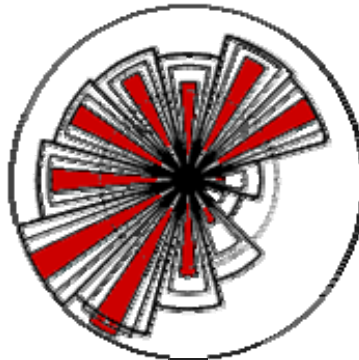


Fig. 17 Rosa de vientos

4.3. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS

Para la evaluación de cualquier proyecto es fundamental hallar el punto óptimo técnico-económico, por lo que no sólo se hace necesaria una caracterización adecuada de los recursos, sino un estimado de costos que oriente sobre la alternativa más apropiada. Es importante conocer cual es la arquitectura híbrida más rentable económicamente según la demanda y los recursos previos disponibles.

4.3.1. Métodos de evaluación de la viabilidad económica de un proyecto

Los más utilizados son el método del valor presente neto (VPN) y el de la tasa interna de retorno (TIR), no obstante es importante la aplicación de ambos métodos para lograr confluir en un resultado deseable, aunque ambos expresen el mismo resultado de forma distinta. Generalmente son utilizados en proyectos cuya inversión por su naturaleza produce ingresos por si misma.^[22]

4.3.1.1. Valor presente neto (VPN)

Consiste en valuar los ingresos y egresos futuros a valores actuales, facilitando la visualización de la relación entre ambos. Fundamentalmente un resultado menor a cero representaría pérdidas a cierta tasa de interés, el caso contrario representaría ganancia, de resultar igual a cero significa que el proyecto es indiferente.

Es importante establecer una tasa de interés adecuada debido a que entre esta y el VPN existe una relación inversamente proporcional.

$$VPN = -P + \sum_1^n \frac{FNE}{(1 + TMAR)^n} + \frac{VS}{(1 + TMAR)^n} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde:

P: Inversión inicial.

FNE: Flujo neto de efectivo del periodo n.

VS: Valor de salvamento al final de periodo n.

TMAR: Tasa mínima aceptable de rendimiento o tasa de descuento que se aplica para llevar a valor presente. los FNE y el VS.

4.3.1.1. Tasa interna de retorno (TIR)

La tasa interna de retorno^[22] es aquella que gana un interés sobre el saldo no recuperado de la inversión en cualquier momento del transcurso del proyecto.

El método consiste en encontrar una tasa de interés para la cual se cumplen las condiciones aspiradas en el momento de iniciar una inversión.

$$TIR = \sum_1^n \frac{FNE}{(1 + i)^n} + \frac{VS}{(1 + i)^n} \quad (\text{Ec. 26})$$

Donde:

i: tasa de interés

En líneas generales una inversión puede considerarse aceptable sólo si el $VPN \geq 0$ y el $TIR \geq TMAR$.

CAPÍTULO 5: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El suministro de energía eléctrica es primordial para el desarrollo de cualquier comunidad. En Venezuela se estima que un 3% de la población aun prescinde de dicho servicio, y la razón principal para ello es lo alejadas que se encuentran del resto del sistema de transmisión nacional.

El Archipiélago Los Testigos por su ubicación es un sitio de importancia geoestratégica, por ser la puerta de entrada vía marítima de las embarcaciones provenientes de las antillas menores.

La fragilidad ecológica del lugar, su ubicación geográfica, sus recursos energéticos, y las características de su posible demanda energética, apuntan hacia una nueva concepción de su sistema de generación.

El Archipiélago Los Testigos, así como otras islas, que forman parte de las Dependencias Federales han sido decretadas Zonas Especiales de Desarrollo Sustentable en el marco de inclusión social. A través de éste decreto se pretende impulsar el desarrollo integral mediante la estimulación de iniciativas de inversión y financiamiento en los sectores.

Actualmente el sitio no goza de buenos servicios básicos, por lo que la calidad de vida de los habitantes, así como las condiciones laborales no son las más adecuadas para experimentar desarrollo. Si nos referimos particularmente al servicio eléctrico podemos encontrar deficiencias en el mismo que han repercutido en el desarrollo económico y social.

Dentro de este marco de ideas surge la necesidad del estudio sobre los posibles sistemas híbridos Diesel – Energías renovables para la generación de electricidad en el Archipiélago Los Testigos.

CAPÍTULO 6: METODOLOGÍA

6.1. CARACTERIZACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO

6.1.1. Consumo actual

Debido a la inexistencia de una curva de carga de las islas del Archipiélago se aplicó una encuesta sencilla a la población, donde debían especificar los horarios de uso de cada uno de los equipos conectados, se registro la potencia nominal de cada uno, con ello se cuantifico y caracterizo el comportamiento temporal de la carga conectada.

En la isla Testigo Grande el servicio eléctrico actualmente se presta de 5 p.m. a 10 p.m., por lo que se asumió que de tener disponibilidad del servicio durante las 24h/día, dicha carga presentaría horarios de consumo similares a los de la población de isla La Iguana.

Para la caracterización de la carga residencial se diferencié entre viviendas de madera y de bloque. Para la totalización de la demanda residencial se asumió un factor de diversidad igual a la unidad. Del trabajo de campo se pudo conocer el total de viviendas construidas en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006.

Tabla V Viviendas construidas en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006

Isla / Sector	Total viviendas de madera	Total viviendas de bloque
La Iguana	7	22
Testigo Grande / Playa Los Ingleses	-	1
Testigo Grande / Playa Tamarindo	4	8
Testigo Grande / Playa Chiquita	-	5
TOTAL	11	36

En el caso de la Estación de Guardacostas se asumió el peor caso diario (encendido de bomba de agua y faros).

La Escuela Básica Los Testigos presta servicio desde las 8:30a.m. hasta la 1p.m. aproximadamente, quedando posteriormente encendidos sólo equipos de refrigeración. Adicionalmente en este espacio se encuentra una sala de computadoras que consta de seis

equipos con un consumo aproximado de 250W cada una, las cuales son alimentadas por una placa de cuatro módulos solares de 75W cada uno, con un total producido de 1600Wh.



Fig. 18 Escuela Básica Los Testigos

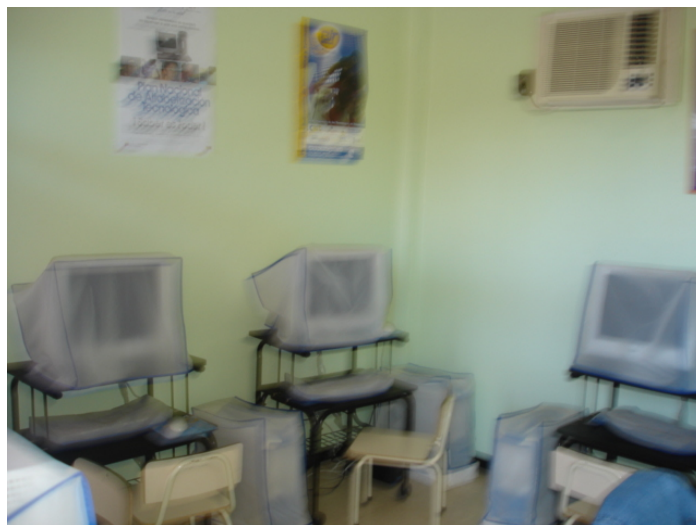


Fig. 19 Sala de computadoras alimentada por el sistema fotovoltaico

6.1.2. Estimación de demanda futura

Debido a que no se contó con un censo actual del lugar se efectuó una proyección de la población del Archipiélago que permitiera una mejor visualización de la demanda energética requerida en el lugar.

Las ecuaciones para determinar la tasa de crecimiento de la población fueron ^[23]:

Tasa geométrica media anual

$$r = \left[\left(\frac{N_f}{N_i} \right)^{\frac{1}{k}} - 1 \right] * 100 \quad (\text{Ec.20})$$

Tasa aritmética media anual

$$r' = \left[\left(\frac{1}{k} \right) * \left(\frac{N_f - N_i}{N_i} \right) \right] * 100 \quad (\text{Ec.21})$$

Donde: r: tasa geométrica de crecimiento media anual.

r': tasa aritmética de crecimiento media anual.

Nf: población para el último censo en las dependencias federales.

Ni: población para el censo anterior en las dependencias federales.

k: número de año intercensal.

En principio se tomaron los valores correspondientes a los censos realizados por la OCEI (actualmente INE) para las Dependencias Federales en los años 1990 y 2001, con ello se calcularon las tasas de crecimiento poblacional geométrica y aritmética. Al observar que ambas resultaron negativas lo que correspondería a un decrecimiento de la población se tomó el valor absoluto de dichos resultados, suponiendo que de mejorarse las condiciones de vida de estos espacios aumentaría la población. Posteriormente se procedió a calcular el número de habitantes para el año 2001 por ambos métodos, tomando como resultado el promedio de los mismos.

Con dicho valor, y los correspondientes al año 1990 se efectuó una regresión lineal ^[23] para estimar la población para el año 2001 en el Archipiélago Los Testigos.

$$P_i = \frac{N_i * P_f}{N_f} \quad (\text{Ec.22})$$

Donde: P_i : población de la isla Los Testigos para el censo anterior

P_f : población de la isla Los Testigos para el último censo

Asumiendo las mismas tasas de crecimiento de las Dependencias Federales, con el procedimiento anteriormente señalado se estimó la población total para el año 2006 del Archipiélago.

6.1.2.1. Carga residencial

Se estimó según las viviendas en construcción y el los espacios disponibles para ello la siguiente carga residencial.

Tabla VI. Viviendas construidas en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006

Isla / Sector	Total viviendas de madera	Total viviendas de bloque
La Iguana	7	30
Testigo Grande / Playa Los Ingleses	-	2
Testigo Grande / Playa Tamarindo	4	8
Testigo Grande / Playa Chiquita	-	6
TOTAL	11	46

Los valores reflejados en la tabla X se aproximan a la proyección de crecimiento poblacional tomando como promedio seis individuos por vivienda.

6.1.2.2. Planta desalinizadora

Una vez estimada la población futura para el Archipiélago, se estimó el volumen de agua^[24] que debería producir la planta desalinizadora a instalarse en Isla La Iguana. Para ello tomó un consumo de 250 litros/habitante por día, según cifras de la Organización Panamericana de la Salud(2005). ^[25]

$$V_p = V_c \cdot N^{\circ}hab. \quad (\text{Ec. 23})$$

Donde: V_p : Volumen de agua producida (lt/día)

V_c : Volumen de agua consumida por persona (lt/día)

$N^{\circ}hab$: Número de habitantes del Archipiélago

Finalmente para el cálculo del consumo energético diario de la plata desalinizadora se tomó como valor referencial 3kWh^[26] para producir 1m³ de agua.

6.1.2.2. Fábrica de hielo

Para la fábrica de hielo se estimó una producción diaria de 2ton/día, se tomo como consumo referencial 3.8kWh^[27] para producir una tonelada.

6.1.2.3. Alumbrado público

Para estimar en cada población los puntos de iluminación necesario se aplicó el algoritmo mostrado a continuación^[28]:

En principio se estimó el consumo mensual de alumbrado público en base a los usuarios de cada localidad.

$$CMAP = KALP \cdot UN \quad (\text{Ec. 24})$$

Donde: CMAP: Consumo mensual de alumbrado público (kWh).

KALP: Factor de alumbrado público (kWh/usuario-mes).

UN: Número de usuarios de la localidad.

Posteriormente se calculó los puntos de iluminación necesarios en cada localidad.

$$PI = \frac{(CMAP \cdot 1000)}{NHMAP \cdot PPL} \quad (\text{Ec. 25})$$

Donde: PI: Puntos de iluminación necesarios.

NHMAP: Número de horas mensuales del servicio de alumbrado público (h/mes).

PPL: Potencia nominal promedio de la lámpara de alumbrado público. (W)

6.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS

6.2.1. SOLAR

Para dimensionar el sistema fotovoltaico es necesario conocer como mínimo el promedio de horas de insolación diarias y radiación promedio mensual. Como no se cuenta con una estación meteorológica en el lugar de estudio se trabajo con datos proporcionados por el Servicio de Meteorología Sistema CLICOM, correspondientes a la estación Porlamar, ubicada a latitud: 10°55' N, longitud: 63°58' W a una elevación de 24 m.s.n.m. ^[29]. Los datos utilizados fueron radiación promedio mensual en kWh/m² correspondientes al año 2005.

6.2.2. EÓLICO

Como se mencionó anteriormente, se carece de datos del lugar de estudio, por lo que se trabajó con velocidades de viento y direcciones de dos estaciones meteorológicas de islas ubicadas en la zona norte costera del país, se asumió que presentan isotacas y características orográficas similares a las del Archipiélago, la primera corresponde a una repetidora del Aeropuerto Internacional del Caribe “Santiago Mariño”^[30], con latitud: 10.55 N, y longitud: 63.59 O, ubicado en la isla de Margarita (Edo. Nueva Esparta), para el año 2001. La segunda se ubica en la isla La Orchila, con latitud: 11.8 N, y longitud: 66.18 O, dicha data fue proporcionada por el Observatorio Cajigal y corresponde al año 2001. Las distancias horizontales fueron medidas satelitalmente mediante la herramienta Google Earth®^[31].



Fig. 20 Repetidora meteorológica del Aeropuerto Internacional “Santiago Mariño”^[41]

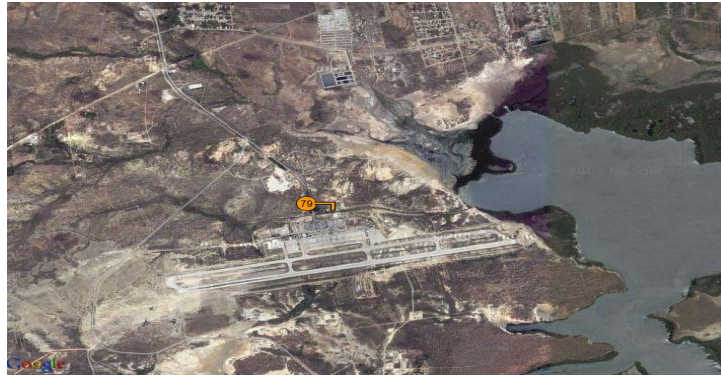


Fig. 21 Repetidora meteorológica del Aeropuerto Internacional "Santiago Mariño" ^[41]



Fig. 22 Estación meteorológica (SVLO 804050) ubicada en isla La Orchila ^[41]

Tabla VII. Distancias horizontales utilizadas para la extrapolación horizontal

Lugares	Distancia (m)
Porlamar – La Iguana	108800
La Orchila – La Iguana	340905
Porlamar – Testigo Grande	105800
La Orchila – Testigo Grande	337389

Con ambos datos se interpoló horizontalmente utilizando la ecuación 3. En vista de que los equipos podrían estar ubicados a 100 metros en Isla La Iguana se extrapoló verticalmente utilizando la ecuación 1. Para la isla Testigo Grande se efectuó el estudio a 10 y 200 m.s.n.m.

Luego se efectuó el tratamiento estadístico y probabilístico de los datos mencionados en el marco referencial, en Excel mediante la herramienta Análisis de datos – Histogramas se obtuvo la frecuencia acumulada, con la que se calculó los parámetros de Weibull usando el método de mínimos cuadrados. Posteriormente se procedió a la construcción de los histogramas mensuales y anuales de frecuencia relativa de velocidad de viento, y se comparó

con las respectivas distribuciones de weibull. También se construyó curvas temporales mensuales y diarias promedios de las velocidades de viento.

Posteriormente los resultados fueron comparados con los obtenidos utilizando el software para análisis del recurso eólico Windograopher® ^[32] proporcionado de manera gratuita en versión de prueba por la compañía estadounidense Mistaya Engineering inc.

6.3. PRE-SELECCIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

En vista de que no se tienen mediciones de velocidades de viento en el lugar de estudio, y que la data utilizada corresponde a extrapolaciones e interpolaciones efectuadas con datos de estaciones meteorológicas ubicadas en la zona norte costera del país se asumirán perfiles horizontales de viento constantes en todo el Archipiélago, de manera que sólo se tomará la variación de el perfil vertical en función a la altura.

6.3.1. Método analítico de las jerarquías para la selección del lugar de emplazamiento

Estimación de la importancia relativa de los factores

Consiste en determinar la importancia jerárquica de aquellos factores que influirían en la decisión de localización de la nueva planta

► Definición de criterios técnicos primarios (factores)

Ingeniería

- Evidencia cualitativa de la disponibilidad del recurso (Elevada velocidad media).
- Perfil topográfico favorable.
- Disponibilidad del terreno.
- Facilidad de vías de acceso (existentes o para posible construcción).

Infraestructura

- Condiciones de disponibilidad de energía primaria

- Infraestructura eléctrica existente
- Cercanía a la población
- Impacto al ecosistema
- Impacto visual y sonoro

► **Selección de factores influyentes en la decisión**

De todos aquellos criterios técnicos primarios aplicados a proyectos similares, se seleccionaron aquellos de aplicación directa a los casos de estudio.

► **Comparación por pares de atributos: arreglo matricial**

Para la comparación matricial por pares de atributos se efectuó una escala numérica de comparación

Igualmente favorable: 1

Moderadamente preferible: 3

Fuertemente preferible: 5

Posteriormente se efectuó la comparación matricial, se normalizaron los términos de la matriz, y finalmente se halló el promedio para cada factor, lo que reflejó la importancia relativa de los atributos o factores.

► **Estimación de importancia relativa de las localizaciones con respecto a los factores ponderados**

Se efectuó el análisis anterior comparando las localidades para cada factor ponderado, obteniendo así la importancia relativa de las localizaciones para cada factor. Finalmente se unieron los resultados obtenidos asociados a cada factor en un arreglo matricial, y se efectuó la suma de las ponderaciones correspondientes a cada localización, donde aquella que presentó mayor ponderación resultó la opción más atractiva como posible lugar de emplazamiento.

6.4. VIABILIDAD ECONÓMICA DE LOS SISTEMAS HÍBRIDOS ANALIZADOS

La preselección del tipo de fuente alternativa renovable de energía se efectuó mediante el método analítico de jerarquías.

► **Definición de criterios técnicos primarios (factores)**

- Disponibilidad de terreno.
- Costo por energía.
- Operación y mantenimiento.
- Confiabilidad de los sistemas.
- Facilidad de instalación y transporte
- Energía disponible en caso de crecimiento de la demanda.
- Facilidad de instalación y transporte.
- Energía disponible en caso de crecimiento de la demanda.

Posteriormente, se optimizó la arquitectura del sistema híbrido recomendado, el cual resultó ser eólico diesel.

El análisis económico para los sistemas eólicos-diesel se subdividió en cinco casos:

1. Isla La Iguana: sistema híbrido eólico – diesel de alta penetración³.
2. Testigo Grande, sector Playa Los Ingleses: sistema híbrido eólico – diesel de alta penetración.
3. Testigo Grande, sector Playa Tamarindo: sistema híbrido eólico – diesel de alta penetración.
4. Testigo Grande, sector Playa Chiquita: sistema híbrido eólico – diesel de alta penetración.
5. Testigo Grande: sistema de generación concentrado híbrido eólico – diesel de alta penetración.

³ Penetración eólica promedio se define como la energía eólica producida entre la demanda de energía primaria.

Para analizar la rentabilidad de cada uno de los sistemas se utilizaron los programas HOMER^[33] e HYBRID2^[34] desarrollados por el NREL (National Renewable Energy Laboratory).

HOMER estima cual es la cantidad de equipos necesarios para que un sistema cumpla con criterios establecidos por el usuario, tal como fracción mínima de energía renovable deseada, estrategia de despacho, mínimo radio de carga del generador.

Los datos de entrada necesarios para su uso son características técnicas y económicas de los equipos que se utilizan en el estudio, características de la demanda, y de los recursos energéticos; sin embargo, los datos meteorológicos y curva de carga son asumidas constantes para todo el año.

HYBRID2 utiliza herramientas estadísticas y además permite un mayor rango de valores de entrada en los datos, por lo que arroja resultados más exactos, así como una evaluación económica más amplia del proyecto ya que incluye costos asociados a instalación y transporte de equipos, entre otros.

Con el uso de ambos modelos se efectuó el flujo de caja, con lo que se obtuvo el VPN y TIR para cada caso analizado, lo que permitió escoger la alternativa económicamente más factible.

A continuación se presentan los costos asociados al sistema de generación utilizados para las simulaciones antes mencionadas.

Tabla VIII. Variables económicas utilizadas para el estudio económico^[35]

Vida útil del proyecto (años)	25
Tasa de interés anual	3%
Costo internacional PDVSA Diesel (\$/lt)	0.326976
Costo nacional del combustible para proyectos subsidiados por PDVSA (\$/lt)	0.00223
Tasa de interés activo/ tasa de descuento	6%
Tasa de inflación general	3%

Tabla IX. Costos asociados a los sistemas de control según la penetración de las energías renovables para el estudio económico^[35]

Penetración FARE	Baja	Media	Alta
Control Diesel	\$20,000	\$45,000	\$45,000
Extensión de líneas	\$40,000	\$40,000	\$40,000
Contenedor Aislado	\$25,000	\$25,000	\$25,000
Carga vacía con controlador	\$0	\$20,000	\$30,000
Control supervisor	\$0	\$0	\$50,000
Instalación y transporte	\$25,000	\$35,000	\$45,000
TOTAL	\$110,000	\$165,000	\$235,000

Tabla X. Costos asociados a los aerogeneradores utilizados para el estudio económico^{[35],[36],[37]}

Fabricante	Bergey	Jacobs	Fuhrlander	Atlantic Orient Corp.	Fuhrlander	Fuhrlander
Modelo	Excel S	29-20	FL-30	EEC_AOC_15-50	FL-100	FL-250
Potencia (kW)	10	20	30	50	100	250
Turbina y Torre	\$32,546	\$26,160	\$90,000	\$90,000	\$232,000	\$451,000
Instalación	\$20,691	\$31,362	\$40,000	\$50,000	\$54,500	\$111,000
Transporte	\$10,345	\$15,681	\$20,000	\$25,000	\$38,500	\$71,000
Fundación	\$19,400	\$29,400	\$37,500	\$100,000	\$90,000	\$132,000
Operación y mantenimiento	\$2000	\$3,000	\$4,000	\$3,000	\$5,000	\$7,000
TOTAL COSTOS DE CAPITAL (\$)	\$82,982	\$102,603	\$191,500	\$268,000	\$420,000	\$772,000

Tabla XI. Costos asociados a los generadores diesel utilizados para el estudio económico^{[35],[38]}

Fabricante	Mitsubishi	Isuzu	John Deere	John Deere	John Deere	Generic	Cummins	Cummins	Detrit Diesel Series	Cummins
Modelo	SKU 55	AG20	XJ40-2	AG 55	MJ60 UL	-	LTA10G1	LTA10G1	60	LTA10G1
Potencia (kW)	11	20	40	50	60	125	175	203	207	397
Costo equipo	\$17,400	\$25,300	\$38,000	\$43,280	\$48,284	\$75,000	\$110,000	\$125,000	\$125,000	\$240,000
Operación y mantenimiento (\$/hr)	0.6	1	1.5	1.73	2	3	4	5	5	10

CAPÍTULO 7: CARACTERIZACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO ACTUAL EN EL ARCHIPIÉLAGO LOS TESTIGOS

La ubicación geográfica, así como las características del asentamiento de la población debido a la dispersión de los espacios conlleva a que el consumo eléctrico actualmente esté distribuido no uniformemente. La disponibilidad de recursos e ingresos propios de los habitantes determinan la capacidad energética del asentamiento rural donde se encuentren.

7.1. ISLA LA IGUANA

7.1.1. Sistema de generación

El equipo de generación STAMFORD cuyos datos de placa se muestran en la tabla 9 se encuentra ubicado en la casa de máquinas de la Estación de Guardacostas de la Armada, siendo el personal de este cuerpo los encargados de hacerle mantenimiento al mismo. El mantenimiento preventivo se efectúa cada quinientas horas de operación continua y consiste en un cambio de aceite, radiador y filtro, y el mantenimiento general (overhaul) que se efectúa cada cinco mil horas, y consiste en el cambio de pitones, conchas, balancines y anillos. Hasta los momentos el equipo ha presentado daños en la bomba de inyección, alternador y radiador. Adicionalmente se encuentra inoperativo desde hace más de un año un generador Cummins, modelo 4B 3.9 GS/GC de 46kVA a factor de potencia 0.8. Cuando ambas unidades operan, la primera se encarga de abastecer al pueblo, y la última sólo a la Estación de Guardacostas, no obstante, en estos momentos el equipo STAMFORD suple la demanda de toda la isla incluyendo a la Estación de Guardacostas.

Tabla XII Datos de Placa de la planta generadora del Comando de Guardacostas

MARCA	NEWAGE
POTENCIA APARENTE (Kva)	92
POTENCIA ACTIVA (KW)	73.6
FRECUENCIA (HZ)	60
RPM	1800
VOLTAJE (VAC)	240 / 139
FASES	3
FACTOR DE POTENCIA	0.8
VOLTAJE DE EXCITACIÓN (V)	40
AMPERAJE DE EXCITACIÓN (A)	2
MÁXIMA TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	40
AISLANTE TIPO	H
USO (h/día)	24
CONSUMO DE DIESEL (lt/día)	200



Fig. 23 Placa del Generador Diesel del Comando de Guardacostas – Isla La Iguana

El combustible utilizado por las unidades generadoras es gasoil, el cual es adquirido por la Armada en los estados Sucre o Nueva Esparta, y transportado al Archipiélago, donde existe una capacidad total de almacenamiento de 14000lt. La descarga de combustible se realiza desde las embarcaciones a tierra firme a través de una manguera de 2^{1/2} pulgadas que frecuentemente se rompe y ocasiona derrames.

La población de isla La Iguana no paga por la prestación del servicio, sólo ocasionalmente hacen aportes en caso de averías de la planta.

7.1.2. Red de distribución

El tendido eléctrico data de 30 años, aunque ha sufrido modificaciones debido a la conexión de nuevas cargas. El último reacondicionamiento se realizó en el año 2005 por ELEORIENTE, en él se efectuó un reemplazo de los aisladores, e interruptores del alumbrado público.

No hay control de la carga conectada o a conectarse. La conexión de la red es directa al generador. En cuanto a las características técnicas de la misma sólo se puede mencionar que el voltaje es 220/110 VAC, la red cuenta con 20 postes de concreto/madera, 11 de ellos llevan las tres fases y un neutro, y los 9 restantes llevan 2 fases y un neutro. Según los habitantes el nivel de tensión no se ve afectado regularmente, inclusive para las viviendas más alejadas. Señalaron que sólo cuando hay poco combustible para el generador ocurren bajas en el nivel de tensión, siendo un indicador de ello la tenuidad del alumbrado en las viviendas, a lo que proceden con la desconexión inmediata de la nevera, freezer y electrodomésticos de poco uso.



Fig. 24 Red de distribución y alumbrado público – Isla La Iguana

7.1.3. Caracterización de la demanda

7.1.3.1. Consumo actual

Carga residencial

Se pudo observar que el consumo fue mayor para la vivienda de bloque; sin embargo, el comportamiento temporal de la carga para ambos casos fue similar, en general se presentaron tres picos de demanda, uno en horas de la mañana y medio día /tarde, donde las amas de casa se encuentran realizando labores domésticas, y en horas de la tarde cuando todo el grupo familiar retorna a la vivienda, siendo éste último el pico más alto.

En ambas curvas se observa un aumento en la demanda alrededor de las 2pm, este aumento no es representativo de un valor promedio semanal o mensual, y se debe al encendido repentino de algún electrodoméstico que consuma una potencia considerable, comparada con los valores comúnmente típicos para esta carga.

Como bien es conocido, la actividad pesquera es la determinante de la fuerza laboral en el Archipiélago, siendo en ocasiones todos los miembros del grupo familiar participantes de dicha faena. Este es un factor determinante en la demanda temporal residencial, pues las variaciones o picos súbitos en la demanda estarán sujetos a las actividades desarrolladas por las amas de casa, quienes harán uso del servicio en por lo menos un 70% de horas al día.



Fig. 25 Vivienda de madera bifamiliar –
Isla La Iguana



Fig. 26 Vivienda de bloques –
Isla La Iguana

Estación secundaria de Guardacostas

Es la mayor carga de la isla, se considerará como carga primaria. Los aumentos súbitos en la demanda se deben principalmente al encendido y apagado de los faros y la bomba de agua, siendo ésta última utilizada cada tres días.



Fig. 27 Estación de Guardacostas isla La Iguana

Ambulatorio

El ambulatorio se encuentra en el área de la Estación de Guardacostas, y su consumo es prácticamente constante de alrededor de 1kWh; los picos presentados en la curva de carga corresponden al uso del esterilizador, siendo éste el único equipo médico que posee el ambulatorio y requiere energía eléctrica.



Fig. 28 Ambulatorio de la Estación de Guardacostas isla La Iguana

Escuela

La escuela presenta un consumo prácticamente constante en dos intervalos, el de consumo el comprendido entre las 7am y 1pm, el cual es el turno único de la institución. Luego de culminadas las actividades sólo permanecen en servicio los equipos de refrigeración de alimentos. En la escuela se encuentra con un sistema fotovoltaico que alimenta la sala de computación.



Fig. 29 Escuela en isla La Iguana

7.1.3.2. Curvas de carga

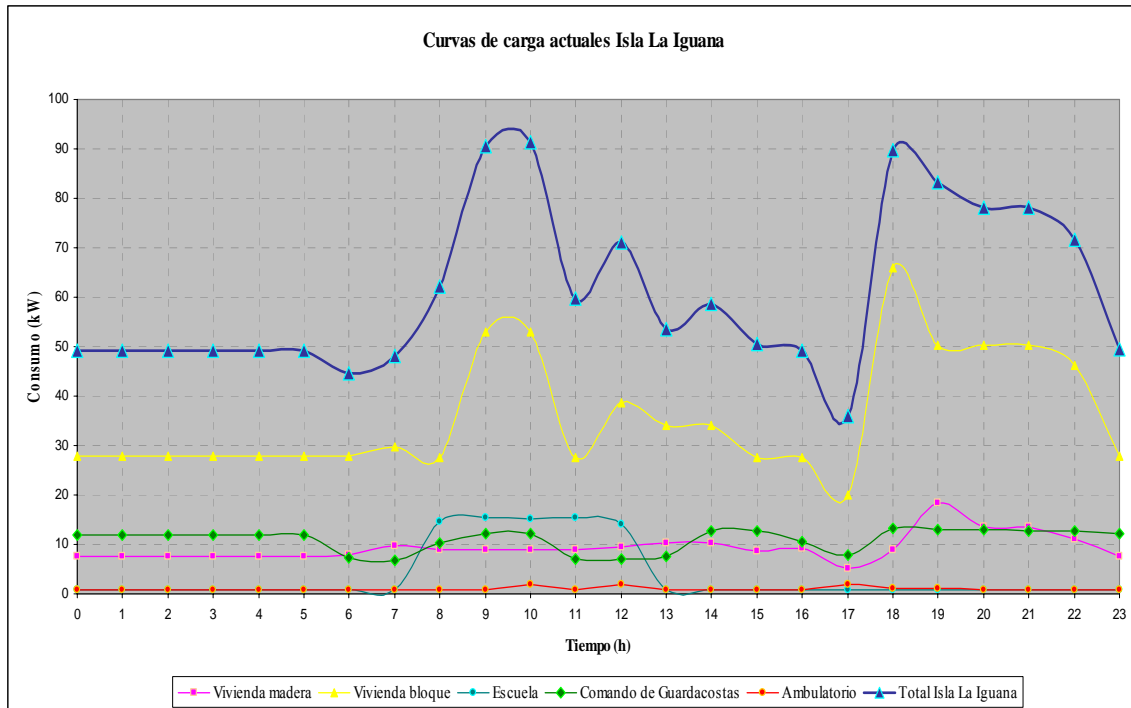


Fig. 30 Curvas de carga – Isla La Iguana

7.1.3.3. Estimación del consumo de cargas futuras

Enmarcados en la política para el desarrollo de las ZEDES, ajustado a las necesidades establecidas por los futuros usuarios del servicio eléctrico, se realizó la siguiente proyección de cargas futuras:

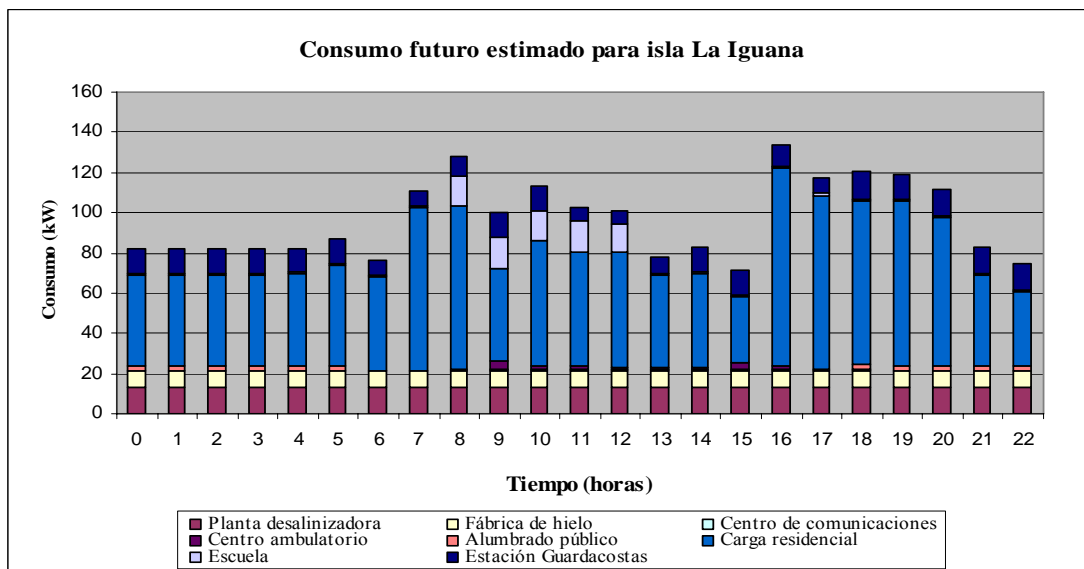


Fig. 31 Consumo futuro estimado para isla La Iguana

7.2. ISLA TESTIGO GRANDE

7.2.1. Sistema de generación

Es fundamental entender y diferenciar la problemática de esta isla con respecto al resto. En Testigo Grande la carga es totalmente residencial. Existen tres asentamientos rurales separados entre si aproximadamente unos 700m, lo que aunado a la falta de un sistema de generación con suficiente capacidad, obliga a la población de cada uno de estos sectores a tener su propia planta de generación. Ésta situación dificulta la obtención de una característica temporal de la demanda en la zona. Es importante señalar que el servicio eléctrico funciona en un horario regulado por el operador de la planta en casa sitio, que suele ser entre 5pm y 10pm, o de acuerdo a las necesidades energéticas que presenten los habitantes en un momento determinado. Los gastos de operación y mantenimiento, inclusive en algunos casos la compra de los equipos corre por cuenta de los usuarios.

7.2.1.1. Sector El Tamarindo

El generador diesel del sector fue donado por PDVSA hace dos años y es operado por los beneficiarios del servicio. El mantenimiento general del equipo debe realizarse cada 5000 horas, por lo que su primer mantenimiento general aún no se ha efectuado.

Tabla XIII. Datos de Placa de la planta generadora Sector El Tamarindo

MARCA	FG WILSON
POTENCIA APARENTE (kVA)	44
POTENCIA ACTIVA (KW)	44
FRECUENCIA (HZ)	60
RPM	1800
VOLTAJE (VAC)	240 / 139
FACTOR DE POTENCIA	1
VOLTAJE DE EXCITACIÓN (V)	28
AMPERAJE DE EXCITACIÓN (A)	1
MÁXIMA TEMPERATURA AMBIENTE (°C)	27
AISLANTE TIPO	H
USO (h/día)	5
CONSUMO DE DIESEL (lt/día)	50

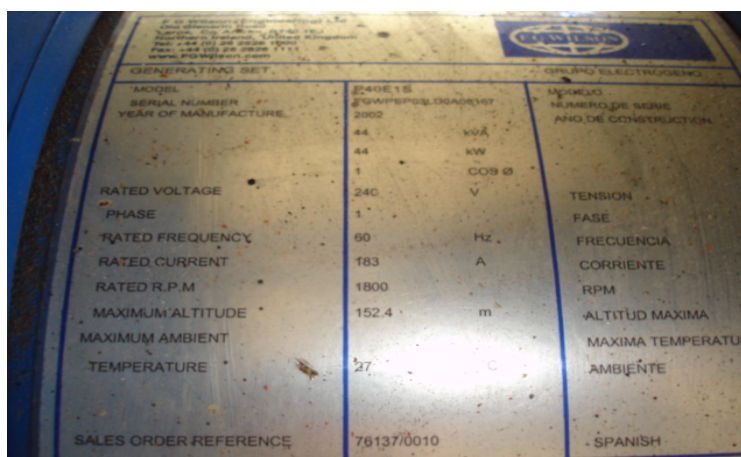


Fig. 32 Placa del Generador Diesel – Sector El Tamarindo

En el sector también existe un pequeño generador eólico reacondicionado para cargar las baterías de los peñeros (Ver Fig. A4), así como paneles solares en una proporción de 15:1 familia, y baterías utilizadas para alimentar equipos de comunicación, sonido, inclusive la refrigeración de alimentos.

7.2.1.2. Sector Playa Los Ingleses

Consta de un generador portátil que abastece la demanda de las únicas tres viviendas del sector. Tiene un año de operación en la isla. La carga se encuentra conectada a él de forma monofásica a 120V.

Tabla XIV. Datos de Placa de la planta generadora Playa Los Ingleses

MARCA	TOYAMA
MODELO	T6500F
POTENCIA APARENTE (kVA)	5.5
VOLTAJE (VAC)	240 / 139
USO (h/día)	16



Fig. 33 Generador Diesel – Sector Playa Los Ingleses

7.2.1.2. Sector Playa Chiquita

Consta de un generador portátil que abastece a la familia que habita en dos de las viviendas del sector, y que hacen uso del equipo de generación para algunas aplicaciones puntuales domésticas.

Tabla XV. Datos de Placa de la planta generadora Playa Chiquita

MARCA	DOMOPOWER
MODELO	GP950FX
POTENCIA APARENTE (VA)	750
VOLTAJE (VAC)	115



Fig. 34 Generador Diesel – Sector Playa Chiquita

7.2.2. Red de distribución

Se desconoce el año de instalación de la red, no se cuenta con un levantamiento de la red, ni control de la carga conectada. También fue acondicionada por ELEORIENTE el año pasado. En cuanto a las características técnicas de la misma sólo se conoce que la conexión al generador, con un voltaje de 220/110, se estima que la longitud del tendido es de 500 metros.

7.2.3. Caracterización de la demanda

7.2.3.1. Consumo actual

Actualmente el horario de prestación de servicio de los diferentes asentamientos está restringido al siguiente intervalo: 5pm hasta las 11pm aproximadamente.

7.2.3.2. Curva de Carga

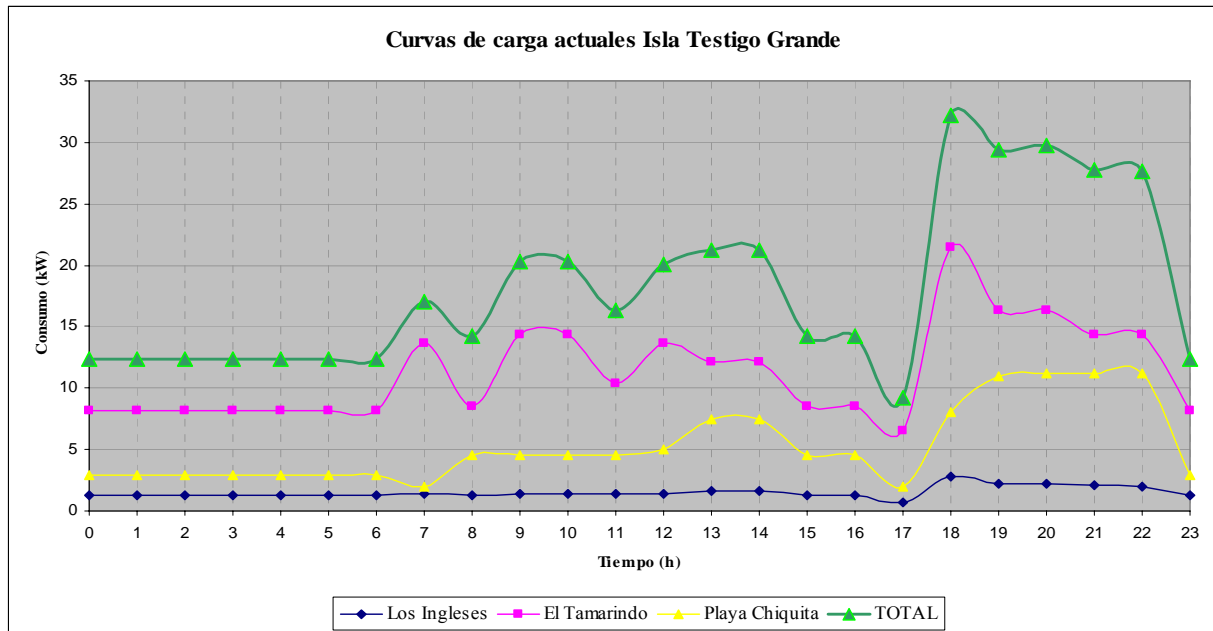


Fig. 35 Curva de carga actual de la isla Testigo Grande caracterizada por sectores

7.2.3.3. Estimación de consumo de posibles cargas futuras

Enmarcados en la política para el desarrollo de las ZEDES, ajustado a las necesidades establecidas por los futuros usuarios del servicio eléctrico, se realizó la siguiente proyección de cargas futuras:

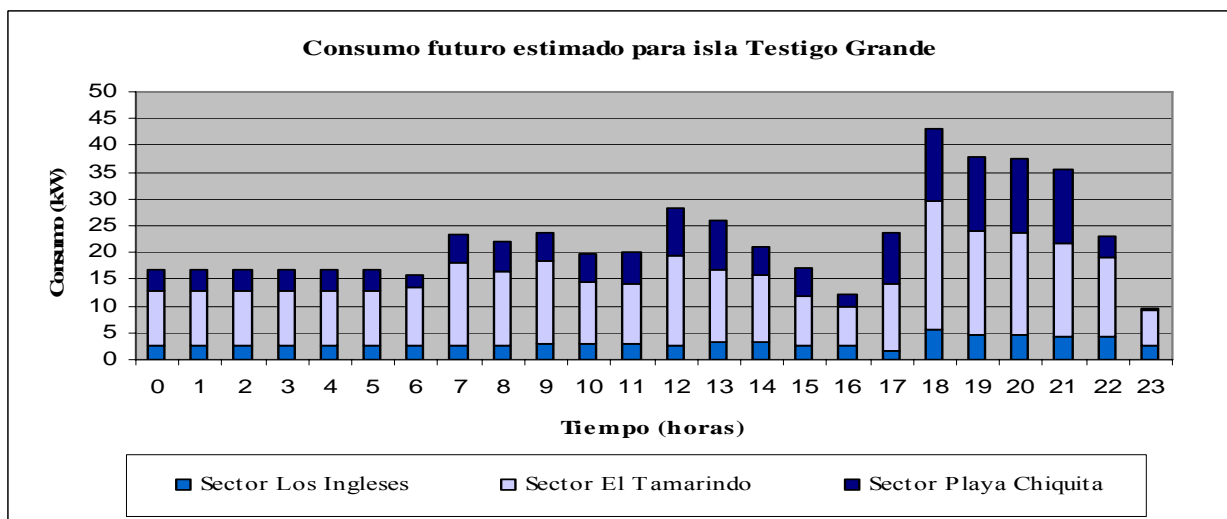


Fig. 36 Consumo futuro estimado para isla Testigo Grande caracterizada por sector

CAPÍTULO 8: CARACTERIZACIÓN DE LOS RECURSOS ENERGÉTICOS

8.1. SOLAR

La ubicación geográfica de Venezuela, así como la ausencia de cambios climáticos a lo largo del año hacen de ella una zona propicia para el aprovechamiento del recurso solar. A lo largo del territorio se observa una radiación promedio desde 4.4 hasta 6.7 kWh/m². [39]

Debido a la inexistencia de data en el sitio de estudio se utilizaron los datos correspondientes al Resumen Climatológico del año 2004 del sistema CLICOM para la estación meteorológica ubicada en Porlamar con una latitud de 10.91N y una longitud de 58.96 O, a 24 m.s.n.m.

Tabla XVI. Radiación promedio - Porlamar

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Radiación promedio año 2004 (kWh/m²)	5.31	5.65	6.01	5.55	5.15	5.3	5.12	5.48	5.11	4.91	4.61	4.89
Radiación promedio año 2005 (kWh/m²)	4.47	4.91	5.83	5.5	4.93	4.85	4.48	5.01	5.77	4.55	4.12	4.16

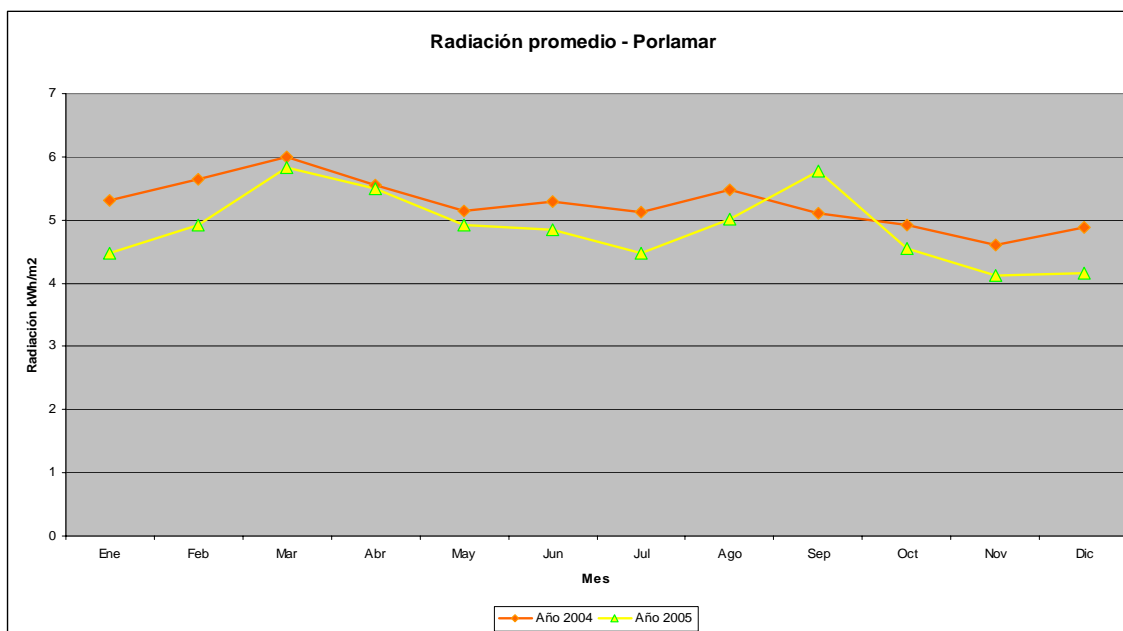


Fig. 37 Radiación promedio mensual para los años 2004 y 2005

Tabla XVII. Insolación promedio – Porlamar

MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Insolación promedio año 2004 (hr)	8	9	9.8	9.5	7.5	7.8	8.7	9.3	8.9	8.7	8.2	8
Insolación promedio año 2005 (hr)	7	8.1	10.6	9.3	10.2	8.7	8.5	10.2	8	9.3	7.9	8.2

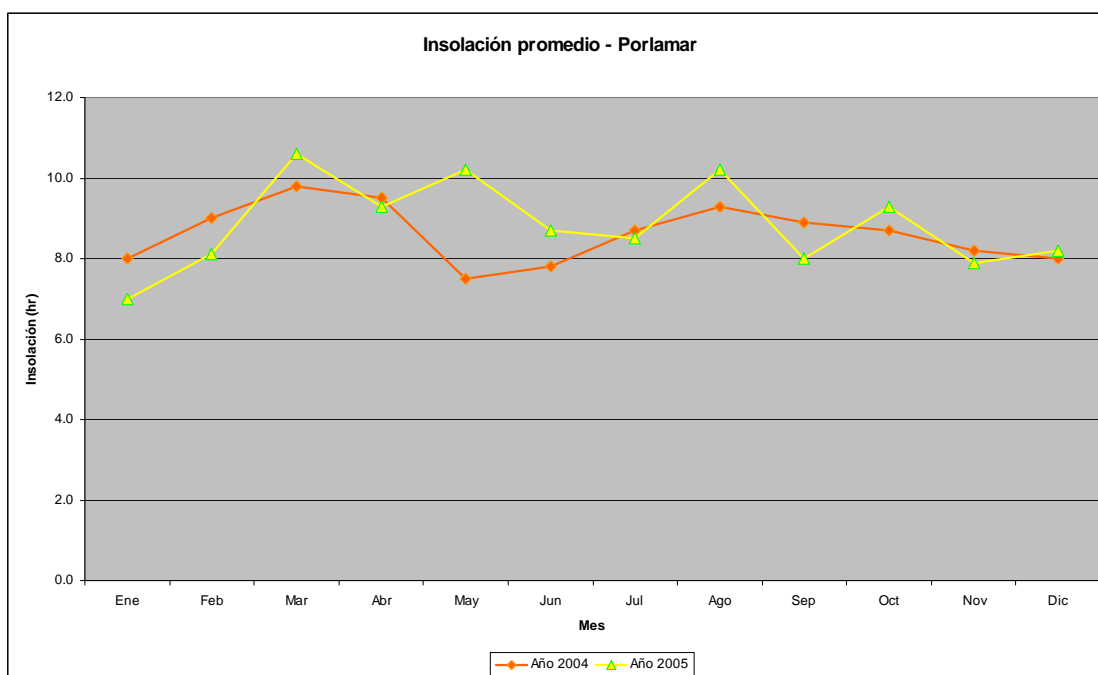


Fig.38 Insolación promedio mensual para los años 2004 y 2005

El comportamiento del recurso solar a grandes rasgos se caracterizó por una radiación de 5.22 kWh/m² y una insolación media de 8.6 h/día para el año 2004 y 4.88 kWh/m² y 8.8h/día para el año 2005.

8.2. EÓLICO

Debido a la ubicación geográfica del Archipiélago, en este se observa claramente la influencia de los vientos alisios, lo que se observa claramente en las isotacas correspondientes a la zona norte costera del país. Por las características orográficas del lugar se puede decir que el Archipiélago se asemeja como un sitio para el aprovechamiento del recurso por la incidencia directa del mismo. Como se mencionó la metodología utilizada para el cálculo de las velocidades de viento en el sitio de estudio se basó en modelos matemáticos debido a la inexistencia de mediciones efectuadas. Las direcciones de viento utilizadas correspondieron a las registradas por la repetidora del Aeropuerto Internacional Santiago Mariño.

Convencionalmente se efectúa el estudio del recurso eólico a una altura de 10m sobre el nivel de suelo, ya que generalmente el rotor de los equipos se encuentra ubicado a alturas entre 25 y 50m aproximadamente; sin embargo, se estima que por las características orográficas en el sitio de estudio es posible la instalación de aerogeneradores en una superficie ubicada a 100 m.s.n.m. para el caso de Isla La Iguana. Por ello se consideró el análisis del recurso a dicha altura. Lo que ofrecería mayor precisión en cuanto a la posible producción de energía.

De las series de tiempo se observó que las velocidades de viento horarias se obtuvo un máximo de 6.45m/s, un mínimo de 4.32m/s y un promedio de 5.49m/s @ 10m, y un máximo de 9.57m/s, un mínimo de 6.47m/s y un promedio de 8.13m/s @ 100m, lo que coincide con estudios anteriormente efectuados para islas de características similares ubicados en la zona norte costera del país.^{[19], [40]}

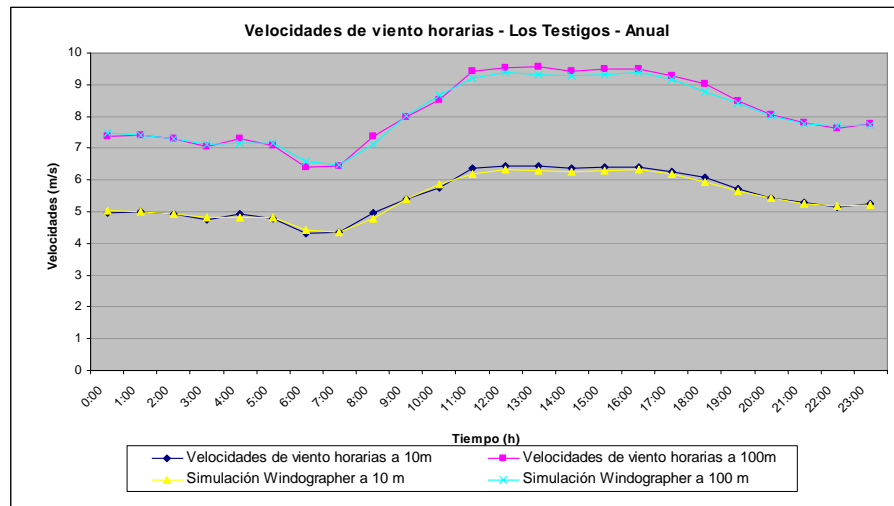


Fig. 39 Velocidades de viento horarias – Archipiélago Los Testigos – 2001

En cuanto al comportamiento anual se observó mayores velocidades de viento a partir del mes de Febrero, y hasta el mes de Julio donde se registraron velocidades entre 7.2 y 9.6 m/s @ 10m, y 10.2 y 14.4 m/s @ 100m. Durante los restantes meses del año se observó un comportamiento similar, presentando velocidades de 5 m/s @ 10m y 7m/s @ 100m.

Tabla. XVIII Velocidades de viento promedio para el año 2001 – Archipiélago Los Testigos

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Velocidad (m/s) @ 10m	4.82 3	5.124 8	7.303 2	6.788 1	6.65 2	6.138 3	4.974 9	4.730 3	4.768 5	4.635 6	4.874 4	4.55 4
Velocidad (m/s) @ 100m	7.15 3	7.6	10.83 8	10.06 6	9.86 4	9.103	7.379	7.016	7.073	6.876	7.23	6.75 5

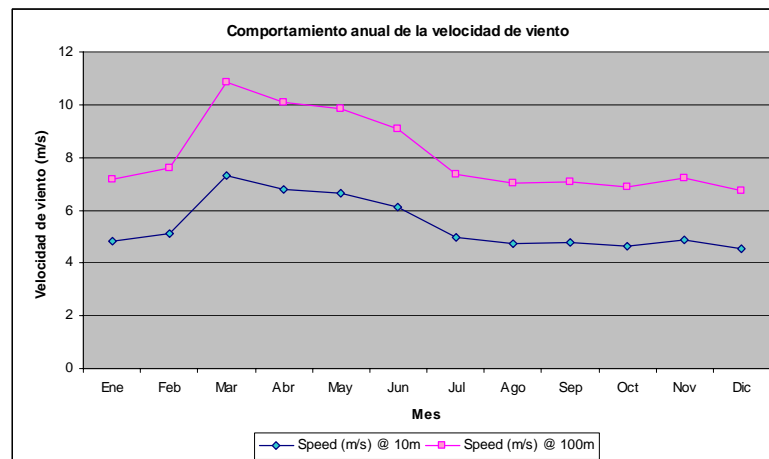


Fig. 40 Velocidades de viento horarias – Archipiélago Los Testigos - 2001

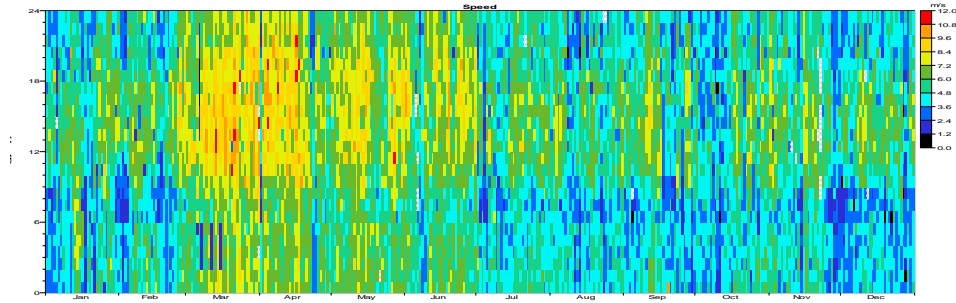


Fig. 41 DMAP de velocidades de viento a 10 m – Archipiélago Los Testigos – 2001

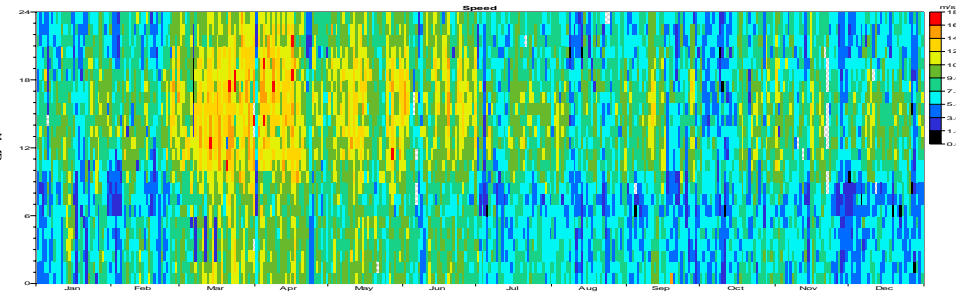


Fig. 42 DMAP de velocidades de viento a 100 m – Archipiélago Los Testigos – 2001

El análisis estadístico se efectuó a para la data a 10 y 100m respectivamente utilizando la metodología anteriormente expuesta. De igual forma se efectuó el análisis utilizando la herramienta Windographer®, para comparar los resultados obtenidos.

Tabla XIX. Parámetros de Weibull anuales – Archipiélago Los Testigos - 2001

	Parámetros de Weibull		Parámetros de Weibull calculados por Windographer®	
	Parámetro de forma (k)	Parámetro de escala (c en m/s)	Parámetro de forma (k)	Parámetro de escala (c en m/s)
@ 10 m	3.43	6.05	3.42	6.06
@ 100 m	3.47	8.92	3.42	8.99

Como se pudo observar existe una discrepancia en los resultados en el segundo decimal, esto se puede deber a que en la data anual existen 23 valores de velocidades de viento que exceden los 21 m/s y pueden corresponder a ráfagas de viento. Por ello fue necesario acotar las velocidades de viento entre 0 y 12 m/s para el análisis a 10m y entre 0 y 19 m/s a 100m en el software mencionado, del cual se desconoce el tratamiento dado para estos valores extremos, lo que pudo influir en la diferencia decimal obtenida.

A continuación se muestran los histogramas de frecuencia de velocidades de viento así como la distribución de Weibull correspondiente al análisis estadístico para 1 año 2001 a 10 y 100m respectivamente. Se efectuó la comparación entre los resultados obtenidos de tratamiento estadístico efectuado en Excel® mediante la herramienta “Análisis de datos Histograma” con los obtenidos mediante Windographer®

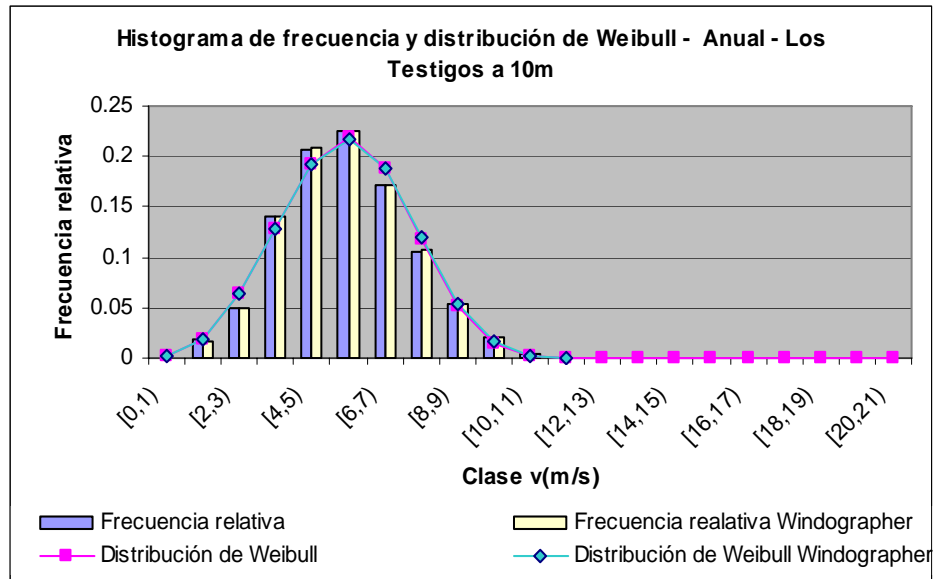


Fig. 43 Histogramas de frecuencia y distribución de Weibull – Archipiélago Los Testigos – 2001

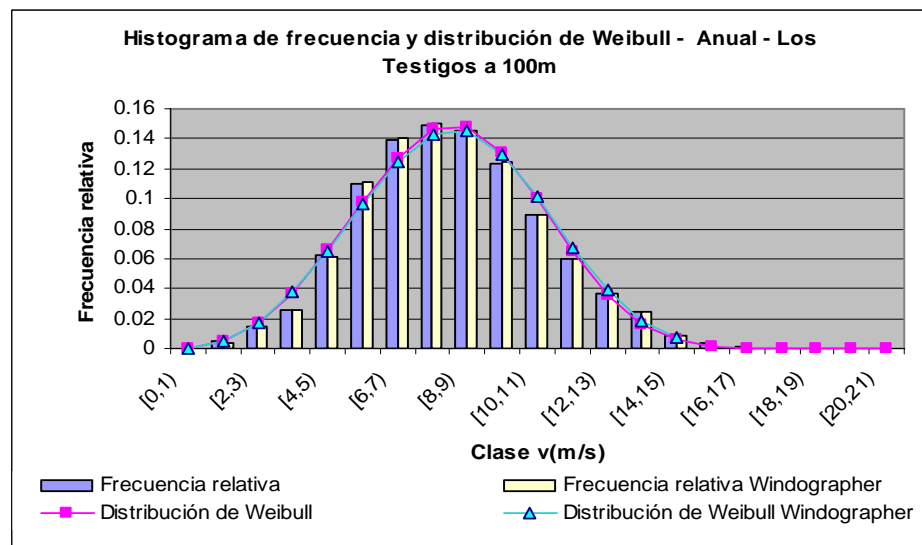


Fig. 43 Histogramas de frecuencia y distribución de Weibull – Archipiélago Los Testigos – 2001

En la visita de campo utilizando métodos de visualización de efectos del viento sobre la vegetación (flag tree) se observó que los vientos predominantes provienen del Nor-Este, a diferencia del patrón de la estación meteorológica del aeropuerto Santiago Mariño donde se observa que un 66% de los vientos provienen de la zona Norte.



Fig. 45 Flag – tree. Efecto de la incidencia del viento sobre la vegetación



Fig. 46 Incidencia del viento sobre la vegetación playa El Tamarindo hacia Barlovento

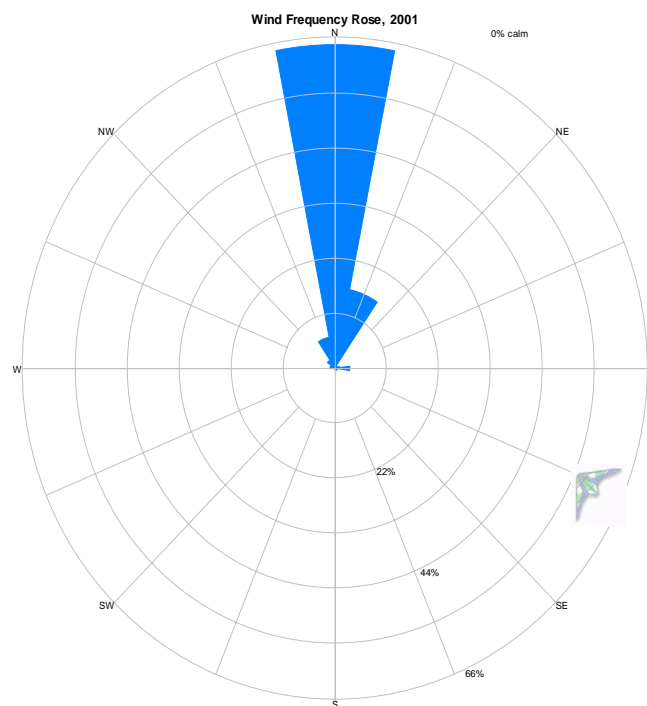


Fig. 47 Rosa de vientos – Frecuencia de incidencia de vientos según su orientación – Porlamar

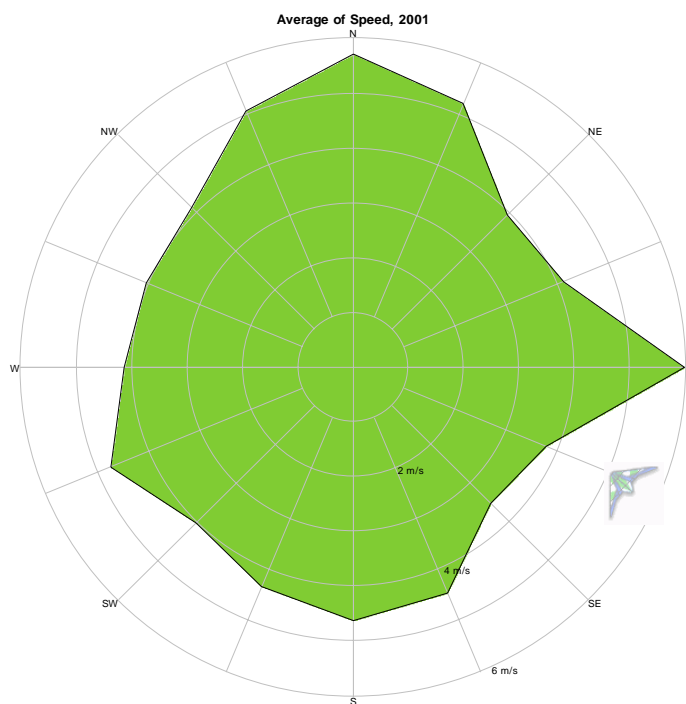


Fig. 48 Rosa de vientos – Orientación de as velocidades de viento – Porlamar – Los Testigos

CAPÍTULO 9: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE GENERACIÓN

9.1. PRESELECCIÓN DE FUENTES ALTERNATIVAS RENOVABLES DE ENERGÍA PARA SER COMPLEMENTADA POR GENERACIÓN DIESEL DE POSIBLE APLICACIÓN EN EL ARCHIPIÉLAGO: *Método analítico de las jerarquías*

Dada la diversidad de fuentes alternativas renovables de energía desarrolladas hasta el momento, a partir de los datos adquiridos durante la visita de campo, y los estimados mediante la manipulación de la data proporcionada por las estaciones meteorológicas más cercanas al Archipiélago.

► Estimación de la importancia relativa de los factores: *Criterios técnicos primarios*

Tabla. XX Factores ponderables

INDICADOR	CRITERIO
F1	Disponibilidad del recurso
F2	Costo por energía
F3	Operación y mantenimiento
F4	Confiabilidad de los sistemas
F5	Facilidad de instalación y transporte
F6	Energía disponible en caso de crecimiento de la demanda

► Escala de comparación por pares de factores

Igualmente favorable: 1

Moderadamente preferible: 3

Fuertemente preferible: 5

► Estimación de importancia relativa de atributos

Tabla. XXI Ponderación de los factores

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
F1	0	3	5	3	5	3
F2	0,33333	0	3	1	3	5
F3	0,2	0,33333	0	1	1	1
F4	0,33333	1	1	0	5	3
F5	0,2	0,33333	1	0,2	0	3
F6	0,33333	0,2	1	0,33333	0,33333	0
Suma	0,86667	4,33333	11	5	14,3333	15

Tabla.XXII Importancia relativa de los factores

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	Suma	Promedio
F1	0	0,61644	0,45455	0,54217	0,34884	0,2	2,16198969	0,36033162
F2	0,2381	0	0,27273	0,18072	0,2093	0,33333333	1,23418106	0,20569684
F3	0,14286	0,06849	0	0,18072	0,06977	0,06666667	0,52850729	0,08808455
F4	0,2381	0,20548	0,09091	0	0,34884	0,2	1,08332099	0,1805535
F5	0,14286	0,06849	0,09091	0,03614	0	0,2	0,53840396	0,08973399
F6	0,2381	0,0411	0,09091	0,06024	0,02326	0	0,453597	0,0755995
Suma	1	1	1	1	1	1	6	1

► Posibilidades de aplicación de tecnologías en el Archipiélago Los Testigos

Tabla.XXIII Fuentes Alternativas Renovables de Energía

INDICADOR	Fuente Alternativa Renovable de Energía
E1	Biomasa
E2	Biocombustible
E3	Hidráulica
E4	Mareomotriz
E5	Geotérmica
E6	Fotovoltaica
E7	Eólica

► **Aplicación de F.A.R.E.S. con respecto al factor F1**

Tabla. XXIV Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F1

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	1	5	0,2	5	0,2	0,2
E2	1	0	5	0,2	5	0,2	0,2
E3	0,2	0,2	0	0,2	1	0,2	0,2
E4	5	5	5	0	5	1	1
E5	0,2	0,2	1	0,2	0	0,2	0,2
E6	5	5	5	1	5	0	1
E7	5	5	5	1	5	1	0
Suma	16,4	16,4	26	2,8	26	2,8	2,8

Tabla. XXV Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F1

[illegible]

► **Aplicación de F.A.R.E.S. con respecto al factor F2**

Tabla.XXVI Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F2

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	0,33	5	3	5	0,2	0,2
E2	3	0	5	3	5	0,2	0,2
E3	0,2	0,2	0	0,2	1	0,2	0,2
E4	0,33	0,33	5	0	1	0,2	0,2
E5	0,2	0,2	1	1	0	0,2	0,2
E6	5	5	5	1	5	0	0,2
E7	5	5	5	1	5	5	0
Suma	13,7	11,1	26	9,2	22	6	1,2

Tabla.XXVII Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F2

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Suma	Promedio
E1	0	0,03	0,192	0,326	0,227	0,03	0,167	0,97579	0,13939827
E2	0,22	0	0,192	0,326	0,227	0,03	0,167	1,16411	0,166302
E3	0,01	0,02	0	0,022	0,045	0,03	0,167	0,29983	0,04283272
E4	0,02	0,03	0,192	0	0,045	0,03	0,167	0,49215	0,07030779
E5	0,01	0,02	0,038	0,109	0	0,03	0,167	0,37979	0,05425608
E6	0,36	0,45	0,192	0,109	0,227	0	0,167	1,51083	0,21583252
E7	0,36	0,45	0,192	0,109	0,227	0,83	0	2,17749	0,31107061
Suma	1	1	1	1	1	1	1	7	1

► **Aplicación de F.A.R.E.S. con respecto al factor F3**

Tabla. XXVIII Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F3

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	1	5	5	5	1	3
E2	1	0	5	5	5	1	3
E3	0,2	0,2	0	1	1	0,2	0,2
E4	0,2	0,2	1	0	1	0,2	0,2
E5	0,2	0,2	1	1	0	0,2	0,33
E6	1	1	5	5	5	0	3
E7	0,33	0,33	5	5	3	0,33	0
Suma	2,93	2,93	22	22	20	2,93	9,73

Tabla.XXIX Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F3

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Suma	Promedio
E1	0	0,34	0,23	0,23	0,25	0,34	0,31	1,69458281	0,24208326
E2	0,34	0	0,23	0,23	0,25	0,34	0,31	1,69458281	0,24208326
E3	0,07	0,07	0	0,05	0,05	0,07	0,02	0,32054795	0,04579256
E4	0,07	0,07	0,05	0	0,05	0,07	0,02	0,32054795	0,04579256
E5	0,07	0,07	0,05	0,05	0	0,07	0,03	0,32970112	0,04710016
E6	0,34	0,34	0,23	0,23	0,25	0	0,31	1,69458281	0,24208326
E7	0,11	0,11	0,23	0,23	0,15	0,11	0	0,94545455	0,13506494
Suma	1	1	1	1	1	1	1	7	1

► **Aplicación de F.A.R.E.S. con respecto al factor F4**

Tabla.XXX Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F4

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	1	0,33	5	3	1	0,33
E2	1	0	1	5	3	1	1
E3	3	1	0	5	3	3	3
E4	0,2	0,2	0,2	0	0,2	0,2	0,2
E5	0,33	0,33	0,33	5	0	1	1
E6	1	1	0,33	5	1	0	3
E7	3	1	0,33	5	1	0,33	0
Suma	8,53	4,53	2,53	30	11,2	6,53	8,53

Tabla.XXXI Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F4

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Suma	Promedio
E1	0	0,22	0,13	0,17	0,27	0,15	0,04	0,97881472	0,13983067
E2	0,12	0	0,39	0,17	0,27	0,15	0,12	1,21669688	0,17381384
E3	0,35	0,22	0	0,17	0,27	0,46	0,35	1,81742072	0,25963153
E4	0,02	0,04	0,08	0	0,02	0,03	0,02	0,2184094	0,03120134
E5	0,04	0,07	0,13	0,17	0	0,15	0,12	0,68108625	0,09729804
E6	0,12	0,22	0,13	0,17	0,09	0	0,35	1,07686956	0,15383851
E7	0,35	0,22	0,13	0,17	0,09	0,05	0	1,01070247	0,14438607
Suma	1	1	1	1	1	1	1	7	1

► **Aplicación de F.A.R.E.S. con respecto al factor F5**

Tabla.XXXII Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F5

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	1	5	5	5	1	3
E2	1	0	5	5	5	0,2	3
E3	0,2	0,2	0	1	1	0,2	0,33
E4	0,2	0,2	1	0	1	0,2	0,33
E5	0,2	0,2	1	1	0	0,2	0,33
E6	1	5	5	5	5	0	5
E7	0,33	0,33	3	3	3	5	0
Suma	2,93	6,93	20	20	20	6,8	12

Tabla.XXXIII Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F5

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Suma	Promedio
E1	0	0,14	0,25	0,25	0,25	0,15	0,25	1,29128959	0,18446994
E2	0,34	0	0,25	0,25	0,25	0,03	0,25	1,37032086	0,19576012
E3	0,07	0,03	0	0,05	0,05	0,03	0,03	0,25421751	0,03631679
E4	0,07	0,03	0,05	0	0,05	0,03	0,03	0,25421751	0,03631679
E5	0,07	0,03	0,05	0,05	0	0,03	0,03	0,25421751	0,03631679
E6	0,34	0,72	0,25	0,25	0,25	0	0,42	2,2287296	0,31838994
E7	0,11	0,05	0,15	0,15	0,15	0,74	0	1,3470074	0,19242963
Suma	1	1	1	1	1	1	1	7	1

► **Aplicación de F.A.R.E.S. con respecto al factor F6**

Tabla.XXXIV Ponderación para las F.A.R.E.S. respecto al factor F6

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
E1	0	1	1	0,3333	1	1	0,2
E2	1	0	1	0,3333	1	1	0,2
E3	1	1	0	0,3333	1	1	0,2
E4	3	3	3	0	3	3	1
E5	1	1	1	0,3333	0	1	0,2
E6	1	1	1	0,3333	1	0	0,2
E7	5	5	5	1	5	5	0
Suma	12	12	12	2,6667	12	12	2

Tabla.XXXV Importancia relativa de las F.A.R.E.S. respecto al factor F6

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Suma	Promedio
E1	0	0,08	0,083	0,125	0,083	0,08	0,1	0,558333	0,0797619
E2	0,08	0	0,083	0,125	0,083	0,08	0,1	0,558333	0,0797619
E3	0,08	0,08	0	0,125	0,083	0,08	0,1	0,558333	0,0797619
E4	0,25	0,25	0,25	0	0,25	0,25	0,5	1,75	0,25
E5	0,08	0,08	0,083	0,125	0	0,08	0,1	0,558333	0,0797619
E6	0,08	0,08	0,083	0,125	0,083	0	0,1	0,558333	0,0797619
E7	0,42	0,42	0,417	0,375	0,417	0,42	0	2,458333	0,35119048
Suma	1	1	1	1	1	1	1	7	1

► **Estimación total respecto a todos los factores ponderados**

Tabla.XXXVI Estimación total respecto a factores ponderados

		E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
F1	0,36033	0,09427	0,09427	0,03959	0,24409	0,03959	0,24409	0,244094
F2	0,2057	0,1394	0,1663	0,04283	0,07031	0,05426	0,21583	0,311071
F3	0,08808	0,24208	0,24208	0,04579	0,04579	0,0471	0,24208	0,135065
F4	0,18055	0,13983	0,17381	0,25963	0,0312	0,0973	0,15384	0,144386
F5	0,08973	0,18447	0,19576	0,03632	0,03632	0,03632	0,31839	0,19243
F6	0,0756	0,07976	0,07976	0,07976	0,25	0,07976	0,07976	0,35119

Tabla.XXXVII Ponderación total de las F.A.R.E.S.

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7
F1	0,03397	0,03397	0,01427	0,08795	0,01427	0,08795	0,08795
F2	0,02867	0,03421	0,00881	0,01446	0,01116	0,0444	0,06399
F3	0,02132	0,02132	0,00403	0,00403	0,00415	0,02132	0,0119
F4	0,02525	0,03138	0,04688	0,00563	0,01757	0,02778	0,02607
F5	0,01655	0,01757	0,00326	0,00326	0,00326	0,02857	0,01727
F6	0,00603	0,00603	0,00603	0,0189	0,00603	0,00603	0,02655
Suma	0,1318	0,14448	0,08328	0,13424	0,05643	0,21605	0,23372

A través de la aplicación del método de jerarquías se pudo conocer que la alternativa híbrida más atractiva para la instalación en el Archipiélago Los Testigos, corresponde a una arquitectura Eólica-Diesel. Complementando la propuesta se debe considerar que el plan de crecimiento a 20 años del Archipiélago involucra no sólo aumento de la carga residencial, sino inclusión de una carga del tipo industrial como lo sería la planta desalinizadora, por lo que resulta más conveniente la instalación de un sistema de generación híbrido utilizando como Fuente Alternativa de Energía Renovable la energía eólica, que presentaría mayor flexibilidad en cuanto a la reserva energética del sistema. Igualmente la tecnología de los aerogeneradores y sus sistemas de control, han avanzado sustancialmente con respecto a la fotovoltaica, de manera que ofrece una mejor calidad del servicio eléctrico, así como una mayor estabilidad en la red.

9.2. SELECCIÓN DEL LUGAR DE EMPLAZAMIENTO: *Método analítico de las jerarquías para la selección del lugar de emplazamiento*

► Estimación de la importancia relativa de los factores: *Criterios técnicos primarios*

Tabla.XXXVIII Factores asociados a la ingeniería del proyecto

INDICADOR	CRITERIO
F1	Evidencia cualitativa del recurso (Elevada velocidad media
F2	Perfil topográfico favorable
F3	Disponibilidad del terreno
F4	Facilidad de vías de acceso (existentes o para posible construcción)

TablaXXXIX. Factores asociados a la infraestructura del proyecto

INDICADOR	CRITERIO
F5	Condiciones de disponibilidad de energía primaria
F6	Infraestructura eléctrica existente
F7	Cercanía a la población
F8	Impacto al ecosistema
F9	Impacto visual y sonoro

► Selección de factores influyentes en la decisión

Dado que algunos de los factores típicamente influyentes en la selección del lugar de emplazamiento son un punto en común entre las localizaciones tentativas, se efectuó una selección de factores influyentes, resultando seleccionados: F1, F4, F8, F9.

► Escala de comparación por pares de factores

Igualmente favorable: 1

Moderadamente preferible: 3

Fuertemente preferible: 5

► Estimación de importancia relativa de atributos

Tabla.XXXX Ponderación de los factores

	F1	F4	F8	F9
F1	0	5	3	1
F4	0,2	0	1	3
F8	0,33	1	0	1
F9	1	0,33	1	0
Suma	1,53	6,33	5	5

Tabla.XXXXI Importancia relativa de los factores

	F1	F4	F8	F9	Suma	Promedio Importancia relativa
F1	0	0,80	0,6	0,2	1,60	0,39
F4	0,13	0	0,2	0,6	0,93	0,23
F8	0,22	0,15	0	0,2	0,57	0,15
F9	0,65	0,05	0,2	0	0,90	0,23
Suma	1	1	1	1	4	1

9.2.1. Caso I: Isla La Iguana

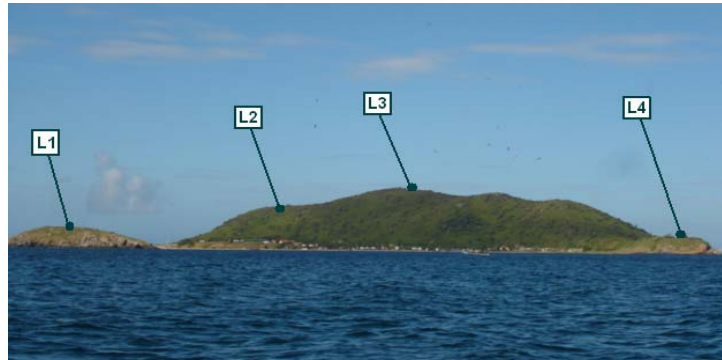


Fig. 49 Localizaciones alternativas para aerogeneradores en Isla La Iguana

Dado que no se cuenta con vías de acceso ni infraestructura adecuada para soportar la carga que representan los equipos a instalarse se tiene, así como no se cuenta con un estudio que oriente sobre el impacto ambiental para el caso particular de Isla La Iguana, se tomará la ponderación para cada localidad con respecto a los factores F4 y F8 igual a la unidad.

► Importancia relativa de las localidades para el factor F1

Tabla.XXXXII Ponderación para las localidades respecto al factor F1

	L1	L2	L3	L4
L1	0	0,33333	0,2	1
L2	3	0	0,33333	3
L3	5	3	0	5
L4	1	0,33333	0,2	0
Suma	9	3,66667	0,73333	9

Tabla.XXXXIII Importancia relativa de las localidades respecto al factor F1

	L1	L2	L3	L4	Suma	Promedio
L1	0	0,09091	0,27273	0,11111	0,47475	0,11868687
L2	0,33333	0	0,45455	0,33333	1,12121	0,28030303
L3	0,55556	0,81818	0	0,55556	1,92929	0,48232323
L4	0,11111	0,09091	0,27273	0	0,47475	0,11868687
Suma	1	1	1	1	4	1

► **Importancia relativa de las localidades para el factor F9**

Tabla. XXXXIV Ponderación para las localidades respecto al factor F9

	L1	L2	L3	L4
L1	0	3	3	1
L2	0,33333	0	3	0,33333
L3	0,33333	0,33333	0	0,33333
L4	1	3	3	0
Suma	1,66667	6,33333	9	1,66667

Tabla. XXXXV Importancia relativa de las localidades respecto al factor F9

	L1	L2	L3	L4	Suma	Promedio
L1	0	0,47368	0,33333	0,6	1,40702	0,35175439
L2	0,2	0	0,33333	0,2	0,73333	0,18333333
L3	0,2	0,05263	0	0,2	0,45263	0,11315789
L4	0,6	0,47368	0,33333	0	1,40702	0,35175439
Suma	1	1	1	1	4	1

► **Estimación total respecto a todos los factores ponderados**

Tabla. XXXXVI Estimación total respecto a factores ponderados

		L1	L2	L3	L4
F1	0,39737	0,11869	0,2803	0,48232	0,11869
F4	0,23261	1	1	1	1
F8	0,14382	1	1	1	1
F9	0,2262	0,35175	0,18333	0,11316	0,35175

Tabla. XXXXVII Ponderación total de las localidades

	L1	L2	L3	L4
F1	0,04716	0,11138	0,19166	0,04716
F4	0,23261	0,23261	0,23261	0,23261
F8	0,14382	0,14382	0,14382	0,14382
F9	0,07957	0,04147	0,0256	0,07957
Suma	0,50316	0,52928	0,59369	0,50316

De la evaluación la localización L3 resultó ser la más atractiva como posible lugar de emplazamiento para los aerogeneradores en Isla La Iguana. En la figura 49 se puede observar que dicho lugar se encuentra en una colina a 100 m.s.n.m., donde se puede observar el efecto colina reflejado en las velocidades de viento alrededor de 7m/s.

9.2.2. Caso II: Isla Testigo Grande

Para la isla Testigo Grande se estiman cuatro posibles casos de aplicación, tres correspondientes a sistemas autónomos en cada localidad, y un caso correspondiente a un sistema concentrado en el sector Playa Tamarindo. Cada uno de los posibles lugares de emplazamiento se pueden observar en la figura 50 correspondiente a la zonificación de dos islas del Archipiélago. Sin embargo es importante mencionar que el caso concentrado presenta una mayor ponderación en cuanto a la elevada velocidad media de vientos si los equipos se ubican entre 100 y 200 m.s.n.m. Es importante acotar que esta zona se encuentra en un paso de aire producto de un depresión en la orografía del lugar, lo que genera un efecto pasillo para los vientos; sin embargo, para determinar la rentabilidad del mismo se recomienda hacer un estudio de niveles de turbulencia en el sitio de interés.

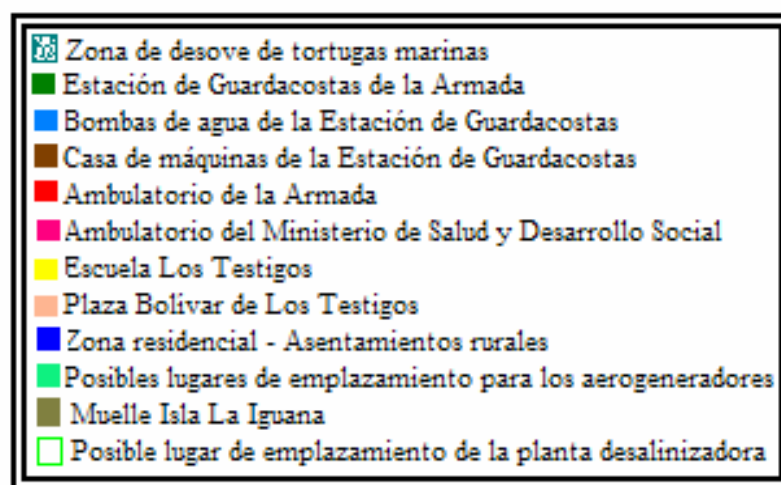
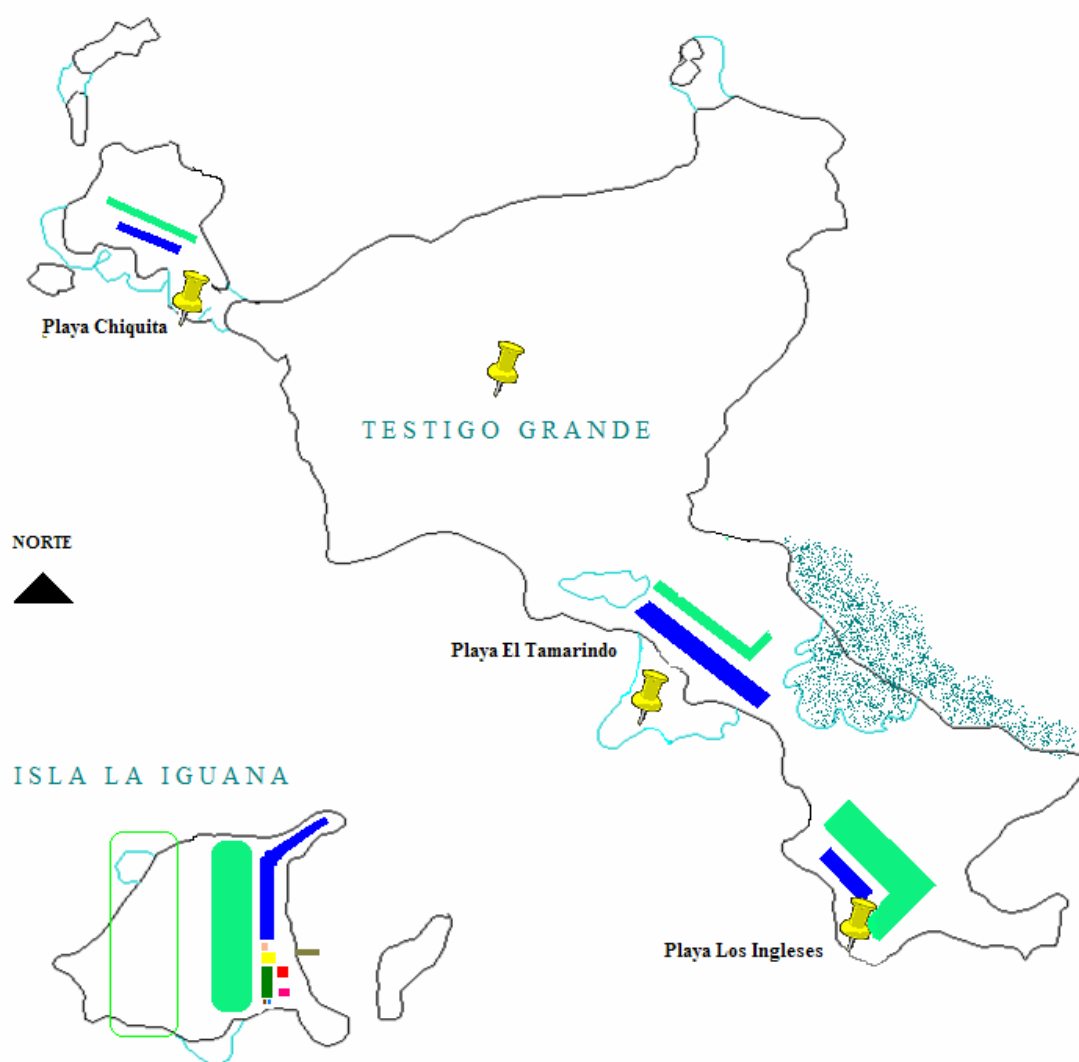


Fig. 50 Zonificación del Archipiélago Los Testigos

9.3. RESULTADOS ANÁLISIS TÉCNICO – ECONÓMICO

9.3.1.CASO I: Isla La Iguana

Al conocer las posibles cargas futuras en el Archipiélago y específicamente en Isla La Iguana donde se concentra la mayor población, y donde se supone se instalaran las cargas más representativas, se hace necesaria la instalación de un nuevo sistema de generación capaz de suplir la demanda. No obstante la planta actualmente operativa no se encuentra en capacidad energética, ni en condiciones operacionales que apunten a su aprovechamiento futuro, lo que ameritaría la instalación de un nuevo sistema diesel.

Para el análisis económico se incluyó la posibilidad de un sistema de generación diesel, tal que permitiera conocer el costo de la energía bajo tal panorama. Con dicho valor se efectuó el flujo de caja para el estudio de los sistemas híbridos.

En vista de que los posibles lugares de emplazamiento del sistema de generación están a más de 100 m.s.n.m., donde se dispone de un recurso eólico con una velocidad de viento media de 7.95m/s. Sólo se efectuaron análisis para sistema de alta penetración eólica, entendiéndose por ella una operación del sistema eólico en la satisfacción de la demanda de más del 50%.

9.3.1.1. Resultados de la viabilidad económica

Tabla XXXXVIII. Resultados para del análisis económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla La Iguana

Turbinas eólicas	Modelo (Número de equipos)	Generador Diesel	Penetración eólica	Costo de Capital	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR) (%)	Tiempo de recuperación de capital (años)	Combustible utilizado (lt/año)	Combustible ahorrado (lt/año)	Costo de energía (\$/kWh)
AOC 15 50	6	Cummins 175	62%	\$1,695,002	\$4,103,145	67.65	1.19	191,398	132,328	0.284
FL-100	2	Cummins 175	56%	\$1,185,000	\$3,704,418	32.628	2.56	203,414	120,312	0.256
FL-250	1	Cummins 175	57%	\$1,110,000	\$3,577,294	22.113	3.89	201,388	122,338	0.247
FL-250	2	Cummins 175	82%	\$1,889,000	\$3,550,565	20.908	4.13	126,786	196,940	0.245
*	0	Cummins 203	0%	\$125,000	\$4,067,718	*	*	323,726	0	0.281

9.3.1.2. Desempeño esperado de los sistemas

• Atlantic Orient Corp. (6 de 50kW) y Generador Cummins de 175kW

Tabla XXXXIX. Desempeño esperado del sistema híbrido AOC 15-50 Cummins 175kW

	AOC 15-50 (6)	Cummins 175 kW
Producción anual (kWh/año)	679,726	418,671
Salida promedio (kW)	77.6	67.6
Salida máxima (kW)	386	175
Horas de operación (hr/año)	7,118	6,195
Penetración del viento (%)	81.8	
Factor de capacidad (%)	19.9	

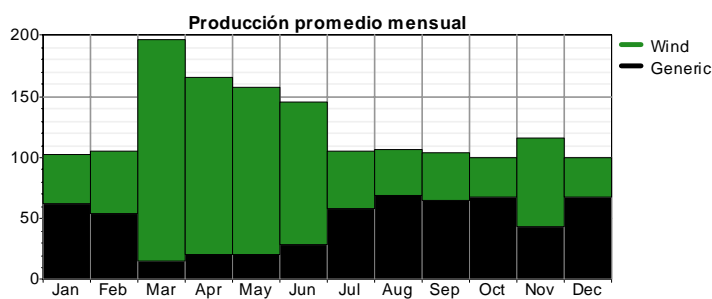


Fig. 51 Producción promedio mensual del sistema híbrido

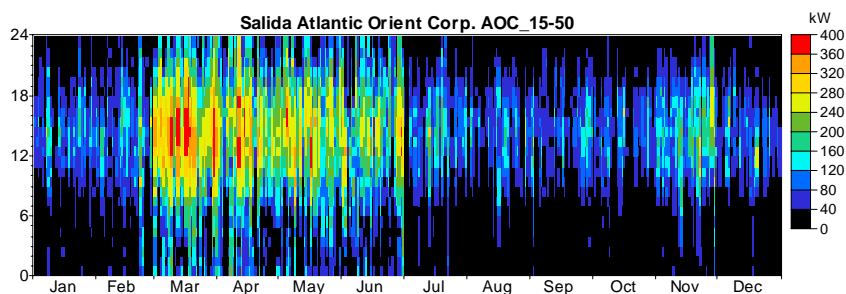


Fig. 52 Producción mensual de las aeroturbinas AOC 15-50

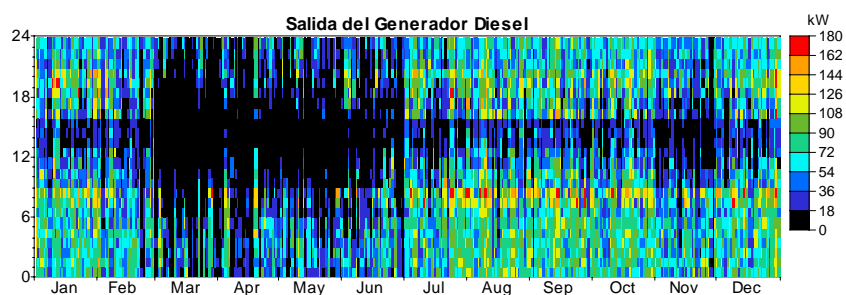


Fig. 53 Producción mensual del generador Cummins de 175kW con las aeroturbinas AOC 15-50

• **FL-100 (2 de 100kW) y Generador Cummins de 175kW**

Tabla. XXXXX Desempeño esperado del sistema híbrido FL-100 Cummins 175kW

	FL-100 (2)	Cummins 175 kW
Producción anual (kWh/año)	540,134	425,915
Salida promedio (kW)	61.7	61.5
Salida máxima (kW)	247	175
Horas de operación (hr/año)	8,748	6,924
Penetración del viento (%)	65	
Factor de capacidad (%)	24.7	

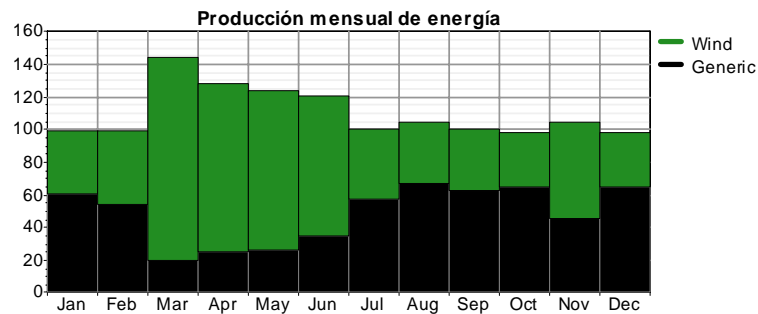


Fig. 54 Producción promedio mensual del sistema híbrido

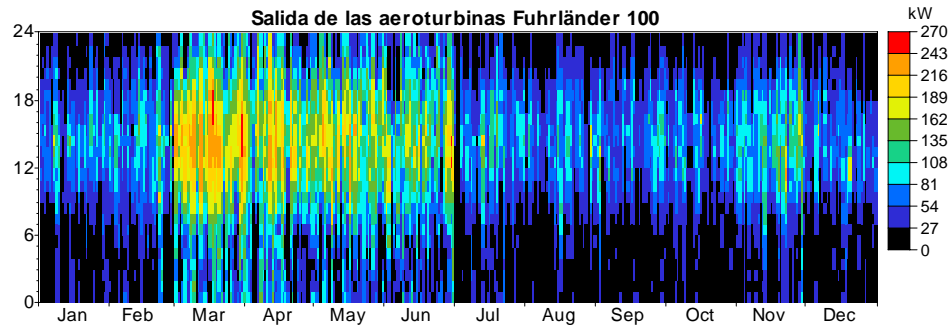


Fig. 55 Producción mensual de las aeroturbinas FL-100

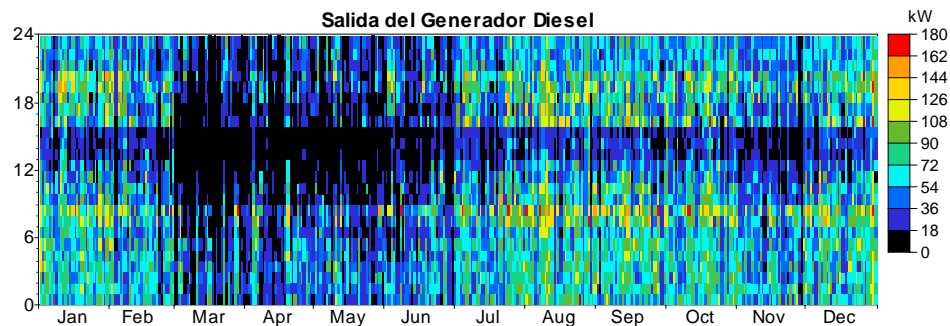


Fig. 56 Producción mensual del generador Cummins de 175kW operando con las aeroturbinas FL-100

• **FL-250 (1 de 250kW) y Generador Cummins de 175kW**

Tabla.XXXXXXI Desempeño esperado del sistema híbrido L-250 (1) Cummins 175kW

	FL-250 (1)	Cummins 175 kW
Producción anual (kWh/año)	549,750	416,129
Salida promedio (kW)	62.8	59.8
Salida máxima (kW)	260	175
Horas de operación (hr/año)	8,748	6,954
Penetración del viento (%)	66.1	
Factor de capacidad (%)	20.9	

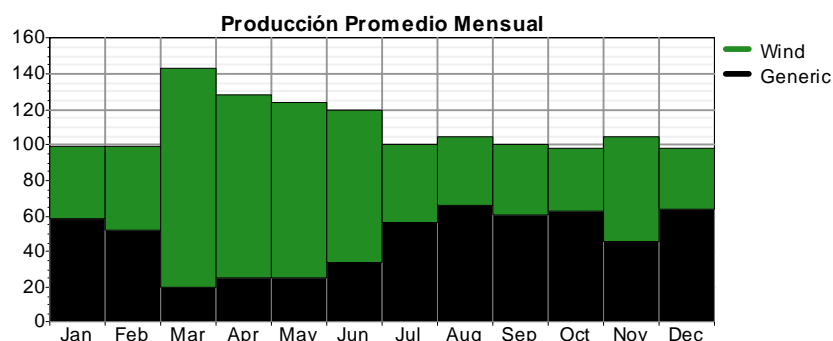


Fig. 57 Producción promedio mensual del sistema híbrido

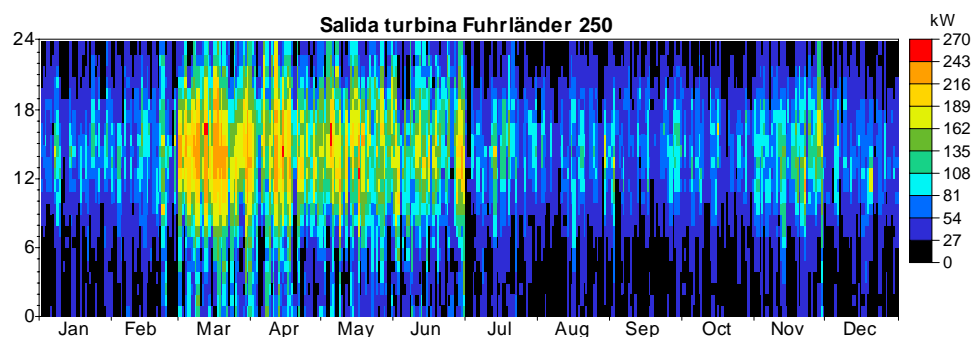


Fig. 58 Producción mensual de la aeroturbina FL-250

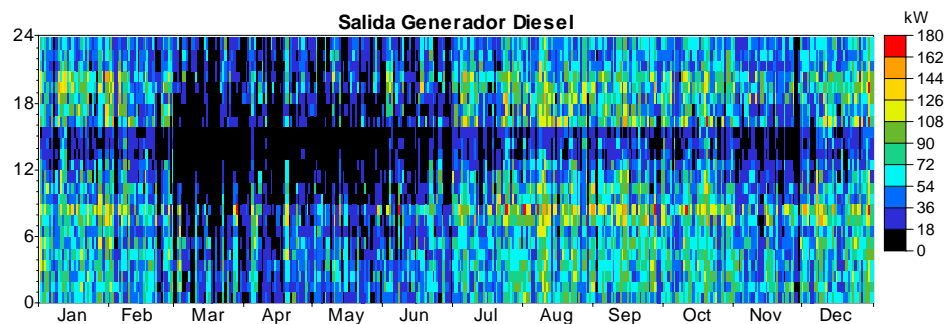


Fig. 59 Producción mensual del generador Cummins de 175kW operando con la aeroturbina FL-250

• **FL-250 (2 de 250kW) y Generador Cummins de 175kW**

Tabla.XXXXXXII Desempeño esperado del sistema híbrido FL-250 (2) Cummins 175kW

	FL-250 (2)	Cummins 175 kW
Producción anual (kWh/año)	1,099,501	240,306
Salida promedio (kW)	125.5	51
Salida máxima (kW)	519	175
Horas de operación (hr/año)	8,748	4,715
Penetración del viento (%)	132.2	
Factor de capacidad (%)	20.9	

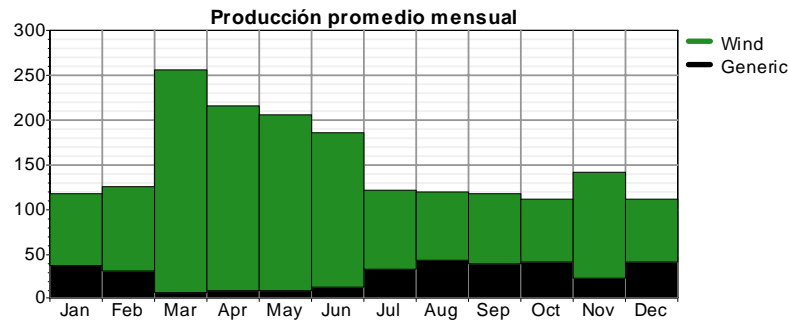


Fig. 60 Producción promedio mensual del sistema híbrido

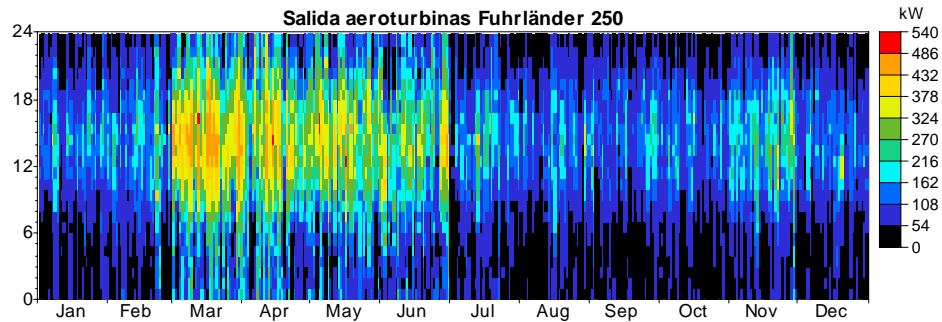


Fig. 61 Producción mensual de las aeroturbinas FL-250

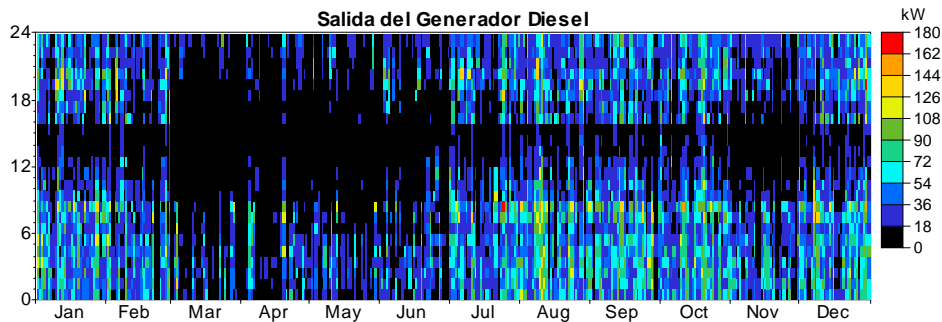


Fig. 62 Producción mensual del generador Cummins de 175kW operando con las aeroturbinas FL-250

9.3.1.3. Análisis de resultados

La optimización de la arquitectura Diesel-Eólica en cada caso incluye gráficamente los excedentes de energía, pero no compara directamente contra la demanda, la mayor producción que presentan los aerogeneradores se encuentra entre 6 a.m. y 6 p.m. aproximadamente, por lo que en horas de la noche la demanda debe ser suplida generalmente por el equipo diesel. De la selección técnico económica efectuada por la herramienta HOMER, se pudo conocer que los factores de capacidad para el caso particular de isla La Iguana no resultan del todo atractivos para la instalación en dicho lugar, para el año 2004 se consideraba un factor de capacidad de 25% aceptable, y de 30% bueno^[13]; sin embargo, este resultado se debe a la cantidad de equipos que este selecciona como óptimo en función a los costos finales por energía producida que representan los sistemas comparados.

Del análisis económico se conoció que el sistema que presenta mejores indicadores económicos es el sistema híbrido compuesto por seis turbinas Atlantic Orient Corp. de 50kW y un generador Cummins de 175kW, con un TIR de 67,65% y una tasa de recuperación de capital de 1.19 años, no obstante es la que presenta el valor más elevado en cuanto al costo de la energía se refiere, así como una mayor inversión inicial, lo que puede deberse a la mayor inversión necesaria en la obra civil de este sistema. La alternativa que presenta un menor costo en cuanto a inversión inicial, valor presente neto corresponde al sistema híbrido compuesto por una turbina Fuhrlander modelo FL-250 y un Generador Cummins de 175kW, este sistema presenta una penetración eólica del 57% y un ahorro de combustible del 73%. Por su parte el sistema híbrido compuesto por dos turbinas Fuhrlander modelo FL-250 y un Generador Cummins de 175kW, ameritaría una mayor inversión inicial, pero un menor costo de energía dado que el sistema eólico por si sólo podría cubrir anualmente alrededor del 82% de la demanda, reduciendo en un 61% el consumo anual de diesel.

Comparando la opción óptima para el sistema híbrido con la alternativa de un sistema de generación puramente diesel, podemos notar que los costos de energía e inversión relacionados a este último son menores, no obstante, teniendo en cuenta el problema ecológico, y logístico que representa el traslado de diesel al Archipiélago aun bajo el bajo costo que presenta el diesel.

9.3.1. CASO II: Isla Testigo Grande

9.3.2.1. Resultados de la viabilidad económica

9.3.2.1.1. Sistemas de generación distribuida⁴

Tabla XXXXXXIII. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande – Playa Los Ingleses

Turbinas eólicas	Modelo (Número de equipos)	Generador Diesel	Penetración eólica	Costo de Capital	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR) (%)	Tiempo de recuperación de capital (años)	Combustible utilizado (lt/año)	Combustible ahorrado (lt/año)	Costo de energía (\$/kWh)
Bergey Windpower Excel	2	Mitsubishi SKU 55	75%	\$418,364	\$743,433			7,518	9,742	2.216
Bergey Windpower Excel	3	Mitsubishi SKU 55	87%	\$501,345	\$854,213			5,126	12,134	2.546
Jacobs 29-20	1	Mitsubishi SKU 55	69%	\$355,003	\$644,971			9,047	8,213	1.923
Jacobs 29-20	2	Mitsubishi SKU 55	90%	\$457,606	\$747,696			4,543	12,717	2.229
*	0	Mitsubishi SKU 55	0%	\$6,999	\$185,341	*	*	17,260	0	0.552

Tabla XXXXXXIV. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande – El Tamarindo

Turbinas eólicas	Modelo (Número de equipos)	Generador Diesel	Penetración eólica	Costo de Capital	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR) (%)	Tiempo de recuperación de capital (años)	Combustible utilizado (lt/año)	Combustible ahorrado (lt/año)	Costo de energía (\$/kWh)
Bergey Windpower Excel	5	John Deere 40kW	58%	\$687,910	\$1,496,836			41,246	24,491	1.042
Jacobs 29-20	3	John Deere 40kW	58%	\$577,808	\$1,344,525			41,924	23,813	0.936
AOC 15_50	2	John Deere 40Kw	70%	\$722,000	\$1,434,006			36,867	28,870	0.998

⁴ Sistemas de generación ubicados en el sitio de consumo

FL100	1	John Deere 40kW	82%	\$693,000	\$1,265,577			26,271	39,466	0.881
*	0	John Deere 40kW	0%	\$38,000	\$752,270	*	*	65,737	0	0.523

Tabla XXXXXV. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande – Playa Chiquita

Turbinas eólicas	Modelo (Número de equipos)	Generador Diesel	Penetración eólica	Costo de Capital	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR) (%)	Tiempo de recuperación de capital (años)	Combustible utilizado (lt/año)	Combustible ahorrado (lt/año)	Costo de energía (\$/kWh)
Bergey Windpower Excel	3	Isuzu AG 20	64%	\$508,945	\$986,510			18,299	28,887	1.360
Jacobs 29-20	2	Isuzu AG 20	69%	\$455,206	\$898,652			17,128	30,048	1.239
Fuhrlander 30	1	Isuzu AG 20	74%	\$441,500	\$824,350			14,878	32,298	1.136
AOC 15_50	1	John Deere 30	63%	\$491,500	\$1,001,990			26,824	20,352	1.381
*		John Deere 30	*	\$31,500	\$593,467	*	*	47,176	0	0.818

9.3.2.1.2. Sistemas de generación concentrada para la Isla Testigo Grande

Tabla XXXXXVI. Resultados para del análisis técnico económico – Sistemas de Alta Penetración – Isla Testigo Grande

Turbinas eólicas	Modelo (Número de equipos)	Generador Diesel	Penetración eólica	Costo de Capital	Valor presente neto (VPN)	Tasa interna de retorno (TIR) (%)	Tiempo de recuperación de capital (años)	Combustible utilizado (lt/año)	Combustible ahorrado (lt/año)	Costo de energía (\$/kWh)
FL-30	1	John Deere 50kW	75%	\$352,280	\$851,602			33,951	137,322	0.345
AOC 15_50	1	John Deere 50kW	90%	\$259,994	\$535,880	20.149	4.25	19,317	151,957	0.217
FL-100	1	John Deere 40kW	99%	\$693,000	\$977,139			4,599	166,674	0.396
*	0	Cummins 125	0%	\$75,000	\$1,664,356	*	*	171,273	0	0.674

9.3.2.2. Desempeño esperado de los sistemas

• FL-30 (1 de 30kW) y Generador John Deere de 50kW

Tabla.XXXXXVII Desempeño esperado del sistema híbrido FL-30 (1) John Deere 50kW

	FL-30 (1)	John Deere 50 kW
Producción anual (kWh/año)	204,608	67,845
Salida promedio (kW)	23.3	16.51
Salida máxima (kW)	32.2	50
Horas de operación (hr/año)	8,754	4,110
Penetración del viento (%)	105.7	
Factor de capacidad (%)	70.6	

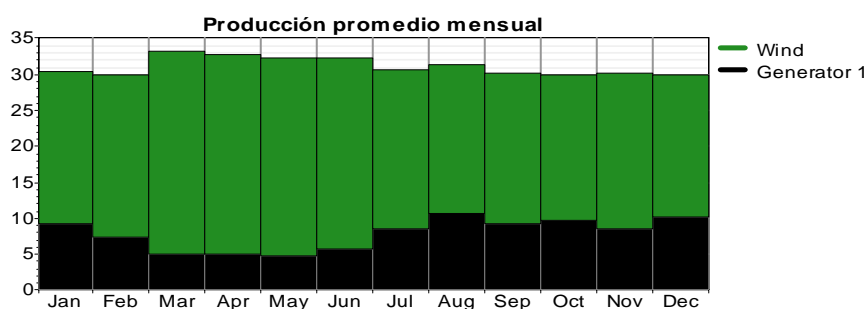


Fig. 63 Producción promedio mensual del sistema híbrido

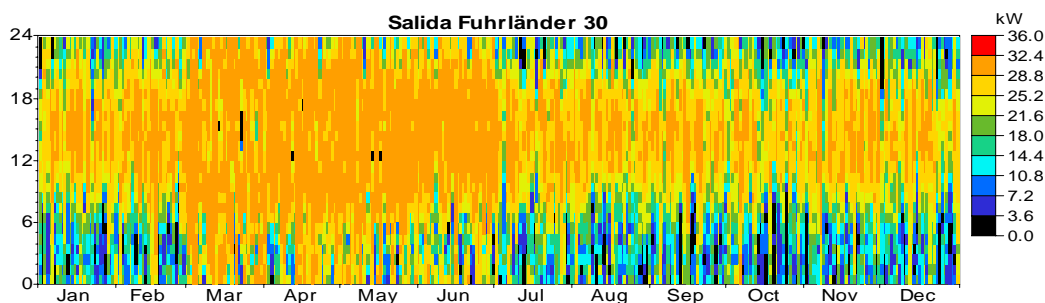


Fig. 64 Producción mensual de la aeroturbina FL-30

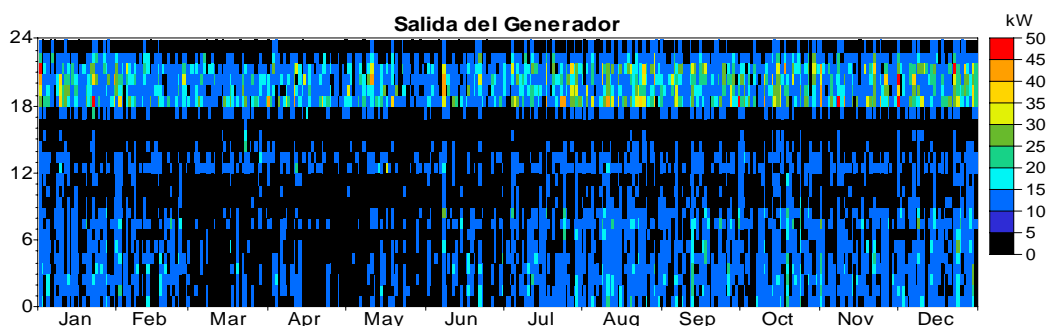


Fig. 65 Producción mensual del generador John Deere 50kW con la aeroturbina FL-30

• **AOC_15-50 (1 de 50kW) y Generador John Deere de 50kW**

Tabla.XXXXXXVIII Desempeño esperado del sistema híbrido AOC 15-50 (1) John Deere 50kW

	AOC 15-50 (1)	John Deere 50 kW
Producción anual (kWh/año)	340,979	33,786
Salida promedio (kW)	38.9	14.56
Salida máxima (kW)	63.4	40
Horas de operación (hr/año)	8,561	2,321
Penetración del viento (%)	176.6	
Factor de capacidad (%)	59.9	

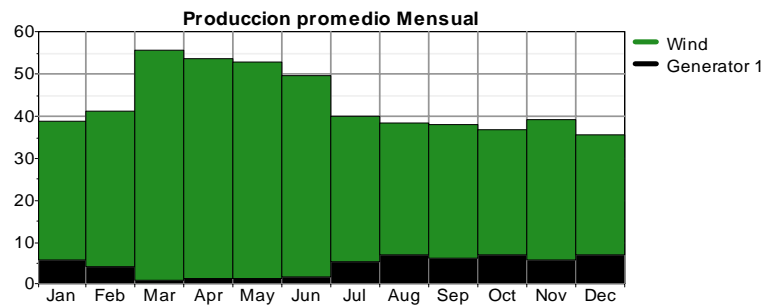


Fig. 66 Producción promedio mensual del sistema híbrido

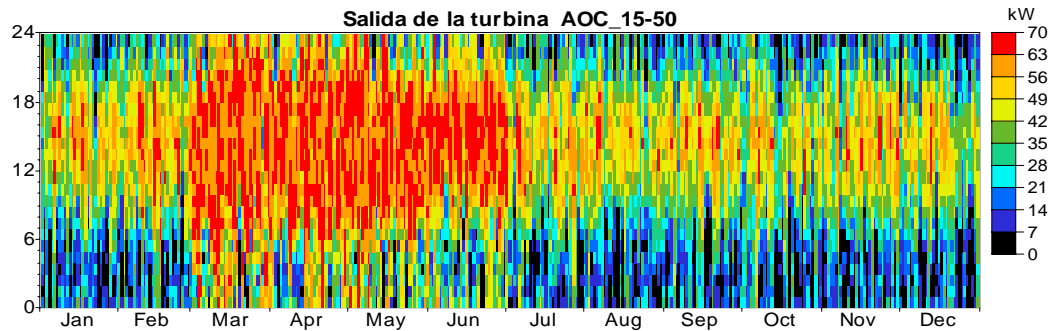


Fig. 67 Producción mensual de la aeroturbina AOC 15-50

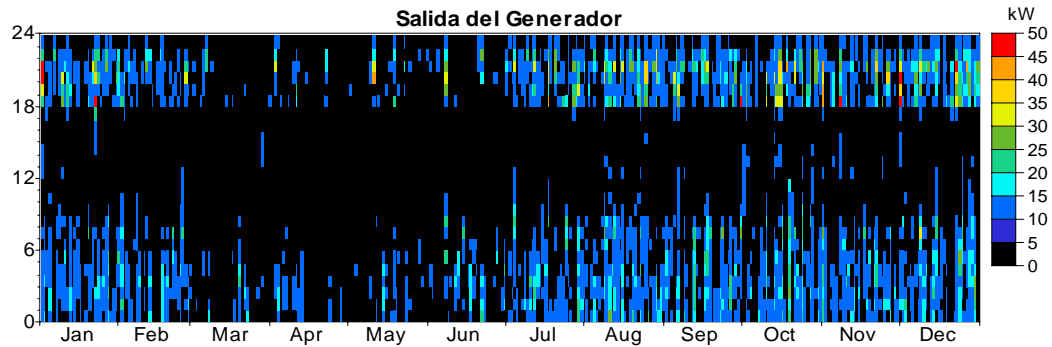


Fig. 68 Producción mensual del generador John Deere de 50kW con la aeroturbina AOC 15-50

• **FL-100 (1 de 100kW) y Generador John Deere de 40kW**

Tabla.XXXXXXIX Desempeño esperado del sistema híbrido FL-100 (1) John Deere 50kW

	FL-100(1)	John Deere 40 kW
Producción anual (kWh/año)	681,005	9,266
Salida promedio (kW)	77.7	13.39
Salida máxima (kW)	121.9	36.4
Horas de operación (hr/año)	8760	692
Penetración del viento (%)	353	
Factor de capacidad (%)	62.2	

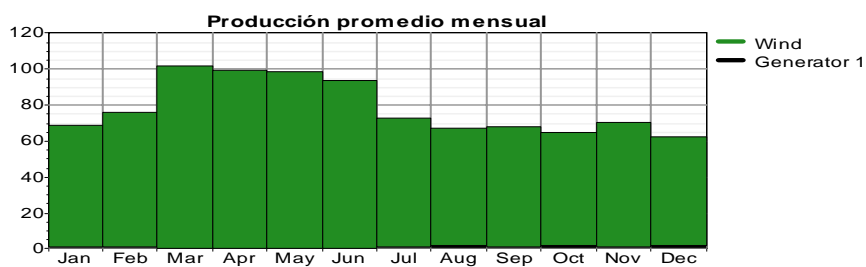


Fig. 69 Producción promedio mensual del sistema híbrido

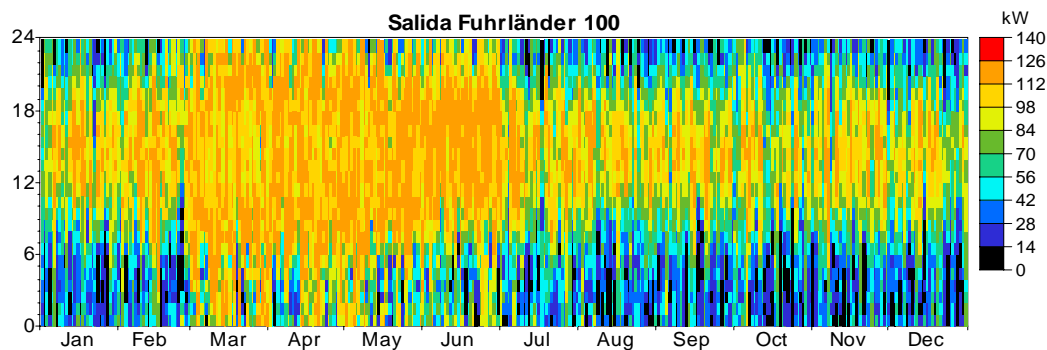


Fig. 70 Producción mensual de la aeroturbina FL-100

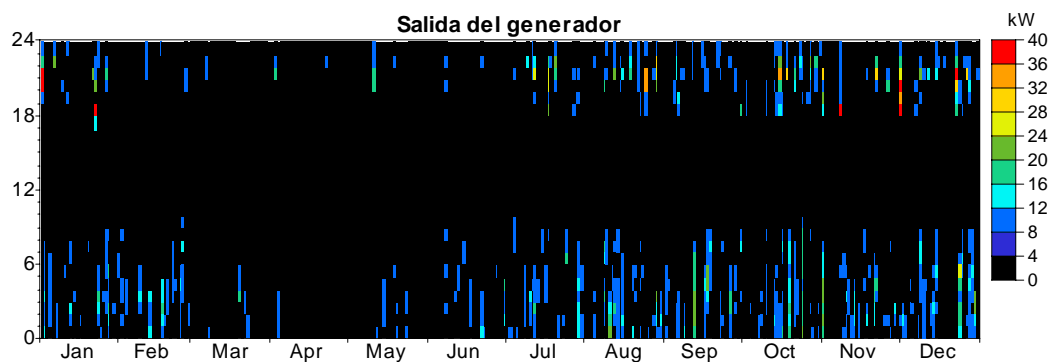


Fig. 71 Producción mensual del generador John Deere de 40kW con la aeroturbina FL-100

9.3.2.3. Análisis de resultados

Al comparar los resultados obtenidos para un solo sistema híbrido para la Isla Testigo Grande, con los tres sistemas distribuidos por sectores para dicha población se puede observar que los sistemas de generación distribuida representan los costos más elevados en cuanto a costo de capital, valor presente neto, y costo de la energía producida.

Al igual que para el caso de isla La Iguana, en Testigo Grande se observa en algunas gráficas de producción de energía promedio mensual una energía producida mayor inclusive a la demanda, lo que se debe a la inclusión de los excedentes de energía, igualmente se observa la producción de energía mediante el sistema diesel en el mínimo lo que ocurre en caso de las horas de escasez del recurso. Los factores de capacidad resultaron sumamente atractivos, lo que puede deberse a la ubicación del aerogenerador a 200 m.s.n.m.

De los sistemas de alta penetración para la isla Testigo Grande el formado por una aeroturbina AOC 15-50 y un generador John Deere de 50kW, presentó un menor costo por energía, representa la menor inversión en cuanto a costo de capital, y presente neto, la tasa interna de retorno del 20%, y el tiempo de recuperación de capital de 4.25 años estimado a partir de los costos asociados a la energía para un sistema diesel con el costo del combustible en el panorama internacional, indican que el sistema resulta rentable

En cuanto a su desempeño presenta una penetración eólica de 90%, ahorra 89% del combustible anual utilizado en caso de que sólo operara un generador diesel.

CAPÍTULO 10: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La amplia disponibilidad del recurso eólico, así como los problemas asociados al traslado de combustible constantemente hacia el Archipiélago Los Testigos apuntan hacia las arquitecturas eólicas – diesel de alta penetración como una alternativa para minimizar el impacto ecológico debido a los derrames que ocurren durante la descarga y almacenamiento de combustible. La mayor producción de energía por parte de las aeroturbinas ocurre desde el mes de Marzo hasta principios del mes de Junio, este período representa el mayor ahorro de combustible.

Las horas de disponibilidad del recurso eléctrico en los diversos asentamientos de Testigo Grande hacen que las curvas de carga mostradas en este trabajo presenten un comportamiento prácticamente constante durante las horas de operación de la planta. Dado que los costos relacionados al sistema de control para penetración de energía eólica alta representan el 150% de los costos asociados a baja penetración resultan más factibles aquellas alternativas que presentan aeroturbinas de mayor capacidad.

Para el caso de Isla La Iguana se recomienda la instalación de un sistema híbrido compuesto por dos turbinas Fuhrlander FL-250, y un generador Cummins de 175kW que complemente la producción de las aeroturbinas, y que tenga capacidad de suplir la demanda promedio de la isla en caso de contingencia, puntualmente para los factores de capacidad resultantes se puede decir que a pesar de ser mínimamente la alternativa eólica – diesel sigue siendo una propuesta rentable y atractiva dados los costo por energía que este representa. Para Testigo Grande, se recomienda la instalación de un sistema híbrido concentrado cuya arquitectura eólica – diesel esté compuesta por una aeroturbina AOC_15-50 y un generador John Deere de 50kW.

El problema energético presente en el Archipiélago repercute gravemente en la calidad de vida de los habitantes. Siendo esta una de las limitantes más importantes a la hora de plantear un plan de desarrollo o de mejoramiento de la calidad de vida de la población de una Zona Especial de Desarrollo Sustentable. Se conoce que la instalación de un nuevo sistema de generación apuntando hacia energías alternativas que logren minimizar el impacto ambiental y social sobre la población no es un plan a corto plazo; sin embargo, solventar medianamente la problemática se hace necesario, por lo que se recomienda hacer donaciones de plantas de generación diesel, mientras se lleva a cabo la instalación de FARES, todo esto orientado a solventar las necesidades energéticas, principalmente productivas de la población. La isla más afectada en estos momentos es El Testigo Grande, con sus asentamientos rurales en Playa Los Ingleses, El Tamarindo, y Playa Chiquita; siendo esta última la que se encuentra en peores condiciones, por la escasez de una planta que supla la energía necesaria. Para isla La Iguana se recomienda la reparación de la unidad Cummins para que esta supla en su totalidad la demanda del Comando de Guardacostas, y la unidad Stamford supla la demanda del resto de la comunidad prestando un mejor servicio.

Es necesaria la realización de una evaluación multicriterio que pueda orientar hacia la selección, diseño y emplazamiento del sistema más adecuado para el Archipiélago Los Testigos.

Se deben realizar mediciones de los vientos en la isla, pues actualmente sólo se cuenta con la data meteorológica del Servicio meteorológico de la aviación para la zona de Porlamar, por lo que no se tiene una caracterización de la distribución, velocidades, entre otras características de los vientos en el Archipiélago. Se recomienda validar la data meteorológica de N.A.S.A. y compararla con la data local. Adicionalmente se debe incluir un estimado de sitios de riesgo ante fenómenos meteorológicos.

Es necesario realizar un registro de carga en tiempo real que permita determinar con mayor exactitud cuál es el sistema de generación más adecuado, así como un estudio del efecto llamada

que se produciría al emplazar todas las unidades generadoras. También es fundamental efectuar una evaluación sobre el impacto ambiental que ocasionaría la implantación de un sistema eólico - diesel, así como verificar las rutas migratorias de la avifauna, para la escogencia del lugar de emplazamiento.

CAPÍTULO 11: BIBLOGRAFIA

[1] [En línea] Disponible en: <http://www.pdvsa.com>

[2] Ministerio de la Defensa. Estudio geográfico de las Dependencias Federales. Caracas. 1984

[3] CERVIGON, Fernando. Las Dependencias Federales. Academia nacional de la historia. Caracas. 1995

[4] Servicio meteorológico de la NASA. [En línea] Disponible en: www.eosweb.larc.nasa.gov

[5] Censo 2001. Instituto Nacional de Estadísticas (INE). Fundación La Salle

[6] Registro poblacional para el año 2004 por la Estación Secundaria de Guardacostas del Archipiélago Los Testigos . Los Testigos, Dependencias Federales. 2001

[7] MIRAGAYA, Armando. Energía a partir de la biomasa. Ministerio de Energía y Minas. 1987

[8] Fuentes Alternativas de Energía. [En línea] Disponible en: <http://ecosofia.org>

[9] SUZIN, Eduardo. Energía solar: diseño e instalación de arreglos fotovoltaicos. Energías Alternativas: Solar y Eólico de Venezuela C.A.

[10] GASQUET, Héctor – SOLARTRONIC S.A. Conversión de la luz sola en ingeniería eléctrica. Manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. México. 2004

- [11] ZENATO, Alberto. Proyecto de investigación en energía solar. Universidad de Carabobo, Venezuela. 1984
- [12] MAYER, Eric. Determinación de las condiciones de operación de los módulos solares y de la tubería de vapor de la planta GSPCL. Optimización de la producción de energía. Universidad Simón Bolívar, Venezuela. 1983
- [13] RODRIGUEZ, José. Sistemas eólicos de producción de energía eléctrica. Madrid. 2003
- [14] Asociación Danesa de la Industria Eólica [En línea] Disponible en: www.windpower.org
- [15] Energía Eólica [En línea] Disponible en: www.chaos.usc.es/web_meteoclima/eolico.pdf
- [16] MONTENEGRO, G. Un modelo adaptable en 3-D para campos de vientos. Instituto Universitario de Sistemas Inteligentes y Aplicaciones Numéricas en Ingeniería. Tarifa, España. 2002 [En línea] Disponible en: www.iusiani.ulpgc.es/images/publicaciones/paper58.pdf
- [17] PADILLA, Diego. II Convención Ambiental Universitaria Patagónica. Universidad Católica de Argentina. [En línea] Disponible en: <http://www.uca.edu.ar/esp/sec-pigpp/esp/docs-actividades/convencion1/04.pdf>
- [18] PARDO, Manuel. El problema del agua es España. UITA – Uruguay. [En línea] Disponible en: <http://www.rel-uita.org/agricultura/ambiente/agua/agua-espania.htm>

[19] CABRELLES, Carlos y LUJANO, Juan. Estudio de prefactibilidad para una planta de generación eólica en el Archipiélago Los Roques. Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas. 2006

[20] VILLARUBIA, M. Energía Eólica. CEAC. 2004

[21] LÓPEZ, Oscar. Curso de energía eólica [En línea] Disponible en: www.iit.upcomillas.es

[22] Evaluación económica de proyectos. [En línea] Disponible en: <http://www.gestiopolis.com/recursos2/documentos/fulldocs/fin/evaproivan.htm>

[23] “Curso de Análisis demográfico I. Sesión 5: Crecimiento poblacional e Interpolación” [En línea] Disponible en: www.ccp.ucr.ac.cr/cursosdemografia/materiasesion5.doc (2006).

[24] Dow Liquid Separations, “Elementos FILMTEC, resumen de productos, aplicaciones y recursos técnicos.” [En línea] Disponible en: <http://www.dow.com> (1997)

[25] SILVA, Homero. Agua potable - recurso escaso y esencial para la vida – Proyecciones. Organización Panamericana de la Salud. [En línea] Disponible en: http://www.per.ops-oms.org/talleres_sub_archivos/Agua%20Potable%20-color.pdf

[26] PARDO, Manuel. El problema del agua es España. UITA – Uruguay. [En línea] Disponible en: <http://www.rel-uita.org/agricultura/ambiente/agua/agua-espania.htm>

[27]“Fabricas de hielo” [En línea] Disponible en:
<http://www.fao.org/DOCREP/003/T0713S/T0713S06.htm>

[28] C.V.G. ELECTRIFICACIÓN DEL CARONÍ C.A. Plan piloto de generación eólica para suministro a zonas aisladas. Ministerio de Industrias Básicas y Mineras.

[29] Servicio de Meteorología. Sistema CLICOM. Resumen del reporte meteorológico ano 2004 y 2005

[30] Historial climatológico para la estación 80421 (Porlamar). Noviembre 2006. [En línea]
 Disponible en: <http://www.wunderground.com/global/stations/80421.html>

[31]Google Earth® [En línea] Disponible en: <http://google-earth.softonic.com/ie/41959/descargar>

[32] LAMBERT, Tom. Windographer. Mistaya Engineering. [En línea] Disponible en:
<http://www.mistaya.ca/products/windographer.htm>

[33] HOMER The optimization model for distributed power. NREL. [En línea] Disponible en:
<http://www.nrel.gov/homer/default.aspHomer>

[34] Hybrid2. RERL Center of energy efficiency & renewable energy [En línea] Disponible en:
www.ceere.org/rerl/projects/software/hybrid2/download.html

[35] DEVINE, Mia. Analysis of electric loads and wind-diesel energy options for remote power stations in Alaska. University of Massachusetts. 2005

[36] Retail price list Bergey Windpower. [En línea] Disponible en: <http://www.sameomaha.org>

[37] The alternative energy store. [En línea] Disponible en: <http://search.altenergystore.com>

[38] Gopower generators [En línea] Disponible en: <http://www.gopower.com>

[39] Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de Energía. Dirección de Electricidad, Carbón y otras energías.

[40] SÁNCHEZ, Nilda. Estudio preliminar de la viabilidad de instalaciones de generadores eólicos de 15 kW en el Nororiente de Venezuela. Universidad Simón Bolívar, Valle de Sartenejas. 2006

[41] Historial climatológico para la estación 80421 (Porlamar). Noviembre 2006. [En línea] Disponible en: <http://www.wunderground.com/global/stations/80421.html>

[42] GARCÍA, Rafael. Centrales eléctricas: Centrales eólicas (1ra. parte) [En línea] Disponible en: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo4b.html>

[43] MORAGUES, Jaime. Energía eólica. Instituto argentino de la energía. 2003 [En línea] Disponible en: http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf

APÉNDICES

APÉNDICE A: Informe de campo sobre la visita al Archipiélago Los Testigos

La ubicación geográfica, así como las características del asentamiento de la población debido a la dispersión de los espacios conlleva de cierta manera a que el consumo eléctrico actualmente esté distribuido no uniformemente. Así mismo la disponibilidad de recursos e ingresos propios de los habitantes determinan la capacidad energética en el asentamiento rural donde se encuentren

Debido a la inexistencia de una curva de carga de las islas en el Archipiélago se elaboró una encuesta sencilla para sondear el consumo energético de la población.

ISLA LA IGUANA

En este islote se observó la distribución de carga más uniforme de todos los islotes del Archipiélago; siendo el sistema de generación único en este asentamiento. El servicio eléctrico se presenta durante las 24 horas de día; siendo motivo de suspensión el paso de algún fenómeno meteorológico por el Archipiélago. El equipo de generación STAMFORD, modelo NEWAGE de 92kVA @ factor de potencia 0.8, cuya salida es de 220/110 V., se encuentra ubicado en la casa de máquinas del Comando de Guardacostas de la Armada, siendo ellos mismos los encargados de hacerle mantenimiento al mismo. A este se le realizan dos tipos de mantenimiento: el preventivo, que se efectúa cada quinientas horas de operación consistiendo en un cambio de aceite, radiador y filtro, y el mantenimiento general(“overhaul”)que se efectúa cada cinco mil horas, y consiste en el cambio de pistones, conchas, balancines y anillos. Hasta los momentos el equipo ha presentado daños en: bomba de inyección, aternador y radiador. También existe un equipo Cummins, modelo 4B 3.9 GS/GC de 46kVA @ factor de potencia 0.8, que se encuentra inoperativo desde hace más de un año. Cuando ambas unidades operan la primera se encarga de abastecer al pueblo,

y la última sólo al Comando de Guardacostas, no obstante, en estos momentos el equipo STAMFORD se encarga de suplir la demanda de toda la carga de la isla incluyendo al Comando.



Fig. A.1. Almacenamiento de combustible – Isla La Iguana



Fig. A.2. Operación y mantenimiento del generador diesel - Isla La Iguana

El combustible utilizado por las unidades generadores es gasoil, el cual es adquirido por la Armada en Sucre o Nueva Esparta y transportado hasta el Archipiélago, donde existe una capacidad total de almacenamiento de 14000lt. La fragilidad e importancia del ecosistema del Archipiélago agudiza la problemática que se presenta en cada ruptura de la manguera de 2^{1/2} pulg que frecuentemente ocurre durante la de descarga de combustible hacia el Comando y ocasiona derrames de combustible en el mar.

El sistema de distribución consta de aproximadamente veintisiete postes de madera que llevan tres fases y un neutro, con sus respectivos aisladores poliméricos. El nivel de tensión de las líneas es 220 V. línea - línea, y 110 V. línea – neutro. El alumbrado público es escaso. Según los habitantes el nivel de tensión no se ve afectado regularmente, inclusive para las últimas viviendas de la isla, señalando que sólo cuando hay poco combustible para el generador ocurren bajas en el nivel de tensión, siendo un indicador de ello la tenuidad del alumbrado en las viviendas, ante dicha situación proceden a la desconexión inmediata de la nevera, freezer, y electrodomésticos de

poco uso. Es importante hacer énfasis en esta última situación, pues si persiste durante más de tres días los grupos familiares no tienen como mantener la pesca realizada.

Caracterización de la carga

- Vivienda de madera: típicamente presenta una carga de 14.5kWh/día, cuyos picos en la demanda ocurren en las horas del mediodía y la noche, sólo los equipos de refrigeración se encuentran conectados 24h/día.

Tabla A.1. Carga conectada en una vivienda de madera típica en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006

Carga	Consumo (W)	Cantidad	Consumo dispositivos (W)
Ventilador	100	2	200
Bombillos	60	6	360
Bombillos	60	2	120
Licuada	500	1	500
Tosti – arepa	600	1	600
Microondas	1200	1	1200
TV 13"	200	2	400
DVD	50	2	100
Freezer	400	1	400
Lavadora	500	1	500
Nevera 12'	350	1	350
Radio Casette	35	1	35

- Vivienda de bloques: típicamente presentan un consumo de 17.3kWh/día, los picos de la demanda ocurren al mediodía y en la noche, igualmente los equipos de refrigeración se mantienen encendidos las 24h/día.

Tabla A2. Carga conectada en una vivienda de bloques típica en el Archipiélago Los Testigos para el año 2006

Carga	Consumo (W)	Cantidad	Consumo dispositivos (W)
Bombillos	60	6	360
Bombillos	60	4	240
Ventilador	100	4	400
TV 19"	300	2	600
DVD	50	2	100
Freezer	400	1	400
Nevera 12'	350	1	350
Licuada	500	1	500
Tosti - arepa	600	1	600
Equipo de sonido	160	1	160
Olla arrocera	800	1	800
Plancha	1000	1	1000
Lavadora	500	1	500

- Escuela: presenta un consumo de 111kWh/día, poseen placas solares para suplir la demanda de los equipos de computación, el resto de la carga es suplida por el sistema de generación de la isla.

Tabla A3. Carga conectada en la Escuela Básica del Archipiélago Los Testigos para el año 2006

Carga	Consumo Dispositivo (W)	Cantidad de Dispositivos	Consumo Total de dispositivos (W)
Balástros	108	92	9936
Ventilador	100	13	1300
Nevera 15'	500	1	500
Freezer	400	1	400
Impresora	100	1	100
Microondas	1200	1	1200
Electrodomésticos	600	1	600
Aire Acondicionado	1800	1	1800
TV 19"	300	2	600
DVD	50	1	50
VHS	50	1	50

- Comando de Guardacostas: es la carga que más energía demanda de la isla, alrededor de unos 224kWh/día, aunque presenta picos de demanda en horas de la noche la distribución temporal de la demanda suele ser uniforme. Siendo el encendido de la bomba de agua el aumento súbito en la demanda que esta pueda experimentar el día de la semana en el cual éste sea encendido.

Tabla A4. Carga conectada en la Estación secundaria de Guardacostas del archipiélago Los Testigos para el año 2006

Carga	Consumo (W)	Cantidad	Consumo dispositivos (W)
Bombillos	60	17	1020
Bombillos	60	3	180
Ventiladores	100	5	500
Nevera 15'	500	7	3500
Equipo de comunicaciones	600	1	600
TV 19"	300	1	300
TV 19"	300	2	600
DVD	50	2	100
Freezer	400	1	400
Plancha	1000	2	2000
Computadora	250	1	250
Impresora	100	2	200
Equipo de sonido	160	2	320
Faros	500	7	3500
Filtro de agua	600	3	1800
Bomba de agua	1490	2	2980
Electrodomésticos	500	2	1000

- Ambulatorio: Es menor carga que se encuentra en la isla, siendo los equipos de acondicionamiento del espacio los que ocupan la mayor parte de la carga, actualmente sólo el esterilizador amerita uso de energía eléctrica. Es importante acotar que esto ocurre porque el ambulatorio se encuentra totalmente desprovisto de equipos y material médico – quirúrgico.

Tabla A5. Carga conectada en el Ambulatorio de la Estación secundaria de Guardacostas del Archipiélago Los Testigos para el año 2006

Carga	Consumo Dispositivo (W)	Cantidad de Dispositivos	Consumo Total de dispositivos (W)
Bombillos	30	2	60
Bombillos	60	3	180
Esterilizador	960	1	960
Radio Casette	35	1	35
Ventilador 100W	100	1	100
Filtro de agua	600	1	600

ISLA TESTIGO GRANDE

Por sus características orográficas y la dispersión de su distribución poblacional, el sistema de generación se encuentra puntualizado en cada uno de los asentamientos. Éste se lleva a cabo mediante el uso de pequeñas plantas que abastecen la carga desde tres hasta diez viviendas, dependiendo de su capacidad. También es importante conocer que todos los gastos de operación y mantenimiento, e inclusive la compra de las unidades, como es el caso de Playa Chiquita, corren por cuenta de los usuarios del servicio. Cabe destacar según los pobladores que en reiteradas ocasiones organismos públicos han ofrecido unidades generadoras con mayor capacidad pero hasta el momento no han recibido bien alguno, lo que agudiza aún más dicha problemática.



Fig. A.3. Generadores diesel averiados en Playa Chiquita

El consumo residencial es similar al de isla la Iguana, no obstante, presentan un horario de disponibilidad energética entre las cinco y diez p.m.; sin embargo, se presume que de contar con el servicio las 24 horas del día, presentaría una distribución temporal de la carga aun más similar al de La Iguana. Se pudo observar la presencia de pequeños aerogeneradores en Playa Los Ingleses, así como placas solares, que han sido donados por turistas.

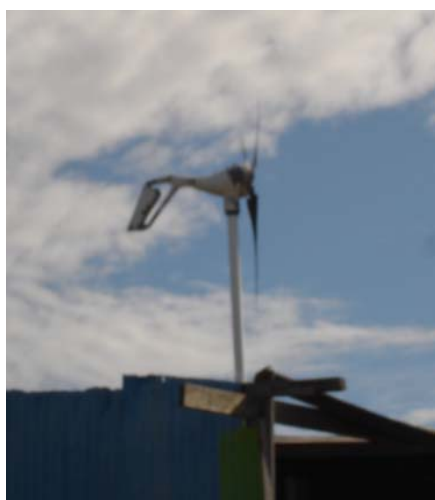


Fig. A.4. Aerogenerador Isla Testigo Grande



Fig. A.5. Descarga de combustible Isla Testigo Grande - Playa Tamarindo

Potencialidades

- Zona con excelentes condiciones para el turismo de sol y playa, la observación de aves, tortugas y el submarinismo.
- Gran potencial pesquero en toda la zona, y muy especialmente en aquellas áreas que, por sus particularidades de acceso y clima, tienen limitaciones para el desarrollo de la actividad turística.
- Islas en áreas típicamente oceánicas que son puntos invaluable de observación para la realización de estudios científicos, biológicos, pesqueros y oceanográficos, en general, de todo el sur del Mar Caribe.
- Cercanía relativa al continente y condiciones climáticas de algunas de las islas que integran este territorio, facilitan el desplazamiento de un alto número de visitantes durante todo el año.

Limitaciones

- Escasez de agua dulce.
- Deficiencia en el servicio eléctrico.
- Compleja accesibilidad y distancia para transportar materiales de construcción.
- Transporte limitado al servicio de la Armada y a "peñeros".

Necesidades energéticas de los futuros consumidores

- ✓ Planta desalinizadora.
- ✓ Fábrica de hielo comunitaria.
- ✓ Centro de comunicaciones comunitario o instalación de equipos de comunicaciones para poblaciones rurales aisladas.
- ✓ Planta procesadora de desechos.
- ✓ Planta de tratamiento de aguas servidas.
- ✓ Reacondicionamiento del ambulatorio.
- ✓ Aumento del consumo en carga residencial.

APÉNDICE B: Subsistemas de un aerogenerador

B.1. Subsistemas de un aerogenerador ^[13]

- **Rotor:** formado por las partes móviles que giran fuera de la góndola: las palas y el buje. El buje es la parte móvil del aerogenerador acoplada a las palas, que transmite hacia la caja multiplicadora a través del eje de baja velocidad la energía cinética captada por las palas. La tendencia que domina un 90% del mercado mundial de aerogeneradores está orientada a la construcción de motores tripala con bujes fijos, siendo su construcción el resultado de un proceso de fabricación semi-automático con la participación de mano de obra especializada. Su diseño es el resultado de estudios aerodinámicos, incluyendo criterios de captación energética, disminución de ruido, disminución de sensibilidad ante agentes externos. Actualmente, los materiales usados para su construcción que disminuyen la fatiga sobre el equipo son la fibra de vidrio poliéster y epoxy, madera epoxy, y fibra de carbón/ fibra de vidrio/ kevlar con resinas epoxy.
- **Góndola:** contiene los componentes principales del generador en su interior, entre ellos: el multiplicador, eje de baja y alta velocidad, generador eléctrico, controlador y unidad de refrigeración.
 - *Eje de baja velocidad:* conecta el buje del rotor al multiplicador, el sistema de frenos aerodinámicos es permitido por el sistema hidráulico que se encuentra en su interior. Su velocidad de rotación es de aproximadamente 20 a 30 r.p.m.
 - *Multiplicador:* permite que la velocidad de giro del eje de alta velocidad sea cincuenta veces más grande que el de baja velocidad.

- *Eje de alta velocidad*: conecta el multiplicador al generador eléctrico, posee un sistema de freno mecánico que se utiliza en caso de falla en el frenado aerodinámico, o en paradas por mantenimiento, su velocidad de giro es de 1.500 r.p.m. aproximadamente.
- *Generador eléctrico*: generalmente se utilizan máquinas asíncronas por su peso y debido a que permiten fluctuaciones en su frecuencia.
- *Controlador*
- *Unidad de refrigeración*
- **Torre**: la producción energía será directamente proporcional a su altura⁵, lo que hace de ésta un factor determinante en el dimensionamiento de los equipos. La tecnología de los materiales utilizados para su construcción debe estar orientada a materiales capaces de soportar cargas de empuje transmitidas por el rotor, así como el resto de los esfuerzos mecánicos a los cuales está sometido.

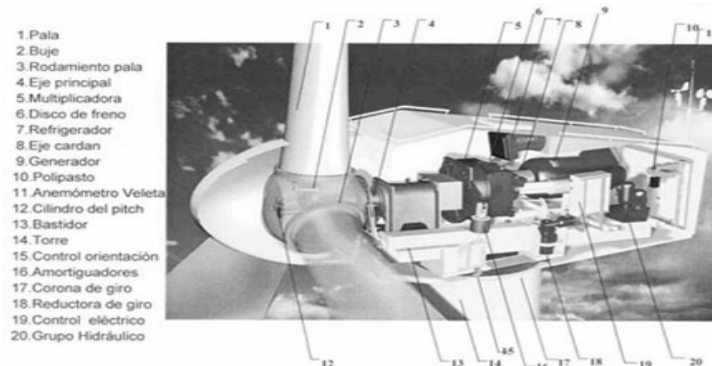


Fig.B.1. Componentes de un aerogenerador [38]

⁵ Siempre que el perfil vertical de velocidades de viento sea creciente.

B.2. Clasificación de los subsistemas de un aerogenerador ^{[13],[42], [43]}

- ♦ **Sistema de transmisión o tren de potencia:** La caja de engranaje se dimensiona a partir del par del motor, y depende de la tecnología utilizada por el motor. Las más utilizadas son de dos o tres etapas. El tren de potencia debe estar diseñado para soportar los efectos de empuje transmitidos por el rotor, así como su estructura debe ser relativamente sencilla par permitir una fácil instalación o reemplazo de las piezas.
- ♦ **Sistema eléctrico:** el generador puede ser de corriente continua o alterna, siendo este ultimo el de mayor aplicación, el tipo de generador utilizado depende principalmente de las características del servicio a prestar, por ejemplo: los alternadores se utiliza con más frecuencia en sistemas autónomos, y los de inducción en sistemas interconectados pues mediante mecanismos de control ajustan su velocidad de giro a la frecuencia de la red.
- ♦ **Sistemas de regulación de potencia y velocidad de giro:** es bien conocido que todo equipo eléctrico es diseñado para trabajar en condiciones nominales, dentro de un rango de valores preestablecidos. Sin embargo, la variabilidad del recurso energético hace necesario el uso de algún sistema de regulación. Para tal fin es habitual utilizar un convertidor electrónico para desacoplar su frecuencia de trabajo con respecto a la de la red.
- ♦ **Sistema de frenado:** siguiendo en el mismo orden de ideas planteado en el inciso anterior, el fabricante debe precisar un procedimiento seguro para detener el aerogenerador en caso de altas velocidades de giro. Regularmente se usan dos tipos de sistemas de frenado, el aerodinámico, el mecánico o por cortocircuito del generador.
- ♦ **Sistemas de regulación aerodinámica.:**
 - *Regulación por control de pala (pitch):* consiste en el ajuste continuo del ángulo longitudinal de la pala, con lo que se logra modificar las fuerzas sobre dicho perfil y por

ende la potencia y velocidad de giro. Para lograr confiabilidad se requiere implementar un sistema de control complejo y costoso.

- *Regulación por pérdida aerodinámica:* las palas del rotor están fijas al eje, y han sido aerodinámicamente diseñadas de tal manera que a medida que aumenta la velocidad del viento se produce paridad de potencia por turbulencias y así se regula la potencia generada.
- *Reducción de la superficie efectiva batida por el rotor en la dirección del viento:* Su principio físico es la reducción de la superficie barrida por el rotor, mediante un desvío de éste respecto a la dirección del viento en un determinado ángulo.
- ♦ **Sistema de orientación:** se encarga de redireccionar el plano del rotor y la góndola, de manera que el viento incidente sea lo más perpendicular posible al plano de giro de las palas. Las dimensiones de las palas permiten aprovechar la corriente uniforme que recorre la góndola, y aumentar la producción de energía.

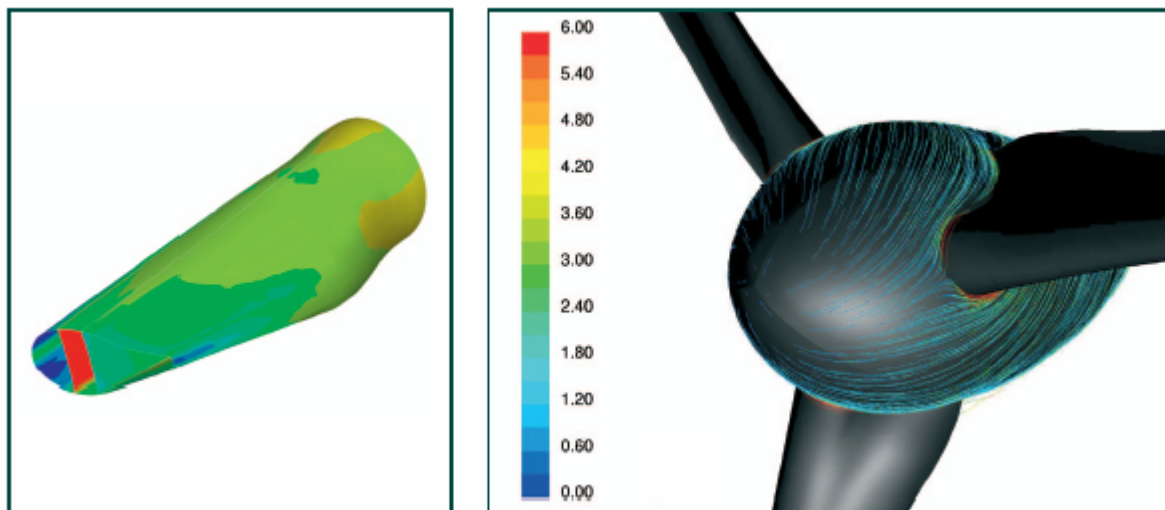






Fig. B.2. Sistema de orientación de pala de una aeroturbina ENERCON E70

Tabla B.1. Clasificación de las aeroturbinas

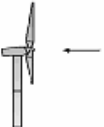
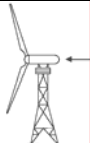
ROTOR DE EJE VERTICAL

Darrieus	Velocidad de giro comparable a aeroturbinas de eje horizontal	Poco estables. Presentan ausencia de par de arranque. Fluctuaciones de par elevadas debido al efecto sombra de la torre.	
Savonius	Ofrecen par de arranque. De fácil construcción.	Bajo rendimiento. Reducida velocidad de giro.	

ROTOR DE EJE HORIZONTAL

Multipala Aeroturbinas lentas	Estables y sólidas	Elevado par de arranque y velocidad reducida	
Tipo hélice Aeroturbinas rápidas	Elevada velocidad de rotación, por lo que la relación multiplicadora de la caja es más reducida	Ruido, complejo sistema de orientación	

DISPOSICIÓN DE LA TURBINA

A barlovento	Es la orientación que minimiza la fatiga sobre el equipo	Necesitan sistema de orientación activo	
A sotavento	Utilizan un sistema de orientación pasivo	Aparición de elevadas cargas aerodinámicas, lo que conduce a fatiga de los materiales	

APÉNDICE C: Caracterización del recurso eólico

C.1. Rosas de velocidades de vientos mensuales a 10m

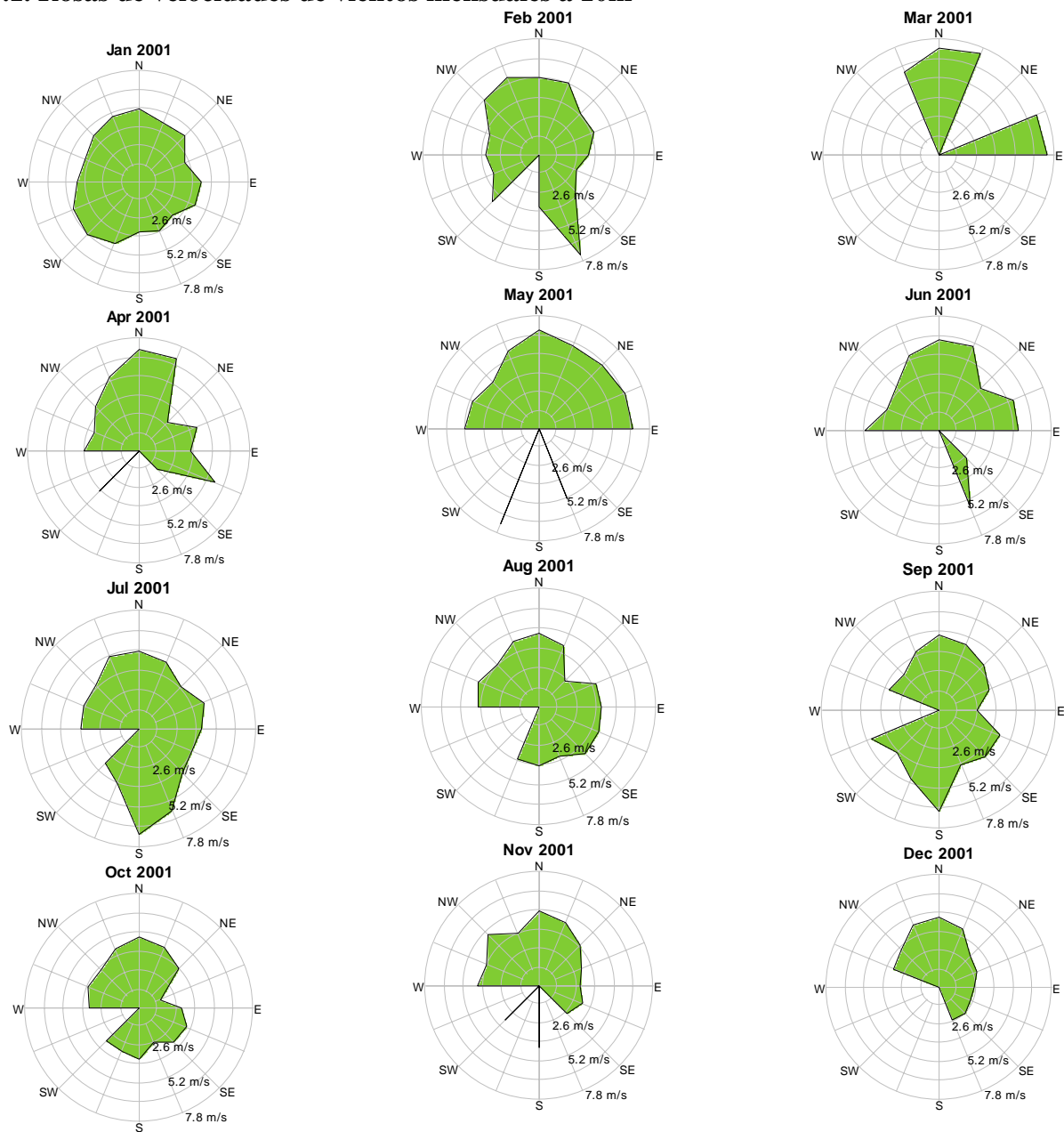


Fig. C.1. Rosas de velocidades de viento mensuales a 10m para el Archipiélago Los Testigos

C.2. Histogramas de frecuencia a 10m y distribución de Weibull

Tabla.C.1. Parámetros de Weibull a 10m

MES	PARÁMETRO DE FORMA	PARÁMETRO DE ESCALA (m/s)
Enero	3.73	5.34
Febrero	3.55	5.69
Marzo	4.93	7.93
Abril	4.53	7.43
Mayo	5.49	7.19
Junio	4.78	6.69
Julio	4.25	5.46
Agosto	4.12	5.20
Septiembre	3.52	5.29
Octubre	3.76	5.13
Noviembre	3.79	5.39
Diciembre	3.64	5.05

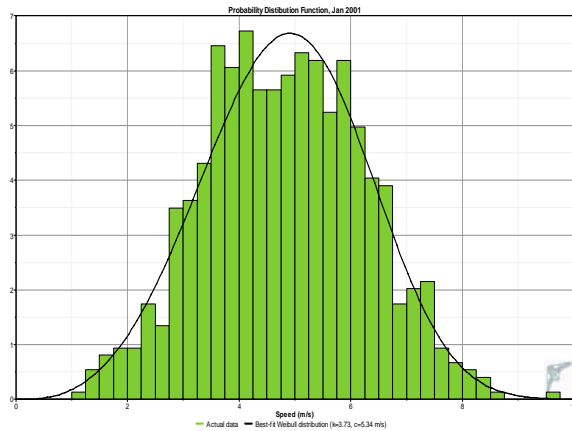


Fig. C.2. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Enero – Archipiélago Los Testigos

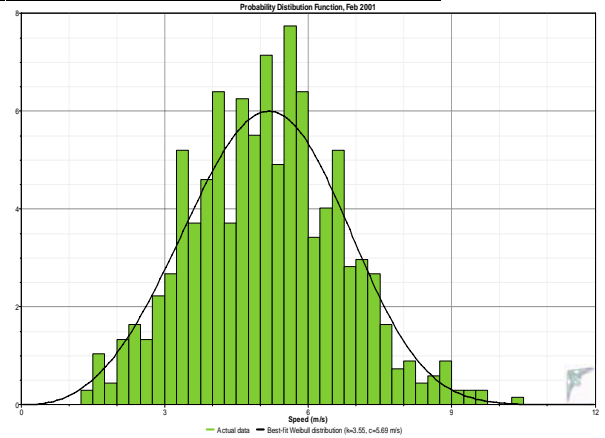


Fig. C.3. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Febrero – Archipiélago Los Testigos

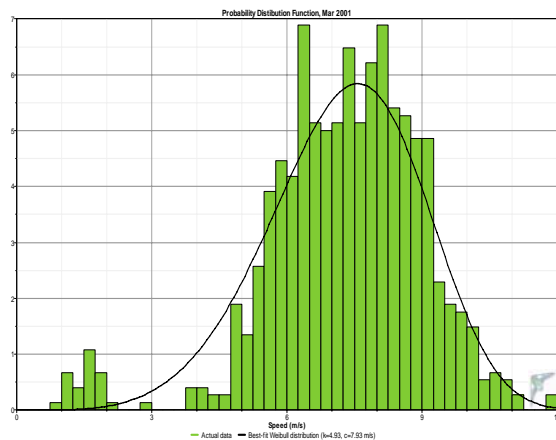


Fig. C.4. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Marzo – Archipiélago Los Testigos

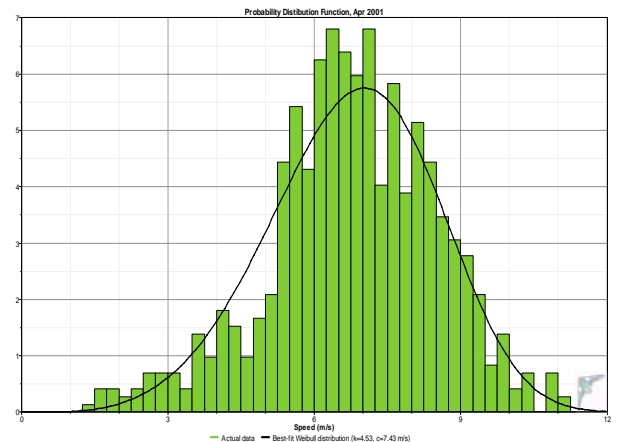


Fig. C.5. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Abril – Archipiélago Los Testigos

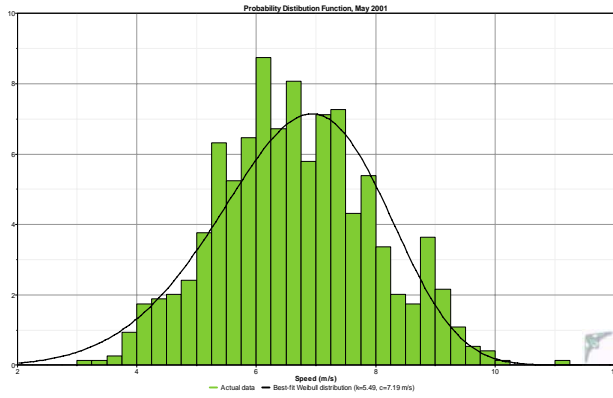


Fig. C.6. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Mayo – Archipiélago Los Testigos

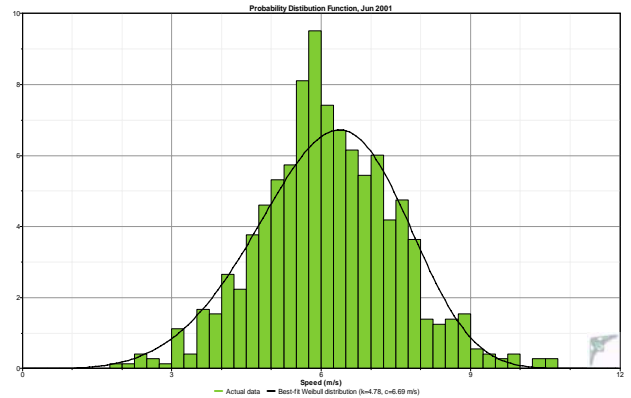


Fig. C.7. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Junio – Archipiélago Los Testigos

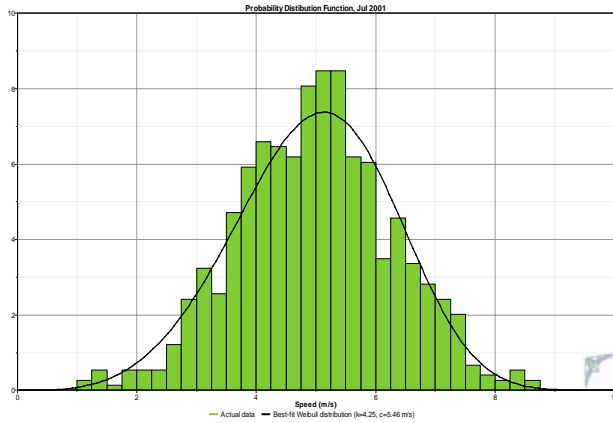


Fig. C.8. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Julio – Archipiélago Los Testigos

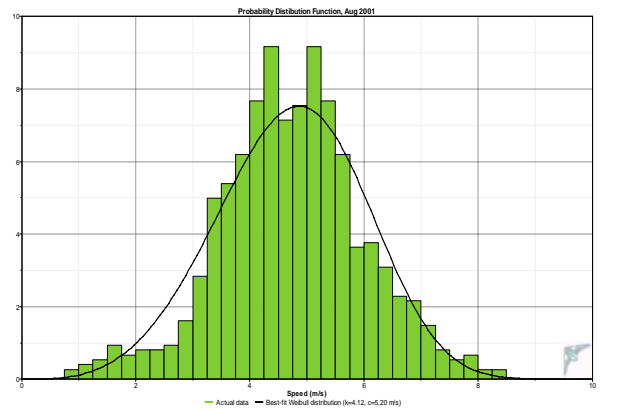


Fig. C.9. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Agosto – Archipiélago Los Testigos

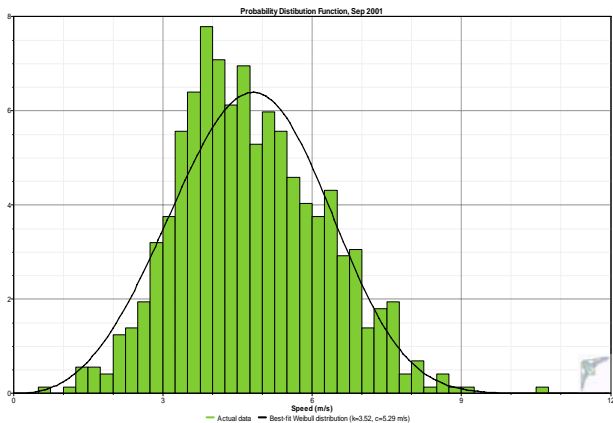


Fig. C.10. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Septiembre – Archipiélago Los Testigos

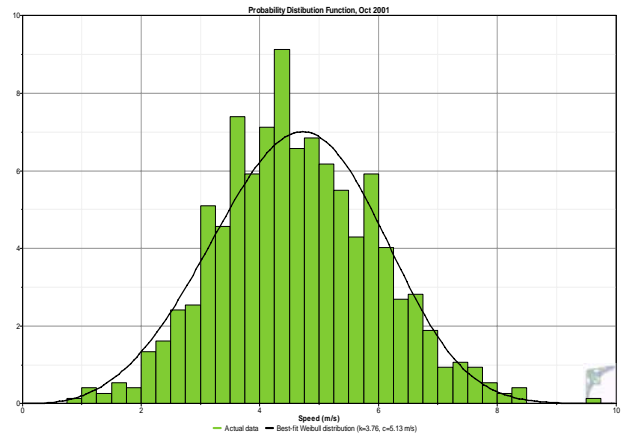


Fig. C.11. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Octubre – Archipiélago Los Testigos

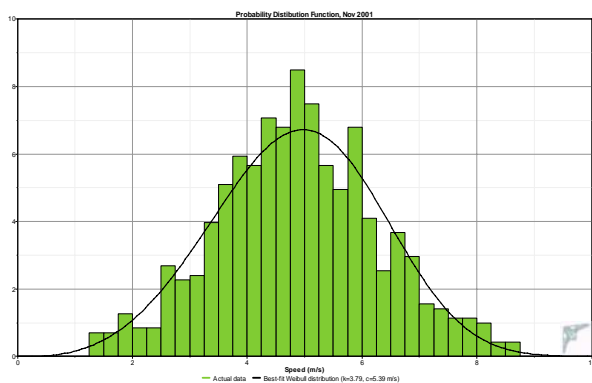


Fig.C.12.Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Noviembre – Archipiélago Los Testigos

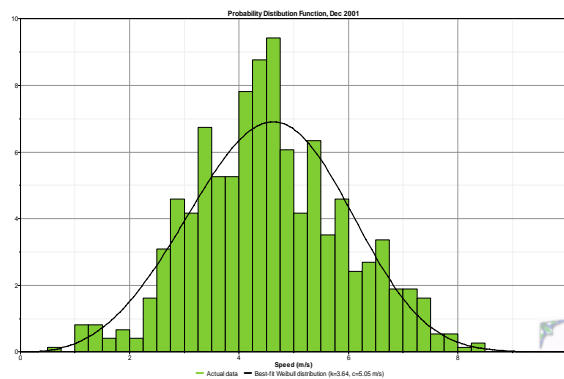


Fig. C.13.Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Diciembre – Archipiélago Los Testigos

C.3. Rosas de velocidades de vientos mensuales a 100m

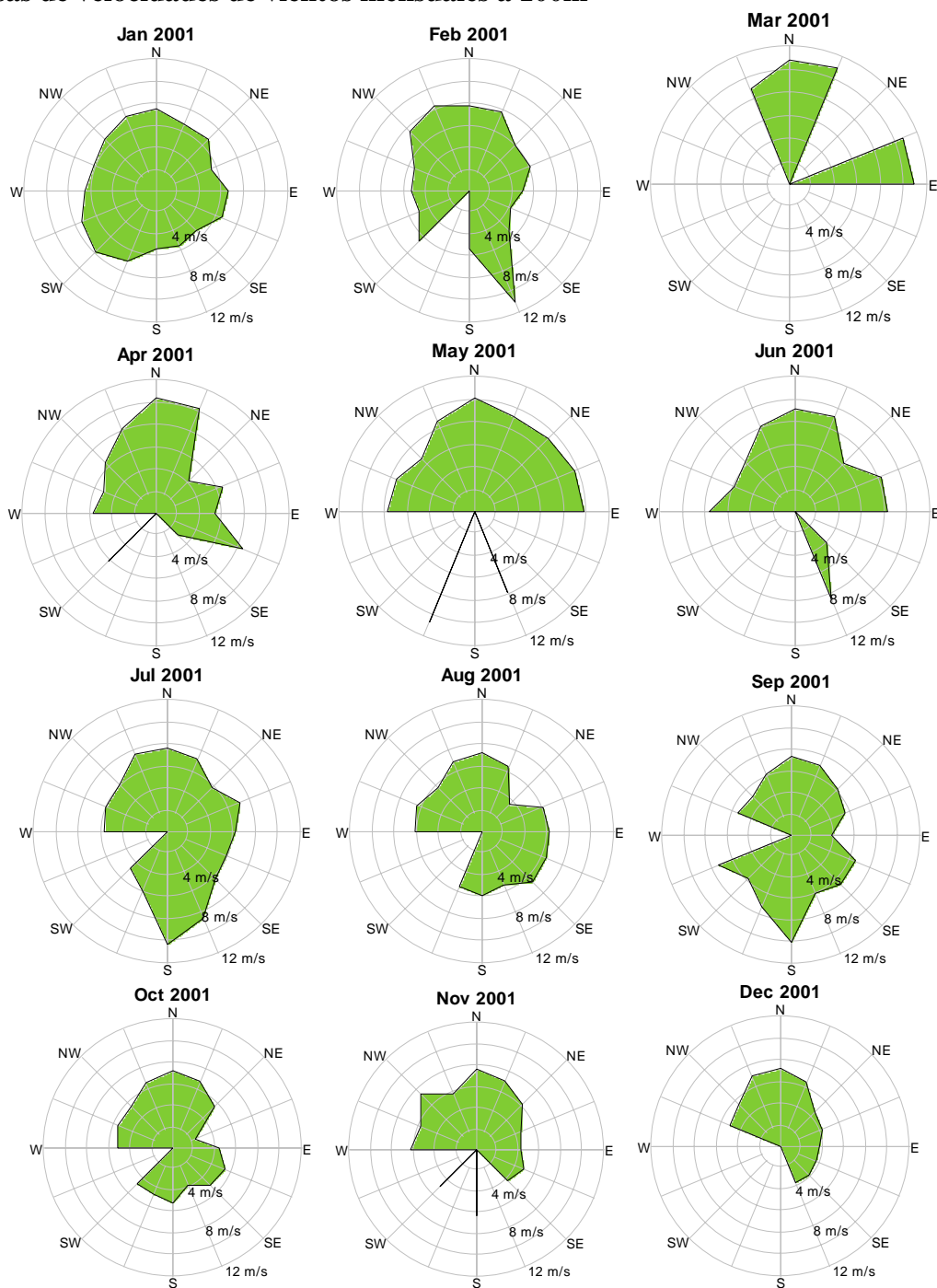


Fig.C.14. Rosas de velocidades de viento mensuales a 100m para el Archipiélago Los Testigos

C.4. Histogramas de frecuencia a 100m y distribución de Weibull

Tabla.C.2. Parámetros de Weibull a 100m

MES	PARÁMETRO DE FORMA	PARÁMETRO DE ESCALA (m/s)
Enero	3.74	7.92
Febrero	3.55	8.43
Marzo	4.89	11.8
Abril	4.52	11
Mayo	5.50	10.7
Junio	4.78	9.91
Julio	4.25	8.10
Agosto	4.12	7.71
Septiembre	3.52	7.85
Octubre	3.76	7.60
Noviembre	3.80	8
Diciembre	3.64	7.49

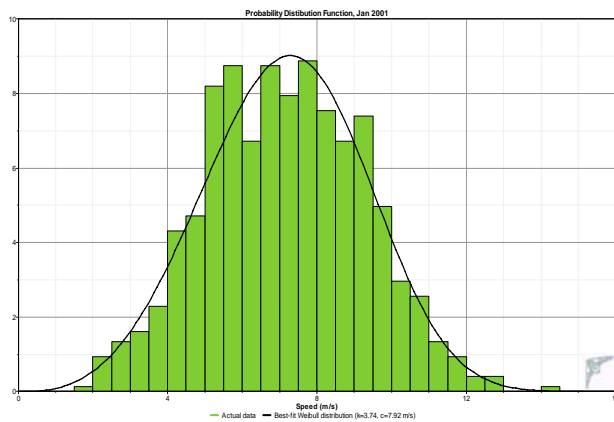


Fig. C.15. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Enero – Archipiélago Los Testigos

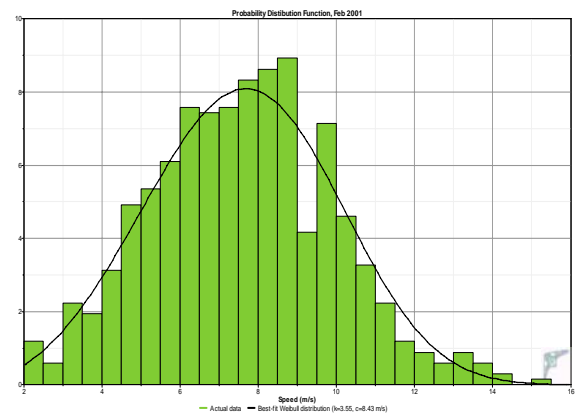


Fig. C.16. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Febrero – Archipiélago Los Testigos

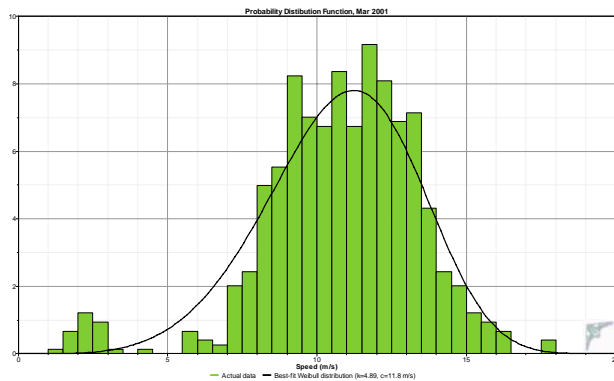


Fig. C.17. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Marzo – Archipiélago Los Testigos

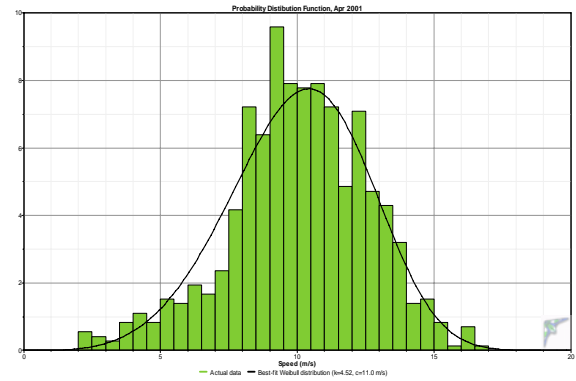


Fig. C.18. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Abril – Archipiélago Los Testigos

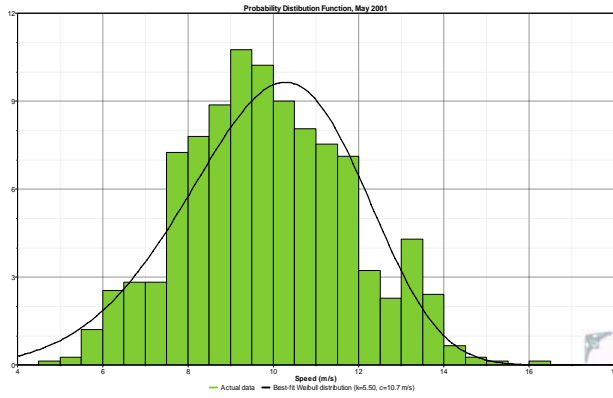


Fig. C.19. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Mayo – Archipiélago Los Testigos

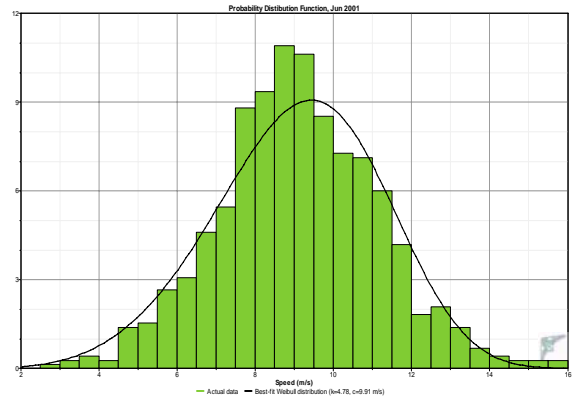


Fig. C.20. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Junio – Archipiélago Los Testigos

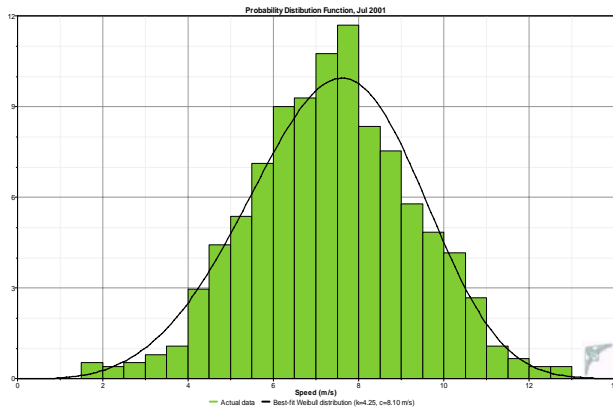


Fig. C.21. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Julio – Archipiélago Los Testigos

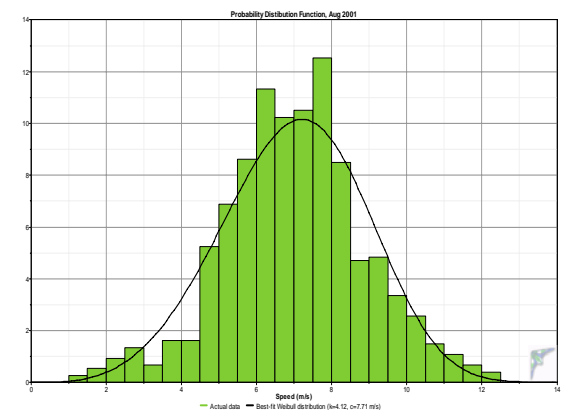


Fig. C.22. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Agosto – Archipiélago Los Testigos

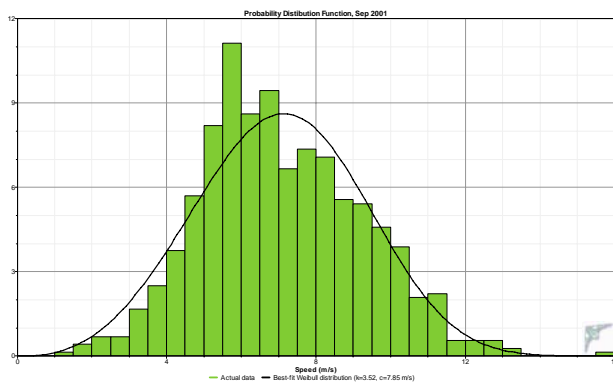


Fig. C.23. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Septiembre – Archipiélago Los Testigos

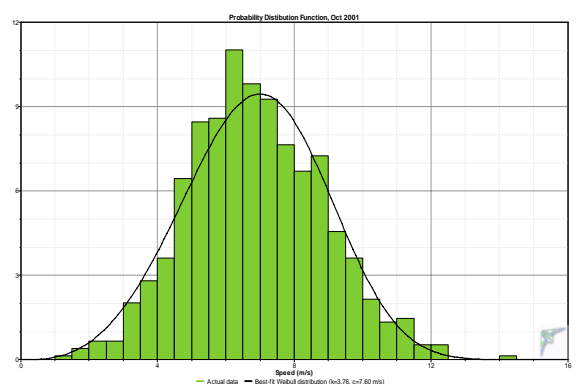


Fig. C.24. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Octubre – Archipiélago Los Testigos

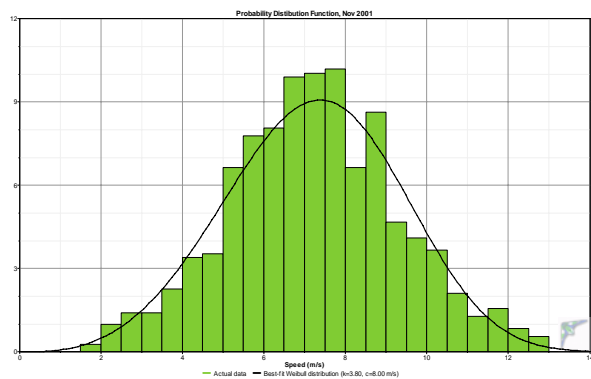


Fig.C.25. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Noviembre – Archipiélago Los Testigos

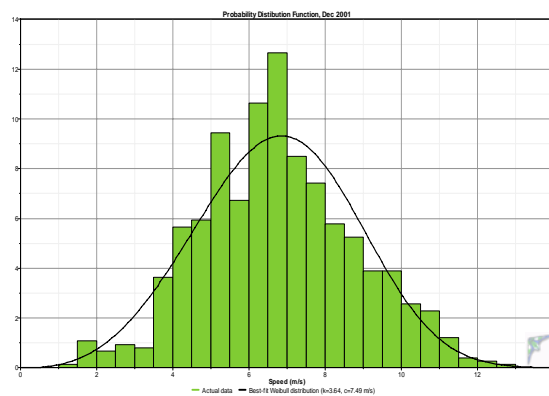
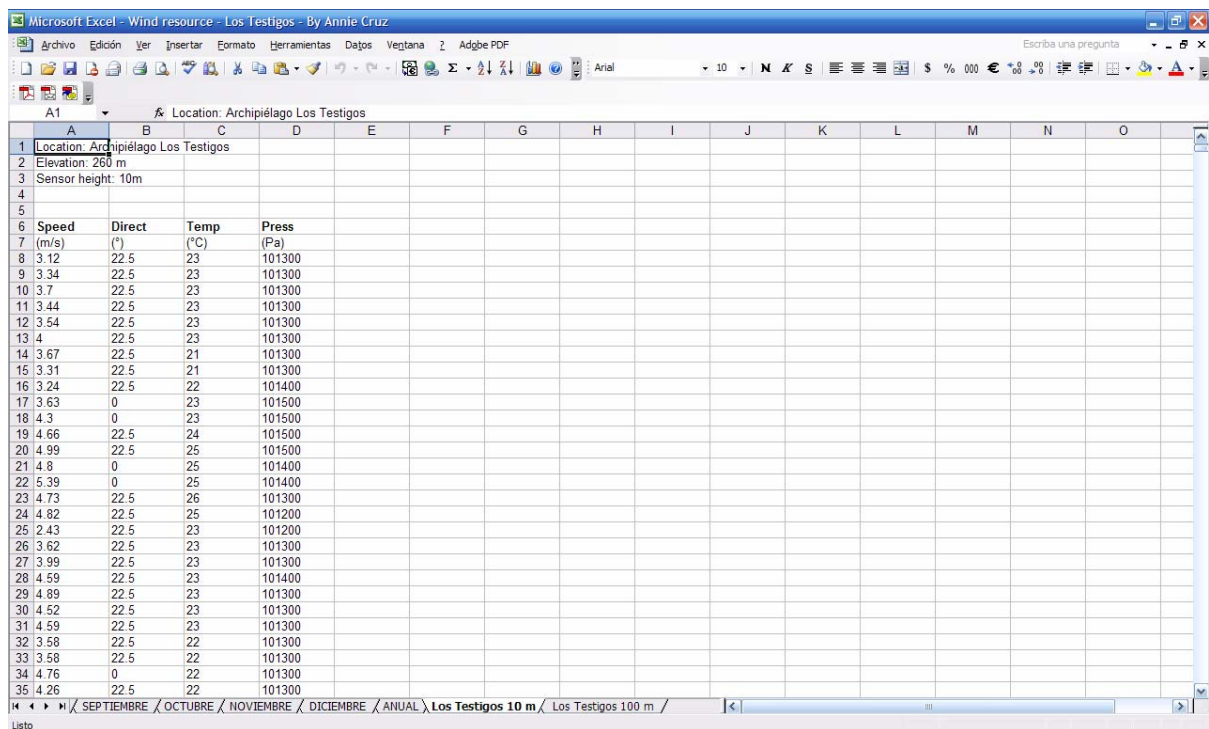


Fig. C.26. Histograma de frecuencia y distribución de Weibull – Diciembre – Archipiélago Los Testigos

APÉNDICE D: Programas utilizados para la modelación de los recursos y el análisis técnico económico

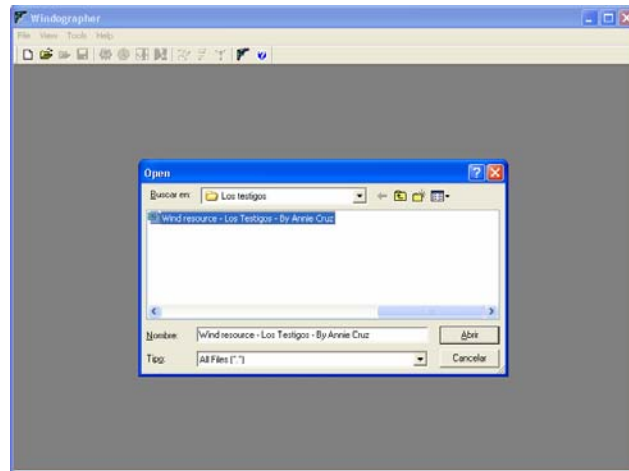
D.1. Caracterización del recurso eólico utilizando WINDOGRAPHER

El programa Windographer® trabaja bajo ambiente Windows®, amerita un archivo de la data meteorológica pertinente, que en el caso particular del estudio incluyó datos de velocidad de viento en m/s, dirección del viento en grados, temperatura en grados centígrados y presión en kPa, dicho archivo puede ser elaborado en Notepad® o Excel® para versiones del año 2003 en adelante. Para las corridas efectuadas en el programa se utilizaron 8760 velocidades de viento, lo que corresponde a un año de mediciones horarias.



1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
2	Location: Archipiélago Los Testigos														
3	Elevation: 260 m														
4	Sensor height: 10m														
5															
6	Speed	Direct	Temp	Press											
7	(m/s)	(°)	(°C)	(Pa)											
8	3 12	22.5	23	101300											
9	3 34	22.5	23	101300											
10	3 7	22.5	23	101300											
11	3 44	22.5	23	101300											
12	3 54	22.5	23	101300											
13	4	22.5	23	101300											
14	3 67	22.5	21	101300											
15	3 31	22.5	21	101300											
16	3 24	22.5	22	101400											
17	3 63	0	23	101500											
18	4 3	0	23	101500											
19	4 66	22.5	24	101500											
20	4 99	22.5	25	101500											
21	4 8	0	25	101400											
22	5 39	0	25	101400											
23	4 73	22.5	26	101300											
24	4 82	22.5	25	101200											
25	2 43	22.5	23	101200											
26	3 62	22.5	23	101300											
27	3 99	22.5	23	101300											
28	4 59	22.5	23	101400											
29	4 89	22.5	23	101300											
30	4 52	22.5	23	101300											
31	4 59	22.5	23	101300											
32	3 58	22.5	22	101300											
33	3 58	22.5	22	101300											
34	4 76	0	22	101300											
35	4 26	22.5	22	101300											

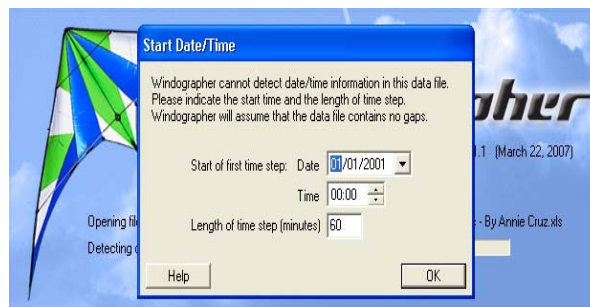
Primero se debe abrir el archivo con la data meteorológica, de extensión .xls o .txt



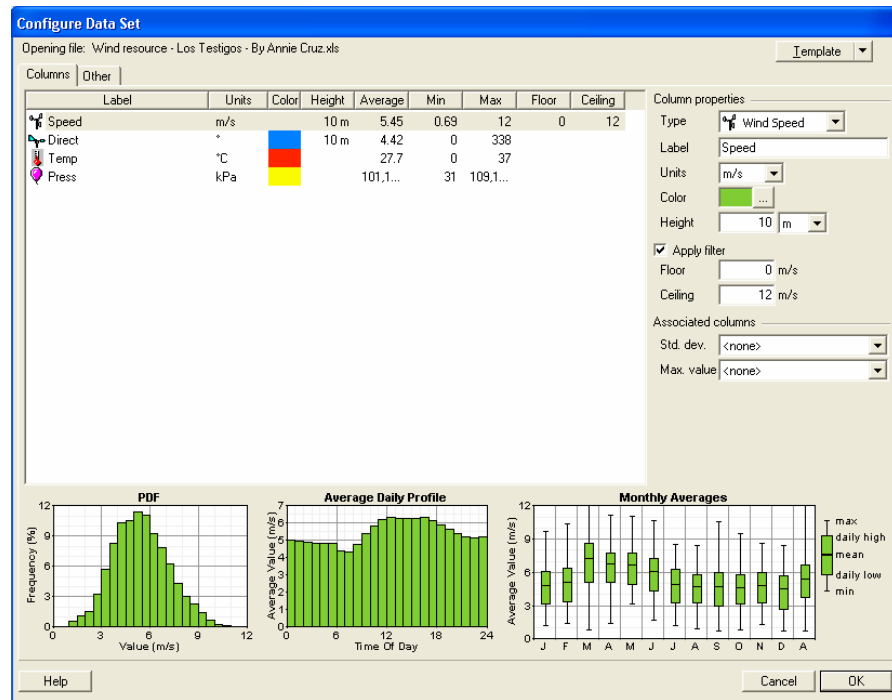
Si el archivo es .xls se debe especificar cual de las hojas de Excel contiene la data



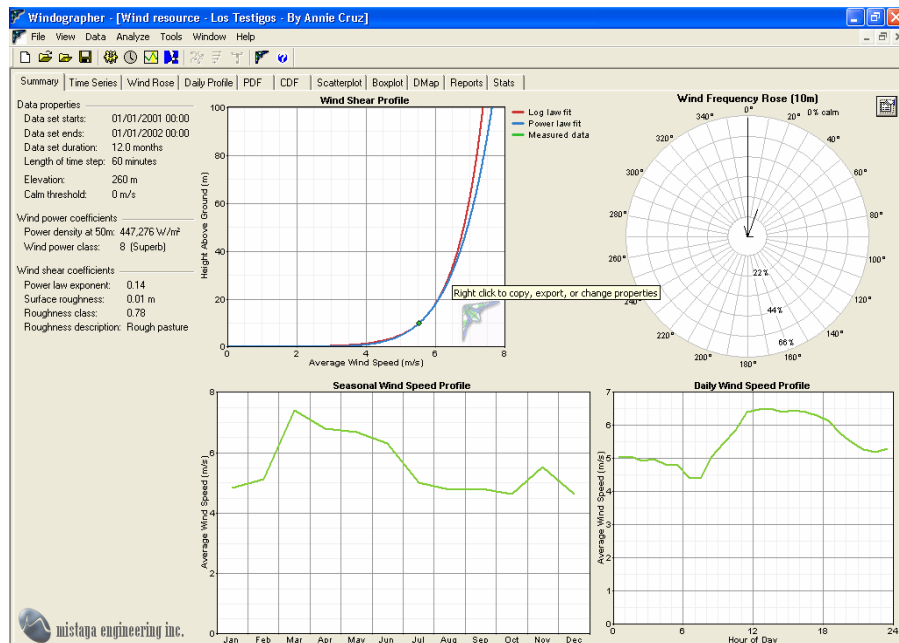
Si el simulador no reconoce directamente la fecha de inicio de la data y el paso de tiempo entre cada medición



Una vez reconocida la data se puede aplicar un filtrado en la de los datos para modelar las ráfagas de viento.

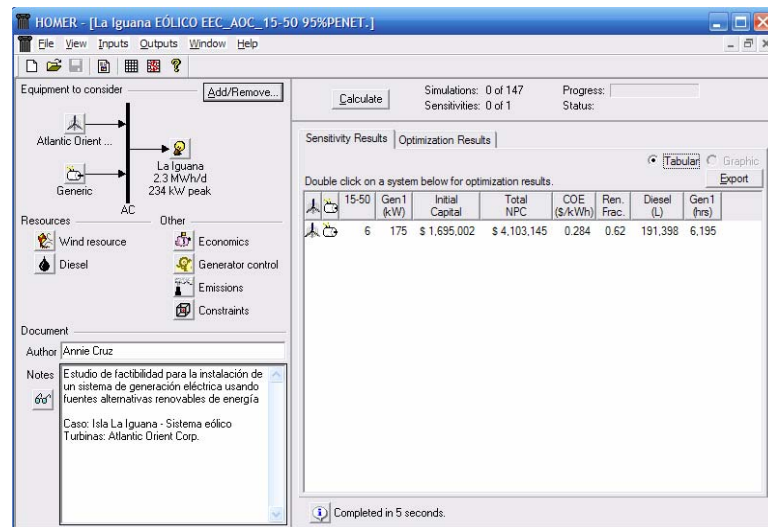


Resultados

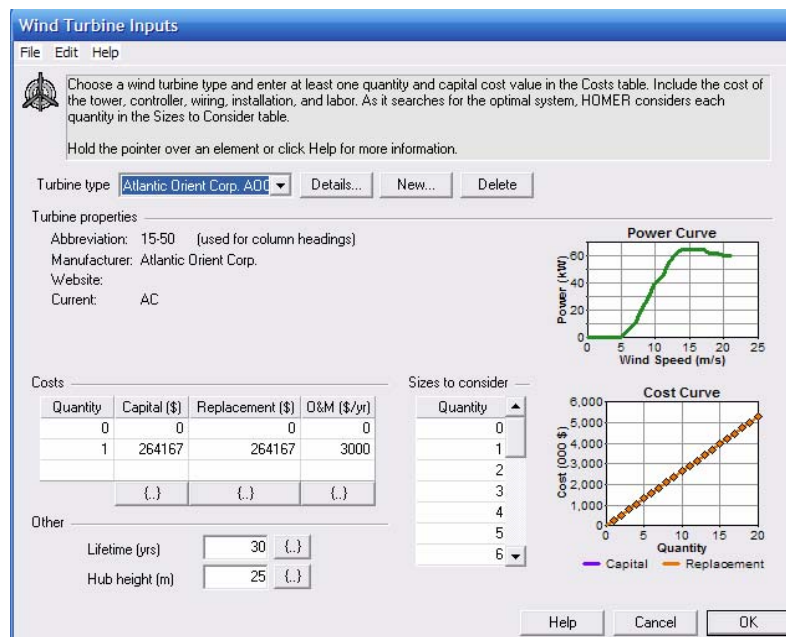


D.2. Optimización de la arquitectura del sistema Eólico – Diesel utilizando la herramienta HOMER

A continuación se presenta como ejemplo de los parámetros de entrada necesarios para realizar la simulación, el caso de isla La Iguana con las turbinas Atlantic Orient Corp. 15 -50



Parámetros de entrada para la aeroturbina Atlantic Orient Corp.



Parámetros de entrada para la selección del Generador Diesel

Generator Inputs

File Edit Help

Choose a fuel, and enter at least one size, capital cost and operation and maintenance (O&M) value in the Costs table. Note that the capital cost includes installation costs, and that the O&M cost is expressed in dollars per operating hour. Enter a nonzero heat recovery ratio if heat will be recovered from this generator to serve thermal load. As it searches for the optimal system, HOMER will consider each generator size in the Sizes to Consider table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Cost Fuel Schedule Emissions

Costs

Size (kW)	Capital (\$)	Replacement (\$)	O&M (\$/hr)
0.000	0	0	0.000
125.000	75000	62500	3.000
175.000	110000	105000	4.000
{..}	{..}	{..}	{..}

Sizes to consider

Size (kW)
0.000
125.000
175.000
203.000
207.000
350.000
397.000

Cost Curve

Properties

Description: Generic Type: ☒ AC ☐ DC

Abbreviation: Gen1

Lifetime (operating hours): 15000 {..}

Minimum load ratio (%): 20 {..}

Help Cancel OK

Caracterización de la demanda: Comportamiento temporal promedio diario

Primary Load Inputs

File Edit Help

Choose a load type (AC or DC), enter 24 hourly values in the load table, and enter a scaled annual average value.

Each of the 24 values in the load table is the average electric demand for a single hour of the day. The values in the table also appear on the graph. HOMER replicates this profile throughout the year unless you define different load profiles for different months or day types. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Label: La Iguala Load type: ☒ AC ☐ DC

Data source: ☒ Enter daily load profile(s) ☐ Import hourly data file Import File...

Baseline data

Hour	Load (kW)
00:00 - 01:00	82.110
01:00 - 02:00	82.110
02:00 - 03:00	82.110
03:00 - 04:00	82.110
04:00 - 05:00	82.355
05:00 - 06:00	86.715
06:00 - 07:00	76.215
07:00 - 08:00	110.600
08:00 - 09:00	128.320
09:00 - 10:00	99.925
10:00 - 11:00	113.500
11:00 - 12:00	103.000

Month: January Day type: Weekday

Add noise: Daily: 15 % Hourly: 20 %

Load Profile

Scaled data for simulation

Scaled annual average (kWh/d): 2277 {..}

Scaled peak: 234 kW

Efficiency Inputs...

Plot... Export...

Help Cancel OK

Annual average: 2,277 kWh/d
Annual peak: 234 kW
Load factor: 0.405

Caracterización del recurso eólico: comportamiento promedio mensual

Wind Resource Inputs

File Edit Help

HOMER uses wind resource inputs to calculate the wind turbine power each hour of the year. Enter the average wind speed for each month. For calculations, HOMER uses scaled data: baseline data scaled up or down to the scaled annual average value. The advanced parameters allow you to control how HOMER generates the 8760 hourly values from the 12 monthly values in the table.

Hold the pointer over an element or click Help for more information.

Data source: ☒ Enter monthly averages ☐ Import hourly data file

Baseline data

Month	Wind Speed (m/s)
January	7.140
February	7.540
March	10.960
April	10.070
May	9.860
June	9.330
July	7.380
August	7.050
September	7.110
October	6.860
November	8.170
December	6.830
Annual average:	8.192

Wind Resource

Other parameters: Altitude (m above sea level) Anemometer height (m) Variation With Height...

Advanced parameters: Weibull k Autocorrelation factor Diurnal pattern strength Hour of peak windspeed

Scaled data for simulation: Scaled annual average (m/s)

Costo del diesel

Diesel Inputs

File Edit Help

Enter the fuel price. The fuel properties can only be changed when creating a new fuel (click New in the Generator Inputs or Boiler Inputs window).

Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Price (\$/L)

☐ Limit usage to (L/yr)


Fuel properties

Lower heating value: 43.2 MJ/kg
 Density: 820 kg/m3
 Carbon content: 88 %
 Sulfur content: 0.33 %

Parámetros económicos

Economic Inputs

File Edit Help

 HOMER applies the economic inputs to each system it simulates to calculate the system's net present cost.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.


Annual real interest rate (%)	<input type="text"/>	{..}
Project lifetime (years)	<input type="text" value="25"/>	{..}
System fixed capital cost (\$)	<input type="text" value="0"/>	{..}
System fixed O&M cost (\$/yr)	<input type="text" value="0"/>	{..}
Capacity shortage penalty (\$/kWh)	<input type="text" value="0"/>	{..}

Help Cancel OK

Estrategias de despacho de carga

Generator Control Inputs

File Edit Help

 The generator control inputs define how HOMER models the operation of generators in the system. Dispatch strategy determines how the generator(s) charge the battery bank.
Hold the pointer over an element name or click Help for more information.

Dispatch strategy _____

☒ Load following
☐ Cycle charging ☐ Apply setpoint SOC

Setpoint state of charge (%) {..}

Advanced _____

☒ Allow systems with multiple generators
☒ Allow multiple generators to operate simultaneously
☒ Allow systems with generator capacity less than peak load

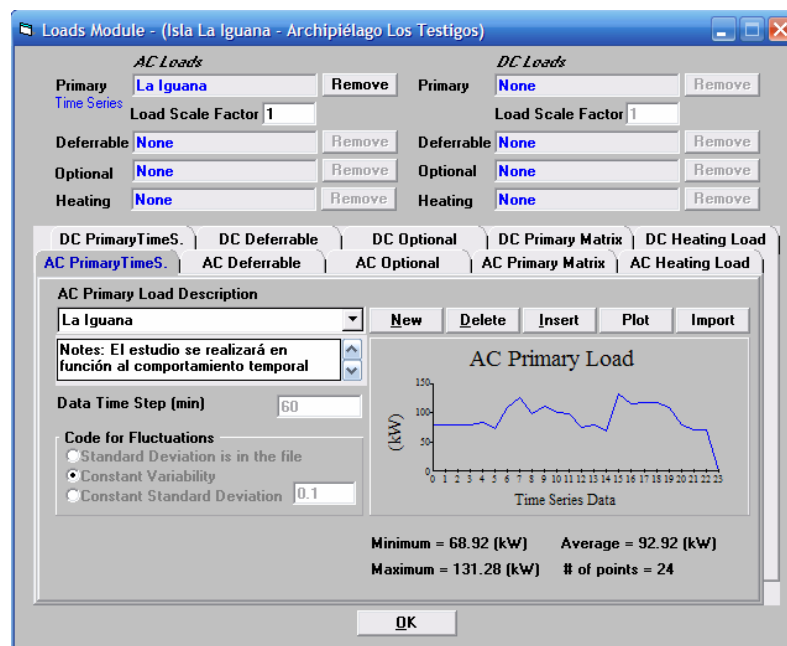
Help Cancel OK

D.4. Evaluación económica del sistema viento Diesel utilizando la herramienta HYBRID2

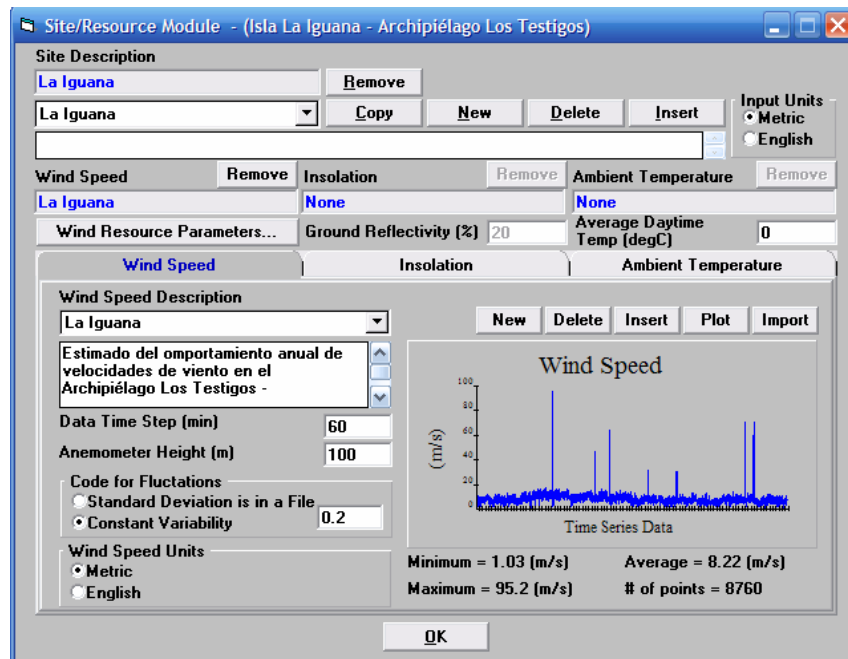
A continuación se presenta como ejemplo de los parámetros de entrada necesarios para realizar la simulación, el caso de isla La Iguana con la aeroturbina Fuhrlander FL-250

The screenshot shows the 'Hybrid2/Project' window. The 'Project Description' dropdown is set to 'Isla La Iguana - Archipiélago Los Testigos'. The 'Notes' field contains the text: 'Estudio de factibilidad para la instalación de un sistema híbrido en el Archipiélago Los Testigos'. Under the 'Required' section, the 'Loads...' button is highlighted. Under the 'Discretionary' section, the 'Economics...' button is highlighted. The 'Description' list on the right includes 'Defined', 'La Iguana', and 'Isla La Iguana'. The 'Data Time Step (min)' is set to 60.

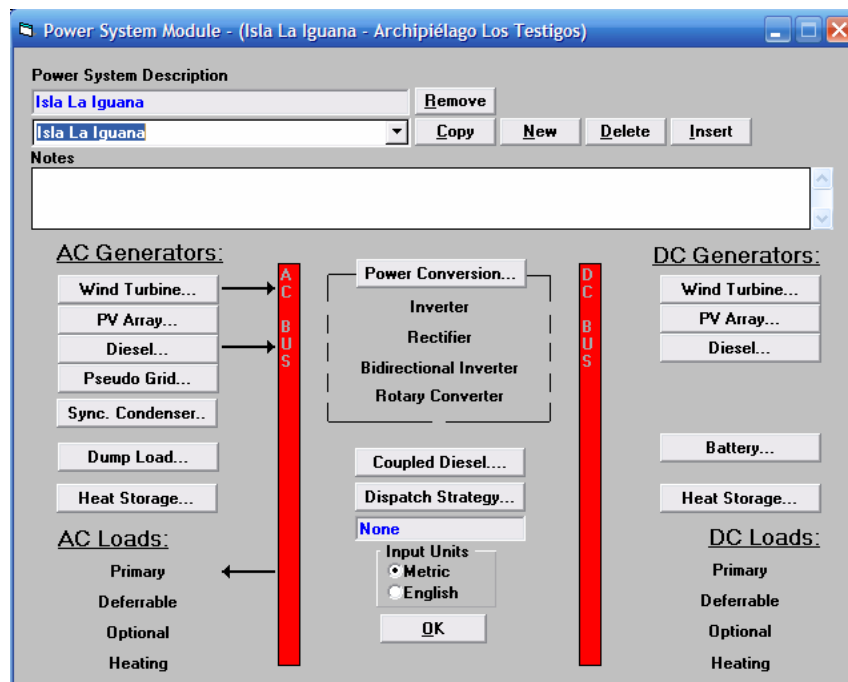
Caracterización de la carga



Caracterización del recurso eólico



Arquitectura del sistema híbrido



Características del sistema eólico

AC Wind Turbine Subsystem - (Isla La Iguana)

Description	Quantity
Fuhrlander 250	1

Remove

Wind Power Scale Factor: 1
 Wind Turbine Spacing (m): 100
 Wind Power Response Factor: 1.5
 Avg. Wind Turbine O/M Cost (\$/kWh): 0.025

Wind Turbine Component: Fuhrlander 250
 FL-250
 Distributor address: 4 Airport Road, Block Island, RI 02807 401 466 2883

Rated Power (kW): 250
 Hub Height (m): 50
 Avg. Interval for Pwr (min): 10
 Capital Cost Domestic (\$): 0
 Capital Cost International (\$): 310000
 Tower Capital Cost (\$): 141000
 Installation Cost (\$): 111000
 Overhaul Costs (\$): 10000
 Overhaul Period (yr): 20

Copy New Delete Insert

Input Units: ☒ Metric ☐ English

Power Curve Input

W. Spd	Power
1	0
2	0
3	1
4	7
5	25
6	35
7	59
8	91

Add Data Del Data

Power Curve Graph

OK

Parámetros del generador diesel

AC Diesel Subsystem - (Isla La Iguana)

Description	Number
Cummins LTA10G1	1

Remove

Avg Diesel O/M Costs (\$/Operational hour): 0.03

Diesel Description: Cummins LTA10G1

Copy New Delete Insert

Units: ☒ Metric ☐ English

Rated Power (kW): 175
 Minimum Allowed Power (kW): 35
 Capital Cost (\$): 110000
 Balance of Plant Cost (\$): 11000
 Overhaul Cost (\$): 20000
 Overhaul Period (hr): 10000

Load Fuel

Load	Fuel
0	0
25	18.55
50	32.17
75	45.8
100	59.05

Add Delete

Diesel Fuel Consumption

$$y = 2.43E-05x^3 + -4.85E-03x^2 + 0.83x + 0.08$$

OK

Parámetros económicos de la(s) aeroturbina(s)

Economics Module - (Isla La Iguana - Archipiélago Los Testigos)

Economic Description
 isla La Iguana Remove

isla La Iguana Copy New Delete Insert Input Units
☒ Metric ☐ English

Component Costs **System Costs** **Economic Parameters**

Wind Turbine **Battery** **Power Converter**
PV Array **Diesel**

Wind Turbine Overhaul Parameters
 (Important Note: Enter turbines in the order they are defined. Enter AC turbines first followed by DC turbines.)

Cost (\$)	Period (yr)
\$5,000.00	20

of O/H Param: 1 Add Data Del Data

Wind Turbine O+M Cost (\$/kWh) 0.02

AC Domestic Turbine Cost (\$) 0
 International Turbine Cost (\$) 310000
 Tower Cost (\$) 141000
 Installation Cost (\$) 111000

DC Domestic Turbine Cost (\$) 0
 International Turbine Cost (\$) 0
 Tower Cost (\$) 0
 Installation Cost (\$) 0

OK

Parámetros económicos del generador Diesel

Economics Module - (Isla La Iguana - Archipiélago Los Testigos)

Economic Description
 isla La Iguana Remove

isla La Iguana Copy New Delete Insert Input Units
☒ Metric ☐ English

Component Costs **System Costs** **Economic Parameters**

Dump Load **Battery** **Power Converter**
Wind Turbine **PV Array** **Diesel**

Avg Diesel O+M Cost (\$/Oper h) 0.03

Diesel (Hybrid)
 Total Diesel Capital Cost (\$) 110000
 Diesel Balance of Plant Cost (\$) 0

Diesel (Base Case)
 Total Diesel Capital Cost (\$) 0
 Diesel Balance of Plant Cost (\$) 0

Diesel Overhaul Parameters
 (Important Note: Enter Diesels in the order they are defined. Enter Hybrid Diesels first followed by Base Case Diesels.)

Cost (\$)	Period (yr)
\$20,000.00	10000

of O/H Param: 1 Add Data Del Data

OK

Costos asociados al sistema

Economics Module - (Isla La Iguana - Archipiélago Los Testigos)

Economic Description
 isla La Iguana Remove

isla La Iguana Copy New Delete Insert Input Units
☒ Metric ☐ English

Component Costs **System Costs** **Economic Parameters**

Classification
☒ New System ☐ Retrofit

Diesel Fuel Cost (\$/l) 0.33
 System Financial Life (yr) 25
 Balance of System Cost (\$) 0
 Cost Optional Load Equip (\$) 0
 Cost of Dist. Enhancement(\$) 0

Installation Overhead Cost (%) 5
 Total Import Tariffs (\$) 0
 Total Shipping Cost (\$) 141000
 System O/M Cost (Hybrid) (\$/yr) 5000
 System Admin Cost (Hybrid) (\$/yr) 0
 System O/M Cost (Base) (\$/yr) 0
 System Admin Cost (Base) (\$/yr) 0
 Salvage Value of Equip (%) 5

OK

Parámetros económicos

Economics Module - (Isla La Iguana - Archipiélago Los Testigos)

Economic Description
 isla La Iguana Remove

isla La Iguana Copy New Delete Insert Input Units
☒ Metric ☐ English

Component Costs **System Costs** **Economic Parameters**

Financial
 General Inflation Rate (%/yr) 3
 Discount Rate (%/yr) 6
 Fuel Inflation Rate (%/yr) 3

Loan
 Loan Interest Rate (%/yr) 0
 Loan Period (yr) 0
 Grace Period Loan Payback (yr) 0
 Down Payment Fraction (%) 100

Price of Power
 Primary Load (\$/kWh) 0.281
 Deferrable Load (\$/kWh) 0
 Optional Load (\$/kWh) 0
 Heating Load (\$/kWh) 0

Taxation
 Corporate Tax rate (%) 0
 Renewable Tax Incentive (\$/kWh) 0
 Equipment Depreciation Time (yr) 1

OK