

Estudio de Viabilidad Sobre el Uso de Energía Renovable Solar en la Oficina de Campo de Proyectos de Infraestructura

Por

Josie D. Bianchi Santiago

Tesis sometida como parte de los requisitos para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS
EN
INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
2012

Aprobado por:

Francisco Maldonado Fortunet, Ph.D.
Presidente, Comité Graduado

Fecha

Antonio González Quevedo, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

José L. Perdomo Rivera, Ph.D.
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Ismael Pagán Trinidad, M.S.C.E.
Director, Departamento de Ingeniería
Civil y Agrimensura

Fecha

Uroyoán R. Walker, Ph.D.
Representante Escuela Graduada

Fecha

ABSTRACT

Based on the environmental impact caused by the consumption of energy produced by the burning of fossil fuel, global warming and the concern that natural resources are limited, theories of sustainable development to develop structures that help mitigate current environmental damage and preserving the world must be developed. This could ensure that future generations can enjoy the resources we have today.

The construction industry generates large amounts of pollutants that are released into the environment during the construction process, including the emissions generated by the use of electricity from the burn of fossil fuels. For this reason, this research studies the feasibility of using renewable energy photovoltaic in the field office of infrastructure projects in Puerto Rico. This study consist on the use of a case study methodology to evaluated three different scenarios with different energy load that will be replaced with renewable energy in the area available in construction site offices. For each scenario a photovoltaic renewable energy system was designed that would meet the energy load of each case.

A methodological model was created to conduct the energy analysis at the construction site offices during the construction process, to evaluate and compare the cost-benefit method with the sustainable feasibility of photovoltaic solar energy, and to identify indicators to measure sustainability within the construction industry.

The contribution of this study is the development of a methodology to perform energy analysis for construction site offices in infrastructure projects and how to identify a photovoltaic power system that denote a sustainable solution for construction site offices.

RESUMEN

A raíz del impacto ambiental generado por el consumo de energía producida utilizando combustible fósiles, el calentamiento global y la preocupación de que los recursos naturales utilizados por la humanidad son limitados, se deben plantear teorías de desarrollo sostenible para generar estructuras que ayuden a mitigar los daños ambientales actuales y que preserven el mundo de forma tal que las futuras generaciones puedan disfrutar de los recursos que tenemos hoy día.

La industria de la construcción genera gran cantidad de contaminantes al ambiente durante los procesos de construcción, incluyendo las emisiones de contaminantes que se generan al utilizar energía eléctrica producto de combustibles fósiles. Por tal razón esta investigación presenta la viabilidad de utilizar energía renovable fotovoltaica en las oficinas de campo de proyectos de infraestructura en Puerto Rico. Se realizó un estudio de caso donde se evaluaron tres escenarios diferenciados por la carga energética a sustituirse y el área disponible en las oficinas de campo para realizar la instalación. Para cada escenario se diseñó un sistema de energía renovable fotovoltaico que supliera la carga energética de cada caso.

Se creó un modelo metodológico para la realización de análisis energético en las oficinas de campo durante el proceso de construcción, se evaluó y comparó la viabilidad costo beneficio y la viabilidad sostenible de utilizar energía solar fotovoltaica en las oficinas de campo de proyectos de infraestructura, y se identificaron los indicadores que miden la sostenibilidad dentro de la industria de la construcción así como las herramientas para medirlos.

Con esta investigación se contribuyó a la generación de nuevos conocimiento con una metodología para la realización de análisis energético en las oficinas de campo de proyectos de construcción y se identificó un sistema eléctrico fotovoltaico que puede ser viable y sostenible.

A

C.J. Por ser mi Razón de Ser y la Promesa de un Nuevo Mañana

W.I. Por Regalarme la Vida

E.M. Por Acompañarme a Conquistar Sueños y Utopías

AGRADECIMIENTOS

*Gracias a la vida que me ha dado tanto
Me ha dado el sonido y el abecedario
Con él las palabras que pienso y declaro
Madre, amigo, hermano y luz alumbrando.
- Violeta Parra*

Gracias a Dios y a mis ángeles por que siempre me acompañan e iluminan mi camino, gracias por todas las bendiciones que recibo día a día y por el logro de esta meta. Gracias al Dr. Francisco Maldonado, mi consejero y presidente del comité graduado, por creer en mí y aceptarme como su estudiante graduada, por su paciencia y acertada consejería. Gracias a los miembros del comité graduado, Dr. Antonio Gonzáles y el Dr. José Perdomo, por sus correcciones y apoyo. La ayuda brindada por éstos profesionales fue de suma importancia durante este proceso de aprendizaje. Gracias a la constructora Tamrio Inc. por proporcionarme el acceso a sus proyectos de construcción para la adquisición de la data utilizada en esta investigación.

Gracias a mi familia y amistades por el apoyo recibido durante esta jornada, en especial a Abi y a mi madre Wanda porque siempre están disponibles para mi. Gracias a los fieles (BK, Beca, Alex y Eil), por creer en las utopías de colores y hacerlas posible. Gracias a todos los que de alguna manera u otra colaboraron y contribuyeron en las diferentes fases de esta investigación.

Gracias a Christian Jerell por ser mi razón de ser e inspirarme día a día a dar lo mejor de mí. Gracias a Eil por creer que todo es posible, acompañarme a caminar entre ojos y mariposas, y por apoyarme incondicionalmente. Gracias.

Nunca consideres el estudio como un deber, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

Albert Einstein

Tabla de Contenido

ABSTRACT	II
RESUMEN.....	III
AGRADECIMIENTOS	V
TABLA DE CONTENIDO	VII
LISTA DE TABLAS	XII
LISTA DE FIGURAS	XV
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 MOTIVACIÓN.....	1
1.2 OBJETIVOS Y CONTRIBUCIÓN	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3.1 <i>Justificación Sistema Energía Renovable</i>	3
2 METODOLOGÍA.....	7
2.1 INTRODUCCIÓN	7
2.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	8
2.3 METODOLOGÍA DE ESTUDIO	8
3 REVISIÓN DE LITERATURA	11
3.1 DESARROLLO SOSTENIBLE.....	11
3.1.1 <i>Características de un Desarrollo Sostenible</i>	15
3.1.1.2 <i>Estrategias Sostenibles</i>	16
3.1.2 <i>Indicadores de sostenibilidad en la Industria de la Construcción</i>	17
3.2 ENERGÍA SOSTENIBLE	19
3.3 FUENTES DE ENERGÍA	20
3.3.1 <i>Producción de Energía a Nivel Mundial</i>	22
3.3.2 <i>Producción de Energía en Puerto Rico</i>	24

3.3.3	<i>Costo de la Energía Eléctrica en Puerto Rico</i>	30
3.3.4	<i>Energía Eléctrica en Edificios</i>	36
3.4	ENERGÍA RENOVABLE.....	38
3.5	ENERGÍA SOLAR	38
3.5.1	<i>Radiación Solar</i>	39
3.5.2	<i>Energía Solar Fotovoltaica</i>	44
3.5.2.1	<i>Descripción de la Tecnología</i>	44
3.6	USO DE ENERGÍA RENOVABLE EN CONSTRUCCIÓN	47
3.6.1	<i>Construcciones Sostenibles</i>	50
3.6.1.1	<i>Sistemas de Evaluación de Construcciones Sostenibles</i>	51
3.7	HOMER	66
3.8	LEYES APLICABLES	67
3.8.1	<i>Reglamentos para Instaladores de Equipos de Energía Renovable</i>	73
3.8.2	<i>Reglamento Fondo de Energía Verde Nivel 1 y Nivel 2</i>	74
3.9	AUDITORIAS ENERGÉTICAS	75
4	RECOLECCIÓN DE DATOS	79
4.1	DESCRIPCIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	79
4.1.1	<i>Descripción de los Proyectos</i>	80
4.1.1.1	Especificaciones para la oficina de campo de los proyectos de infraestructura según el “ <i>Standard Specifications for Road and Bridge Construction</i> ” (Illinois Department of Transportation2002).....	83
4.1.2	<i>Datos Recopilados en las Oficinas de Campo</i>	86
4.1.2.1	Descripción de los Escenarios Evaluados	92
4.2	JUSTIFICACIÓN DEL SISTEMA RENOVABLE	95
5	RESULTADOS	97
5.1	VIABILIDAD Y ANÁLISIS ECONÓMICO.....	97
5.1.1	<i>Tamaño del Sistema Eléctrico Fotovoltaico</i>	98

5.1.2	<i>Ejemplo de Resultados Análisis HOMER©</i>	101
5.1.2.1	Inicio HOMER©	101
5.1.2.2	Red Eléctrica o <i>GRID</i>	104
5.1.2.3	Consumo Eléctrico o <i>Primary Load</i>	106
5.1.2.4	Paneles Fotovoltaicos o <i>PV</i>	107
5.1.2.5	Convertidor o <i>Converter</i>	108
5.1.2.6	Reducción en Contaminantes	118
5.2	ESTIMADO DE COSTOS	120
5.2.1	<i>Resultados Económicos Oficina de Campo de Mayagüez</i>	123
5.2.2	<i>Resultados Económicos Oficina de Campo de San Germán</i>	129
5.2.3	<i>Resultados Económicos Oficina de Campo de Hormigueros</i>	133
5.2.4	<i>Dinero a Través del Tiempo Oficina Hormigueros</i>	137
5.2.5	<i>Dinero a Través del Tiempo Oficina Mayagüez</i>	140
5.2.6	<i>Dinero a Través del Tiempo Oficina San Germán</i>	142
5.2.7	<i>Análisis Económico de los Sistemas de Energía Renovables</i>	145
5.2.8	<i>Resultados Escenarios Evaluados</i>	152
6	VIABILIDAD SOSTENIBLE	161
6.1	SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS	162
6.2	HERRAMIENTAS E INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD.....	165
6.3	LEED	167
6.3.1	<i>Descripción Categorías LEED</i>	170
6.3.1.1	Sitios Sostenibles (SS)	170
6.3.1.2	Eficiencia del Agua (WE)	171
6.3.1.3	Energía y Atmósfera (EA)	172
6.3.1.4	Materiales y Recursos (MR)	172
6.3.1.5	Calidad Ambiental en Interiores (IEQ)	173
6.3.1.6	Innovación en el Diseño.....	174

6.3.1.7	Prioridad Regional	175
6.3.2	<i>LEED Energía y Atmosfera</i>	175
6.3.3	<i>Evaluación de Criterios Sostenibilidad</i>	179
6.4	COMPARACIÓN ENTRE VIABILIDAD SOSTENIBLE Y VIABILIDAD COSTO - BENEFICIO	188
6.5	BENEFICIOS DE INVERTIR EN TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE	190
7	CONCLUSIONES	193
7.1	CONTRIBUCIÓN A LA GENERACIÓN DE NUEVOS CONOCIMIENTOS	193
7.2	CONCLUSIONES GENERALES.....	196
7.2.1	<i>Conclusiones Casos Evaluados</i>	197
7.2.2	<i>Otras Conclusiones</i>	206
7.3	RECOMENDACIONES E INVESTIGACIONES FUTURAS	209
	REFERENCIAS	212
	APENDICE 1	217
	DATOS AUDITORÍA OFICINA HORMIGUEROS	218
	DATOS AUDITORÍA OFICINA SAN GERMÁN	219
	DATOS AUDITORÍA OFICINA MAYAGÜEZ	220
	APENDICE 2	222
	SYSTEM REPORT - OFICINA HORMIGUEROS ESCENARIO #1	223
	SYSTEM REPORT - OFICINA HORMIGUEROS ESCENARIO #2	228
	SYSTEM REPORT - OFICINA HORMIGUEROS ESCENARIO #3	234
	SYSTEM REPORT - OFICINA MAYAGÜEZ ESCENARIO #1	240
	SYSTEM REPORT - OFICINA MAYAGÜEZ ESCENARIO #2	245
	SYSTEM REPORT - OFICINA MAYAGÜEZ ESCENARIO #3	250
	SYSTEM REPORT – OFICINA SAN GERMÁN ESCENARIO #1	255
	SYSTEM REPORT - OFICINA SAN GERMÁN ESCENARIO #2.....	260
	SYSTEM REPORT - OFICINA SAN GERMÁN ESCENARIO #3.....	265

APENDICE 3	270
ESCENARIO #2	271
<i>Oficina Hormigueros</i>	271
<i>Oficina Mayagüez</i>	272
<i>Oficina San Germán</i>	274
ESCENARIO #3	275
<i>Oficina Hormigueros</i>	275
<i>Oficina Mayagüez</i>	277
<i>Oficina San Germán</i>	278

Lista de Tablas

Tablas	Página
Tabla 3.1 Indicadores de Sostenibilidad en la Construcción.....	19
Tabla 3.2 Producción neta de electricidad Mundial	22
Tabla 3.3 Generación Neta (Mwh) de energía en la AEE por tipo de combustible.....	31
Tabla 3.4 Radiación Solar en Mayagüez Puerto Rico	41
Tabla 3.5 Radiación Solar en Hormigueros Puerto Rico.....	42
Tabla 3.6 Radiación Solar en San Germán Puerto Rico.....	42
Tabla 3.7 Instalaciones Fotovoltaicas en Satélites Espaciales	46
Tabla 4.1 Descripción Oficinas de Proyectos	81
Tabla 4.2 Ubicación de las Oficinas de Campo	87
Tabla 4.3 Tamaño y consumo energético oficinas evaluadas	89
Tabla 4.4 Equipos Eléctricos utilizados en Oficina de campo Hormigueros	90
Tabla 4.5 Equipos Eléctricos Utilizados en Oficina de campo San Germán.....	91
Tabla 4.6 Equipos Eléctricos utilizados en Oficina de campo Mayagüez	92
Tabla 5.1 Datos Oficina Campo Hormigueros	98
Tabla 5.2 Datos Oficina Campo Mayagüez	100
Tabla 5.3 Datos Oficina Campo San Germán.....	100
Tabla 5.4 Especificaciones Panel Fotovoltaico Canadian Solar CS6P - 230.....	120
Tabla 5.5 Especificaciones Inversor SUNNY BOY 6000US	121
Tabla 5.6 Resultados HOMER para Oficinas tomando en consideración el tamaño del Techo de la Oficina – escenario #1	123

Tabla 5.7 Compras de Energía realizadas a la Red Eléctrica de la AEE caso Mayagüez.....	125
Tabla 5.8 Resultados Métricas Económicas HOMER Escenario #1	128
Tabla 5.9 Compras de Energía realizadas a la Red Eléctrica de la AEE caso San Germán – escenario #1	131
Tabla 5.10 Compras de Energía realizadas a la Red Eléctrica de la AEE caso Hormigueros – escenario #1	136
Tabla 5.11 Desglose de Costos Para el costo Neto al presente Caso Hormigueros	139
Tabla 5.12 Desglose de Costos Para el Costo Neto al presente Caso Mayagüez	141
Tabla 5.13 Desglose de Costos para el Costo Neto Al Presente Caso San Germán.....	144
Tabla 5.14 Costos Inversión Sistemas Fotovoltaicos 21 y 24 paneles	148
Tabla 5.15 Costos inversión sistema fotovoltaico de 30 y 42 paneles.....	150
Tabla 5.16 Costos inversión sistema fotovoltaico de 42 y 63 paneles.....	152
Tabla 5.17 Resultados Sistema Renovable Escenario #1	154
Tabla 5.18 Resultados Sistema Renovable Escenario #2	155
Tabla 5.19 Resultados Sistema Renovable Escenario #3	156
Tabla 5.20 Resultados Métricas Económicas HOMER Escenario #2.....	158
Tabla 5.21 Resultados Métricas Económicas HOMER Escenario #3.....	159
Tabla 6.1 Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad existentes en la edificación.....	166
Tabla 6.2 Puntos Máximos Por cada División para LEED Construcciones Nuevas.....	169
Tabla 6.3 Prerrequisitos y Créditos de LEED Energía y Atmosfera	176
Tabla 6.4 Emisión de contaminantes al Ambiente Oficinas Conectadas a AEE – escenario #1	184

Tabla 6.5 Emisión de Contaminantes al Ambiente Oficinas con Sistema Renovable - escenario #1	184
Tabla 6.6 Emisión de contaminantes al Ambiente Oficinas Conectadas a AEE – escenario #2	185
Tabla 6.7 Emisión de Contaminantes al Ambiente Oficinas con Sistema Renovable - escenario #2	185
Tabla 6.8 Emisión de contaminantes al Ambiente Oficinas Conectadas a AEE – escenario #3	186
Tabla 6.9 Emisión de Contaminantes al Ambiente Oficinas con Sistema Renovable - escenario #3	187
Tabla 7.1 Resumen Resultados paneles fotovoltaicos instalados Escenario #1	198
Tabla 7.2 Resumen Resultados paneles fotovoltaicos instalados Escenario #2	201
Tabla 7.3 Resumen Resultados paneles fotovoltaicos instalados Escenario #3	204

Lista de Figuras

Figuras	Página
Figura 2.1 Diagrama de Flujo Procedimiento Metodológico Investigación.....	9
Figura 3.1 Desarrollo Sostenible.....	12
Figura 3.2 Diagrama de Fuentes de Energía.....	21
Figura 3.3 Producción Electricidad en Puerto Rico.....	25
Figura 3.4 Comparación entre consumo y producción de la energía eléctrica en Puerto Rico	26
Figura 3.5 Emisiones de CO2 por consumo de combustibles fósiles en Puerto Rico.....	27
Figura 3.6 Vías Potenciales de Cambios en las comunidades y extinción de especies por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera (Adaptación de Hughes, 2000)	29
Figura 3.7 Costo Kilovatios Hora Facturados en Puerto Rico.....	32
Figura 3.8 Cambios en los costos de la Energía en Puerto Rico 1977 – 2008	36
Figura 3.9 Mapa de Radiación Solar Mundial	40
Figura 3.10 Silicio Puro.....	45
Figura 3.11 Célula mono cristalina (a), poli cristalina (b) y amorfa (c).....	45
Figura 3.12 Sistema solar portable de señalización de tráfico.....	48
Figura 3.13 Sistema solar fotovoltaico transportable	49
Figura 3.14 Ejemplo de GBC 2000, Interface de GB Tool	52
Figura 3.15 Ejemplo Resultados Evaluación VERDE	54
Figura 3.16 Ejemplo de Resultados Evaluación BREEAM	56
Figura 3.17 Ejemplo de Resultados Evaluación ENVEST	58

Figura 3.18 Etiqueta Ambiental basado en el Building Environmental Efficiency (BEE)	60
Figura 3.19 Ejemplo de Resultados Pearl Building Rating System.....	62
Figura 3.20 Ejemplo de Plantilla LEED para Construcciones Nuevas y Renovaciones Mayores	65
Figura 4.1 Conceptual Oficina de Proyectos con Sistema Fotovoltaico de 21 Paneles	82
Figura 4.2 Oficina de Campo de Hormigueros.....	87
Figura 4.3 Oficina de Campo de San Germán.....	87
Figura 4.4 Oficina de Campo de Mayagüez.....	88
Figura 4.5 Foto Aérea Oficinas de Campo Mayagüez y Hormigueros.....	88
Figura 4.6 Foto Aérea Oficina Campo San Germán	88
Figura 4.7 Diseño conceptual oficinas escenario #1.....	93
Figura 4.8 Diseño conceptual oficinas escenario #2.....	94
Figura 4.9 Diseño conceptual oficinas escenario #3.....	95
Figura 5.1 Página Inicial de HOMER.....	102
Figura 5.2 Hoja para escoger equipos del sistema a evaluarse en HOMER	103
Figura 5.3 Esquemático de equipos a considerar en HOMER.....	103
Figura 5.4 Ejemplo de Entrada datos HOMER – GRID	105
Figura 5.5 Datos Costos por kilovatio-hora de la AEE para HOMER – GRID	105
Figura 5.6 Pantalla de Datos Consumo Energético HOMER - Primary Load	106
Figura 5.7 Pantalla Datos PV HOMER Oficina Hormigueros.....	108
Figura 5.8 Plantilla para añadir datos Convertidor HOMER©.....	110
Figura 5.9 Pantalla entrada datos Recurso Solar – HOMER.....	111
Figura 5.10 Resultados Optimización HOMER©	112
Figura 5.11 Resultados de Simulación HOMER©	113

Figura 5.12 Resultados Distribución Eléctrica HOMER©	114
Figura 5.13 Resultados PV HOMER©	115
Figura 5.14 Resultados Inversor HOMER©	116
Figura 5.15 Resultados Red Eléctrica HOMER©	117
Figura 5.16 Comparación Resultados Caso Base y Sistema Renovable HOMER©	118
Figura 5.17 Comparación Emisión Contaminantes HOMER©	119
Figura 5.18 Producción Eléctrica Mensual de la Oficina de Campo Mayagüez	124
Figura 5.19 Periodo de Repago para Sistema Fotovoltaico de la Oficina de Mayagüez	127
Figura 5.20 Producción Energía Eléctrica Mensual para Oficina de San Germán	130
Figura 5.21 Flujo de Dinero Nominal Acumulado a través de los Años caso San Germán	132
Figura 5.22 Periodo de Repago Caso Oficina De Proyecto San Germán	133
Figura 5.23 Perfil de Consumo Eléctrico mensual Oficina Hormigueros	134
Figura 5.24 Periodo de Repago Caso Oficina Hormigueros –escenario #1	137
Figura 5.25 Desglose dinero costo neto en el presente caso Hormigueros	138
Figura 5.26 Flujo de dinero acumulado a través del ciclo de vida del proyecto - oficina Hormigueros escenario #1	139
Figura 5.27 Desglose Dinero Costo neto al presente Caso Mayagüez	140
Figura 5.28 Dinero acumulado a través del ciclo de vida del proyecto - oficina Mayagüez escenario #1	142
Figura 5.29 Desglose de dinero del costo neto al presente oficina San Germán escenario #1	143
Figura 5.30 Dinero acumulado a través del ciclo de vida del proyecto oficina San Germán - escenario #1	145

Figura 5.31 Conceptual Oficina de Proyectos con Sistema Fotovoltaico 24	
paneles – escenario #1	146
Figura 5.32 Conceptual Oficina de Proyectos con Sistema Fotovoltaico 21	
paneles – escenario #1	146
Figura 5.33 Conceptual Oficina de proyectos con sistema fotovoltaico –	
escenario #2.....	149
Figura 5.34 Conceptual oficina de proyectos con sistema fotovoltaico –	
escenario #3.....	151
Figura 6.1 Comparación Indicadores Sostenibilidad.....	163
Figura 6.2 Indicadores de Edificios Verdes y edificios Sostenibles	165
Figura 6.3 Línea de Tiempo Beneficios Inversión Tecnologías Renovables.....	192

1 INTRODUCCIÓN

Éste capítulo presenta la motivación para la realización de esta investigación así como su justificación y generación de nuevos conocimientos. En él se describe el propósito de esta investigación.

1.1 Motivación

El desarrollo sostenible dentro de los procesos de construcción es un tema del cual se sabe muy poco, debido a que el enfoque que la industria de la construcción le ha dado a éste tema está basado en la construcción de estructuras sostenibles y no en los procesos de construcción. Por lo tanto, la motivación principal de este estudio es evaluar la viabilidad de la implantación de estrategias sostenibles durante el proceso de construcción enfocando la investigación en la oficina de campo de proyectos de construcción.

1.2 Objetivos y Contribución

El propósito principal de esta investigación es analizar las alternativas de energía sostenible, en especial el uso de energía solar fotovoltaica, en las tareas de campo de los proyectos de construcción. Con este estudio se pretende aumentar la aplicación de los principios de desarrollo sostenible en los procesos de construcción. Se propone evaluar la viabilidad sostenible del uso de la energía fotovoltaica para la oficina de campo de proyectos de infraestructura e identificar

otras aplicaciones de usos de energía renovables dentro del proceso de construcción.

Objetivos adicionales más específicos:

- Estudiar y documentar el uso de la energía en la oficina administrativa de proyectos de construcción de infraestructura
- Evaluar la viabilidad sostenible del uso de la energía fotovoltaica para la oficina de campo de proyectos de infraestructura
- Comparar la viabilidad sostenible ante la viabilidad costo beneficio de utilizar energía renovable fotovoltaica en el proceso de construcción
- Realizar un análisis de comportamiento de un sistema fotovoltaico para las oficinas de campo de proyectos de construcción aplicado a Puerto Rico utilizando el programa de simulación HOMER

Con esta investigación se espera contribuir a la comunidad académica con un modelo metodológico para la realización de análisis energético en las oficinas de campo durante el proceso de construcción y un sistema eléctrico fotovoltaico que pueda ser viable para lograr procesos de construcción sostenibles en proyectos de infraestructura.

1.3 Justificación

A raíz del impacto ambiental generado por el consumo de energía producida a través de combustible fósiles, el calentamiento global y la preocupación de que los

recursos naturales utilizados por la humanidad son limitados, se desarrollan teorías de desarrollo sostenible para generar estructuras que colaboren a mitigar los daños ambientales actuales y que preserven el mundo de forma tal que las futuras generaciones puedan disfrutar de los recursos que tenemos hoy día. Entendemos que desarrollo sostenible es en forma general aquel desarrollo que se puede mantener con el tiempo de forma indefinida considerando los aspectos sociales, económicos y ambientales. El desarrollo sostenible genera retos para que se diseñen y se construyan estructuras con elementos sostenibles como lo son las energías renovables. El rol de la industria de la construcción es un elemento importante dentro del desarrollo sostenible ya que a través de la construcción se desarrolla la infraestructura que requiere la humanidad para obtener el bienestar común. Por tal razón, la industria de la construcción ha dirigido la mayor parte de sus esfuerzos al diseño y construcción de estructuras con materiales sostenibles, sin embargo durante el proceso de construcción existen oportunidades para que la misma sea de forma más sostenible. En la industria, la mayor parte de los esfuerzos se enfocan en el producto final y poco se ha desarrollado en el proceso de construcción.

1.3.1 Justificación Sistema Energía Renovable

Los ingenieros y desarrolladores de proyectos de construcción e infraestructura deben de implementar a través de los procesos y metodologías de construcción la

utilización de energías renovables y convertir el proceso de construcción en uno sostenible.

La utilización de energía diaria es muy evidente y por lo tanto reconocida por todos. Su uso es indispensable y generalizado, tanto en las actividades productivas del ser humano, como en los productos finales. En la agricultura para el riego de abonos, plaguicidas, y otros procesos. En todos los procesos industriales, desde los altos hornos a la fabricación de alimentos, metales, papel, y cemento, entre otros. En los transportes terrestres, marítimos y aéreos; en los hogares, iluminación, calefacción, y preparación de alimentos, entre otros.

Dado que las sociedades actuales no pueden funcionar ni sobrevivir sin un abastecimiento adecuado y constante de energía, una parte significativa de la economía mundial está dedicada a la obtención, procesamiento y suministro de energía, al costo más económico posible.

El consumo de energía por habitante constituye uno de los indicadores más fiables del grado de desarrollo económico de una sociedad, algo que está vinculado con el bienestar material (Romero 2005). En este sentido, la demanda energética se asocia de forma generalizada con el producto nacional bruto de un país, con su capacidad industrial y con el nivel de vida alcanzado por sus habitantes.

Las reservas y los recursos energéticos no son ilimitados, aunque se consideren abundantes. Desde el punto de vista económico son bienes escasos, no son bienes libres, como el agua o el aire y, por tanto, su uso debe ser racional, evitando el desperdicio. Esto implica que se debe de aprovechar al máximo la energía

utilizada, evitando pérdidas innecesarias en la extracción, producción y transporte, utilizando técnicas y equipos eficientes sin afectar la calidad de vida de los seres humanos.

Las tecnologías de energía renovables presentan innumerables ventajas ante los métodos tradicionales de producción de energía a base de combustibles fósiles. La más importante es que la fuente primaria de estas energías no es agotable, al menos por los próximos cientos de miles de años (McCluney 2004). Otra ventaja consiste en que al no ser el proceso de producir energía por la quema de combustibles fósiles las tecnologías de energía renovables contaminan mucho menos que las tecnologías tradicionales a base de carbón, aceite y gas natural. También estas tecnologías presentan ahorros económicos a lo largo del ciclo de vida de utilización de cada una. Aunque constituyen un costo inicial de inversión relativamente alto en comparación con las tecnologías tradicionales de producción de energía, a través del tiempo se obtienen ahorros ya que el costo de la energía se estabiliza mientras que el costo de la energía a través de combustibles fósiles es variable dependiendo de las reservas mundiales, la economía de los países que las producen y la incertidumbre creada por los inversionistas e influyentes sobre las reservas de combustibles fósiles. Las tecnologías de energía renovables sólo dependen de las fuentes energéticas utilizadas para crear energía, su costo no está sujeto a cambios en los diferentes mercados o políticas energéticas, o gobiernos. Su costo depende del período de repago de la inversión inicial y los costos de mantenimiento que en general son costos relativamente bajos en comparación con

los costos de mantenimiento de las diferentes líneas de transmisión eléctrica. En adición a esto, con un programa de eficiencia energética que incluya sistemas de energía renovable como fuentes de energía contribuye a la disminución de efecto invernadero, así como la disminución de contaminación ambiental y la preservación de los recursos ambientales para las próximas generaciones.

2 METODOLOGÍA

En este capítulo se va a presentar y describir la metodología realizada para completar esta investigación.

2.1 Introducción

La metodología es el conjunto de procesos metódicos, es decir sistemáticos y medibles que se utilizan para realizar determinada investigación, que consiste en la solución de un determinado problema, y es a su vez el método para alcanzar los objetivos en la adquisición de conocimiento. En la comunidad académica existen diferentes tipos de metodologías de investigación dependiendo el problema que se pretende resolver. Algunas de estas metodologías pueden ser deductivas, donde el proceso de conocimiento se inicia con la observación de fenómenos generales con el propósito de señalar verdades particulares contenidas en la situación general. También, pueden ser inductivas, donde el proceso de conocimiento se inicia por la observación de fenómenos particulares con el propósito de llegar a conclusiones y premisas generales que pueden ser aplicadas a situaciones similares a la observación. Para propósito de esta investigación se utilizó la metodología inductiva conocida como estudio de caso. Un estudio de caso es un método de aprendizaje acerca de una situación compleja; se basa en el entendimiento total o completo de dicha situación el cual se obtiene a través de la descripción y análisis de la situación la cual es tomada como un conjunto y dentro de su contexto (Morra; Friedlander

2001). A continuación en la Figura 2.1 se presenta el diagrama de flujo que representa los pasos observados durante la investigación.

2.2 Revisión de Literatura

Una vez planteado el tema a investigarse se comenzó con una revisión de lo que se ha investigado y escrito sobre estos temas de investigación. Entre estos temas están las fuentes de energía existente a nivel mundial, los tipos de energía renovables, la energía solar fotovoltaica y las tecnologías necesarias para la utilización de estos sistemas. Se revisó también la información existente de aplicaciones de sistemas solares fotovoltaicos durante los procesos de construcción, así como las leyes y programas gubernamentales aplicables en Puerto Rico para el uso e instalación de los sistemas de energía renovables. El resultado de esta revisión de literatura se presenta en el capítulo número tres.

2.3 Metodología de Estudio

Una vez realizada la revisión literaria se procedió a diseñar el plan de estudio y la metodología por la cual se iba a regir esta investigación. Se escogió una metodología de estudio de caso y se procedió luego con la adquisición necesaria de la información relevante a la investigación.

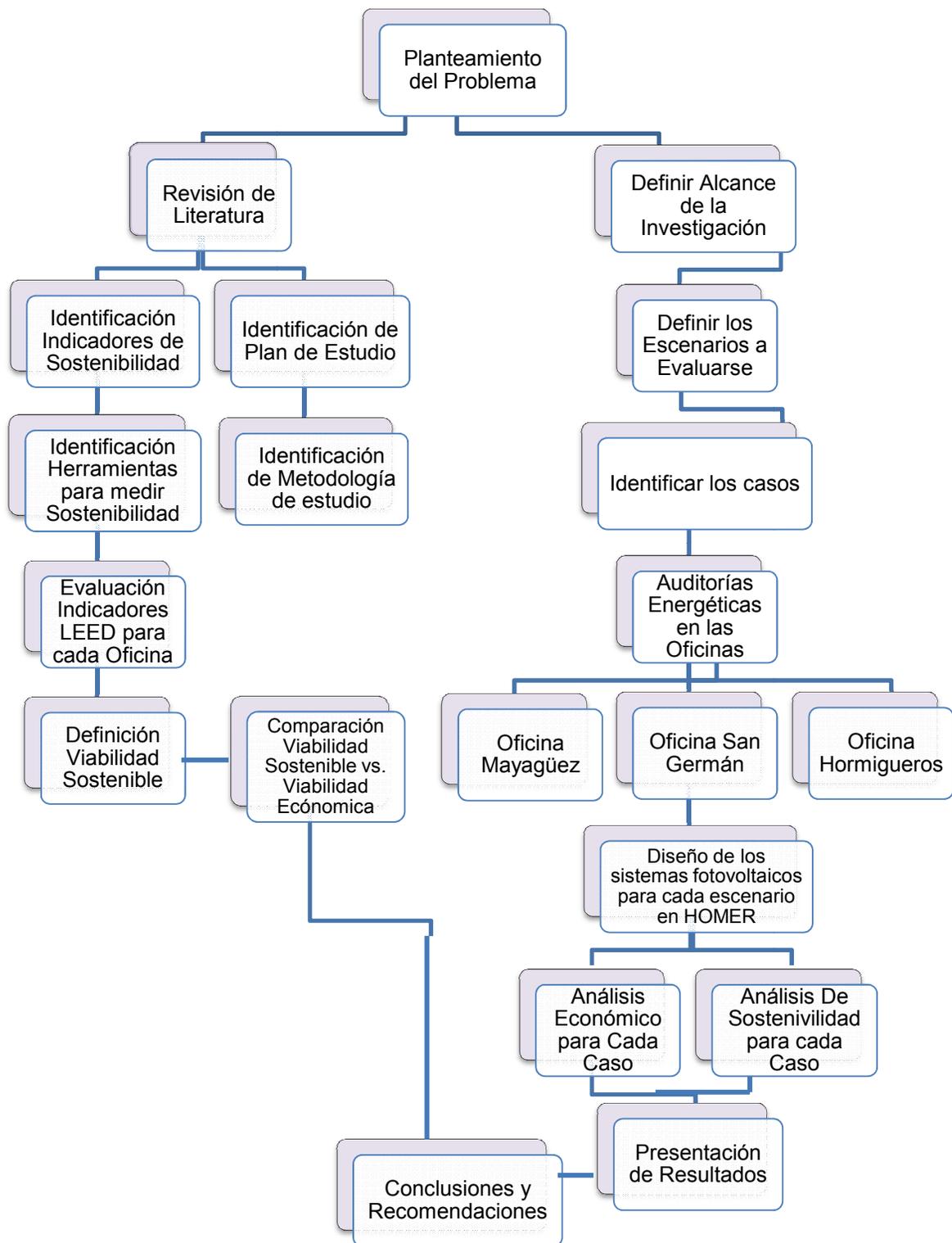


Figura 2.1 Diagrama de Flujo Procedimiento Metodológico Investigación

Luego se definió el alcance de la investigación, así como los escenarios a evaluarse para luego identificar los casos que cumplieran con los requerimientos necesarios a ser estudiados.

Se identificó y estudió diferentes sistemas de indicadores de viabilidad sostenible dentro de la industria de la construcción y se realizó una búsqueda de herramientas para medir sostenibilidad dentro de los proyectos de construcción y los edificios. Se escogió LEED como la herramienta a ser utilizada para medir sostenibilidad y se procedió a visitar las oficinas para llevar a cabo las auditorías energéticas e identificar los diferentes equipos eléctricos y demás artefactos que pudieran consumir energía dentro de las oficinas y con esto documentar patrones de consumo energético.

Con los datos obtenidos en la auditoría energética se procedió a establecer un análisis económico utilizando el programa de computación HOMER[®]. Con este programa se obtuvo el equipo solar fotovoltaico más costo eficiente para cada caso y se diseñó conceptualmente los sistemas de energía renovable tomando en consideración el área disponible para cada caso, y se evaluaron estos casos para cumplir con los prerequisites mínimos de la herramienta para medir sostenibilidad LEED para construcciones nuevas. Después de seleccionar el sistema renovable que satisficiera las necesidades energéticas de cada caso se procedió a hacer un análisis de viabilidad sostenible, tomando en cuenta los indicadores de sostenibilidad para la industria de la construcción.

Luego del análisis económico y el análisis de viabilidad sostenible se presentan los resultados y conclusiones obtenidos en esta investigación.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

En este capítulo se estará presentando la revisión de la literatura efectuada para la realización de esta investigación. En ella se definen y detallan la información existente acerca de la energía sostenible, el desarrollo sostenible, las diversos tipos de energía renovables incluyendo la utilizada en esta investigación que es la solar fotovoltaica, las fuentes de energía a nivel mundial y el consumo que existe de estas. También se presenta una descripción de los diferentes indicadores de sostenibilidad en la industria de la construcción así como la descripción de los programas tecnológicos utilizados para la elaboración de esta investigación, y las leyes aplicables al diseño e instalación del sistema de energía renovable que se evalúa en ésta investigación. A continuación se presenta la revisión de la literatura existente referente a los temas evaluados en ésta investigación.

3.1 Desarrollo Sostenible

El desarrollo sostenible, también conocido como desarrollo sustentable se define como *“el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer las capacidades que tienen las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades”* (Brundtland 1992). Este puede dividirse conceptualmente en tres áreas para las cuales se definen objetivos de desarrollo los cuales son: ambiental, económica y social, tal y como se muestra en la Figura 3.1. También se define al

desarrollo sostenible como “*el proceso de cambio en la organización y regulación de los esfuerzos humanos para que estos puedan satisfacer sus necesidades y aspiraciones actuales sin excluir las posibilidades de las generaciones futuras de satisfacer sus propias necesidades y aspiraciones*” (Vanegas et al. 1996).



Figura 3.1 Desarrollo Sostenible

La sostenibilidad es un concepto dinámico que requiere que los encargados de tomar las decisiones sean flexibles y acepten modificar sus enfoques de acuerdo a los cambios en el ambiente, las necesidades y deseos humanos, o avances tecnológicos. Según Pirages (1994), las acciones que contribuyen a la sostenibilidad

hoy se pueden considerar perjudiciales en el futuro dado las circunstancias del momento:

“Garantizar la sostenibilidad en el tiempo significa mantener un equilibrio dinámico entre una creciente población humana y sus exigencias, el cambio de las capacidades del entorno físico de absorber los desechos de las actividades humanas, las posibilidades de cambio dado nuevo conocimiento y cambios tecnológicos y el valor, aspiraciones e instituciones que dominan el comportamiento humano. De este modo la visión de un mundo sostenible debe cambiar naturalmente en respuesta a cualquier cambio en alguna de las partes de esta relación dinámica.”

En un marco generalizado una descripción de los asuntos fundamentales que abarcan la sostenibilidad en términos sociales, ambientales y económicos es la siguiente:

Sostenibilidad Social:

La sostenibilidad social pretende el bienestar de los seres humanos y pretende más allá de la sobrevivencia vivir la mejor vida posible. Existen algunos factores socio-culturales que influyen la sostenibilidad. Entre ellos un asunto importante es la igualdad inter generacional en la cual el ser humano asegura dejarles a sus descendientes las herramientas y los recursos que ellos necesitan para sobrevivir y

disfrutar la vida. Este se enfoca en aumentar los estándares de vida enfocándose en satisfacer los suministros básicos de agua limpia, alimento adecuado además de velar por la justicia ambiental, el crecimiento de la población, la salud humana, las necesidades culturales y las preferencias personales.

Sostenibilidad Ambiental:

Los temas ambientales son importantes dentro del concepto de la sostenibilidad. La naturaleza ambiental es el contexto físico en el que viven los seres humanos, por tal razón la sostenibilidad reconoce que existen límites ambientales. Esos límites son las cantidades de los recursos naturales disponibles sobre el planeta Tierra. Algunos de estos recursos como los árboles y la fauna son recursos que se pueden regenerar con esfuerzo humano en poco tiempo, mientras otros recursos como los minerales tienen una razón de renovación muy baja y su uso continuo causaría una disminución de los abastos y hasta su escasez. Otro asunto ambiental es la minimización de los impactos en los diferentes ecosistemas globales. La sostenibilidad ambiental enfoca los ecosistemas como organismos y busca protegerlos para poder preservar las especies que allí habitan, preservar las tierras y proteger la biodiversidad en general (Goodland 1992).

Sostenibilidad Económica:

La economía es importante para la sostenibilidad porque se considera una ciencia social que explica la producción, distribución, y consumo de bienes y servicios. El

intercambio de bienes y servicios tiene un impacto ambiental significativo debido a los recursos naturales utilizados para la producción de bienes y a la disposición de estos una vez son desechados. Las ganancias económicas han sido el factor de muchos desarrollos insostenibles en el pasado. Un cambio a tendencias sostenibles sólo ocurre si este no muestra un costo excesivo. Parte de lo que pretende la sostenibilidad es cambiar la forma en la que se valoran las cosas tomando en consideración las pérdidas económicas debido a la degradación de los recursos naturales, y expandiendo el alcance de los impactos a corto plazo por los impactos a largo plazo. Una vez realizado esto el desarrollo sostenible se presenta como una opción económicamente beneficiosa contrario a las tendencias de desarrollo actual.

3.1.1 Características de un Desarrollo Sostenible

Las características que debe reunir un desarrollo para que lo podamos considerar sostenible son (Naciones Unidas 1992):

- a. Busca la manera de que la actividad económica mantenga o mejore el sistema ambiental.
- b. Asegura que la actividad económica mejore la calidad de vida de todos, no se limita a un sector específico.
- c. Utiliza los recursos eficientemente.
- d. Promueve al máximo el reciclaje y la reutilización.
- e. Promueve el desarrollo e implantación de tecnologías limpias.
- f. Restaura los ecosistemas dañados.

- g. Promueve la autosuficiencia regional.
- h. Reconoce la importancia de la naturaleza para el bienestar humano.

El desarrollo sostenible enfatiza la necesidad de equidad y justicia para garantizar los derechos de futuras generaciones. Este crea una visión a largo plazo basada en el principio de precaución. Por tal razón el desarrollo sostenible esta dirigido a la comprensión de las interconexiones entre el medio ambiente, la economía y la sociedad.

3.1.1.2 Estrategias Sostenibles

A continuación se definen las estrategias para alcanzar un desarrollo sostenible:

- Estrategias Económicas: estas se orientan a producir más con menos. Esto significa pasar de un crecimiento cuantitativo a un desarrollo productivo basado en la eficiencia, la innovación, la producción limpia y en la práctica de las 3Rs (recuperación, reciclaje, reutilización).
- Estrategias Ambientales: estas se enfocan a conservar la biodiversidad genética, de especies y ecosistemas, deteniendo la extinción y destrucción del hábitat, recuperar aquellos ecosistemas que están degradados, usar con mayor eficiencia las tierras de cultivo, desarrollar e implementar estrategias para prevenir el calentamiento global y la destrucción de la capa de ozono, reducir el uso de combustibles fósiles y sustituirlos con otras fuentes de energía sostenible y disponer adecuadamente los residuos domésticos e industriales.

- Estrategias Humanas: estas se enfocan en reducir la explosión demográfica y disminuir la migración hacia las ciudades fomentando un desarrollo rural sostenible, adoptar medidas que minimicen las consecuencias de la urbanización, generar políticas de acceso igualitario a los recursos básicos, los programas de salud y educación, proteger la diversidad cultural, estimular la participación ciudadana y combatir la pobreza absoluta.
- Estrategias Tecnológicas: estas se enfocan en adoptar tecnologías más eficientes y limpias, minimizando la utilización de los recursos naturales y el consumo de energía, a preservar las tecnologías tradicionales de poca contaminación, a promover y apoyar políticas gubernamentales para la adopción de tecnologías sostenibles.

3.1.2 Indicadores de sostenibilidad en la Industria de la

Construcción

La industria de la Construcción pretende mejorar la calidad de vida de los ocupantes del lugar a construirse mediante prácticas que redunden en la conservación del medio ambiente, la disminución de desperdicios, así como la reducción en contaminación. Para esto se han identificado los indicadores que hacen posible que el proceso de construcción así como el producto final de una construcción sean sostenibles. Estos indicadores deben estar dentro de los conceptos centrales de: trabajar hacia un ambiente sostenible, desarrollar relaciones positivas con las

partes interesadas y apoyar los derechos humanos universales (McGregor; Roberts 2003). Estos indicadores de sostenibilidad deben promover la igualdad social, la vitalidad económica, la integridad ambiental y la conservación de los recursos naturales.

En la Tabla 3.1 se muestran algunos de los indicadores considerados dentro de la industria de la construcción para medir la sostenibilidad de un proyecto. La aplicación de estos indicadores depende de la fase del proyecto al que aplican y del programa a través del cual se miden. Algunos de estos indicadores se pueden medir cuantitativamente directamente en los proyectos, otros se miden de forma cualitativa a través de parámetros establecidos según la herramienta utilizada para su medición.

Uno de los componentes de importancia dentro de lo que es la evaluación de desarrollo sostenible es la energía, y debido a que el alcance de esta investigación está enfocado en la aplicación de utilizar energía renovable fotovoltaica como fuente principal de energía en la oficina de proyectos de construcción de infraestructura es necesario abundar acerca de la energía sostenible y las fuentes de energía de las cuales ésta procede.

Ambiental Calidad del Aire Uso del terreno Agua Herencia Ecológica y Cultural Diseño y Operación Traspotación	Social Salud y Bienestar Satisfacción del Usuario Espacio y Forma Accesibilidad Comodidad
Recursos Naturales Materiales Agua Energía Utilización del Suelo Desperdicios	Económico Beneficio Social Traspotación Competitividad Viabilidad

Tabla 3.1 Indicadores de Sostenibilidad en la Construcción

3.2 Energía Sostenible

Se conoce como energía sostenible a la producción y utilización de la energía en el presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras de suplir sus propias necesidades energéticas. Para considerar la energía como sostenible se debe cumplir con dos factores, que la energía sea producto de fuentes energéticas renovables y que se cumpla con eficiencia energética (Prindle; Eldridge 2007). Ambos recursos se deben desarrollar para estabilizar y reducir las emisiones de contaminantes al ambiente. Por tal razón la utilización de eficiencia energética es esencial para poder reducir la demanda de energía, y a su vez el aumento de producción energética a través de fuentes renovables pueda reducir el uso de combustibles fósiles en la producción de energía. Si el consumo de energía aumenta,

el desarrollo de fuentes de energía renovable pierde efectividad. El caso ideal para el desarrollo de energías sostenible es la reducción de la necesidad energética a través de un programa de eficiencia en conjunto con el desarrollo y la utilización de fuentes de energía renovables para la producción de esta.

3.3 Fuentes de Energía

El planeta Tierra disfruta de diferentes fuentes de energía. Algunas de estas naturales y otras manipuladas por el ser humano para la extracción de energía. Estas fuentes de energía se pueden clasificar como renovables y no-renovables. Dentro de las fuentes de energías no-renovables encontramos las que provienen de combustibles fósiles, estas son el petróleo, el carbón y el gas natural. También podemos encontrar las energías desarrolladas a través de combustible nuclear como la fisión y fusión atómicas. Dentro de las fuentes de energía renovable encontramos las que se desarrollan a partir de la energía del sol ya sea de forma directa o indirecta y las que no dependen de la energía solar como la energía mareomotriz, geotérmica, o la energía producida a través de celdas de hidrógeno.

Las diferentes fuentes de energía las podemos catalogar como energías contaminantes o no contaminantes como se muestran en la Figura 3.2. Todas las energías provenientes de derivados de combustibles fósiles son consideradas energías contaminantes al igual que la energía nuclear. Esta última no genera emisiones CO₂ al ambiente, factor principal para considerar la fuente de energía como contaminante, sin embargo genera residuos radiactivos en su producción que

pueden ser altamente contaminantes al medio ambiente y para el ser humano. La Biomasa una fuente de energía renovable, es considerada contaminante porque en su combustión se generan gases con efecto invernadero incluyendo CO₂ (Boccas 2010).

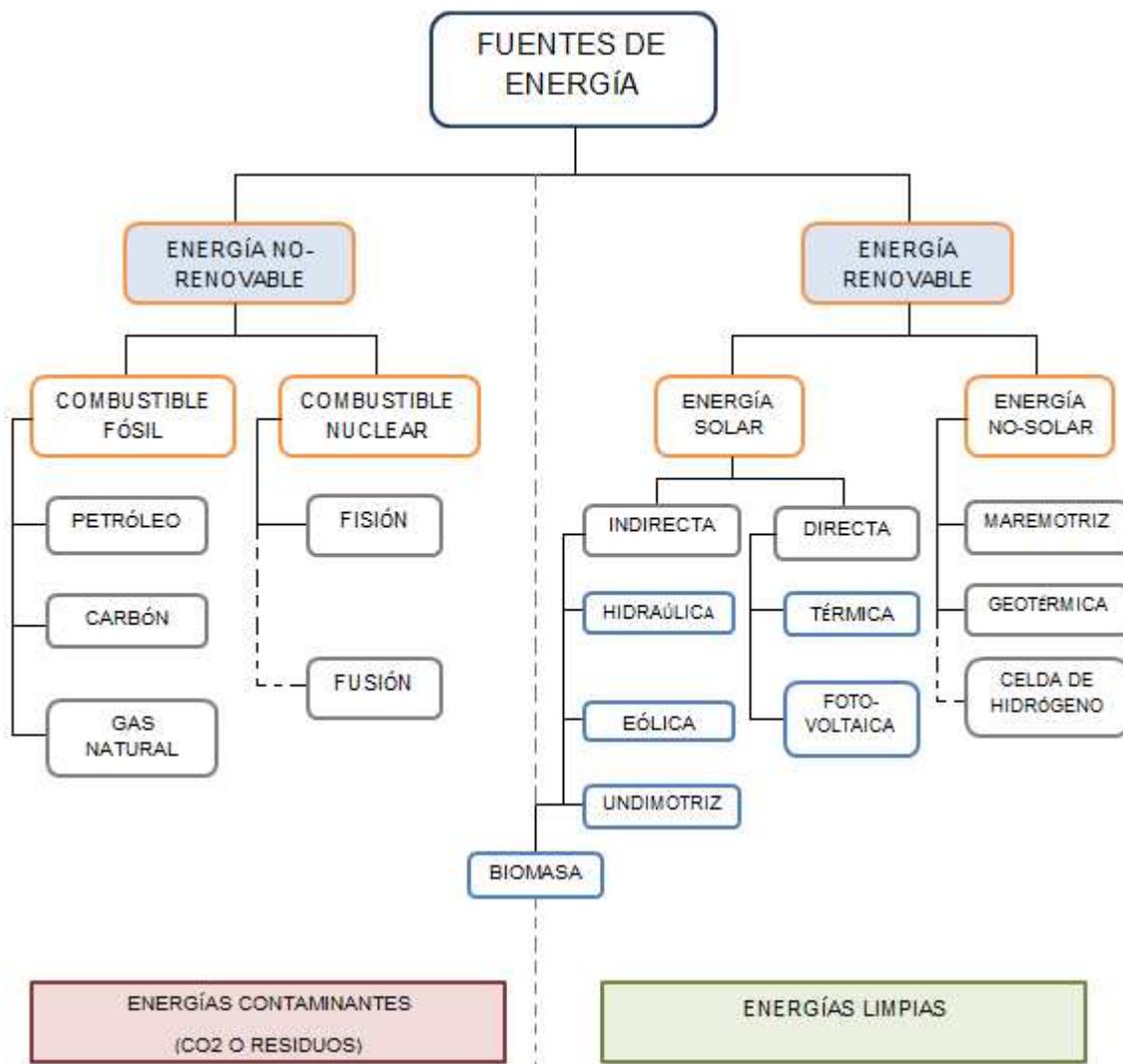


Figura 3.2 Diagrama de Fuentes de Energía

3.3.1 Producción de Energía a Nivel Mundial

Los seres humanos en el planeta Tierra consumimos alrededor de 18.8 trillones de Kilovatios hora (kWh, siglas en inglés), al año (U.S. Energy Information Administration 2010). Según estudios de la Administración de Información de Energía de los Estados Unidos (EIA por sus siglas en inglés) se espera que en el 2020 el consumo energético sea aproximadamente de 25 trillones de kilovatios hora y para el 2035 el consumo aumente a razón de 3.3% anual para un total de 35.2 trillones de kilovatios hora. Esto que se traduce en un aumento en la producción necesaria de energía para poder satisfacer la demanda mundial.

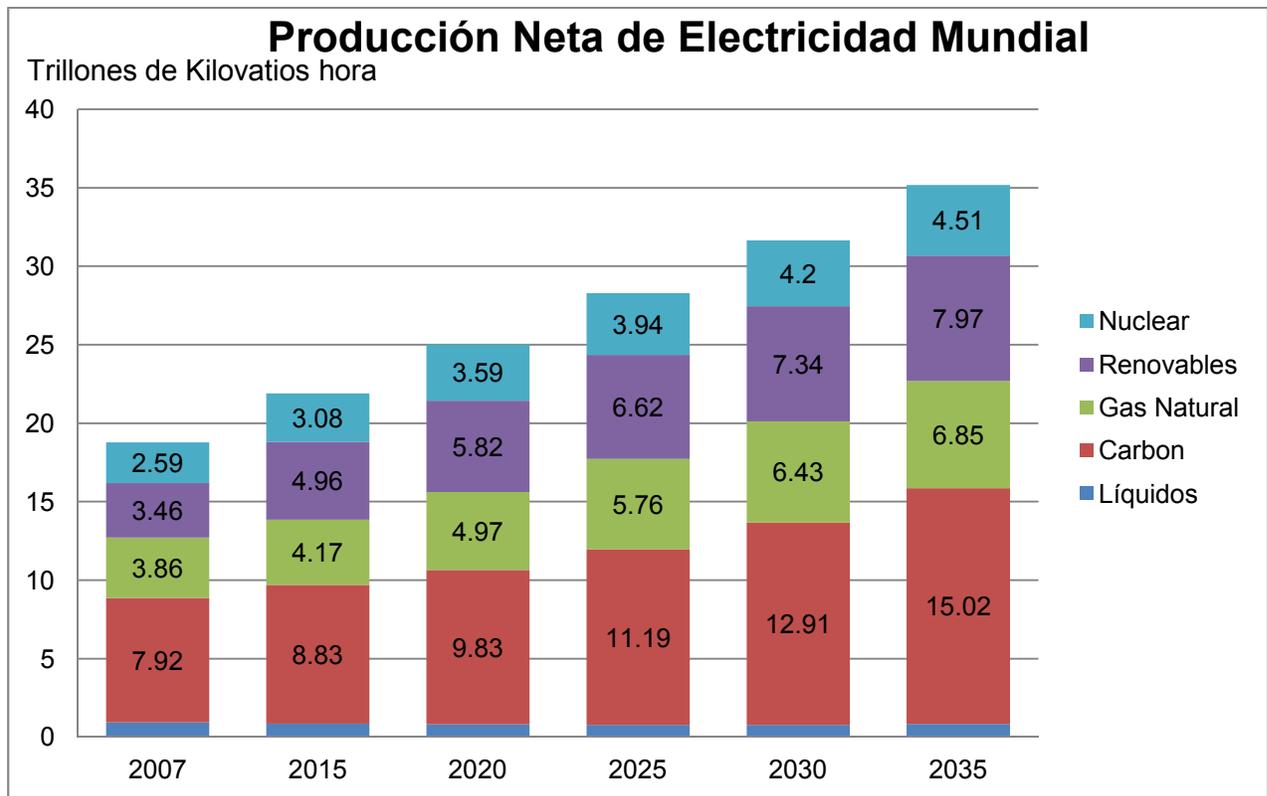


Tabla 3.2 Producción neta de electricidad Mundial
(Datos de: <http://www.eia.gov/oiaf/ieo/highlights.html>)

En el 2010 cerca del 80% de la energía producida en el mundo se derivó de combustibles fósiles como el carbón, el gas natural y nuclear. La producción de energía utilizando estos métodos de combustible contribuye al deterioro de la capa de ozono con el efecto de gases de invernadero y el aumento del calentamiento global.

Los avances tecnológicos a partir de la Era Industrial así como el crecimiento de la población Mundial, 6.948.946.000 billones de seres humanos en el 2010 (US Census 2011), ha incrementado la cantidad de gases de efecto de invernadero en la atmosfera. Las concentraciones de CO₂ y metano en la atmósfera han aumentado en un 36% y 148% respectivamente desde 1750 (U.S. Environmental Protection Agency – EPA 2011a). Estos han sido los niveles más altos en los últimos 800,000 años según muestras de hielo (Siegenthaler, Urs; et al. 2005). La utilización de los combustibles fósiles ha producido más de tres cuartas partes del aumento de CO₂ provenientes de la actividad humana. Otros factores que han aumentado la cantidad de CO₂ en la atmosfera son los cambios en la utilización del suelo y la deforestación. Por tal razón es necesaria la sustitución de combustibles fósiles por métodos alternos de producción de energía que sean no contaminantes al ambiente y que sean renovables naturalmente.

Los combustibles fósiles no son renovables por lo tanto su utilización está limitada a la cantidad de materia prima existente en el mundo. Según la Administración de Energía de los Estados Unidos en el *International Energy Outlook 2010* se provee información que sitúa las reservas de los combustibles fósiles en alrededor de 50 años para el petróleo, 90 años para el uranio, 80 años para el gas natural y 250 años

para el carbón si el consumo mundial de energía no disminuye o se sustituyen por fuentes de energía renovables.

3.3.2 *Producción de Energía en Puerto Rico*

Puerto Rico es una isla que mide 100 millas de oeste a este y 35 millas de norte a sur con una población de 3,725,789 millones de habitantes (Censo Puerto Rico 2010) y un consumo energético de 20.74 billones de kilovatios hora al año según la Agencia Central de Inteligencia de los Estados Unidos (CIA – siglas en ingles) (US Central Intelligence Agency 2011). Con este consumo Puerto Rico se ubica en el lugar 68 en consumo de electricidad comparado con el resto del mundo.

Puerto Rico produce 23.72 billones de kilovatios hora al año de electricidad de los cuales el 69% proviene de la quema de combustibles fósiles, 15% proviene de gas natural, 15% de carbón y 1% de fuentes renovables. Con esta producción de electricidad Puerto Rico ocupa el lugar número 68 en comparación con otros países a nivel mundial. La Figura 3.3 muestra gráficamente la cantidad de kilovatios hora producidos en Puerto Rico entre el año 2003 y el 2011. Puerto Rico muestra un pico en la producción de energía en el año 2007 con 24.14 billones de kilovatios hora y una disminución en esta producción en el año 2011 con 23.72 billones de kilovatios hora de la energía eléctrica producida.

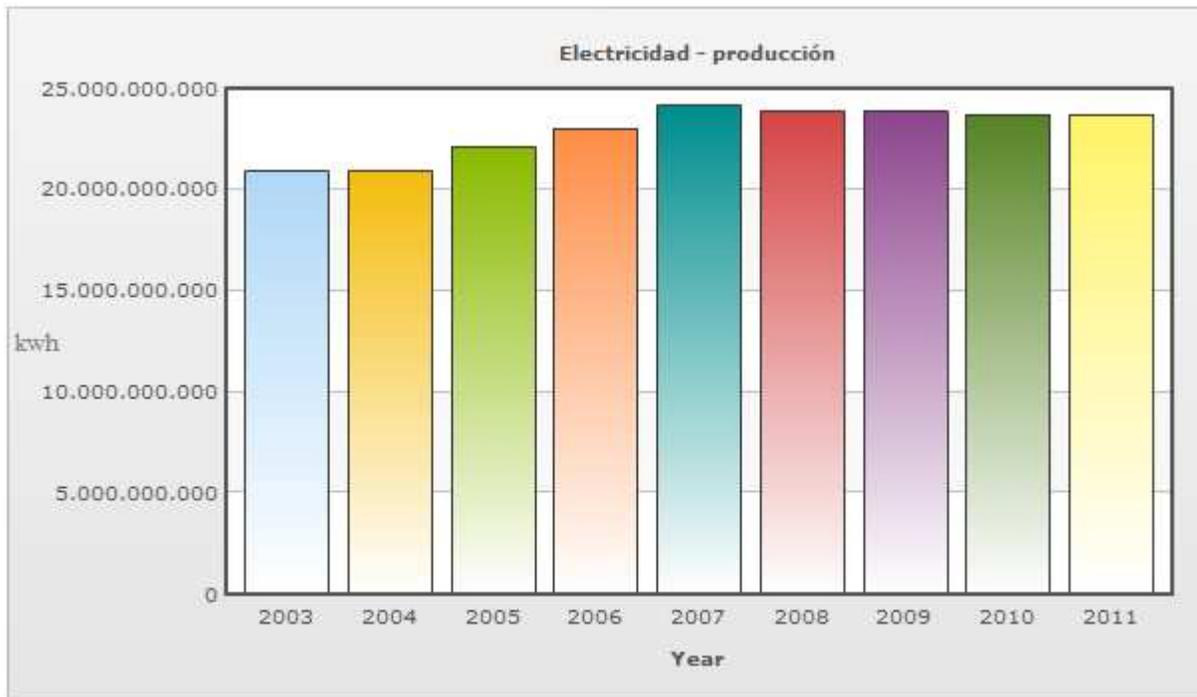


Figura 3.3 Producción Electricidad en Puerto Rico
(Datos de: http://www.indexmundi.com/es/puerto_rico/electricidad_produccion.html)

En la Figura 3.4 observamos una comparación gráfica del consumo y la producción de la energía eléctrica en Puerto Rico entre los años 1980 y el 2008. Ésta muestra una tendencia de crecimiento de producción y consumo entre los años de 1982 y cerca del año 2006 donde comienza a disminuir ambos renglones. Según la Oficina del Censo, adscrita a la Junta de Planificación de Puerto Rico, en 1980 la población de Puerto Rico era de aproximadamente 3,196,520 millones de personas. En un periodo de 30 años la población de Puerto Rico aumento en un 14.2% mientras que la producción de energía ha aumentado un 45% con un total de 13.03 billones de kilovatios hora producidos en 1980 versus 23.72 billones de kilovatios hora producidos en el año 2010 (U.S. Energy Information Administration 2010). De esta

manera relacionando el crecimiento poblacional con la producción de energía eléctrica vemos que por cada 1% que aumenta la población en Puerto Rico aumenta un 3% la producción de electricidad. Con este aumento de producción en electricidad aumenta también la cantidad de emisiones CO₂ que se generan al ambiente.

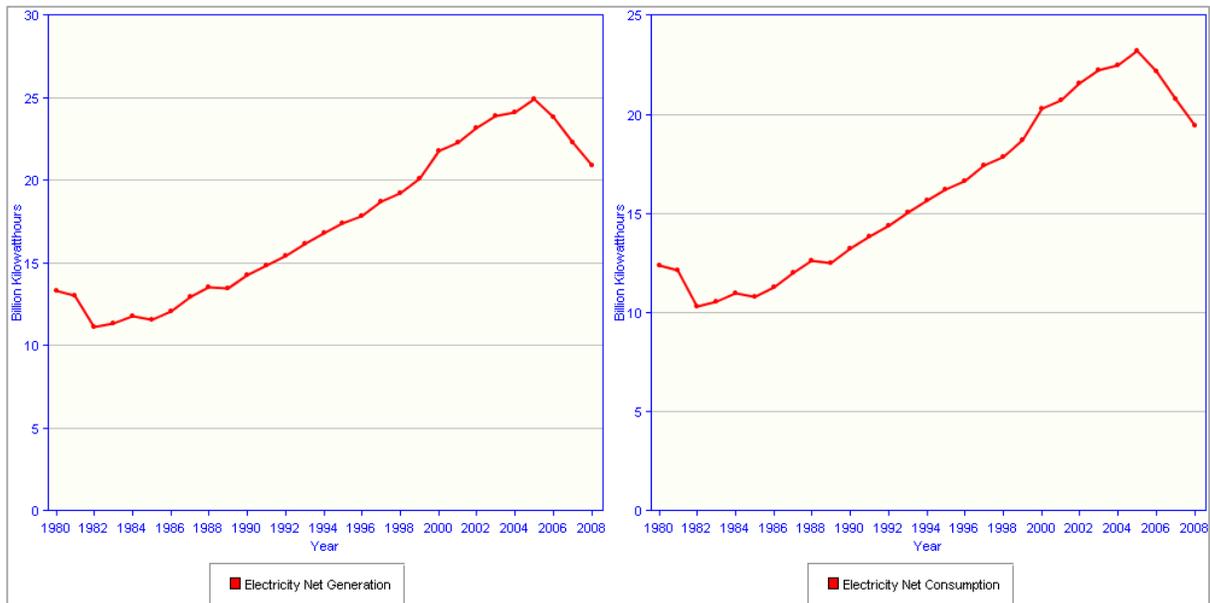


Figura 3.4 Comparación entre consumo y producción de la energía eléctrica en Puerto Rico

(Datos de: <http://www.eia.gov/countries/country-data.cfm?fips=RQ#elec>)

En la Figura 3.5 se muestran las emisiones de dióxido de carbono en millones de toneladas métricas que se generan al ambiente por el consumo eléctrico en Puerto Rico entre los años 1980 y 2009. Las emisiones de CO₂ en el año 1980 eran de 28.878 millones de toneladas métricas mientras que en el año 2009 se reportaron 33.262 millones de toneladas métricas de contaminantes al ambiente. Esto representa un aumento de 13% de emisiones de CO₂ generadas a través del consumo de energía eléctrica derivada de combustibles fósiles en Puerto Rico en los

últimos 30 años. Este aumento en las emisiones de CO₂ contribuye al aumento del efecto invernadero en la atmósfera. El efecto invernadero es el proceso por el cual la radiación termal proveniente de la superficie del planeta es absorbida en la atmósfera por los gases atmosféricos y es devuelta a la tierra en todas direcciones (U.S. EPA 2011b). El aumento en el efecto invernadero es considerado uno de los factores que afectan actualmente el cambio climático específicamente lo que se conoce como el calentamiento global (Duarte 2006).

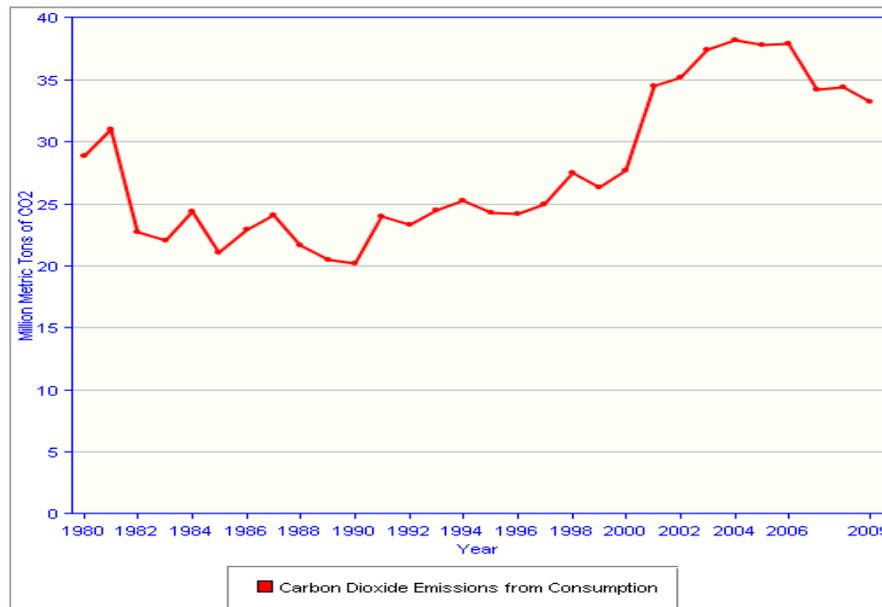


Figura 3.5 Emisiones de CO₂ por consumo de combustibles fósiles en Puerto Rico

(Datos de: http://www.eia.gov/countries/img/charts_png/RQ_co2con_img.png)

El calentamiento global se define como un aumento progresivo y gradual de la temperatura media de la superficie terrestre, responsable de los cambios en los patrones climáticos mundiales (González, et al. 2003). Aunque existe evidencia de

que en el pasado se ha presentado aumento de temperatura global como resultado de procesos naturales, el término calentamiento global se utiliza más para referirse al calentamiento de la superficie terrestre, registrado desde principios del siglo XX y asociado con el aumento en la concentración de los gases de invernadero en la atmósfera.

En la figura 3.6 se observan algunas de las consecuencias del cambio climático en el Planeta Tierra. Algunas de estas consecuencias son el aumento en las zonas desérticas, sequías, deforestación, inundaciones, la fusión de los glaciares, ascenso del nivel del mar, destrucción de ecosistemas y alzas en las temperaturas del mundo entre otros (Hughes 2000). El cambio climático presenta cambios dentro de las diferentes especies que habitan el planeta Tierra. Estos cambios se pueden presentar en la fisiología y fenología de la especie así como en la capacidad de adaptación a los cambios en los ecosistemas y en su forma más extrema puede conllevar a la extinción de algunas especies.

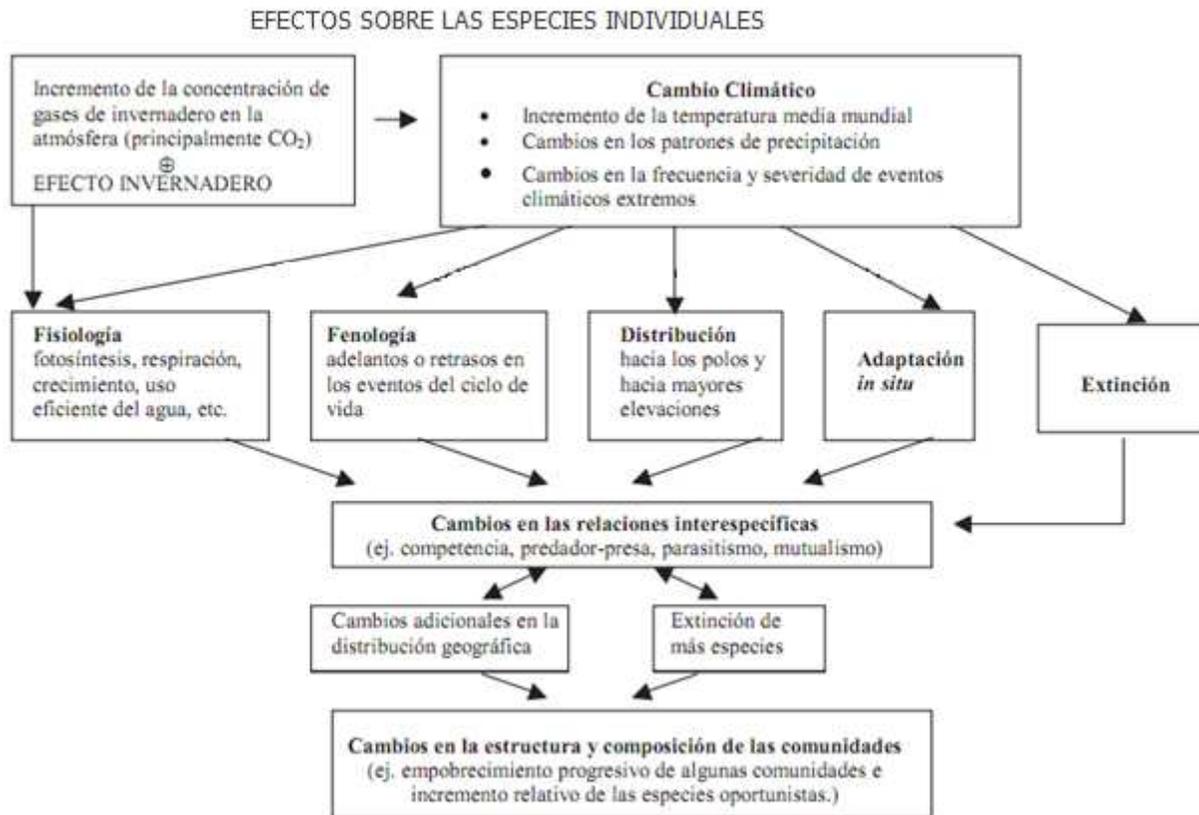


Figura 3.6 Vías Potenciales de Cambios en las comunidades y extinción de especies por efecto del incremento de gases de invernadero en la atmósfera
(Adaptación de Hughes, 2000)

Tomando en consideración lo antes expuesto, diferentes científicos, presidentes y estudiosos del tema se unieron para crear alguna solución que disminuyera el calentamiento global y parara el cambio climático. Por lo que en 1992 en la Conferencia de la Tierra celebrada en Río de Janeiro se acordó diseñar un instrumento legal internacional para luchar contra el cambio climático. Liderado por el Programa del Clima de las Naciones Unidas en Diciembre de 1997 se firmó lo que se

conoce como el Protocolo de Kioto. El foco principal del Protocolo de Kioto es la disminución de las emisiones de 6 gases de efecto invernadero: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), en los principales países industrializados con el fin de que en el periodo del año 2008 a 2012 las emisiones disminuyan un 1.8%¹ por debajo de las registradas en 1990. El Protocolo de Kioto contempla tres mecanismos basados en el mercado: el intercambio de cuotas de emisión entre las Partes del Protocolo, la aplicación conjunta de proyectos entre esos países y el mecanismo para un desarrollo limpio con países que no sean partes del protocolo. Cerca de 154 naciones han ratificado el protocolo de Kioto y aunque Estados Unidos estuvo presente durante la creación del protocolo este no lo ha ratificado. Puerto Rico al ser parte de los Estados Unidos tiene que acogerse a las decisiones ambientales que este imponga por lo que no se ve obligado a seguir las disposiciones del Protocolo de Kioto.

3.3.3 *Costo de la Energía Eléctrica en Puerto Rico*

En Puerto Rico la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica está a cargo de la entidad gubernamental conocida como Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE). La AEE genera la energía que se le supe a clientela puertorriqueña de petróleo, hidroeléctrica, gas natural y carbón. En la Tabla 3.2 se

¹ Según la propuesta inicial de 1997, los países firmantes debían lograr que en el plazo que va de 2008 a 2012 las emisiones de GEIs descendieran un 5,2% por debajo de las registradas en 1990. En la cumbre de Bonn (julio de 2001) ese límite se ha fijado en un 1,8%, ya que de lo contrario se corría el riesgo de que el protocolo no se ratificara.

observa la generación neta de electricidad en Mwh por tipo de combustible. Se observa que entre el año 2005 y el 2008 cerca del 70% de la energía era producida a través de petróleo mientras que la energía producida a base de carbón o de gas natural era cerca de un 15% cada una, y la producida a base de fuentes hidroeléctricas era sólo un 0.6% del total de la energía producida por la AEE. En el año 2009 según la Administración de Energía de E.U. (E.I.A. siglas en inglés), Puerto Rico redujo en 1% la generación de energía de petróleo y la sustituyó por fuentes renovables.

Tipo	2005-06	%	2006-07	%	2007-08	%
Petróleo	16,932,853	71.3%	16,973,976	70.5%	15,569,672	67.7%
Hidroeléctrica	147,112	0.6%	103,165	0.4%	128,961	0.6%
Gas Natural	3,273,860	13.8%	3,395,873	14.1%	3,650,789	15.9%
Carbón	3,399,863	14.3%	3,589,129	14.9%	3,646,890	15.9%
Total Generación Neta	23,753,688	100.0%	24,062,143	100.0%	22,996,312	100.0%

Tabla 3.3 Generación Neta (Mwh) de energía en la AEE por tipo de combustible
(Datos de: AEE, División de Planificación y Estudios, *Gastos y Tarifas*. 2008)

De acuerdo al U.S. E.I.A. el costo del kilovatio hora en los primeros 6 meses del año 2011 promedió \$0.2652, más del doble del promedio del costo del kilovatio hora

en Estados Unidos que es de 10.2 centavos. Esta diferencia se vuelve más pronunciada una vez aumenta el precio de la venta del crudo generando que en Agosto de 2011 la AEE facturara el kilovatio hora en 30 centavos. Un evento como este ocurrió en Julio de 2008 cuando el precio del barril de petróleo sobrepasó los \$100.00 por barril y el costo del kilovatio hora facturado alcanzo los 30 centavos. En la Figura 3.7 se muestra el costo por kilovatio hora facturado en Puerto Rico desde marzo del año 2008 hasta agosto de 2011. En el año 2008 el costo del kilovatio hora se mantuvo por encima de los 20 centavos mientras que en la primera mitad del año 2009 hubo una reducción en el costo por debajo de los 15 centavos el kilovatio hora.

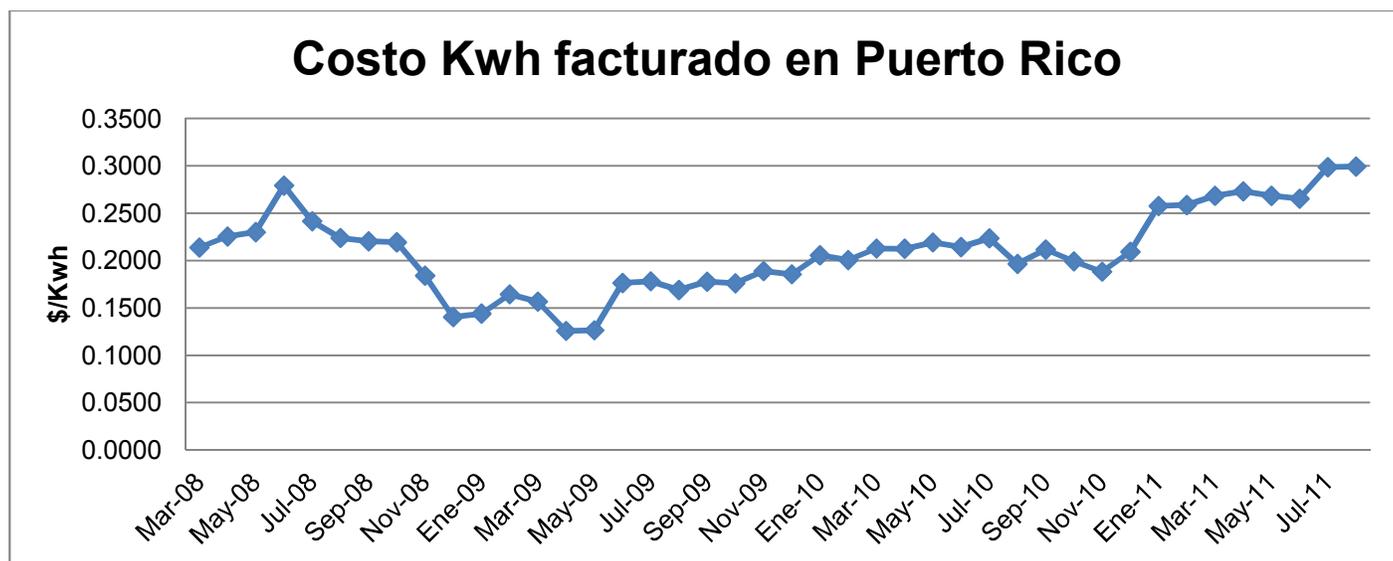


Figura 3.7 Costo Kilovatios Hora Facturados en Puerto Rico

Debido a la alta dependencia del petróleo para la producción de energía eléctrica en Puerto Rico el costo de esta depende directamente del costo del petróleo en los

mercados internacionales. Si el costo del petróleo aumenta, también aumentará el costo de la energía producida por la AEE. Como este es un valor que fluctúa de mes a mes la AEE creó una fórmula mediante la cual le pasan a los clientes el costo del combustible utilizado para producir la energía eléctrica. El cliente de la AEE tiene en su factura de energía eléctrica un renglón de cargos corrientes por venta de electricidad, este incluye todos los cargos relacionados por concepto de tarifas o servicio eléctrico. Dentro de los cargos que se incluyen en este renglón esta la Tarifa Básica, que incluye los conceptos de cargo fijo por servicio de cuenta y cargo por consumo. El cargo fijo es utilizado por la AEE para cubrir los gastos independientes de ésta y la demanda de energía de los clientes tales como: lectura de contadores, facturación, gastos administrativos, servicios al cliente y gastos fijos relacionados con la toma de servicios y el contador. El cargo por consumo es utilizado por la AEE para cubrir los gastos de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica que se sirve a los clientes. Además de la tarifa básica, existe una cláusula de ajuste que incluye los conceptos de compra de energía y compra de combustible. El propósito de este cargo es cubrir todos los gastos de compra y manejo del combustible consumido en las plantas generatrices, y cubrir los gastos de compra de energía a productores independientes. Los cargos corrientes por venta de electricidad varían de mes a mes dependiendo del consumo del cliente así como el costo al que la AEE adquiere la energía y el combustible utilizado para producirla. A continuación se muestran las ecuaciones utilizadas por la AEE para Facturar El Factor de compra de energía y el Factor de Compra de Combustible:

$$FCE(\$/kWh) = \frac{\text{Costo Estimado de la Energía Comprada} \pm \text{Ajuste}_{CE}}{0.89 \times \text{Generación Neta Total Estimada} \times E_i}$$

$$FCE(\$/kWh) = \frac{\text{Dinero Gastado en Compra de Energía}}{\text{Energía Total}}$$

FCE = Factor de Compra de Energía

E_i = Eficiencia a Voltaje de Transmisión

Ajuste_{CE} = Recobro de los gastos incurridos

$$FCC (\$/kWh) = \frac{\$/BBL \times BBLs_{\text{Estimados}} \pm \text{Ajuste}_c}{0.89 \times \text{Generación Neta Total Estimada} \times E_i}$$

$$FCC (\$/kWh) = \frac{\text{Dinero Gastado en Combustible}}{\text{Energía Total}}$$

FCC = Factor de Compra de Combustible

BBL = Precio Facturado de Combustible

BBLs = Cantidad estimada de Barriles

Ajuste_c = Devolución

E_i = Eficiencia a voltaje de Transmisión

Debido a la fluctuación del precio del petróleo a nivel mundial la AEE ha tenido a pasar al cliente el alza en sus costos operativos y de mantenimiento de manera que se pueda compensar estas alzas en los costos. En la Figura 3.8 se observan los cambios en los costos de combustible y electricidad en Puerto rico entre los año 1977 al 2008. Se observa claramente como el precio de la energía facturada en Puerto rico está atado a los cambios del precio del barril de petróleo a nivel mundial. A medida que aumenta el costo del barril de petróleo o combustible aumenta también el costo de la energía en Puerto Rico. Esto sucede debido a que Puerto Rico no es un país productor de petróleo y necesita importar los combustibles utilizados para la producción de energía y otros procesos relacionados a esta.

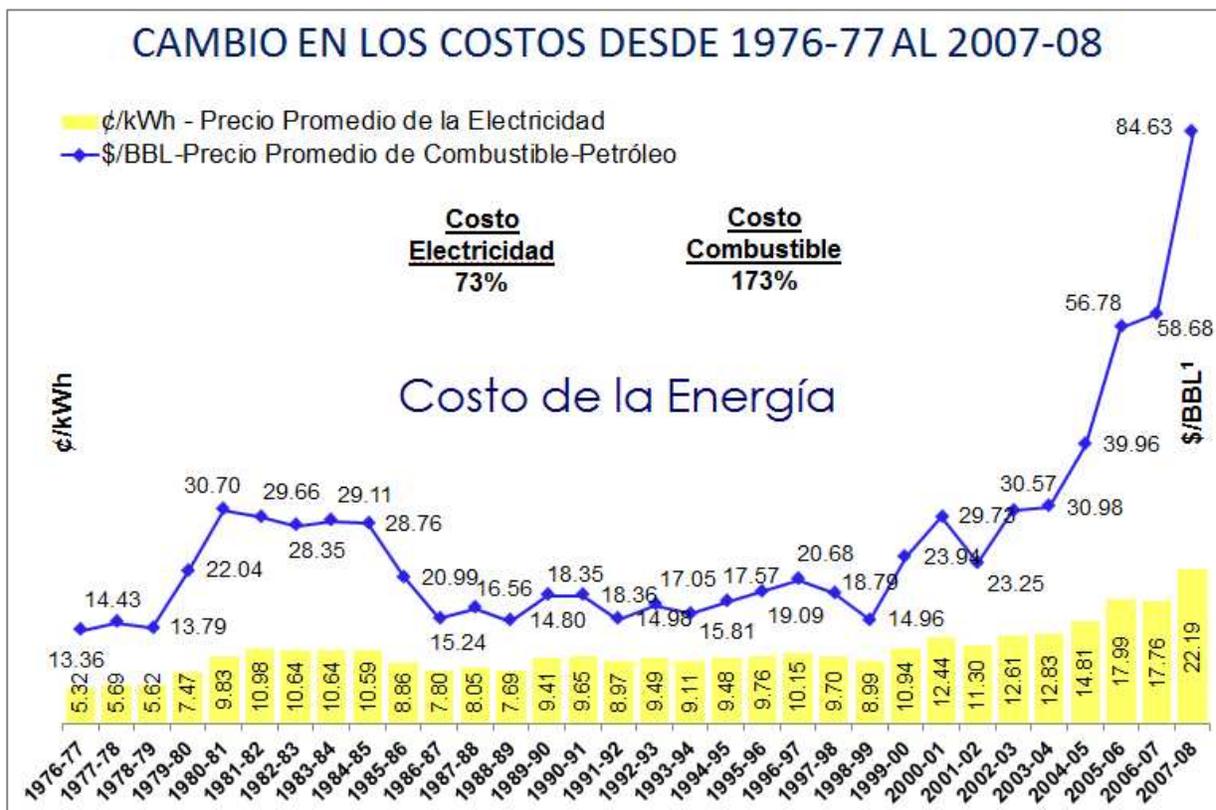


Figura 3.8 Cambios en los costos de la Energía en Puerto Rico 1977 – 2008
 (Datos de: AEE, División de Planificación y Estudios. *Gastos y Tarifas*. 2008)

3.3.4 Energía Eléctrica en Edificios

Los edificios consumen aproximadamente 39% de la energía y 74% de la electricidad producida anualmente en los Estados Unidos, de acuerdo al Departamento de Energía de los E.U. (U.S. Department of Energy 2008). Generar electricidad de combustibles fósiles como el aceite, el gas natural y el carbón afectan negativamente al ambiente a través de cada proceso de producción y uso, comenzando desde la extracción y transportación del material, seguido de su refinamiento y distribución así como su consumo. La combustión de los combustibles fósiles libera al ambiente dióxido de carbono y otros gases de efecto de invernadero

que contribuyen al cambio climático. Más de la mitad de la electricidad generada en Estados Unidos en el 2006 se derivó de plantas de quema de carbón. La quema de carbón libera al ambiente contaminantes como el dióxido de carbono, dióxido de sulfuro, óxido de nitrógeno, partículas pequeñas y mercurio. Cada mega vatio de electricidad generado a través de la quema de carbón libera a la atmosfera un promedio de 2,249 libras de dióxido de carbono, 13 libras de dióxido de sulfuro y 6 libras de óxido de nitrógeno (U.S. EPA 2012). Más del 65% del dióxido de sulfuro liberado en el aire, o 13 millones de toneladas al año provienen de la generación de electricidad a través de quema de carbón.

El gas natural, las plantas nucleares y los generadores hidroeléctricos también proveen consecuencias ambientalmente adversas. El gas natural es la mayor fuente de óxido de nitrógeno y gases con efecto de invernadero. Mientras que las plantas nucleares aumentan la probabilidad de accidentes catastróficos y aumentan la transportación y disposición de desperdicios tóxicos.

Los edificios verdes o sostenibles pueden eliminar o disminuir estas situaciones a través de la reducción de la energía requerida para su operación y utilizando fuentes de energía menos contaminantes al ambiente. Por lo que se espera que utilizando fuentes de energía renovables o energías limpias se reduzcan los impactos ambientales provenientes del uso de un edificio o estructura. En adición a esto, un mejor rendimiento en la utilización de energía resulta en bajos costos de operación y mantenimiento.

3.4 Energía Renovable

La energía renovable es la energía generada a través de recursos naturales que son considerados como inagotables o con la capacidad de regenerarse rápidamente. Existen dos tipos de energías renovables: las contaminantes y las no contaminantes. Las energías renovables contaminantes son las que se producen de la combustión de materia orgánica (biomasa), y se pueden utilizar como combustible (bioetanol, biogás, biodiesel). Las energías renovables no contaminantes son las que se producen del viento (energía eólica), el calor de la Tierra (energía geotérmica), los mares y los océanos (energía mareomotriz), los ríos (energía hidráulica) y el sol (energía solar).² Para propósito de esta investigación se trabajó con la energía solar.

3.5 Energía Solar

La energía solar es la energía producida a través de la radiación del sol. Esta energía puede ser captada de forma pasiva o forma activa. La captación pasiva de energía solar no depende de ningún tipo de sistema mecánico de conversión para la utilización de energía. Esta es captada a través de técnicas de recolección y uso directo de la energía. La captación activa de energía solar se hace a través de equipos mecánicos o eléctricos que transforman la radiación solar en calor o energía

²Energía Renovable, http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable (7 de marzo de 2007)

eléctrica.³ Para propósito de este estudio se trabajó con la energía solar activa, específicamente con la energía solar recolectada a través de paneles fotovoltaicos.

3.5.1 *Radiación Solar*

La radiación solar, que son las ondas electromagnéticas emitidas por el sol tienen la capacidad de suplir la necesidad energética del planeta Tierra. Las recursos de energía solar disponibles en el planeta Tierra son 120,000 TW ($120,000 \times 10^{12}$ Vatios), mientras que el consumo energético del planeta es 15 TW (15.04×10^{12} Vatios).⁴ El mapa en la Figura 3.9 muestra la radiación solar medida durante tres años consecutivos (Loster 2010).

³ Energía Solar, http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar (7 de marzo de 2007)

⁴ World Energy Consumption, http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption (7 de marzo de 2007)

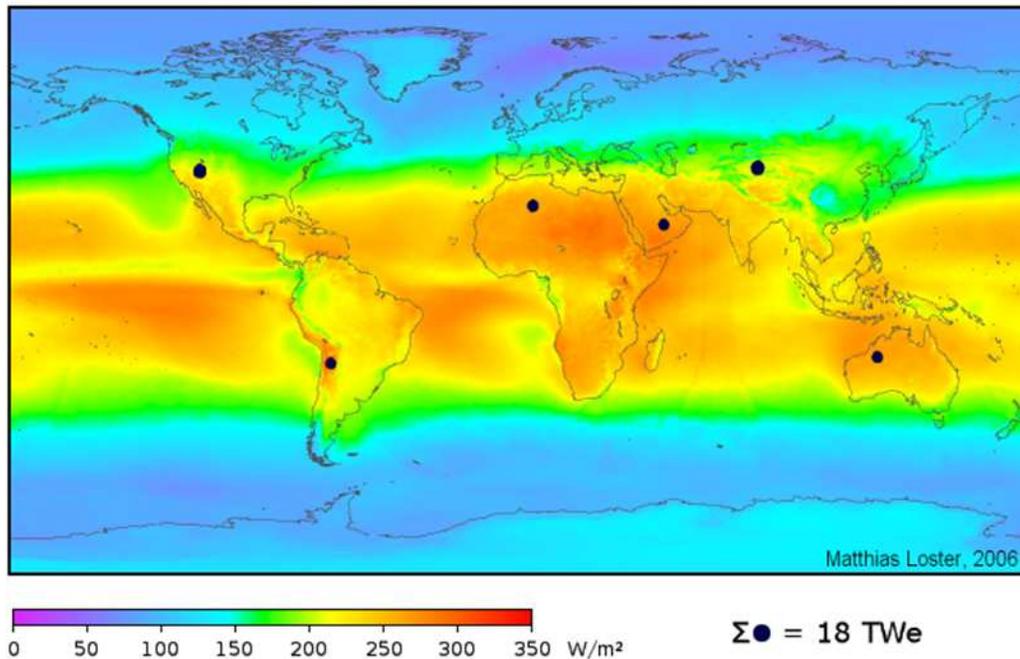


Figura 3.9 Mapa de Radiación Solar Mundial
 (Imagen tomada de: http://www.ez2c.de/ml/solar_land_area/)

Se evaluó un periodo de 24 horas y se tomó en consideración las noches y los días nublados. De la figura se desprende que en los lugares marcados con un punto, celdas solares con una eficiencia a conversión de energía de 8% podrían producir 18 TW (18×10^{12} Vatios), sobrepasando así la necesidad energética mundial. Con la utilización de la energía solar se podría sustituir las fuentes primarias de energía utilizadas mundialmente. En las Tablas 3.4, 3.5 y 3.6 se observan la irradiación solar para Mayagüez, Hormigueros y San Germán, pueblos de Puerto Rico, medida por el Laboratorio Nacional De Energía Renovable (NREL, por sus siglas en ingles), de Estados Unidos. Este laboratorio, adcrito al departamento de energía de los Estados

Unidos adquiere los datos de radiación solar de la *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA siglas en inglés). NOAA recoge sus datos de diferentes estaciones meteorológicas ubicadas alrededor de todo el planeta Tierra. Estas estaciones generalmente están ubicadas en los aeropuertos principales de los estados, países y ciudades, además de estar ubicados en diferentes universidades y centros de investigación. Existen otras estaciones meteorológicas de las cuales NOAA adquiere datos y estas son estaciones privadas que recogen datos y estos son enviados a la base de datos de la NOAA. La NOAA utiliza todos estos datos de las diferentes estaciones meteorológicas y los interpola para obtener la radiación solar de cada lugar específico en el planeta Tierra. Para el caso de Puerto Rico existen estaciones meteorológicas en el Aeropuerto Luis Muñoz Marín y en la Universidad de Puerto Rico entre otras.

Mes	Índice Claridad	Radiación Diaria (kWh/m ² /d)
Enero	0.619	4.800
Febrero	0.607	5.272
Marzo	0.613	5.985
Abril	0.594	6.262
Mayo	0.559	6.066
Junio	0.566	6.150
Julio	0.568	6.145
Agosto	0.577	6.113
Septiembre	0.585	5.842
Octubre	0.585	5.252
Noviembre	0.606	4.809
Diciembre	0.616	4.579
Promedio	0.591	5.606

Tabla 3.4 Radiación Solar en Mayagüez Puerto Rico

Mes	Índice Claridad	Radiación Diaria (kWh/m ² /d)
Enero	0.618	4.800
Febrero	0.606	5.272
Marzo	0.612	5.985
Abril	0.594	6.262
Mayo	0.560	6.066
Junio	0.566	6.150
Julio	0.568	6.145
Agosto	0.577	6.113
Septiembre	0.585	5.842
Octubre	0.585	5.252
Noviembre	0.605	4.809
Diciembre	0.615	4.579
Promedio	0.591	5.606

Tabla 3.5 Radiación Solar en Hormigueros Puerto Rico

Mes	Índice Claridad	Radiación Diaria (kWh/m ² /d)
Enero	0.617	4.800
Febrero	0.605	5.272
Marzo	0.612	5.985
Abril	0.594	6.262
Mayo	0.560	6.066
Junio	0.566	6.150
Julio	0.569	6.145
Agosto	0.577	6.113
Septiembre	0.584	5.842
Octubre	0.584	5.252
Noviembre	0.604	4.809
Diciembre	0.614	4.579
Promedio	0.591	5.606

Tabla 3.6 Radiación Solar en San Germán Puerto Rico

Junto con la radiación solar se presenta el índice de claridad que es la relación entre la radiación global en la superficie de la tierra y la radiación extraterrestre medida en la atmósfera. Este indica de forma general, directa o indirectamente a través de análisis estadísticos, el estado atmosférico local, las condiciones y características climáticas, y el cambio de las mismas en el transcurso del tiempo.

Los valores del índice de claridad nos muestran cuan despejado esta el cielo de nubes y obstrucciones para la radiación solar. Mientras más cercano a 1 sea el valor del índice de claridad más claro y despejado se encuentra la atmosfera terrestre. Según un estudio realizado por el Grupo de Energías Alternativas de la Universidad Distrital de Colombia, al medir directamente la radiación solar para calcular el índice de claridad se encontró que se podían dividir los días en tres tipos: nublados, semi nublados y despejados (Sánchez et al. 2006). Para los días nublados el rango de valores de índice de claridad es de 0.1 a 0.4, para días semi nublados el rango de valores de 0.4 a 0.6 y para días despejados el rango de valores es de 0.6 a 0.8. Debido a las condiciones climáticas los valores de índice de claridad para los lugares evaluados no fueron mayores a 0.8.

En promedio para Mayagüez Puerto Rico, el índice de claridad es de 0.591, para Hormigueros es 0.589 y para San Germán es de 0.588, mientras que es promedio de la radiación diaria es de 5.61 kW/m²/d para los tres casos antes mencionados. Se observa que el índice de claridad entre los casos varía muy poco y que la radiación no varía entre un caso y otro. Hay que tomar en consideración que estos valores aplican a los proyectos específicos que se están evaluando y que para la evaluación

de casos futuros se tiene que corroborar estos datos ya que varían dependiendo la ubicación en el mapa terrestre.

3.5.2 *Energía Solar Fotovoltaica*

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación de la radiación solar en energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos. Esta energía no genera emisiones dañinas al ambiente, se produce silenciosamente con poco mantenimiento a lo largo de su vida útil y es considerada una fuente de energía renovable (CEG 2008).

3.5.2.1 *Descripción de la Tecnología*

Fotovoltaicos (“Photovoltaics” PV por sus siglas en inglés) se deriva de “photo” que significa luz y “voltaic” que significa voltaje. Los paneles fotovoltaicos convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica, esto basado en el efecto fotovoltaico observado por Edmund Becquerel en 1839 (Ropp 2007). El elemento principal de los paneles fotovoltaicos es la celda fotovoltaica. Esta celda está compuesta de un material semiconductor que genera electricidad al ser expuesto a la radiación solar. Este material semiconductor es el silicio, presentado en la Figura 3.10. Este es el segundo elemento más abundante en el planeta Tierra después del oxígeno. La celda de silicio que hoy día se utiliza proviene de la patente del inventor norteamericano Russell Ohl. Fue construida en 1940 y patentada en 1946. La época

moderna de la celda de silicio llega en 1954 con las investigaciones realizadas en los Laboratorios *Bells*. Experimentando con semiconductores se encontró que el silicio con algunas impurezas era muy sensitivo a la radiación solar.



Figura 3.10 Silicio Puro

Imagen de <http://eltamiz.com/wp-content/uploads/2008/02/silicio1.jpg>

En los comienzos de estas investigaciones se consiguió una eficiencia de conversión a energía eléctrica de 6%.

Existen tres tipos de paneles fotovoltaicos a base de silicio en el mercado: mono cristalino, multi cristalinos y células amorfas, presentados en la Figura 3.11. Los paneles mono cristalinos son los más eficientes, seguido de los multi cristalinos y por último los paneles amorfos (Dávila 2008).

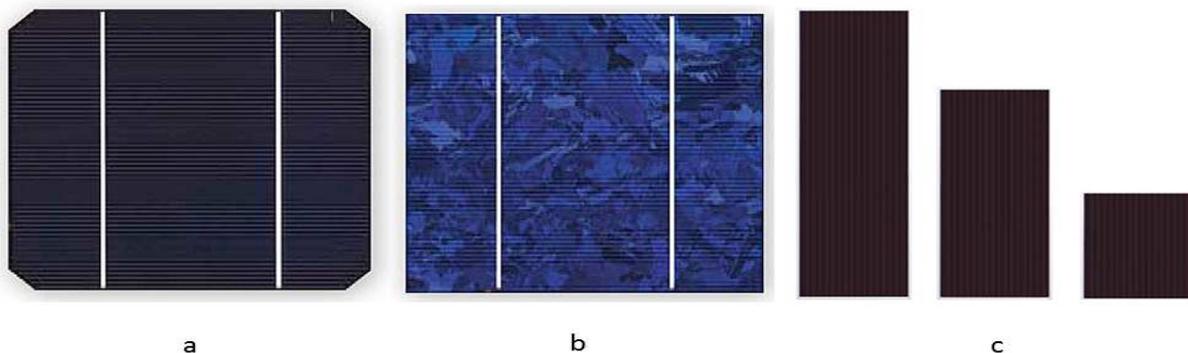


Figura 3.11 Célula mono cristalina (a), poli cristalina (b) y amorfa (c)

(Imágenes de: http://www.cardosolopes.net/Alunos/Disciplinas/ET/Geral/energia/energia_2.htm)

En 1956 el costo del vatio producido a través de una celda fotovoltaica rondaba los 300 dólares mientras que el costo de producir un vatio de energía por las centrales convencionales era de aproximadamente 50 centavos de dólar (Asociación de la Industria Fotovoltaica (AIF) 2010). En ese momento sólo eran utilizadas las celdas fotovoltaicas para aplicaciones en pequeños artefactos eléctricos como radios o juguetes por las industrias electrónicas. Sin embargo la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA, por sus siglas en inglés), investigó la posibilidad de utilizar paneles solares fotovoltaicos en sus satélites en el espacio. En 1958 NASA lanza al espacio *Vanguard I*, el primer satélite energizado a través de paneles fotovoltaicos. El éxito y la confiabilidad que presentó la utilización de los paneles solares en este satélite marcaron el comienzo de la utilización de paneles fotovoltaicos con fines espaciales y el desarrollo de la industria fotovoltaica.

INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS EN SATÉLITES ESPACIALES		
AÑO	PROYECTO ESPACIAL	POTENCIA DE SU INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
1958	Vanguard I	0,1 W
1962	Telstar	14 W
1964	Nimbus	470 W
1966	Observatorio Astronómico Espacial	1 KW
1973	Skylab	20 KW

Tabla 3.7 Instalaciones Fotovoltaicas en Satélites Espaciales

Ya en el año 1960, Electrónicos Hoffman habían alcanzado un 14% de eficiencia en las celdas fotovoltaicas, y es en 1963 cuando Japón instala un arreglo fotovoltaico de 242 vatios, el más grande el mundo en esa época. En 1973 la Universidad de Delaware construye “*Solar One*”, la primera residencia en el mundo energizada a través de paneles fotovoltaicos, y en 1977 el Departamento de Energía de los Estados Unidos funda el Instituto de Investigación de Energía Solar conocido como *National Renewable Energy Laboratory* facilidades dedicadas a la investigación de la energía proveniente del sol. Luego de la inauguración de este laboratorio de investigación, a través de los años se han ido creando tecnologías más eficientes en la captación de energía solar y a su vez los gobiernos han creado política pública que regula el mercado de los sistemas solares fotovoltaicos y estimula a su adquisición e implantación.

3.6 Uso de Energía Renovable en Construcción

La industria de la construcción es la responsable de un alto consumo de recursos naturales durante sus procesos de construcción. Entre estos recursos la energía juega un papel importante ya que los edificios consumen cerca del 40% del total de la energía producida en países desarrollados. La elección de recursos energéticos renovables empleados durante el proceso de construcción puede suponer ahorros energéticos y reducir la repercusión que las actividades del proceso de construcción causan al ambiente.

La energía renovable generalmente se ha utilizado como un fin dentro de los procesos de construcción. Sin embargo, la energía es un elemento imprescindible en el desarrollo de los procesos de construcción y la industria debe fomentar el uso controlado de recursos sostenibles en consonancia con las características ambientales y preservando la calidad de los entornos.

Dentro de las aplicaciones que se pueden encontrar para el uso de energía renovable fotovoltaica durante los procesos de construcción es la utilización de señales de tráfico portátiles. Estos dispositivos de señalización de tráfico son alimentados por paneles solares y suelen ser colocados en intersecciones de carreteras, para anunciar desvíos, caminos de peatones y controlar el flujo del tráfico. Estos sistemas solares incluyen baterías para suplir el alumbrado nocturno y funcionan con lámparas *LED (Light Emitting Diode)* de bajo consumo energético. Un ejemplo de estos sistemas lo podemos ver en la Figura 3.12.



Figura 3.12 Sistema solar portable de señalización de tráfico

Otro ejemplo de aplicación de sistemas renovables fotovoltaicos dentro de los procesos de construcción fue el desarrollado por la universidad de California *Humboldt State University* la cual diseñó un sistema fotovoltaico movible el que se puede transportar a cualquier lugar remoto sin problemas. Este sistema trabaja como un generador de energía y puede ser aplicado a los proyectos de construcción. Los desarrolladores lo pueden transportar junto con su oficina de campo a cualquier proyecto y utilizarlo como un resguardo de energía ó para conectar otros artefactos fuera de la oficina. En la Figura 3.13 se muestra un ejemplo del sistema antes descrito.

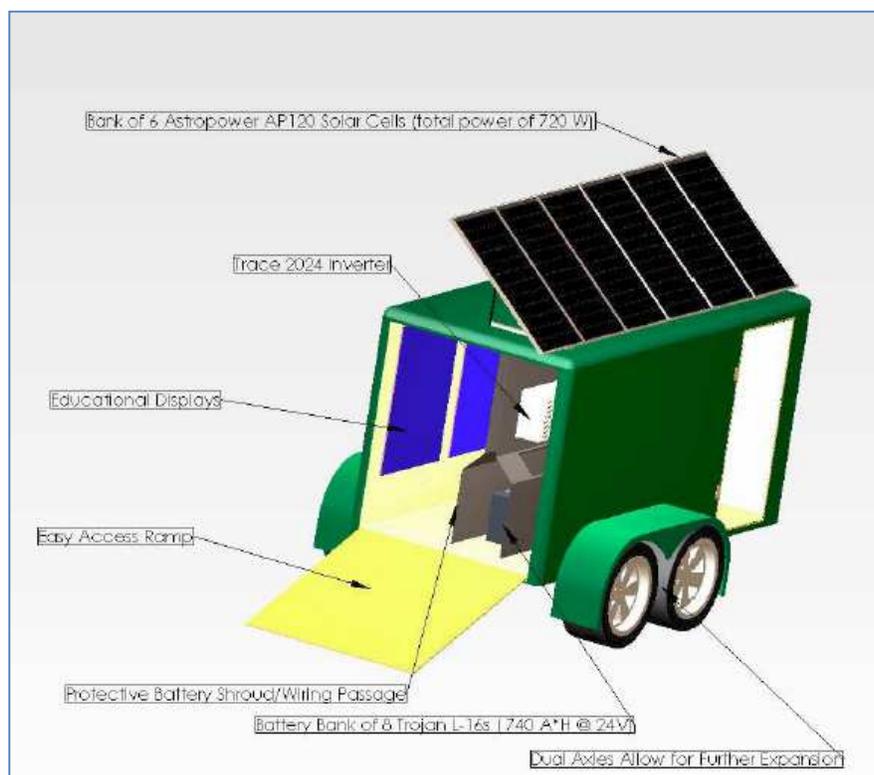


Figura 3.13 Sistema solar fotovoltaico transportable

(Imagen de: *Mobile Renewable energy trailer proposal* (Campus Center for Appropriate Technology 2003))

A pesar de que esta unidad ayuda a aumentar el uso de energía renovable en los proyectos de construcción, esta tesis está enfocada en el uso de energía renovable para las funciones administrativas en la oficina del proyecto por lo que se trabajó con un sistema de energía solar fotovoltaica permanente en la oficina de campo en vez de uno móvil.

3.6.1 Construcciones Sostenibles

La industria de la construcción intenta aplicar el principio de construcción sostenible a través del uso de menos material “nuevo” y menos energía reduciendo a su vez la contaminación y la cantidad de desperdicios generados sin comprometer la calidad del producto final. Los principios básicos de las construcciones sostenibles son: reducir, reusar, reciclar, proteger la naturaleza, eliminar tóxicos del ambiente, velar por el costo de vida del proyecto y la calidad de éste (Kibert 2008).

Sin embargo, la construcción sostenible deberá abarcar mejorar el proceso de construcción tradicional a través de la participación activa de todos los involucrados en las diferentes etapas de la construcción de manera tal que se minimice el agotamiento de los recursos, la degradación ambiental y se proporcione un ambiente saludable (Alavedra et al. 1997). En la actualidad el enfoque de la construcción sostenible está basado en el producto final. O sea, en diseñar y construir los edificios amigables al ambiente por lo que poco se ha hablado del proceso de construcción y de las actividades que se realizan antes de comenzar una construcción. Esta investigación está enfocada en esas actividades necesarias antes de comenzar una

construcción como lo es el establecimiento y utilización de la oficina temporera de campo en el proyecto a desarrollarse. Por lo que se analiza el consumo energético de la oficina y se estudia la viabilidad de sustituir la energía eléctrica utilizada en la oficina producto de combustibles fósiles por energía renovable producida a través de paneles fotovoltaicos.

3.6.1.1 *Sistemas de Evaluación de Construcciones Sostenibles*

En Estados Unidos y Puerto Rico así como en otras partes del mundo se utilizan diferentes tipos de herramientas o guías para poder identificar los elementos que hacen de una construcción y de su fin (edificios, infraestructura, etc.), sostenibles. Existen alrededor de 74 diferentes tipos de guías para la evaluación de construcciones sostenibles alrededor del mundo. Entre estas guías tenemos las que están basadas en criterios e indicadores de impacto a lo largo del ciclo de vida del proyecto como GBC – GB Tool, VERDE y BREEAM.

GB Tool es una herramienta para la evaluación de la energía potencial y el rendimiento medioambiental de los edificios. Es utilizada en la construcción de nuevos proyectos como en la renovación de proyectos dentro de los tres tipos de edificios que se evalúan: Multi-unidad residencial, oficinas y escuelas. El proceso de GBC es administrado por iiSBE, (*International Initiative for a Sustainable Built Environment*), por sus siglas en inglés. GB Tool proporciona evaluaciones de una amplia gama de posibles parámetros de desempeño ambiental, todos ellos relacionados a indicadores relevantes a la región que se evalúa y la ocupación de los

edificios. En GB Tool los puntos son asignados en un rango de -2 a +5 donde: -2 y -1 son utilizados en niveles de desempeño por debajo de los niveles aceptados por región para ocupaciones específicas. La puntuación de 0 es utilizada para el nivel de desempeño mínimo aceptado dentro de la región para ocupaciones específicas, el 3 es para el mejor desempeño en la práctica y 5 para el mejor desempeño técnico sin tomar en consideración su costo. El desempeño energético es evaluado con puntuaciones del 0 al 5 siendo el +5 el valor para el mejor desempeño (Cole, Larson 2002). En la Figura 3.14 se observa un ejemplo de la interface de GBC 2000.

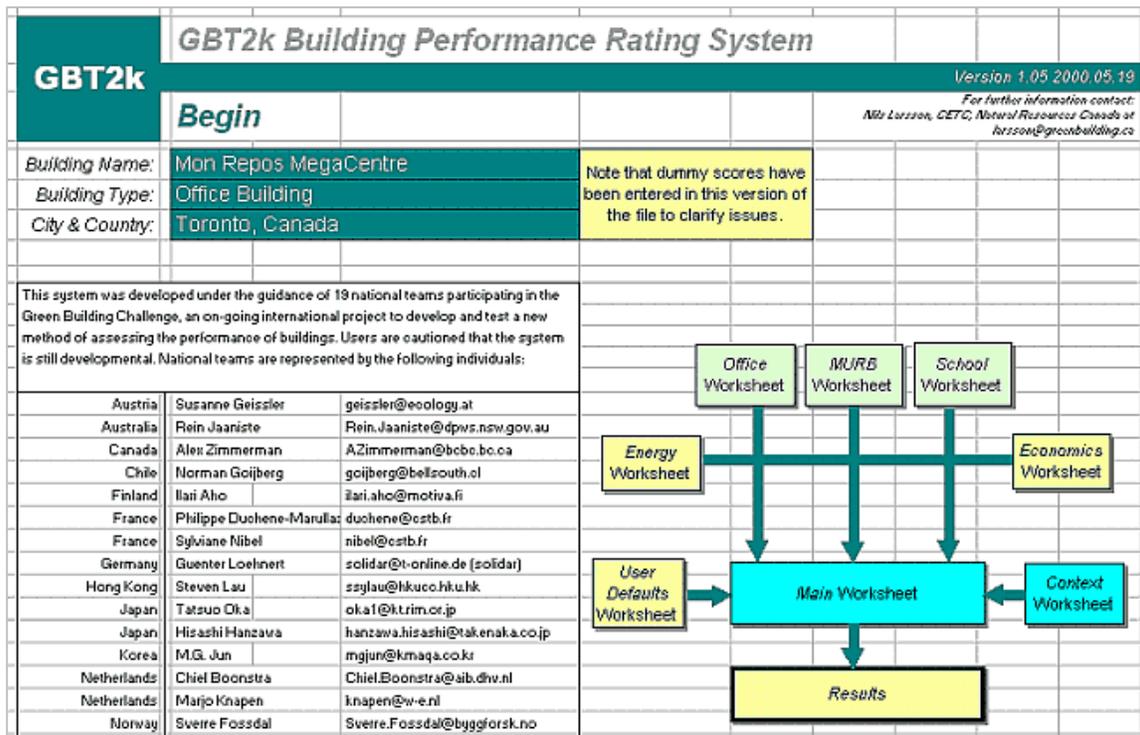


Figura 3.14 Ejemplo de GBC 2000, Interface de GB Tool
(Imagen de: <http://www.iisbe.org/gbc2k/gbtool/begin-p.htm>)

VERDE, acrónimo de Valoración de Eficiencia de Referencia De Edificios es una herramienta de evaluación desarrollada por el comité técnico del *Green Building Council* de España y aplica sólo en la construcción de estructuras nuevas ya sean

residenciales, industriales o comerciales. Este sistema de evaluación está basado en la Filosofía del Código Técnico de la Edificación y las Directivas Europeas. Son utilizados los principios de la bio-arquitectura, el respeto al medio ambiente, compatible con el entorno y la calidad de vida para los usuarios (Green Building Council España 2011). Los criterios de evaluación dentro de este sistema son:

- Selección del sitio, proyecto de emplazamiento y planificación
- Energía y Atmósfera
- Recursos Naturales
- Calidad del espacio interior
- Calidad del Servicio
- Impacto socio económico

Cada criterio tiene una puntuación del 0 al 5 dependiendo de los valores establecidos previamente tomando en consideración la reglamentación y ordenanzas aplicables de la zona evaluada. El valor de 0 corresponde al cumplimiento de las normas, la práctica habitual o valor promedio para ese criterio. El valor de 3 es utilizado para la calificación de buenas prácticas mientras que el valor de 5 corresponde a la mejor práctica posible con un costo aceptable. Un ejemplo de los resultados de una evaluación con la herramienta VERDE se presenta en la Figura 3.15.

BREEAM acrónimo de *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* es un compendio de estándares para las mejores prácticas en diseño sustentable y está basada en la medición de la eficiencia ambiental de los

edificios atendiendo el sector comercial, industrial y residencial. Esta herramienta es desarrollada originalmente en el Reino Unido por el *Building Research Establishment*, BRE por sus siglas en inglés y luego ha sido adaptada a diferentes lugares del mundo como España, Irlanda y Escocia, entre otros. BREEAM utiliza una metodología independiente trabajada en una hoja de cálculo donde se definen cuatro criterios de evaluación:

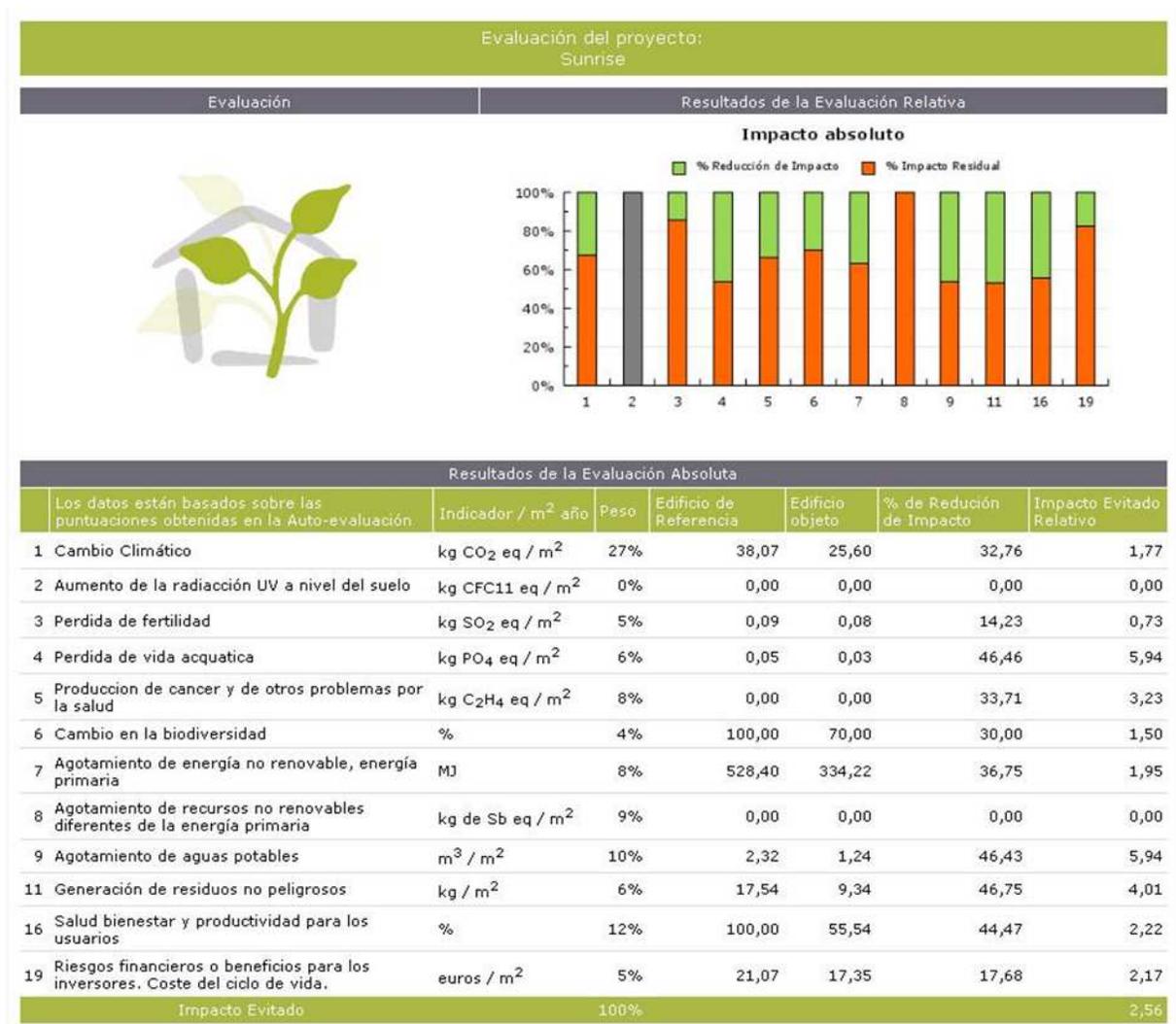


Figura 3.15 Ejemplo Resultados Evaluación VERDE
(Imagen de: <http://www.gbce.es/es/pagina/herramientas-de-evaluacion-de-edificios>)

- Tabla de Clasificación por Niveles
- Estándares mínimos de BREEAM
- Sección ambiental
- Créditos de BREEAN

El sistema de clasificación por niveles permite comparar el rendimiento individual de cada edificio con otros edificios evaluados por BREEAM anteriormente y con el rendimiento sustentable típico de edificios nuevos no domésticos. Utiliza un sistema de valoración por porcentajes del 0% al 100% donde un edificio que tenga una evaluación de 85% o más es considerado Extraordinario o Innovador, entre 70% y 84% es considerado Excelente o mejor práctica, entre 55% y 69% es calificado como Muy Bien o Practicas Buenas Avanzadas, entre 45% y 54% se considera como Bueno o Practicas Buenas Intermedias, entre 30% y 44% se considera que pasa la evaluación o que tiene una Practica buena dentro de los estándares. Para una evaluación con un porcentaje menor de 30% se considera sin clasificación y no cumple con los estándares de BREEAM (BREEAM 2011). Para los estándares mínimos BREEAM establece el desempeño necesario del criterio a evaluarse y estos se evalúan en carácter individual. Entre los criterios evaluados se encuentran la calidad del agua, Procedimientos sustentables, Monitoreo de Energía, Reducción de Emisiones de CO² Mitigación de Impacto Ecológico y Otros.

En la Sección ambiental BREEAM utiliza un sistema de porcentajes por peso que evalúa el impacto ambiental de cada categoría seleccionada. Entre las categorías se encuentran Gerencia del Proyecto, Salud y Bienestar, Energía, Transportación, Agua,

Materiales, Residuos, Uso del Suelo y Ecología, y Contaminación. Los Créditos de BREEAM son asignados a las mismas categorías evaluadas en la sección ambiental además de incluir una categoría de Innovación. Los créditos se asignan después de la evaluación del cumplimiento de cuarenta y nueve estándares creados por BREEAM. Un ejemplo de los resultados de una evaluación con la herramienta BREEAM se presenta en la Figura 3.16.

BREEAM Issue	BREEAM Rating Minimum number of credits				
	PASS	GOOD	VERY GOOD	EXCELLENT	OUTSTANDI NG
Man 1 - Commissioning	1	1	1	1	2
Man 2 - Considerate Constructors				1	2
Man 4 - Building user guide				1	1
Man 9 - Publication of building information (Education only)					1
Man 10 - Development as a learning resource (Education only)					1
Hea 4 - High frequency lighting	1	1	1	1	1
Hea 12 - Microbial contamination	1	1	1	1	1
Ene 1 - Reduction of CO ₂ emissions				6	10
Ene 2 - Sub-metering of substantial energy uses			1	1	1
Ene 5 - Low or zero carbon technologies				1	1
Wat 1 - Water consumption		1	1	1	2
Wat 2 - Water meter		1	1	1	1
Wst 3 - Storage of recyclable waste				1	1
LE 4 - Mitigating ecological impact			1	1	1

Figura 3.16 Ejemplo de Resultados Evaluación BREEAM
(Imagen de: <http://www.jp.a.uk.com/news-article.php?id=25>)

Otras guías o herramientas utilizadas para la evaluación de la sostenibilidad en los edificios son las que están basadas en el impacto al ambiente y que tienen un sistema de valoración de impacto a través de “ecopuntos” de manera que mientras

mayor sea el número de ecopuntos mejor es el diseño ambiental. Un ejemplo de este tipo de herramienta son las ENVEST del Reino Unido o la CASBEE de Japón.

ENVEST es el primer programa de computación creado por BRE para el Reino Unido donde se estima el impacto ambiental dentro del ciclo de vida del proyecto desde la etapa de diseño. Este considera el impacto ambiental de los materiales utilizados durante la construcción, y la energía y recursos consumidos a través de la vida del edificio. El impacto ambiental es medido utilizando una escala de puntos llamados ecopuntos que permiten al diseñador comparar diferentes diseños y especificaciones directamente. La valoración de 100 corresponde al impacto ambiental promedio de un ciudadano del Reino Unido durante un año. Existe una segunda versión de ENVEST en la cual se simplifica el proceso de diseño y se añaden los costos asociados al ciclo de vida del proyecto. Esta segunda versión añade una herramienta que utiliza los datos de diseño suministrados por el usuario para predecir el impacto ambiental y económico de diferentes estrategias de calefacción, enfriamiento y operación del edificio (BRE 2008). Un ejemplo de la interface de ENVEST se presenta en la Figura 3.17.

CASBEE, *Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency* por su acrónimo en inglés, es una herramienta para la evaluación y la calificación del desempeño ambiental de edificios y su entorno de construcción. Creada en el 2001 por el *Japan Green Build Council* (JaGBC) y el *Japan Sustainable Building Consortium* (JSBC) considera la preservación y creación de áreas verdes, las mejoras

al ambiente termal del lugar del proyecto, el calentamiento global y el ambiente local, entre otros.

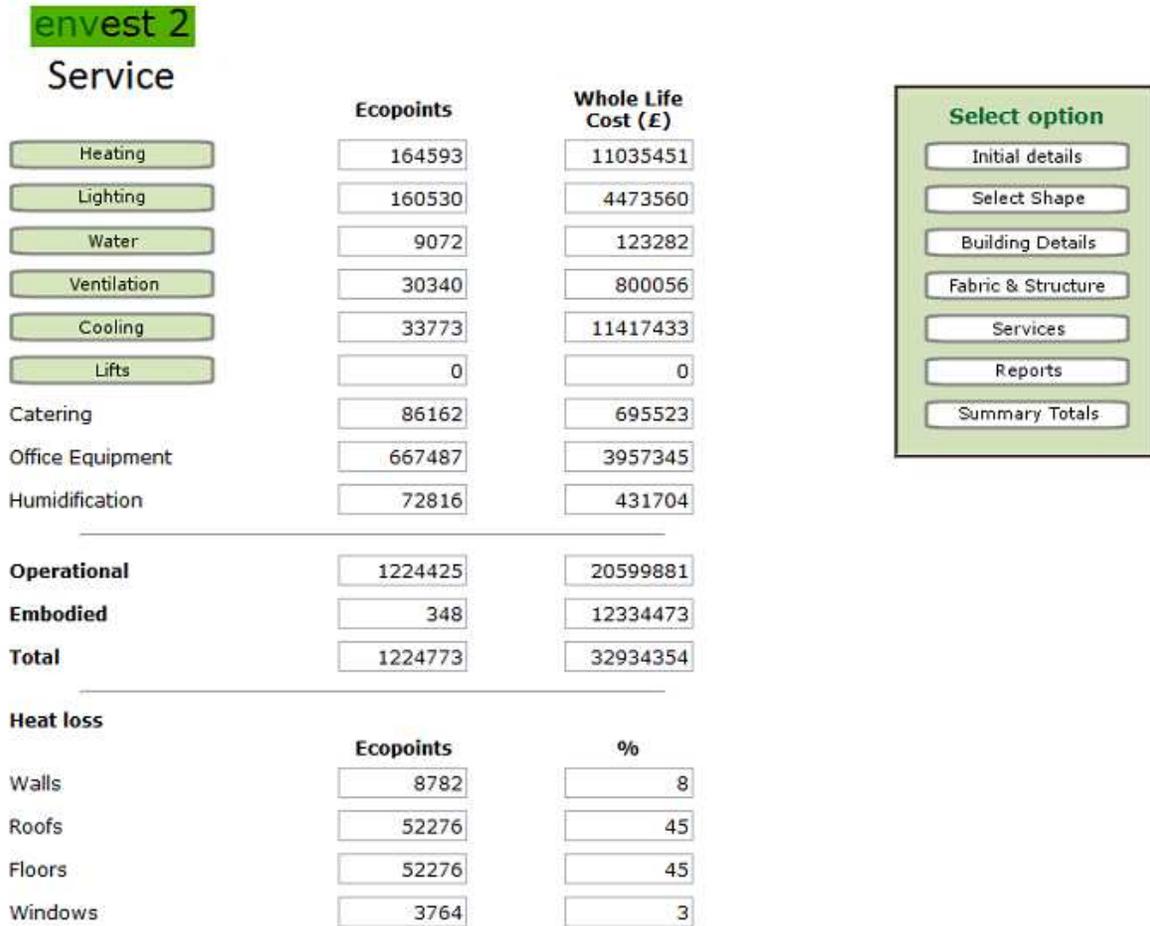


Figura 3.17 Ejemplo de Resultados Evaluación ENVEST
(Imagen de: <http://invest2.bre.co.uk/demo/services.html>)

CASBEE utiliza dos factores para la evaluación de las categorías analizadas. Estos son:

- Q (Quality): Desempeño y Calidad ambiental de Edificio: Evalúa las mejoras en las comodidades de vida de los usuarios del edificio dentro los espacios cerrados. (La propiedad privada)
- L (Loadings): Cargas Ambientales del Edificio: Evalúa los aspectos negativos del impacto ambiental que van más allá del espacio cerrado en el exterior. (La Propiedad Pública)

Las categorías evaluadas son Eficiencia Energética, Eficiencia de los Recursos utilizados, Ambiente local y Ambiente interno del Edificio. Al evaluar las diferentes categorías con los criterios Q y L se le asignan puntos entre el 0 y el 100 que luego serán graficados para crear una etiqueta ambiental utilizando el *Building Environmental Efficiency* (BEE) que es una ecuación que presenta los resultados del desempeño ambiental del edificio (CASBEE 2001).

$$\text{Building Environmental Efficiency (BEE)} = \frac{Q (\text{Building environmental quality and performance})}{L (\text{Building environmental loadings})}$$

Ecuación 3.1 Ecuación de Eficiencia Ambiental de Edificios

La Figura 3.18 presenta un ejemplo de la etiqueta ambiental generada por la herramienta BEE de CASBEE.

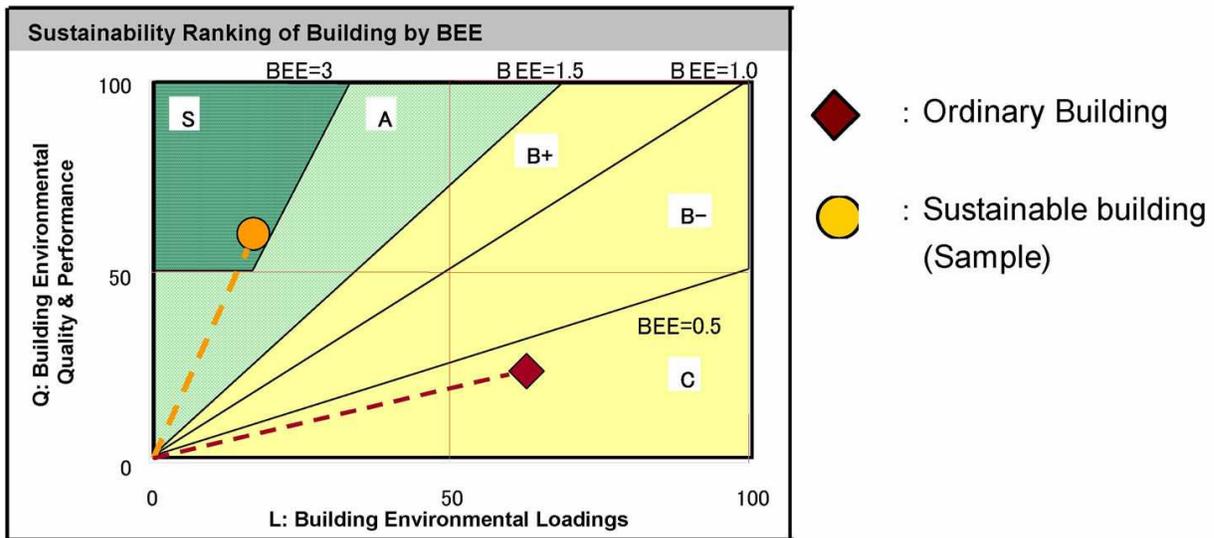


Figura 3.18 Etiqueta Ambiental basado en el Building Environmental Efficiency (BEE)

(Imagen de: <http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm>)

Un tercer grupo de herramientas que pretende medir el desarrollo sostenible dentro de los proyectos de construcción es el que está basado en una lista de criterios con los que se debe cumplir. Cada criterio recibe una valoración de 0 ó 1 y luego la suma de todas las puntuaciones en las diferentes listas establece la sostenibilidad del proyecto. Ejemplos de este tipo de herramientas lo son Pearl de Abu Dhabi en la Unión de Emiratos Árabes y LEED de Estados Unidos.

El sistema de clasificación PEARL fue creado por el Abu Dhabi *Urban Planning Council* para cumplir con Estimada, un programa que abarca cuatro pilares para medir la sostenibilidad, estos son el cumplimiento Ambiental, Económico, Social y Cultural. Estimada en el idioma árabe significa sustentabilidad y con este programa el gobierno de Abu Dhabi pretende incorporar el Plan Abu Dhabi 2030 de Desarrollo Sostenible en la Comunidad, crear política pública y desarrollar un código de diseño

sostenible para esa región. Como parte de ese desarrollo se creó PEARL que mide la sostenibilidad del ciclo de vida de un proyecto desde la fase de diseño hasta construcción y operación. El sistema de clasificación de PEARL ofrece orientación y diseño para el cumplimiento de los requisitos relacionados a los cuatro pilares de Estimada. Este sistema está organizado en siete categorías fundamentales para el desarrollo sostenible (Urban Planning Council Abu Dhabi 2010). Estas son:

- Procesos Integrados de Desarrollo – Fomentar el trabajo interdisciplinario en equipo para ofrecer una alta calidad en el ambiente y gerencia del proyecto a través del ciclo de vida.
- Sistemas Naturales – Conservar, preservar y restaurar los hábitats y ambientes críticos de la región.
- Edificio habitable – Mejorar la calidad y la conexión ente los espacios dentro y fuera del edificio.
- Agua Preciada – Reducir la demanda de agua y promover la distribución eficiente del agua junto nuevas fuentes de esta.
- Energía Ingeniosa – Promover la conservación de energía a través de medidas de diseño pasivo, reducción de la demanda, eficiencia energética y fuentes renovables de energía.
- Materiales – Garantizar la consideración del ciclo total de vida en la selección y especificación de los materiales.
- Practicas Nuevas - Promover la innovación en el diseño y construcción de los edificios para facilitar la transformación de la industria y el mercado.

La herramienta PEARL es un sistema de cumplimientos basado en puntos para diferentes créditos que están agrupados bajo diferentes categorías. Al final de cada categoría los puntos se suman para obtener un rango de cumplimiento de 1 Pearl a 5 Pearls. El valor mayor de 5 Pearls requiere la restauración o un cambio positivo en la contribución al ambiente en términos de energía, agua y la mejora en la diversidad y la salud de los sistemas vivos. La Figura 3.19 presenta un ejemplo de los resultados de una evaluación con la herramienta Pearls.



Figura 3.19 Ejemplo de Resultados Pearl Building Rating System

(Imagen tomada de:

<http://www.estidama.org/template/estidama/docs/PBRS%20Submittal%20User%20Guide%20-%20PQP.pdf>)

LEED o *Leadership in Energy and Environmental Design* por su acrónimo en inglés es un sistema internacional de certificación de edificios verdes. Desarrollado por el *U.S. Green Building Council (USGBC)* que ofrece a los dueños y operadores de edificios un marco para la implementación y medida de edificios verdes a través del

diseño, construcción, operación y mantenimiento. LEED promueve la construcción sostenible y las prácticas de desarrollo a través de un conjunto de sistemas de clasificación que reconoce proyectos que implementen estrategias para mejorar el desempeño ambiental y de salud (US Green Building Council 2000). Esta herramienta puede ser utilizada a lo largo del ciclo de vida del proyecto para todo tipo de edificios en construcciones nuevas o para remodelaciones.

El sistema de certificación LEED está basado en el análisis y la validación por el USGBC de los aspectos de cada proyecto relacionados con la sostenibilidad y que mejore el desempeño de indicadores como: ahorro energético, eficiencia en la utilización del agua, reducción de emisiones CO₂, mejoras en la calidad ambiental de los espacios interiores, la administración de los recursos y la sensibilidad del impacto de estos. LEED consiste de 10 sistemas de clasificación para el diseño, construcción y operación de edificios, residencias y comunidades. Estos sistemas se clasifican en cinco categorías generales que corresponden a las especialidades disponibles bajo el programa de Acreditación Profesional de LEED. Los sistemas de clasificación de LEED son:

Diseño y Construcción de Edificios Verdes

- LEED para Construcciones Nuevas
- LEED para Núcleo y Cubierta
- LEED para Escuelas
- LEED para ventas: Construcciones Nuevas y Renovaciones Mayores
- LEED para la Salud

Diseño y Construcción de Interiores Verdes

- LEED para Interiores Comerciales
- LEED para ventas: Interiores Comerciales

Operación y Mantenimiento de Edificios Verdes

- LEED para Edificios Existentes: Operación y Mantenimiento

Desarrollo de Comunidades Verdes

- LEED para Desarrollo de Comunidades

Diseño y Construcción de Residencias Verdes

- LEED para Residencias

Con el sistema de Certificación LEED un edificio puede ser evaluado para acumular hasta 110 puntos de los cuales 100 pertenecen a los estándares generales, 6 puntos pertenecen a la Innovación en Diseño y 4 puntos a la Prioridad Regional.

Los edificios cualifican para cuatro niveles de certificación, estos son:

- Certificado: 40 – 49 puntos
- Plata: 50 – 59 puntos
- Oro: 60 – 79 puntos
- Platino: 80 puntos en adelante

La Figura 3.20 presenta un ejemplo de la lista de cotejo utilizada por LEED en su evaluación de proyectos nuevos y renovaciones mayores.

LEED 2009 for New Construction and Major Renovation				Project Name
Project Checklist				Date
<input type="checkbox"/>		Sustainable Sites	Possible Points: 26	
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 1	Construction Activity Pollution Prevention		
<input type="checkbox"/>	Credit 1	Site Selection	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 2	Development Density and Community Connectivity	5	
<input type="checkbox"/>	Credit 1	Brownfield Redevelopment	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.1	Alternative Transportation—Public Transportation Access	6	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.2	Alternative Transportation—Bicycle Storage and Changing Rooms	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.3	Alternative Transportation—Low-Emitting and Fuel-Efficient Vehicles	3	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.4	Alternative Transportation—Parking Capacity	2	
<input type="checkbox"/>	Credit 5.1	Site Development—Protect or Restore Habitat	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 5.2	Site Development—Maximize Open Space	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 6.1	Stormwater Design—Quantity Control	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 6.2	Stormwater Design—Quality Control	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 7.1	Heat Island Effect—Non-roof	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 7.2	Heat Island Effect—Roof	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 8	Light Pollution Reduction	1	
<input type="checkbox"/>		Water Efficiency	Possible Points: 10	
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 1	Water Use Reduction—20% Reduction		
<input type="checkbox"/>	Credit 1	Water Efficient Landscaping	2 to 4	
<input type="checkbox"/>	Credit 2	Innovative Wastewater Technologies	2	
<input type="checkbox"/>	Credit 3	Water Use Reduction	2 to 4	
<input type="checkbox"/>		Energy and Atmosphere	Possible Points: 35	
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 1	Fundamental Commissioning of Building Energy Systems		
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 2	Minimum Energy Performance		
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 3	Fundamental Refrigerant Management		
<input type="checkbox"/>	Credit 1	Optimize Energy Performance	1 to 19	
<input type="checkbox"/>	Credit 2	On-Site Renewable Energy	1 to 7	
<input type="checkbox"/>	Credit 3	Enhanced Commissioning	2	
<input type="checkbox"/>	Credit 4	Enhanced Refrigerant Management	2	
<input type="checkbox"/>	Credit 5	Measurement and Verification	3	
<input type="checkbox"/>	Credit 6	Green Power	2	
<input type="checkbox"/>		Materials and Resources	Possible Points: 14	
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 1	Storage and Collection of Recyclables		
<input type="checkbox"/>	Credit 1.1	Building Reuse—Maintain Existing Walls, Floors, and Roof	1 to 3	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.2	Building Reuse—Maintain 50% of Interior Non-Structural Elements	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 2	Construction Waste Management	1 to 2	
<input type="checkbox"/>	Credit 3	Materials Reuse	1 to 2	
<input type="checkbox"/>		Materials and Resources, Continued		
<input type="checkbox"/>	Credit 4	Recycled Content	1 to 2	
<input type="checkbox"/>	Credit 5	Regional Materials	1 to 2	
<input type="checkbox"/>	Credit 6	Rapidly Renewable Materials	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 7	Certified Wood	1	
<input type="checkbox"/>		Indoor Environmental Quality	Possible Points: 15	
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 1	Minimum Indoor Air Quality Performance		
<input checked="" type="checkbox"/>	Prereq 2	Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control		
<input type="checkbox"/>	Credit 1	Outdoor Air Delivery Monitoring	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 2	Increased Ventilation	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 3.1	Construction IAQ Management Plan—During Construction	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 3.2	Construction IAQ Management Plan—Before Occupancy	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.1	Low-Emitting Materials—Adhesives and Sealants	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.2	Low-Emitting Materials—Paints and Coatings	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.3	Low-Emitting Materials—Flooring Systems	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 4.4	Low-Emitting Materials—Composite Wood and Agrifiber Products	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 5	Indoor Chemical and Pollutant Source Control	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 6.1	Controllability of Systems—Lighting	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 6.2	Controllability of Systems—Thermal Comfort	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 7.1	Thermal Comfort—Design	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 7.2	Thermal Comfort—Verification	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 8.1	Daylight and Views—Daylight	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 8.2	Daylight and Views—Views	1	
<input type="checkbox"/>		Innovation and Design Process	Possible Points: 6	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.1	Innovation in Design: Specific Title	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.2	Innovation in Design: Specific Title	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.3	Innovation in Design: Specific Title	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.4	Innovation in Design: Specific Title	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.5	Innovation in Design: Specific Title	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 2	LEED Accredited Professional	1	
<input type="checkbox"/>		Regional Priority Credits	Possible Points: 4	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.1	Regional Priority: Specific Credit	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.2	Regional Priority: Specific Credit	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.3	Regional Priority: Specific Credit	1	
<input type="checkbox"/>	Credit 1.4	Regional Priority: Specific Credit	1	
<input type="checkbox"/>		Total	Possible Points: 110	

Figura 3.20 Ejemplo de Plantilla LEED para Construcciones Nuevas y Renovaciones Mayores

(Imagen de: <http://leadingleed.com/wp-content/uploads/2011/05/LEED-SCORECARD.png>)

El sistema de evaluación LEED es el sistema utilizado en Estados Unidos y Puerto Rico para medir la Sostenibilidad de un Proyecto o Edificio. En el caso particular de las Oficinas de Campo de Proyectos de Infraestructura el estándar LEED que aplica a este tipo de proyecto es LEED para Construcciones Nuevas y Renovaciones Mayores.

3.7 Homer

HOMER es un programa de computadoras desarrollado por el *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* para asistir en el diseño de sistemas de energía renovable y facilitar la comparación de sistemas de generación de energía a través de diferentes aplicaciones (Lambert T, Gilman P, Lilienthal P). HOMER modela el comportamiento físico y el costo del ciclo de vida del sistema el cual es el costo total de instalación y mantenimiento del sistema a través de su vida útil. HOMER permite modelar y comparar diferentes opciones de diseño basado en las especificaciones técnicas y económicas de cada sistema.

HOMER hace cálculos de balance de energía para cada una de las 8,760 horas del año. Estos cálculos de balance de energía los hace para cada configuración de sistema de energía que se desea estudiar. Con esto determina la viabilidad del sistema tomando en consideración el valor presente de cada uno de los componentes del sistema a ser evaluado. Los costos que se toman en consideración para la evaluación del sistema son: capital, costo de reemplazos, costo de operación y mantenimiento, costo de combustible y los intereses asociados a estos (National Renewable Energy Laboratory 2005).

HOMER realiza un análisis de sensibilidad a la vez que compara los mejores escenarios para las distintas variables que se quieran evaluar. De este análisis se muestra como resultados la selección mas eficiente y económicamente viable a través del ciclo de vida del proyecto. Dentro de estos resultados se evalúa el valor presente de la inversión, la tasa de retorno de esta, la tasa de retorno interna, el

periodo de recuperación de la inversión ya sea simple o con descuento entre otras métricas necesarias al momento de evaluar la viabilidad del sistema evaluado.

3.8 Leyes Aplicables

A raíz de la necesidad de disminuir la dependencia de los combustibles fósiles para la producción de energía en Puerto Rico el gobierno adopto unas estrategias que promueven la utilización de energías renovables, entre ellas los sistemas fotovoltaicos. Las instalaciones de sistemas fotovoltaicos en Puerto Rico deben cumplir con una serie de normas y reglamentos establecidas por la Administración de Asuntos Energéticos (AAE) de Puerto Rico en el Programa de Instalaciones Fotovoltaicas. Esto es necesario para cualificar para los diferentes sistemas de créditos contributivos o rebates según sea el caso. Como parte de los requisitos de este programa los equipos fotovoltaicos, el diseño e instalación del sistema y los instaladores deben estar certificados por la AEE de Puerto Rico. Las leyes aplicables para la venta e instalación de equipos solares fotovoltaicos son:

- Ley 128 - 29 de junio de 1977 - Crea a la Oficina de Energía de Puerto Rico y define sus propósitos, poderes y facultades. Esta ley establece los principios básicos de la política pública sobre la energía de Puerto Rico y el procedimiento para adoptarla.
- Ley 133 - 20 de julio de 1979 - Conocida como Ley que regula los Equipos Solares. Tiene la facultad para adoptar reglamentación estableciendo los requisitos mínimos de eficiencia que regirán los equipos solares y los

componentes separados de éstos a manufacturarse y venderse comercialmente en Puerto Rico. Este reglamento establecerá la forma y modo en que se deberá marcar o identificar los equipos solares para certificar si éstos cumplen con la ley.

- Ley 170 - 12 de agosto de 1988 – Ley de Procedimiento Administrativo Uniforme. La ley sistematiza y crea un cuerpo uniforme de reglas mínimas que toda agencia gubernamental deberá seguir al formular reglas y reglamentos que definan los derechos y deberes legales de una clase particular de personas. Contiene, además, otro cuerpo de normas distintas para gobernar las determinaciones de una agencia en procesos adjudicativos al emitir una orden o resolución que define los derechos y deberes legales de personas específicas. Establece un procedimiento uniforme de revisión judicial a la acción tomada por la agencia al adoptar un reglamento o al adjudicar un caso.
- Ley 114 - 16 de agosto de 2007 – Conocida como Ley de Medición Neta. *Ordena y autoriza a la Autoridad de Energía Eléctrica a establecer un programa de medición neta (net metering) que permita la interconexión a su sistema de transmisión y distribución eléctrica y la retroalimentación de electricidad a los clientes que hayan instalado un equipo solar eléctrico, molino de viento o cualquier otra fuente de energía renovable capaz de producir energía eléctrica; conceder créditos en las facturas por la electricidad generada por estos equipos y compensar por el sobrante de*

exceso de energía generadas por los mismos (Puerto Rico. Ley Núm. 114 del año 2007).

- Ley 73 - 28 de mayo de 2008 – Conocida como la Ley de Incentivos Económicos para el Desarrollo de Puerto Rico. Ofrece a la empresa local e internacional varias alternativas contributivas que hacen que la estructura tributaria vaya acompañada de diversos créditos que el empresario puede reclamar cuando invierte en una actividad de investigación, de desarrollo o adquiere un negocio en caso de que se produzca cese de actividad o quiebra, entre otros. En tales casos, el resultado final es que las empresas tendrán una obligación contributiva mínima del 4%, que podría reducirse hasta el 0% si se trata de una actividad novedosa que va a realizarse por una empresa local.
- Ley 211 - 9 de agosto de 2008 – *Para enmendar el Artículo 2, inciso (e), de la Ley 114 de 2007: Ordena y autoriza a la Autoridad de Energía Eléctrica a establecer un programa de medición neta (net metering). Que permita la interconexión a su sistema de transmisión y distribución eléctrica y la retroalimentación de electricidad a los clientes que hayan instalado un equipo solar eléctrico, molino de viento o cualquier otra fuente de energía renovable capaz de producir energía eléctrica; conceder créditos en las facturas por la electricidad generada por estos equipos y compensar por el sobrante de exceso de energía generadas por los mismos; y para otros fines”, a los efectos de sustituir los requisitos para las personas*

autorizadas a instalar los equipos que utilicen fuentes de energía renovable para generar electricidad, de manera que se requiera ser perito electricista o ingeniero electricista, debidamente autorizados a ejercer la profesión en Puerto Rico.

- Ley 241 - 9 de agosto de 2008 – Enmienda los apartados (k) y (p) del Artículo 2 de la Ley Núm. 78 de 10 de septiembre de 1993, según enmendada, conocida como “Ley de Desarrollo Turístico de Puerto Rico de 1993”; a los fines de conceder un nuevo crédito por inversión turística que facilite la adquisición e instalación por parte de las hospederías turísticas de equipos capaces de producir electricidad por medio de fuentes renovables, como lo son el viento, el agua, la energía solar; y para otros fines. El crédito contributivo se desglosa de la siguiente forma: La cantidad máxima del crédito por inversión turística para cada proyecto de turismo no podrá exceder el 10% del costo total del proyecto de turismo, o 50% del efectivo aportado por los inversionistas o participantes al negocio exento a cambio de acciones o participación en el negocio. En el caso de inversiones necesarias para la adquisición e instalación de equipos que generan electricidad a través de fuentes alternas de energía el crédito será igual al 60% del total de la inversión.
- Ley 248 - 10 de agosto de 2008 – Ley de Crédito Contributivo para la Adquisición de Equipo Solar. Concede beneficios contributivos por la compra e instalación de equipo solar dando crédito contributivo progresivo,

exención del impuesto sobre ventas y uso, y exención de contribución sobre la propiedad mueble e inmueble. El crédito contributivo se desglosa de la siguiente forma: 75% del costo del equipo solar incluyendo instalación para los años fiscales 2008-2009, 50% del costo para los años fiscales 2009-2010 y 2010-2011, y 25% del costo para los años fiscales 2011-2012 en adelante.

- Ley 82 – 19 de Julio de 2010 – Ley de Política de Diversificación por Medio de la Energía Renovable Sostenible y Alterna en Puerto Rico. *Reconoce bajo sus definiciones varias fuentes de energía verde según su tecnología y las categoriza como Renovable o Renovable Alterna y establece una meta agresiva de alcanzar un 12% mandatorio de generación por medio de fuentes verdes para el 2015, un 15% para el 2020, y un 20% para el 2035. Se aclara que fuentes verdes incluye aquellas renovables y renovables alternas por definición. Esta ley establece los Certificados de Energía Renovable (CERs, o RECs por sus siglas en inglés) como un bien mueble que constituye un activo o valor económico mercadeable y puede ser comparado, vendido, cedido, o transferido aparte de la generación de energía. Este representa el equivalente a 1 MWh de electricidad generada por alguna fuente de energía verde y representará un valor \$/RECs ó \$/MWh en el mercado, tanto en el de cumplimiento como en el de voluntario. Está creando una comisión de Energía Renovable que será la entidad encargada de asegurar que se cumplan cabalmente todos los*

propósitos definidos en esta ley, incluyendo la implementación de la misma (Administración de Asuntos Energéticos de Puerto Rico 2010).

- Ley 83 – 19 de Julio de 2010 – Ley de Incentivos de Energía Verde de Puerto Rico. Esta fomenta la generación de energía renovable, conforme a metas compulsorias a corto, mediano y largo plazo; faculta a la Administración de Asuntos Energéticos a incentivar el cumplimiento con las metas compulsorias y el desarrollo de energías renovables sostenibles y energías renovables alternas; crea medidas encaminadas a estimular el desarrollo de sistemas energéticos sostenibles que fomenten el ahorro y la eficiencia en el uso de la energía, mediante el establecimiento de un fondo especial, denominado como el Fondo de Energía Verde, conforme a los objetivos de la nueva política energética del Gobierno de Puerto Rico. A través de esta se pretende reformar, organizar y uniformar los incentivos existentes relacionados a la creación o utilización de fuentes de energías renovables sostenibles y energías renovables alternas y crear nuevos incentivos que estimulen la proliferación de estas fuentes de energía. El fondo se desglosa de la siguiente forma: Para el año fiscal 2011-2012 y 2012 -2013 la cantidad de \$20,000,000 disponibles, año fiscal 2013-2014 la cantidad de \$25,000,000 disponibles, año fiscal 2014-2015 la cantidad de \$30,000,000 disponibles, año fiscal 2015-2016 la cantidad de \$35,000,000 disponibles y para los años fiscales del 2016 al 2020 la cantidad de \$40,000,000 disponibles.

3.8.1 *Reglamentos para Instaladores de Equipos de Energía Renovable*

En octubre de 2008, la Administración de Asuntos Energéticos de Puerto Rico adoptó los reglamentos para la certificación de los sistemas fotovoltaicos y para los instaladores de estos sistemas. Esto en respuesta al requerimiento del Acta Núm. 248, Ley de Créditos Contributivos, que requiere que los sistemas fotovoltaicos sólo pueden estar instalados por personas certificadas. Para certificarse como un instalador de sistemas fotovoltaicos por la AAE, la persona que lo solicita tiene que cumplir con lo siguiente:

- Ser Perito Electricista Licenciado o Ingeniero Electricista Licenciado
- Presentar copia certificada que indique el haber aprobado y tomado un curso que cumpla con un mínimo de 30 horas contacto y que cubra las normas que regulan en Puerto Rico, la venta e instalación de los sistemas, así como los fundamentos de la energía solar, los diferentes tipos de sistemas y componentes entre otros temas.
- Proveer prueba de que ha tomado y aprobado satisfactoriamente el examen del *“North American Board of Certified Energy Practitioners”* (NABCEP), además de tres 3 horas de adiestramiento en las leyes y normas aplicables a Puerto Rico; o
- Proveer prueba de que ha tomado y aprobado satisfactoriamente por lo menos cuarenta (40) horas de adiestramiento en sistemas fotovoltaicos en los Estados Unidos, además de tres (3) horas de adiestramiento en las

normas y leyes de Puerto Rico (Administración de Asuntos Energéticos de Puerto Rico 2009).

3.8.2 *Reglamento Fondo de Energía Verde Nivel 1 y Nivel 2*

El propósito del Reglamento es la creación de parámetros, mecanismos y criterios para el otorgamiento de incentivos bajo el Fondo de Energía Verde, creado por la Ley Número 83 del 19 de julio de 2010. El mismo aplica a proyectos de energía verde a Nivel I (Pequeña Escala) 100 kilovatios (Kw) o menos y proyectos de energía verde a Nivel II (Mediana Escala) entre 100 kilovatios y un megavatio (MW). Para el Nivel I el programa provee hasta un 60% de reembolso del costo de la instalación de la unidad de producción o hasta \$4.20/vatio para proyectos menores de 25 kilovatios y \$3.90/vatio para proyectos entre los 25 y 100 kilovatios, mientras que para los proyectos de Nivel II el reembolso será hasta un 50% del costo de la unidad de producción o hasta \$3.00 por kilovatio, en todos los casos se adjudicará en menor de los reembolsos. Estos reembolsos serán adjudicados trimestralmente (4 veces al año) y de manera competitiva, según se establezca en los reglamentos. El Fondo de energía verde también provee flexibilidad para que el Gobierno pueda establecer y o desarrollar nuevas inversiones o programas de incentivos en el futuro. Para aquellas compañías dedicadas a la producción de energía renovable a escala comercial, esta ley también provee beneficios contributivos en forma de:

- Exenciones parciales para contribuciones sobre ingreso, impuestos de propiedad, e impuestos municipales.

- Súper depreciación de edificios, estructuras, maquinaria y equipo.
- Elegibilidad para créditos contributivos relacionados al uso de productos localmente manufacturados, creación de empleos, e investigación y desarrollo.

3.9 Auditorias Energéticas

Como parte de la metodología para la adquisición de los datos necesarios para llevar a cabo esta investigación se realizó una auditoría energética. Una auditoría energética es un procedimiento sistemático de inspección, estudio, y análisis para obtener un perfil de los consumos energéticos en una instalación, identificando las posibilidades de ahorro de energía desde el punto de vista técnico y económico (Clark 1998). La ejecución de una auditoría energética es una forma excelente de obtener ahorros de energía a través de la implementación de mejoras de bajo costo a edificios o instalaciones, que optimizan los sistemas del mismo para que puedan operar efectiva y eficientemente. En promedio, este tipo de auditoría energética en edificios existentes tiende a reducir los costos en el consumo de energía de un 5% a un 20% sin inversión en sistemas de energía renovable y de un 25% a un 100% de ahorro con inversión en energía renovable. La inversión en mejoras de bajo costo en las instalaciones tiende a ser recuperada en cortos periodos de tiempo que varían desde pocos meses hasta dos años. Sin embargo, las inversiones en sistemas de energía renovable pueden ser recuperadas en periodos de dos hasta diez años, dependiendo

de la capacidad del sistema y del aumento en el costo de la energía de parte de la Autoridad de Energía Eléctrica (AEE). Además del enfoque económico, la auditoría energética puede hacer recomendaciones para mejorar el bienestar personal de los usuarios, incluyendo la oportunidad de aportar a la reducción de la contaminación ambiental mediante el uso eficiente de energía que ayuda a mejorar la calidad de vida de las generaciones presentes y futuras.

Las auditorías energéticas también ayudan a identificar posibles mejoras capitales intensivas que puedan ser aplicadas para reducir aún más los costos energéticos mediante el diseño de un sistema de energía renovable más conveniente para la instalación. Con regularidad, los ahorros obtenidos por medio de las mejoras de bajo costo implementadas pueden ser considerados como una reducción en el costo de mejoras capitales, lo que resulta en un ahorro directo a la inversión de sistema de energía renovable y la posibilidad de lograr un proyecto económicamente viable.

Una auditoría energética está compuesta por un proceso sistemático utilizado para identificar e implementar mejoras operacionales para asegurar la funcionalidad de la estructura con alta eficiencia energética. Los objetivos principales de ésta auditoría son: identificar las formas de optimizar las operaciones de equipos y sistemas para que su funcionamiento sea eficiente y efectivo; determinar la viabilidad del uso de energía renovable; y diseñar sistemas y equipos de producción de energía renovable. El proceso básico de un programa de eficiencia energética con énfasis en el uso de energía renovable incluye los siguientes procesos:

- Investigación y recolección de datos
- Análisis de datos
- Análisis de viabilidad de uso de sistemas de energía renovable
- Determinación y diseño del sistema de energía renovable
- Implementación de recomendaciones
- Mantenimiento y verificación de ahorro de energía

Existen varios tipos de auditorías energéticas dependiendo de las necesidades del cliente que las solicita. Se puede realizar una auditoría preliminar o auditoría simple que es una auditoría donde se camina a través del lugar que se está auditando para familiarizarse con las operaciones realizadas en el edificio e identificar áreas de desperdicio o ineficiencia energética. Esta envuelve entrevistas mínimas con las personas encargadas del lugar y un repaso de datos de operación del lugar así como las facturas de las utilidades. En este tipo de auditoría solamente problemas mayores son cubiertos y estimados rápidos de los costos de implementar potenciales mejoras son provistos.

Otro tipo de auditoría energética es la auditoría general o mini auditoría, ésta expande la auditoría preliminar descrita anteriormente. En ésta se colecta información detallada del desempeño operativo de las facilidades y se identifican medidas de conservación de energías. Para este tipo de auditorías es requisito las facturas del consumo energético de por lo menos un periodo de 12 meses para poder evaluar el perfil de consumo energético del lugar. Adicional a esto, se mide el

consumo específico de cada uno de los sistemas eléctricos dentro del lugar evaluado para suplementar la data recolectada e identificar posibles mejoras en eficiencia a través de sustitución o remoción de sistemas. Para este tipo de auditoría se crea un análisis financiero detallado donde se describen los estimados de costos de las mejoras propuestas, los ahorros generados a través de la implantación de las propuestas y el nivel de detalles necesarios para justificar la implementación del proyecto.

Un tercer tipo de auditoría energética es la conocida como auditoría de grado de inversión o auditoría de análisis técnico, ésta es una expansión de la auditoría general y provee un modelo dinámico de las características de la utilización de la energía para las facilidades existentes y para las mejoras identificadas en la evaluación. El modelo del edificio es calibrado con los datos actuales de las utilidades para proveer un escenario real y poder así identificar todos los ahorros posibles en las operaciones del edificio. Además de monitorear los sistemas de consumo de energía se identifican situaciones que puedan causar variaciones en las cargas energéticas en una base diaria y anual (India Bureau of Energy Efficiency 2010).

Para la realización de esta investigación se realizó una auditoría energética general en cada uno de los casos visitados, se investigó y se recolectaron los datos pertinentes para su posterior análisis y diseño del sistema de energía renovable conceptual para cada caso. En el próximo capítulo se presentan los datos recolectados en las auditorías energéticas para cada uno de los casos estudiados.

4 RECOLECCIÓN DE DATOS

Este capítulo presenta la descripción del procedimiento para la recolección de los datos necesarios para la realización de esta investigación. También se presenta una descripción de los casos evaluados así como los datos utilizados para la evaluación de los sistemas renovables fotovoltaicos propuestos en cada caso, y los estándares y especificaciones que rigen a estos. A continuación veremos una descripción de los escenarios estudiados y la justificación para la recomendación de un sistema renovable fotovoltaico para producir energía en la oficina de campo de proyectos de construcción.

4.1 Descripción de la Investigación

Esta investigación estudia la viabilidad de sustituir la energía eléctrica utilizada en las oficinas de campo de proyectos de infraestructuras con fuentes de energía renovables tales como los paneles solares fotovoltaicos.

Para la realización de este análisis se utilizaron tres ejemplos de oficinas de campo típicos en el área de infraestructura. Estas oficinas están ubicadas en los pueblos de Mayagüez, Hormigueros y San Germán. La compañía de construcción Tamrio Inc. proporcionó el acceso a sus proyectos para la recolección de datos de esta investigación. Para propósito de este estudio, se presumió que el sistema fotovoltaico a instalarse en las oficinas de campo de proyectos de infraestructura está

conectado a la red de energía eléctrica de Puerto Rico, no tiene un sistema de baterías para el almacenamiento de la energía no utilizada y las oficinas son capaces de tolerar la carga adicional que supone el peso de los paneles fotovoltaicos y su estructura de montaje. A continuación se presenta la descripción de los proyectos evaluados.

4.1.1 Descripción de los Proyectos

Para la realización de este estudio se visitaron tres oficinas de campo en diferentes proyectos de infraestructura. Estos proyectos pertenecientes a la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico están a cargo de la constructora Tamrio Inc. El proyecto ubicado en el pueblo de Mayagüez está localizado en la carretera PR – 64 en el Barrio el Maní de Mayagüez, este se trata de la expansión de la PR – 64 con la intersección PR – 341 a un costo de 10.9 millones de dólares. El proyecto de Hormigueros está localizado en la PR – 2 Km 167, este se trata de la conversión a expreso PR – 2 e intersección a desnivel PR – 345 a un costo de 15.1 millones de dólares. El proyecto de San Germán está localizado en la PR – 2 Km 168.4, este se trata del remplazo del puente 791 sobre el Río Duey a un costo de 5.7 millones de dólares. En la Tabla 4.1 se presentan los tamaños de las oficinas de cada proyecto y la capacidad de cada una para la implementación de un sistema fotovoltaico.

OFICINA	MAYAGÜEZ	HORMIGUEROS	SAN GERMÁN
TAMAÑO TECHO largo x ancho (ft)	40' x 12'	45' x 8'	40' x 8'
TAMAÑO TECHO m ²	44.586	33.445	29.728
TAMAÑO TECHO ADICIONAL m ²	33.45	111.2	111.4
CONSUMO Kwh/día	26.50	26.86	74.48
ÁREA PANEL FOTOVOLTAICO m ²	1.61	1.61	1.61
EFICIENCIA PANEL	0.143	0.143	0.143
RADIACIÓN SOLAR Kwh/m ² /día	5.6	5.6	5.6
IRRADIACIÓN SOLAR Kwh/m ² /día	0.759	0.759	0.759
ÁREA NECESARIA DE TECHO m ²	34.91	35.39	98.13
CANTIDAD PANELES "SITE"	21.7	22.0	60.9
CANTIDAD PANELES SOBRE TECHO	21	69	69
CANTIDAD PANELES TECHO OFICINA	21	24	21

Tabla 4.1 Descripción Oficinas de Proyectos

La capacidad del equipo fotovoltaico a instalarse en cada una de las oficinas evaluadas depende del espacio disponible que provee cada una de estas para la instalación del sistema. Dependiendo de la cantidad de paneles fotovoltaicos ubicados en cada una de las oficinas será la cantidad de energía que se producirá. Utilizando un panel fotovoltaico con la capacidad de 230 vatios y cuyas medidas sean 64.5 pulgadas de largo (1.63m) y 38.7 pulgadas de ancho (0.98m) para un área de panel de 1.61m^2 y una oficina de 40 pies de largo como son la oficina de Mayagüez y San Germán, podemos ubicar en el techo de estas 3 filas de 7 paneles cada una para un total de 21 paneles fotovoltaicos sobre el techo de la oficina de acuerdo al área disponible. Esos 21 paneles tienen la capacidad de producir 4,830 vatios en una hora bajo condiciones normales climatológicas. En el caso particular de la oficina de Hormigueros que mide 45 pies de largo podemos ubicar 3 filas de 8 paneles fotovoltaicos para un total de 24 paneles capaces de producir 5,520 vatios en una hora. El diseño conceptual de una instalación de un sistema fotovoltaico de 21 paneles sobre una oficina de campo se presenta en la Figura 4.1.



Figura 4.1 Conceptual Oficina de Proyectos con Sistema Fotovoltaico de 21 Paneles

Las oficinas de campo de los proyectos pertenecientes a la Autoridad de Carreteras y Transportación del Gobierno de Puerto Rico, deben cumplir con las especificaciones para las oficinas de campo del “*Standard Specification for Road and Bridge Construction*”. A continuación se detallan estas especificaciones.

4.1.1.1 Especificaciones para la oficina de campo de los proyectos de infraestructura según el “*Standard Specifications for Road and Bridge Construction*” (Illinois Department of Transportation 2002)

Como punto de partida al momento de escoger las oficinas de campo a ser estudiadas en esta investigación se utilizaron las especificaciones del *Standard Specifications for Road and Bridge Construction* como los requisitos mínimos para las oficinas de campo de proyectos de infraestructura. A continuación se detallan estos requisitos:

Trailer: Especificación 611 – 2.01 *General Requirements for all Buildings*

Aplicables a consumo eléctrico

- A. Altura mínima de 8’ con ventanas tipo Miami
- B. Conectado a Autoridad de Energía Eléctrica con iluminación mínima de 100 *foot-candle*, ó lúmenes por pie cuadrado, elevación de escritorio
- C. Un conector doble de energía cada 50 pies cuadrado de espacio o fracción de este
- D. Tiene que tener un dispensador de agua eléctrico o termo de tres galones a cargo del contratista (para mantener fría el agua)

- E. Sacapuntas eléctrico
- F. Aire acondicionado que sea capaz de mantener el área a una temperatura de 70 grados F +/- 5 grados.

Existen 5 modelos de oficinas de campo según establecidos

- A. Modelo 1 – Debe tener 12ft por 22ft y proveer un área mínima de 264 ft cuadrados de espacio de piso con una puerta de salida. Tiene que ser construido según los *Standard Drawings* FILA 1 de 5.
- B. Modelo 2 – Debe tener 20ft por 16ft y proveer un área mínima de 320ft cuadrados de espacio de piso con dos puertas de salida. Tiene que ser construido según los *Standard Drawings* FILA 2 de 5. El tráiler debe ser dividido para proveer una oficina privada de aproximadamente 3.05m por 3.05 metros, un baño (lavamanos e inodoro) y dos closets de aproximadamente 0.91 metros por 1.22 metros para guardar equipos y artículos de oficina.
- C. Modelo 3 – Debe tener 10ft por 16ft y proveer una área mínimo de 160ft cuadrados de espacio de piso con una puerta de salida. Tiene que ser construido según los *Standard Drawings* FILA 3 de 5. Debe estar dividido para proveer una oficina, baño y un closet de aproximadamente 0.96 metros por 1.19 metros para almacenaje de equipos.
- D. Modelo 4 – Debe tener 10ft por 16ft y proveer un área mínima de 160 pies cuadrados de espacio de piso con una puerta de salida. Tiene que ser construido según los *Standard Drawings* FILA 4 de 5. El tráiler debe poseer un closet de aproximadamente 0.91 metros por 1.37 metros para almacenamiento

de equipo y una mesa de trabajo de mínimo 10ft de largo por 2ft de ancho que contenga una pileta/lavamanos con drenaje. Debajo de esta mesa de trabajo de haber un mínimo de 20 ft cuadrados de espacio. Debe poseer un tanque de agua de 6ft de largo, 4ft de ancho y 2 1/2 ft de altura fuera del tráiler.

E. Modelo 5 – Debe tener 10ft por 26ft y proveer un área mínima de 260ft cuadrados con una puerta de salida. Tiene que ser construido según los *Standard Drawings* FILA 5 de 5. El tráiler tiene que estar dividido en una oficina de 3.05 metros por 3.05 metros y una sección de laboratorio. Cada sección debe tener una puerta de salida en adicción de:

- a. La sección de la oficina debe proveer el mismo baño y facilidades de closet requeridos para una oficina de campo Modelo 3
- b. La sección de laboratorio debe proveer con la misma mesa de trabajo incluido la pileta requeridos para una oficina de campo Modelo 4 excepto que las medidas de la mesa se reducen a 7 ft de largo con 14ft cuadrados de espacio debajo de esta y un closet de 3ft de ancho por 2ft de profundidad localizado cerca de la mesa de trabajo.

Equipos requeridos en la oficina de campo de proyectos de infraestructura en Puerto Rico

Cada oficina de campo y laboratorio Modelo 1, 2, 3 y 5 deben estar provistos de los siguientes equipos:

1. Una maquinilla manual o eléctrica con una tabla de escritura estándar.

2. Una calculadora eléctrica completamente automática.
3. Máquina fotocopidora con capacidad para papel tipo carta y tipo legal.
4. Máquina para envíos de *fax*.
5. Teléfono
6. Una computadora con monitor mínimo de 17 pulgadas a color.
7. Un controlador de voltaje UPS.
8. Una fotocopidora tipo *Laser* con capacidad para papel tipo carta y tipo legal.

En las visitas a los mencionados proyectos se obtuvo datos de los equipos eléctricos y del consumo de estos, de los patrones de uso de cada una de las oficinas, tamaño y ubicación. Con esta información, la radiación solar en la ubicación específica de cada oficina, el área y la capacidad de los paneles fotovoltaicos se procedió a determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos necesarios para suplir la necesidad eléctrica de cada oficina.

Luego de la inspección visual de las oficinas de campo se observó que cada una de las oficinas de campo cumple con los requisitos mínimos de diseño para un modelo número 3 dentro de las especificaciones del "*Standard Specification for Road and Bridge Construction*".

4.1.2 Datos Recopilados en las Oficinas de Campo

Para cada oficina de campo se recolectó su ubicación así como su tamaño y cada uno de los equipos eléctricos en uso dentro de éstas. Se verificó que los equipos

dentro de cada oficina cumplieran con los requisitos de la Autoridad de Carreteras de Puerto Rico. Dichos requisitos fueron descritos anteriormente. En las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4 se muestran las oficinas evaluadas y su ubicación.

Ubicación Oficina	Latitud	Longitud	Carretera
Hormigueros	18° 7'55.17"N	67° 6'39.31"W	pr 345
San Germán	18° 7'5.59"N	67° 4'53.58"W	pr 2 km168.4
Mayagüez	18°14'42.86"N	67° 10'24.85"W	pr 64 int calle carey

Tabla 4.2 Ubicación de las Oficinas de Campo



Figura 4.2 Oficina de Campo de Hormigueros



Figura 4.3 Oficina de Campo de San Germán



Figura 4.4 Oficina de Campo de Mayagüez



Figura 4.5 Foto Aérea Oficinas de Campo Mayagüez y Hormigueros



Figura 4.6 Foto Aérea Oficina Campo San Germán

Para el análisis del consumo eléctrico generado por los equipos eléctricos dentro de las oficinas se realizaron unas entrevistas no estructuradas a los encargados de estas para obtener patrones de uso. Se midió el consumo eléctrico individual de cada equipo y se corroboraron los datos de consumo con las especificaciones del fabricante. Estos datos se dividieron en dos fases, una para el consumo eléctrico de

día de semana y otra para el consumo eléctrico durante los fines de semana. Así mismo, los datos fueron divididos en periodos de 24 horas para poder analizar el consumo real en diferentes periodos de tiempo dentro del programa de computación HOMER[®]. En la tabla 4.3 se presenta el tamaño y consumo energético de las oficinas evaluadas.

OFICINA	MAYAGÜEZ	HORMIGUEROS	SAN GERMÁN
TAMAÑO TECHO largo x ancho (ft)	40' x 12'	45' x 8'	40' x 8'
CONSUMO Kwh/día	26.5	26.86	74.48

Tabla 4.3 Tamaño y consumo energético oficinas evaluadas

A continuación en las Tablas 4.4, 4.5 y 4.6, se detallan los equipos eléctricos encontrados en la oficina del Campo de los proyectos de Hormigueros, San Germán y Mayagüez. Aquí se incluye la iluminación interior y los equipos dentro de la oficina, se excluye la iluminación exterior utilizada para alumbrado nocturno.

Uno de los factores principales al evaluar la capacidad de un lugar para la implantación de un sistema solar fotovoltaico es el espacio disponible para la instalación de estos sistemas y la necesidad energética del lugar. Para este estudio hemos clasificado los espacios disponibles por escenarios y carga energética para cada una de las oficinas visitadas. En el caso particular de los proyectos visitados, en el lugar de proyecto donde se ubican las oficinas también se construye un techo temporero que provee sombra a éstas. Este espacio adicional puede ser utilizado para el diseño e instalación de los paneles fotovoltaicos y fue considerado dentro de los escenarios a evaluarse.

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario Vatios
Computadora de escritorio	1	200	120	7.916667	2	2	400
Impresora(1)	1	350	120	2.916667	0.1	3	35
Impresora(2)	1	1200	120	10	0.1	1	120
Bocinas Computadora	1	30	120	0.25	1	5	30
Router	1	100	120	0.833333	6	5	600
Internet /fax	1	204	120	1.7			0
Teléfono	3	15	115	0.130435	N/A	5	0
Calculadora Eléctrica	1	30	120	0.25	0.08	1	2.4
Microonda	1	1100	120	9.166667	0.2	5	220
Nevera	1	204	115	1.773913	16	7	3264
Máquina de Agua	1	600	120	5	2	7	1200
Acondicionador de Aire(1)	1	1230	120	10.25	8	5	9840
Acondicionador de Aire(2)	1	1450	120	12.08333	8	5	11600
Cargadores	5	6	120	0.05	2	5	60
Lámpara Fluorescente 4'	6	40	120	0.333333	8	5	1920

Tabla 4.4 Equipos Eléctricos utilizados en Oficina de campo Hormigueros

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Computadora de escritorio	1	200	120	7.916667	4	2	800
Computadora Portátil	1	150	120	3.333333	3	5	450
Impresora(1)	1	350	120	2.916667	0.25	5	87.5
Impresora(2)	2	450	120	3.75	0.15	5	135
Bocinas Computadora	1	30	120	0.25	2	5	60
Router	1	30	120	0.25	12	5	360
Internet /fax	1	204	120	1.7	0.25	5	51
Teléfono	3	15	115	0.130435	0	5	0
Calculadora Eléctrica	1	30	120	0.25	0.25	1	7.5
Radio Reloj	1	100	120	0.833333	2	5	200
Microonda	1	950	120	7.916667	0.08	5	76
Cafetera	1	1000	120	8.333333	1	5	1000
Nevera	1	204	115	1.773913	16	7	3264
Acondicionador de Aire(1)	1	1230	120	10.25	0	5	0
Acondicionador de Aire(2)	2	1450	120	12.08333	12	5	34800
Cargadores	6	6	120	0.05	12	5	432
Lámpara Fluorescente 4'	10	40	120	0.333333	12	5	4800

Tabla 4.5 Equipos Eléctricos Utilizados en Oficina de campo San Germán

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Computadora de escritorio	1	200	120	7.916667	3	3	600
Computadora Portátil	1	150	120	3.333333	3	5	450
Impresora	2	350	120	2.916667	0.16	5	112
Bocinas Computadora	1	30	120	0.25	1	5	30
Router	1	30	120	0.25	12	5	360
Internet /fax	1	204	120	1.7	2	5	408
Teléfono	2	15	115	0.130435	0	5	0
Calculadora Eléctrica	1	30	120	0.25	0.25	1	7.5
Radio Reloj	1	100	120	0.833333	2	5	200
Microonda	1	950	120	7.916667	0.08	5	76
Cafetera	1	1000	120	8.333333	0.2	5	200
Nevera	1	204	115	1.773913	16	7	3264
Acondicionador de Aire	1	2666	240	11.10833	8	5	21328
Cargadores	3	6	120	0.05	3	5	54

Tabla 4.6 Equipos Eléctricos utilizados en Oficina de campo Mayagüez

4.1.2.1 Descripción de los Escenarios Evaluados

Escenario # 1 – Para este escenario se tomó en consideración todos los equipos eléctricos dentro de la oficina de proyectos. La carga eléctrica utilizada se obtuvo de medición directa del consumo de cada equipo. Para esto se utilizó un medidor de cantidad de energía eléctrica consumida por equipo eléctrico conocido como *Kill A Vatio*. El espacio de instalación del sistema fotovoltaico para este escenario fue el

techo de la oficina. En la Figura 4.7 se muestra un diseño conceptual de las oficinas en el escenario #1.

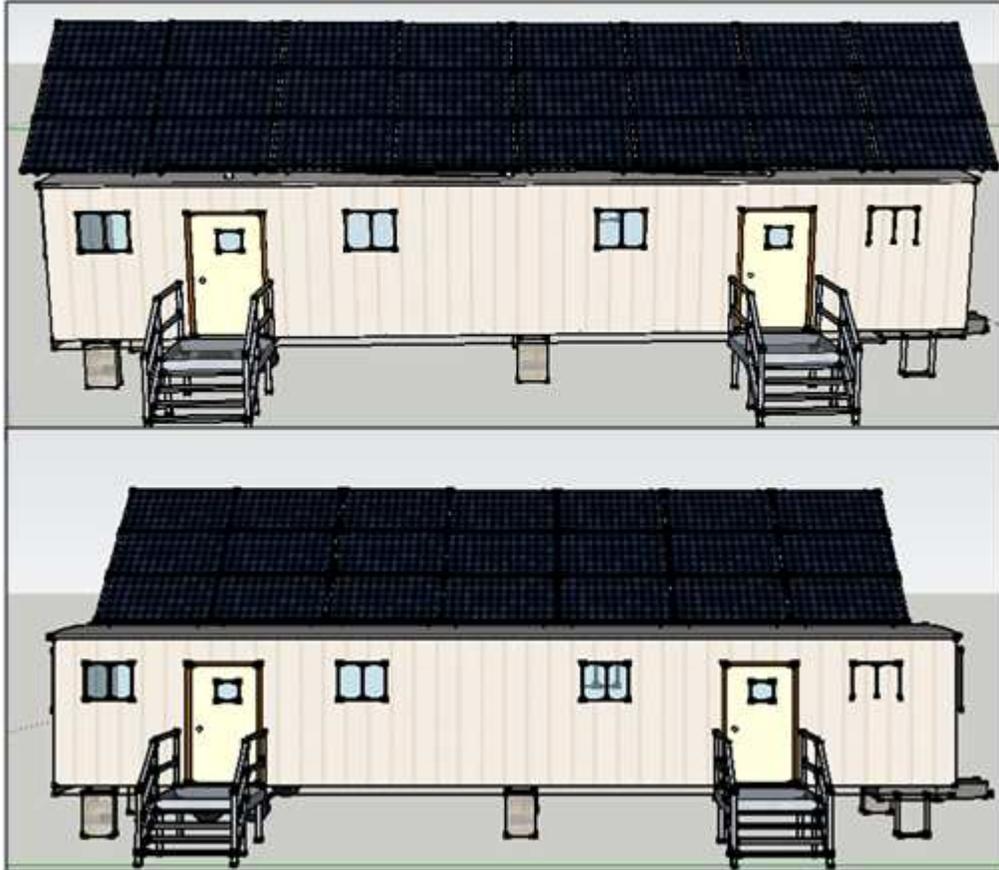


Figura 4.7 Diseño conceptual oficinas escenario #1

Escenario # 2 – Para este escenario se tomó en consideración los equipos eléctricos dentro de la oficina de proyectos. Igual que en el Escenario #1 la carga eléctrica utilizada en los análisis fue medida directamente de los equipos dentro de cada oficina. Para el espacio de instalación del sistema fotovoltaico se tomó en consideración el techo de la oficina y el techo adicional utilizado para proveer sombra a ésta. En la Figura 4.8 se muestra un diseño conceptual de las oficinas en el escenario #2.

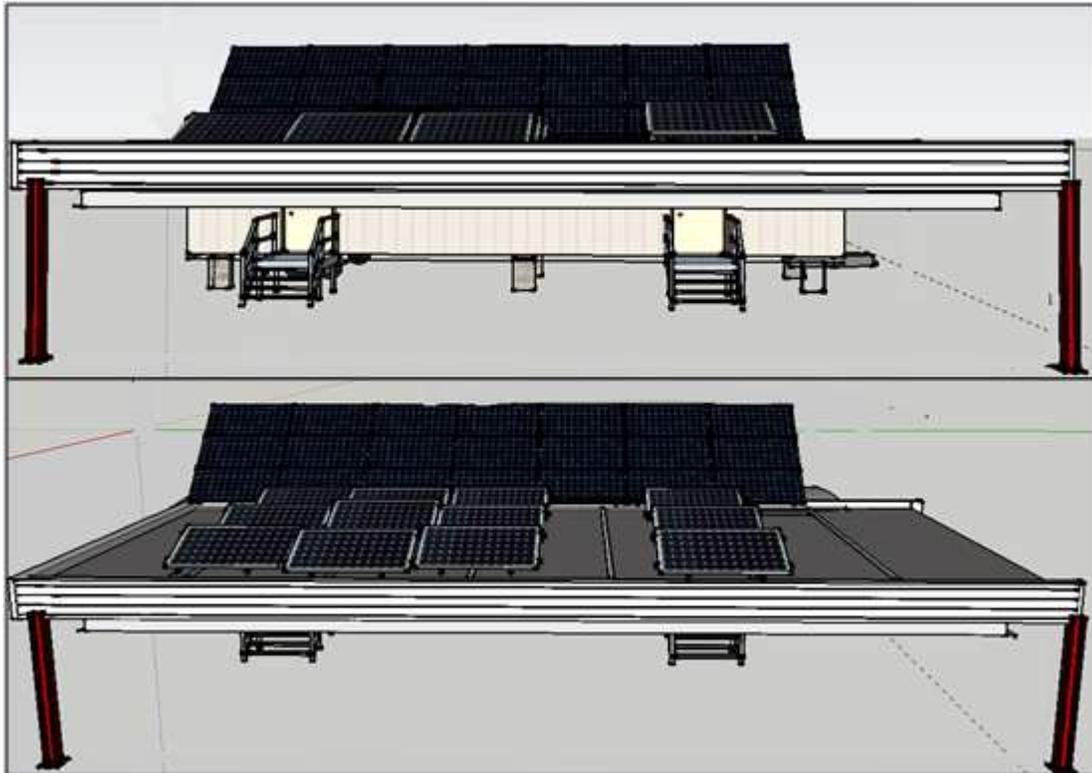


Figura 4.8 Diseño conceptual oficinas escenario #2

Escenario # 3 – Para este escenario se tomó en consideración la factura de electricidad de cada lugar de proyecto donde están ubicadas las oficinas. Esta factura proporcionada por la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico incluye todo el consumo eléctrico del lugar del proyecto. Por lo que en esta ocasión se tomó en consideración la iluminación nocturna del “*site*” del proyecto y equipos eléctricos utilizados fuera de la oficina. En la Figura 4.9 se muestra un diseño conceptual de las oficinas en el escenario #3.

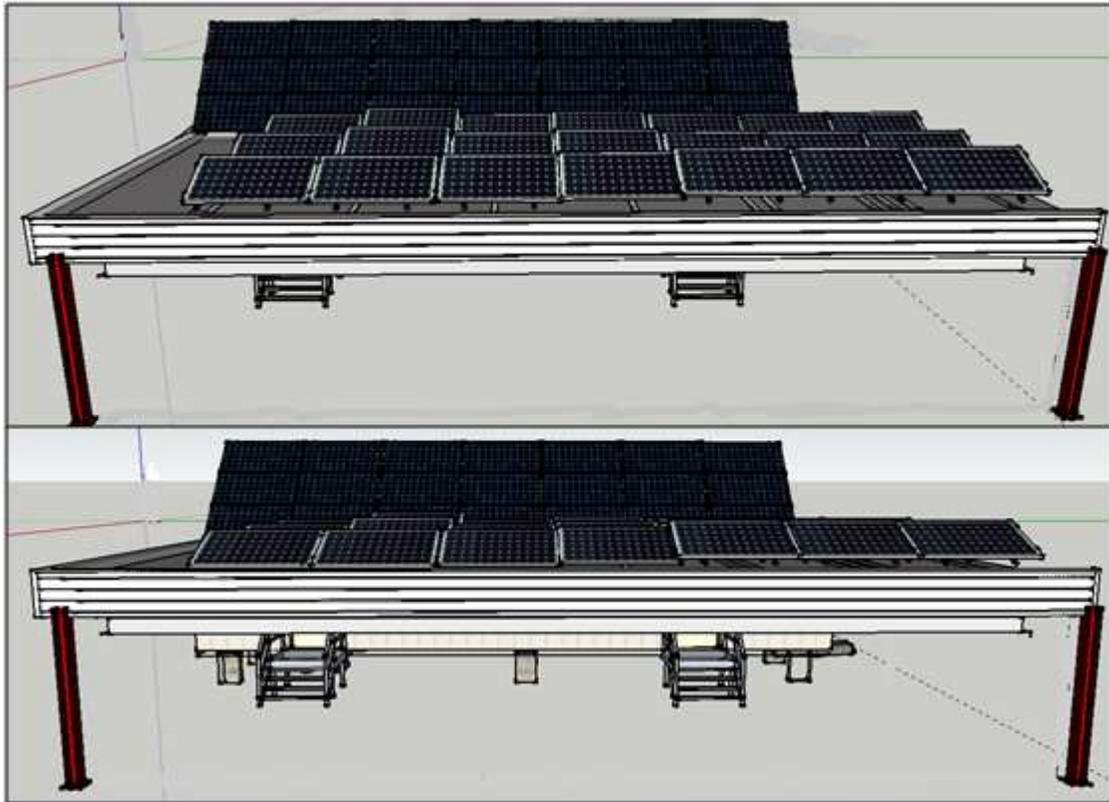


Figura 4.9 Diseño conceptual oficinas escenario #3

4.2 Justificación del Sistema Renovable

Como parte de esta investigación se entrevistó a los dueños y administradores de las oficinas de campo de proyectos de infraestructuras estudiadas. Las entrevistas realizadas fueron entrevistas no estructuradas con el propósito de indagar e identificar patrones de consumo energéticos, usos de las oficinas de campo y cualquier cosa que pudiera alterar el consumo energético en ellas.

A través de estas entrevistas se conoció la opinión de los dueños con respecto a los costos energéticos de las oficinas y la necesidad que estos presentaron de

realizar mejoras que redunden en la disminución de los gastos operacionales de las oficinas de campo. Se identificó que los altos costos energéticos en las oficinas de campo de proyectos eran uno de los temas tomados en consideración por los dueños de las oficinas y para los cuales estos requerían algún alivio económico. Se recopilaron por parte del dueño las facturas eléctricas provenientes de la AEE de cada oficina para evidenciar las fluctuaciones mensuales en los costos de la energía y ser utilizadas como parte del análisis de esta investigación.

A raíz de la información recopilada en las visitas y entrevistas realizadas a los dueños de las oficinas evaluadas se identificó como posible solución al alto costo energético en las oficinas de campo, la utilización de energía eléctrica renovable proveniente de sistemas eléctricos fotovoltaicos. Estos sistemas proveen energía limpia, sin la generación de contaminantes al ambiente, no conlleva cargos por transportación ya que se produce en el mismo lugar donde será consumida y le presenta al cliente la opción de desconectarse de la red eléctrica de la AEE para producir su propia energía.

5 RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a través de esta investigación. En él se detallan el análisis económico realizado con el programa HOMER para los casos estudiados, los estimados de costos de los equipos a ser instalados en las oficinas de campo y la viabilidad de cada uno. Se presentan los resultados económicos de los diferentes escenarios evaluados para cada caso. También se presentan las métricas utilizadas para demostrar la viabilidad de la utilización de los sistemas renovables fotovoltaicos en la oficina de proyectos de infraestructura para cada uno de los escenarios.

5.1 Viabilidad y Análisis Económico

Finalizado el estudio de campo, con los datos adquiridos de localización de las oficinas de campo a evaluarse y el consumo eléctrico de éstas, se procedió a realizar un estudio de viabilidad y análisis económico tomando en cuenta el costo actual de los equipos, materiales y recursos a utilizarse. Para lograr este análisis se utilizó el programa de computación HOMER© 2.67 Beta (Hybrid Optimization Model for Electric Renewables), con licencia gratuita de la *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

5.1.1 Tamaño del Sistema Eléctrico Fotovoltaico

Para poder escoger la capacidad del sistema fotovoltaico a instalarse en el techo de cada una de las oficinas evaluadas se obtuvo la data de la demanda eléctrica de cada una de ellas, descrita anteriormente. Tomando como ejemplo la Oficina de Campo del Proyecto de Infraestructura en Hormigueros el tamaño del techo disponible para la instalación de paneles fotovoltaicos es 33.445 metros cuadrados. Los datos a continuación describen la capacidad de paneles a instalarse en esta oficina.

Área Panel	1.61m ²
Eficiencia Panel	0.14
Radiación Solar	5.61 kwh/m ²
Radiación Disponible	0.7854 kwh/m ²
Área Necesaria de Techo	34.19 m ² /día
Cantidad de Paneles	22

Tabla 5.1 Datos Oficina Campo Hormigueros

Con la eficiencia del panel, que en este caso es de un 14%, y la radiación solar⁵ de 5.61 kwh/m² obtenemos la radiación solar disponible.

$$\text{Radiación Solar Disponible} = \text{Radiación Solar} \times \text{Eficiencia Panel}$$

$$\text{Radiación Solar Disponible} = 5.61 \text{ kwh/m}^2 \times 0.14 \text{ ef} = 0.7854 \text{ kwh/m}^2$$

⁵ Dato tomado del Programa de Computación HOMER para la Ubicación exacta de esta Oficina

Dado el consumo energético diario en kilovatios horas y la radiación solar disponible podemos obtener el área necesaria de techo para cubrir la necesidad energética de la oficina.

$$\text{Área necesaria de Techo PV} = \frac{\text{Consumo diario en kwh}}{\text{Radiación Solar Disponible}}$$

$$\text{Área necesaria de Techo PV} = \frac{26.86 \frac{\text{kwh}}{\text{día}}}{0.7854 \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2\text{-día}}} = 34.19 \text{ m}^2$$

Con esta área obtenemos el número de paneles necesarios para cubrir la carga energética antes expuesta.

$$\text{Número de Paneles PV} = \frac{\text{Área Necesaria de Techo PV}}{\text{Área del Panel Fotovoltaico}}$$

$$\text{Número de paneles PV} = \frac{34.19 \text{ m}^2}{1.61 \text{ m}^2} = 21.23 \text{ paneles}$$

Por lo tanto se necesitan 22 paneles para cubrir la carga energética utilizada en un día en la Oficina de campo de Proyecto de Infraestructura en Hormigueros. En éste caso se está diseñando un sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución eléctrica sin baterías para la acumulación de energía. Durante la noche la necesidad energética será suplida por la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico y el exceso de energía que se pueda producir con los paneles fotovoltaicos se le venderá a la AEE a través de la Ley de Medición Neta descrita anteriormente. Las Tablas 5.2 y 5.3 presentan los datos para calcular la cantidad de paneles necesarios en las oficinas de campo de Mayagüez y San Germán.

Área Panel	1.61m ²
Eficiencia Panel	0.14
Radiación Solar	5.61 kwh/m ²
Radiación Disponible	0.7854 kwh/m ²
Área Necesaria de Techo	33.80 m ² /día
Cantidad de Paneles	21

Tabla 5.2 Datos Oficina Campo Mayagüez

Área Panel	1.61m ²
Eficiencia Panel	0.14
Radiación Solar	5.61 kwh/m ²
Radiación Disponible	0.7854 kwh/m ²
Área Necesaria de Techo	94.83 m ² /día
Cantidad de Paneles	59

Tabla 5.3 Datos Oficina Campo San Germán

Siguiendo el mismo procedimiento con los datos recopilados en las oficinas de campo de Mayagüez y San Germán cada una con un consumo promedio diario de 26.50 kilovatios-hora/día y 74.48 kilovatios-hora/día respectivamente obtenemos que la cantidad de paneles necesarios según el consumo en kilovatios-hora son 21 paneles para la Oficina de Mayagüez y 59 paneles para la Oficina de San Germán. Un sistema fotovoltaico que incluya las baterías que almacenen la energía necesaria para proveer el total del consumo energético nocturno junto a la cantidad de paneles antes descrita es capaz de proveer el total de la energía demandada por cada una de las oficinas. Sin embargo, en este estudio solo se trabajó con paneles fotovoltaicos conectados a un inversor y a su vez interconectados a la red de Energía Eléctrica de Puerto Rico.

5.1.2 Ejemplo de Resultados Análisis HOMER©⁶

Una vez obtenidos los datos de los paneles fotovoltaicos a evaluarse así como el inversor, el costo del kilovatio-hora facturado por la Autoridad de Energía Eléctrica en las oficinas evaluadas y el consumo eléctrico de estas se procedió a realizar el análisis económico en el programa de computación HOMER©. Para este estudio se tomó en consideración que la vida útil del sistema fotovoltaico a evaluarse es de 25 años, la tasa de inflación de 6.0%⁷ y el crédito contributivo de 60% ofrecido por el Fondo de Energía Verde (discutido en la Sección 3.7.2).

5.1.2.1 Inicio HOMER©

Cuando se inicia el programa de HOMER observamos una pantalla donde se nos solicita indicar cuales van a ser los componentes del sistema renovable que se va a estar evaluando. Esta pantalla es presentada en la Figura 5.1

⁶ Esta sección está basada en la referencia Davila, J. 2008 y Jurado S. 2010

⁷ Datos de Banco Gubernamental de Fomento de Puerto Rico, 2011

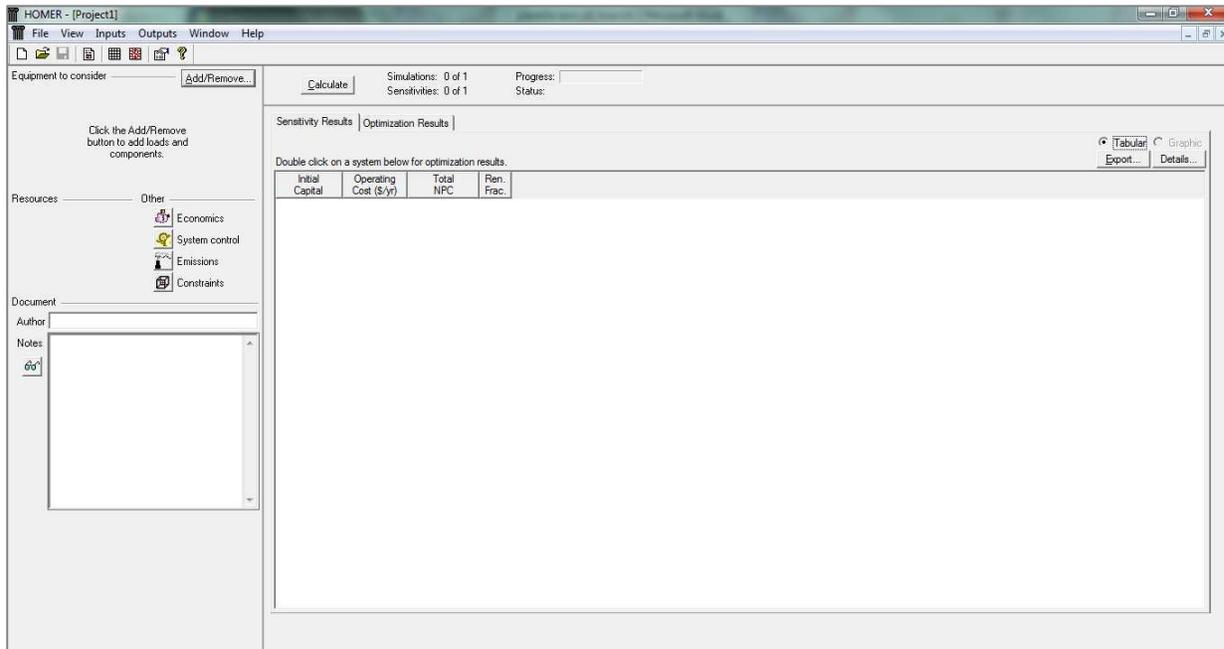


Figura 5.1 Página Inicial de HOMER

Presionando el ícono *ADD/REMOVE* el programa nos presenta la hoja mostrada en la Figura 5.2 donde escogemos los equipos que van a componer el sistema renovable a evaluarse. En nuestro caso para las tres oficinas de proyecto evaluadas el equipo a considerar fue la carga principal, los paneles fotovoltaicos y el inversor.

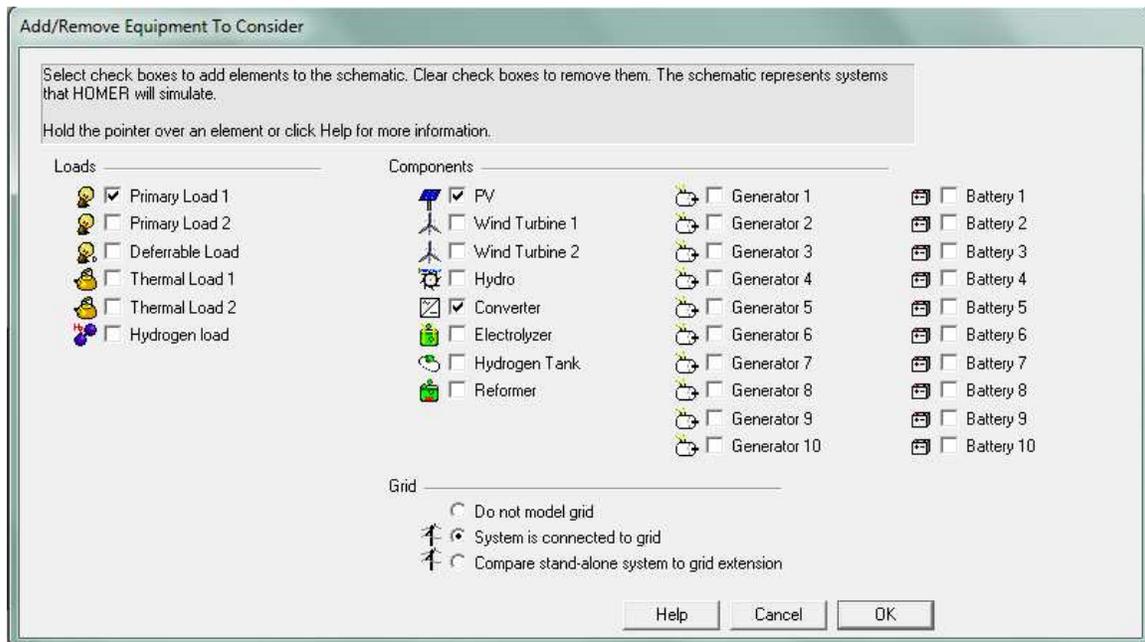


Figura 5.2 Hoja para escoger equipos del sistema a evaluarse en HOMER

Una vez escogido el sistema que será evaluado, HOMER presenta un esquemático de los equipos considerados. En la Figura 5.3 observamos el ejemplo de esquemático para la oficina de proyecto de Hormigueros.

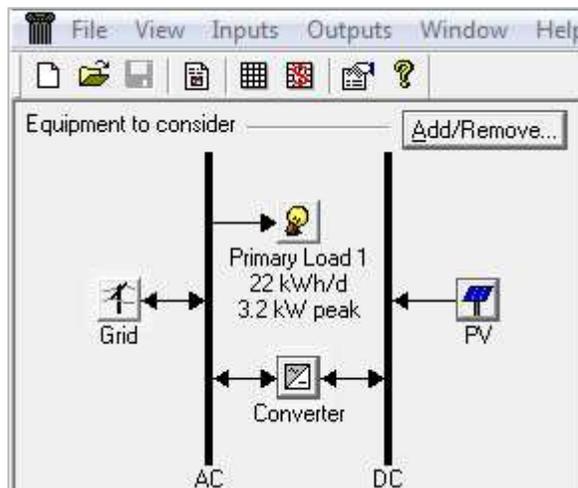


Figura 5.3 Esquemático de equipos a considerar en HOMER

5.1.2.2 Red Eléctrica o *GRID*

Para la evaluación del sistema de energía renovable interconectado a la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico tenemos que utilizar los datos de consumo eléctrico de cada oficina e ingresarlos en el programa de computación HOMER. A través del ícono *GRID* del esquemático de HOMER mostrado en la Figura 5.4 podemos realizar este procedimiento.

Una vez dentro de la pantalla de *GRID* el programa nos solicita el costo de la electricidad provista por la AEE en \$/kilovatio-hora. Si el sistema va a estar bajo el Programa de Medición Neta se debe proveer el costo al cual se estará vendiendo la electricidad a la AEE. La Figura 4.5 muestra los datos entrados en la pantalla de *GRID*. El precio de venta de electricidad suplida por la AEE es de \$0.300 por kilovatio hora y bajo la Ley de Medición Neta el precio de venta de electricidad generada en exceso por el sistema fotovoltaico utilizado en este ejemplo es de \$0.100 por kilovatio hora. A través del ícono *EDIT* dentro de la pantalla de *GRID* el programa provee la entrada de más de un precio de venta de electricidad. Esto toma en consideración las fluctuaciones en el precio de venta de la electricidad por parte de la AEE. Para propósito de este estudio se utilizaron precios de venta de electricidad que varían desde \$0.260 kilovatio por hora hasta \$0.300 el kilovatio hora.

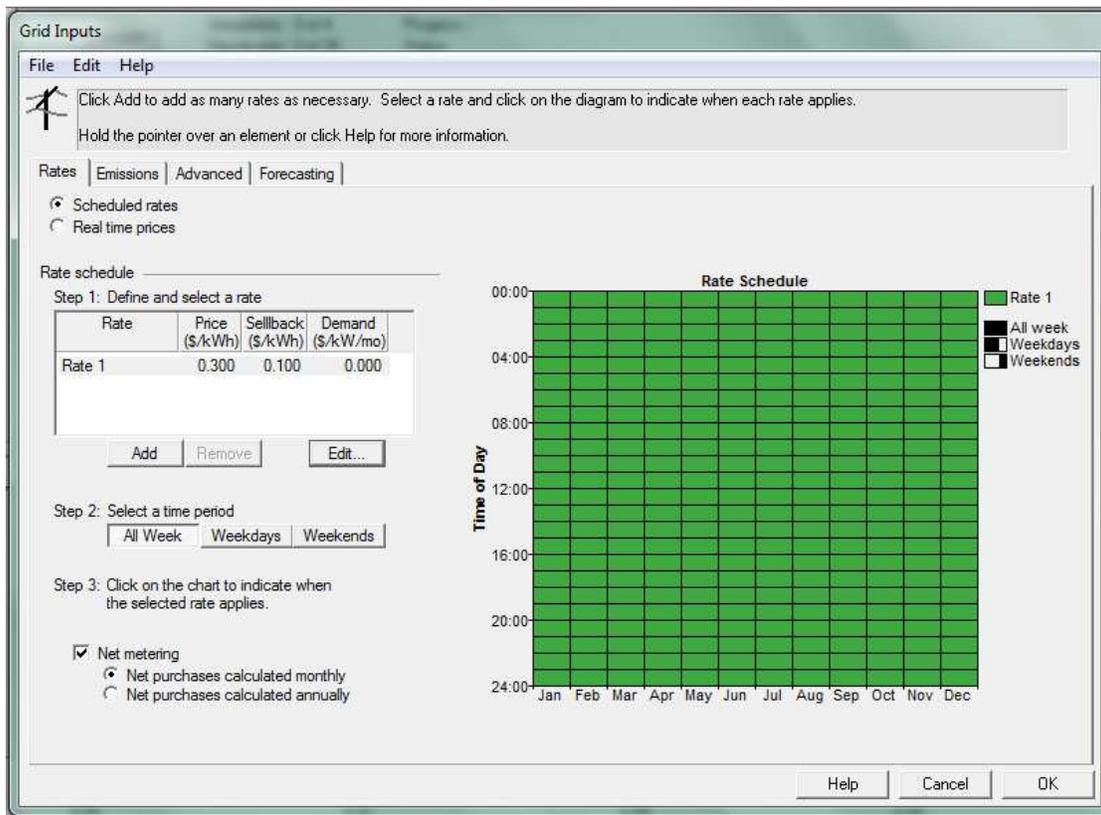


Figura 5.4 Ejemplo de Entrada datos HOMER – GRID

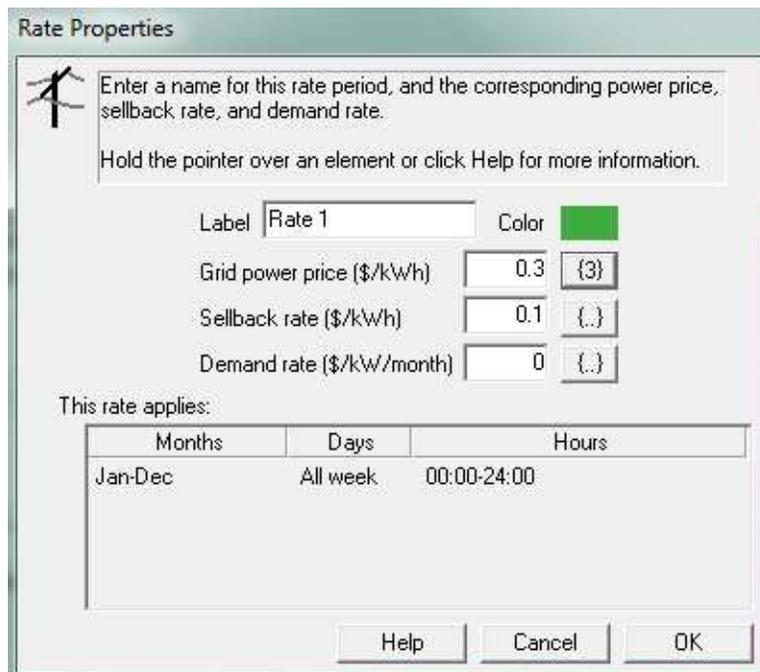


Figura 5.5 Datos Costos por kilovatio-hora de la AEE para HOMER – GRID

5.1.2.3 Consumo Eléctrico o *Primary Load*

Las cargas primarias son las cargas eléctricas que se deben suplir según la demanda de cada proyecto evaluado. Para esto se midió el consumo energético en cada una de las oficinas evaluadas tomando en cuenta el horario de uso de cada cual y los equipos eléctricos existentes. Se realizó una evaluación de distribución de cargas para el tiempo y momento del día en que se utilizaban los artefactos electrónicos y con esto poder asignar una carga eléctrica para días de semana, fin de semana, y durante las noches mientras las oficinas evaluadas no estaban en uso. En la Figura 5.6 se muestra la pantalla de entrada de datos de consumo de carga eléctrica para la Oficina de Campo de Hormigueros.

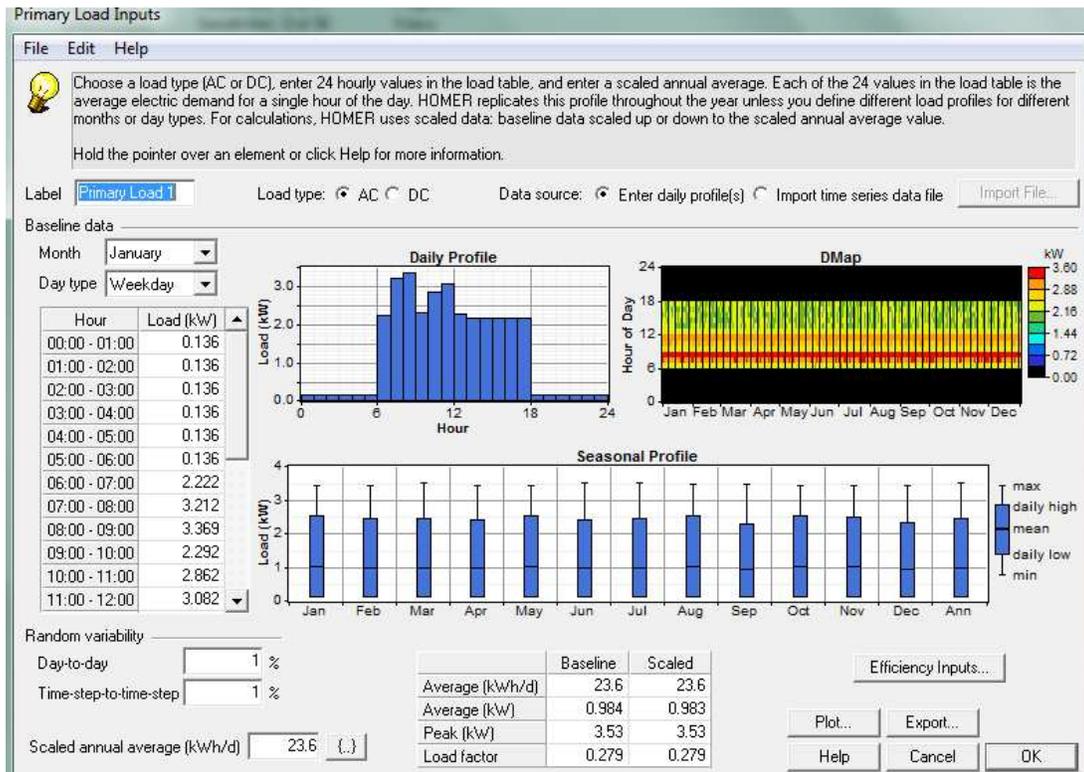


Figura 5.6 Pantalla de Datos Consumo Energético HOMER - Primary Load

Una vez entrados los datos en esta pantalla HOMER crea un perfil de la utilización diaria de la carga eléctrica. Se observa que para este caso particular el promedio de kilovatios por hora utilizados en la oficina es de 0.984 kilovatios y el consumo pico durante el día puede llegar a los 3.5 kilovatios.

5.1.2.4 Paneles Fotovoltaicos o *PV*

En la pantalla de *PV* o Paneles fotovoltaicos entramos los datos de los costos de los paneles fotovoltaicos, y el tamaño del sistema a evaluarse junto con la vida útil de este sistema. En la Figura 5.7 podemos ver la pantalla de *PV* para la oficina de Hormigueros. En esta notamos que se realizó un ajuste al tamaño del sistema para la evaluación de costos, presumiendo un sistema genérico de 1 kilovatio que pudiera ser multiplicado por cualquier tamaño de sistema a evaluarse. El costo asociado a este sistema incluye la compra e instalación luego de aplicado el incentivo estatal del 60% de reembolso de inversión discutido anteriormente (Sección 3.7.2). En este caso se está evaluando un sistema de 5.52 Kilovatio a un costo de \$1,378 por kilovatio. Estos costos podrían variar debido a la cantidad de paneles fotovoltaicos a adquirir debido que a mayor cantidad de paneles, menor es el costo de estos. Dentro de los datos de las propiedades de los *PV* que se ingresan en esta pantalla observamos la vida útil de los paneles que son 25 años (la garantía del fabricante), la devaluación energética estimada que se espera sobre el panel a lo largo de su vida útil, que para este caso es de un 80% al finalizar los 25 años de garantía y el ángulo con respecto a la

radiación solar al que se van a instalar los paneles fotovoltaicos, que para el caso de Puerto rico son 18 grados al sur.

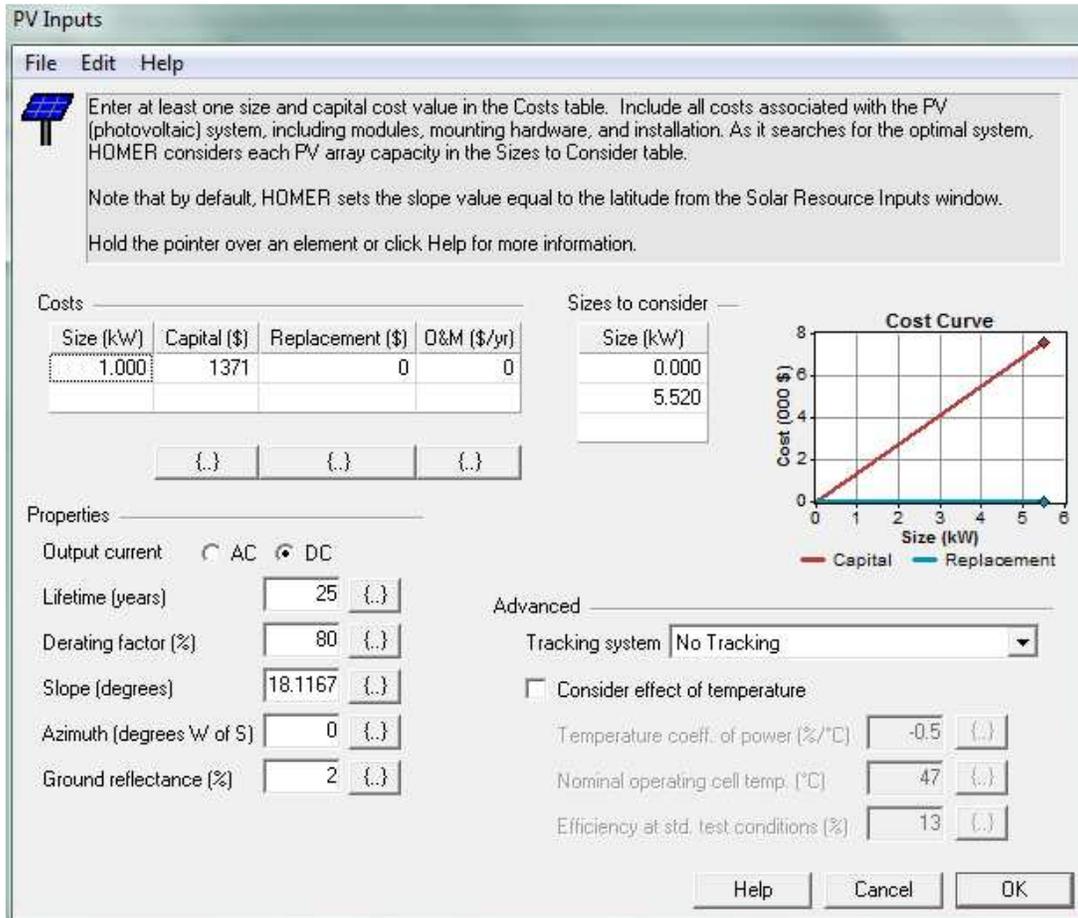


Figura 5.7 Pantalla Datos PV HOMER Oficina Hormigueros

5.1.2.5 Convertidor o *Converter*

En la pantalla de *Converter* o Convertidor añadimos los datos asociados al tamaño, costo, reemplazo y eficiencia del inversor, y rectificador. El inversor es el equipo que cambia la electricidad de DC a AC mientras que el rectificador es el equipo que cambia la electricidad de AC a DC. Los datos del rectificador sólo son necesarios cuando se diseña un sistema renovable con almacenamiento de energía

como los bancos de baterías. En los casos estudiados en esta investigación la energía que se produce en exceso de la utilizada en las oficinas de proyecto pasa directamente a la red eléctrica de distribución de la AEE por lo que no se necesitan los datos del rectificador. En este escrito se utilizó el término convertidor cuando se refiere al inversor para ser consistentes con el nombre dado a este equipo por el programa de computación HOMER, sin embargo técnicamente la forma correcta de llamarlo es inversor.

En la Figura 5.8 observamos la pantalla de entrada para los datos del convertidor. Se tomó en cuenta un tamaño de convertidor universal de 1 kilovatio y se le asignó el costo del equipo incluyendo instalación. De esta forma, se podría multiplicar cualquier tamaño de equipo por el costo unitario diseñado anteriormente. Para este ejemplo se tomó una eficiencia de 90% la cual provee el fabricante y una vida útil de 25 años. Se evaluó un inversor de 6 kilovatios con capacidad de hasta un sistema fotovoltaico de 7,500 vatios, y se tomó en consideración el costo de reemplazarlo de ser necesario. Sin embargo se presume que el inversor tendrá la misma vida útil que el equipo fotovoltaico por lo que no se incluye el costo de reemplazo en el análisis económico.

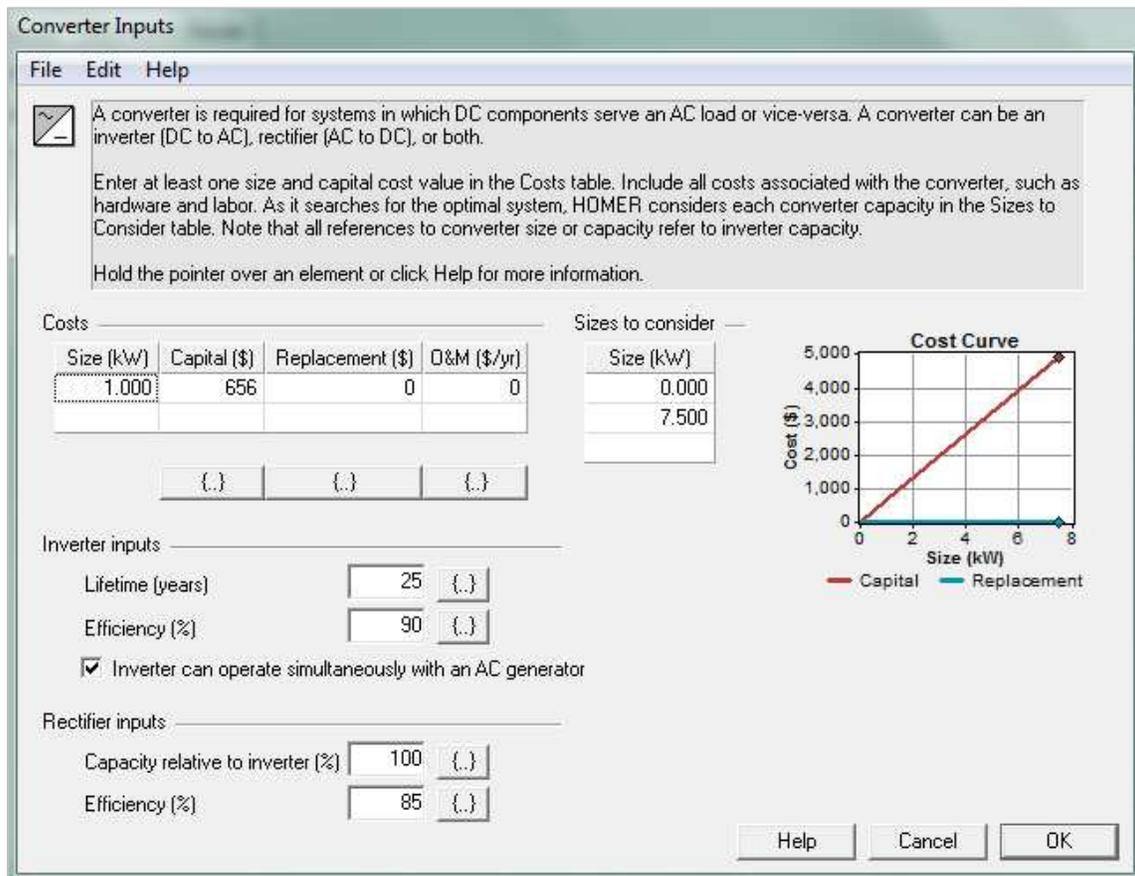


Figura 5.8 Plantilla para añadir datos Convertidor HOMER©

Además de los datos de Convertidor, PV y carga eléctrica a evaluarse existen otros parámetros necesarios por HOMER para poder realizar la evaluación pertinente. Estos recursos son los datos Económicos, Sistema de Control, Emisiones, Limitaciones y el Recurso Solar.

En la Figura 5.9 observamos la pantalla para la entrada del Recurso Solar. En esta se entran los datos de localización del proyecto a evaluarse como la latitud, longitud y la zona horaria, luego de esto adquiriendo la data a través de internet HOMER calcula la radiación diaria y el índice de claridad para esa ubicación. Para el

caso de Puerto Rico el promedio anual de radiación es de 5.61 kwh/m²/d según los datos de HOMER.

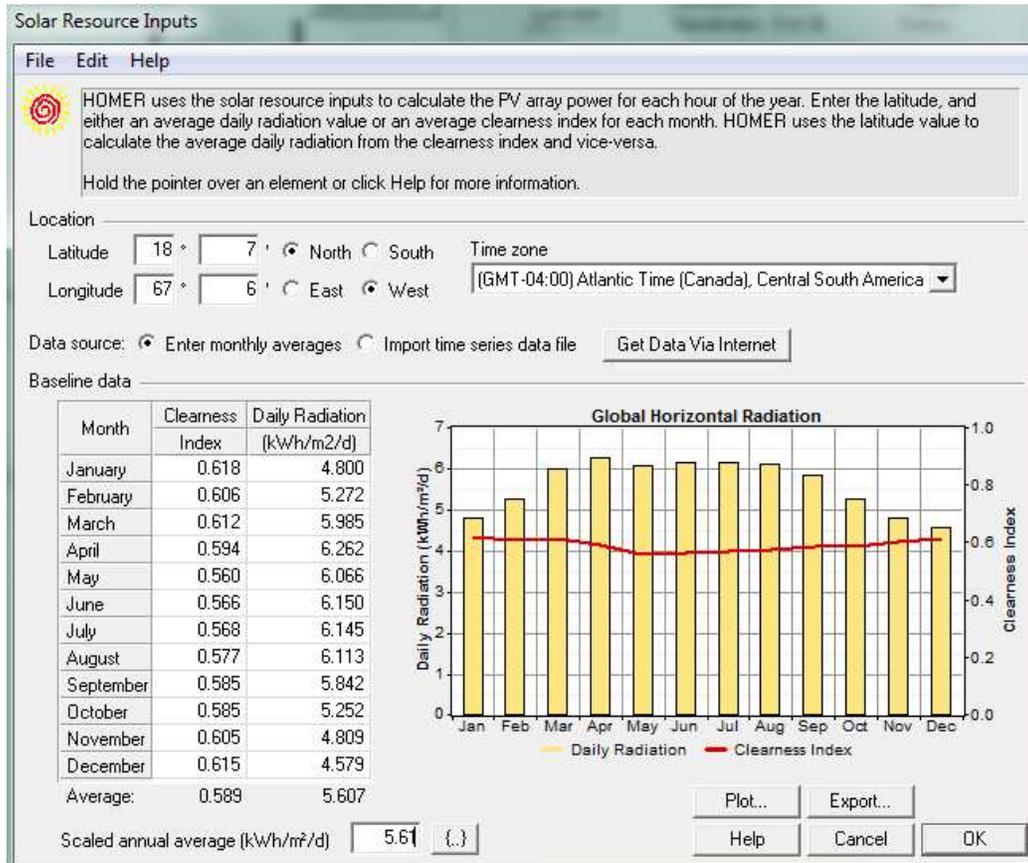


Figura 5.9 Pantalla entrada datos Recurso Solar – HOMER

En la pantalla de los datos Económicos añadimos el tiempo de vida del proyecto que para este caso es de 25 años y el interés real anual que estará evaluando HOMER. Este interés es calculado a raíz de la inflación anual del país y del interés que acompaña el préstamo de la inversión. Con una inflación anual de 6% para Puerto Rico y un interés nominal de 7% para un préstamo de inversión en energía renovable obtenemos un interés real anual de cerca del 1%. Un ejemplo de cómo se calcula este interés se presenta en la próxima ecuación.

$$i = \frac{i' - f}{1 + f} = \frac{0.07 - 0.06}{1 + 0.06} = 0.94 \times 100\% \approx 1\%$$

i = interes real

i' = interes nominal, al cual se coge el prestamo

f = razon de inflación anual

Luego de entrados todos estos datos procedemos a presionar el icono de calcular en la pantalla principal de HOMER y esto creará un análisis de sensibilidad donde obtendremos como resultado las diferentes combinaciones de sistemas renovables que podrían ser utilizados.

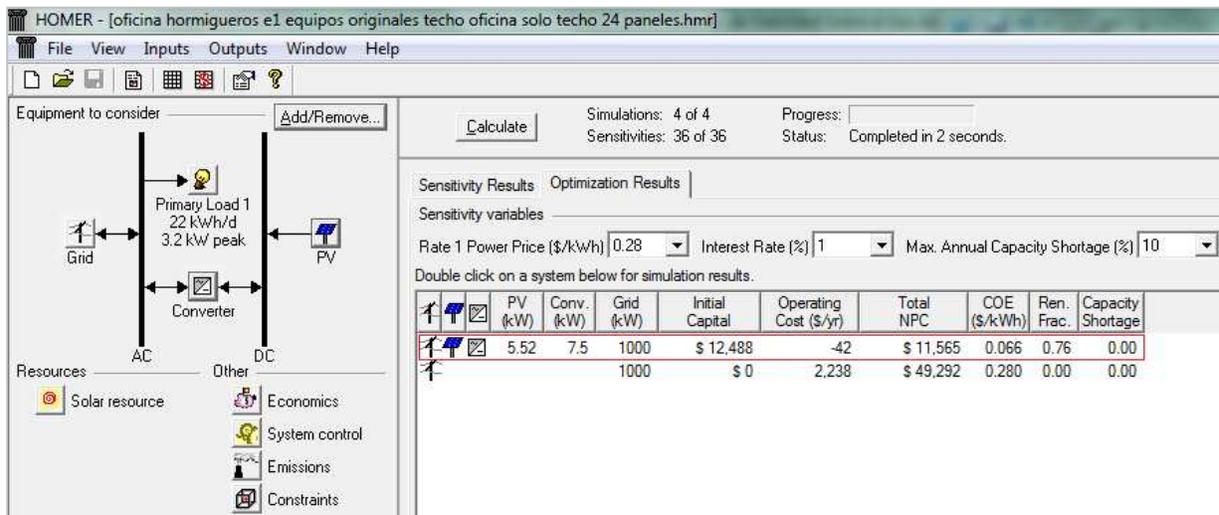


Figura 5.10 Resultados Optimización HOMER©

HOMER© acomoda en forma descendente desde la mejor opción, la más económica, hasta la menos recomendable para un sistema renovable que cumpla con las necesidades del cliente. En el caso descrito en la Figura 5.10 observamos que nuestra primera opción está basada en la instalación de un sistema de 5.52 kilovatios

con un inversor de 7.5 kilovatios para producir un 76% de la energía utilizada a través del sistema renovable. Si presionamos sobre la opción que queremos escoger podemos observar un análisis detallado de la inversión económica, la distribución eléctrica entre la energía generada a través de la AEE y de fuentes renovables, y la reducción en contaminantes ambientales. En la Figura 5.11 observamos los resultados de la simulación de HOMER. Observamos que el costo total en el presente del sistema es de \$11,507 donde \$7,568 pertenece a la partida de los paneles fotovoltaicos y \$4,920 a la inversión del Inversor. Este costo asume los descuentos aplicables por las leyes en Puerto Rico. Muestra también que el cliente aportará a la red de energía eléctrica de la AEE cerca de \$923 en un año, lo que se traduce en ahorros para el cliente a lo largo de la vida del proyecto.



Figura 5.11 Resultados de Simulación HOMER©

En la Figura 5.12 podemos observar el resultado de la parte eléctrica de nuestro análisis. Aquí se establece que el arreglo fotovoltaico diseñado producirá cerca de 9,364 kilovatios por hora al año para un total de 76% de la energía total necesaria producido a través de los paneles fotovoltaicos. El costo de la energía se estandariza en \$0.066 por kilovatios hora.

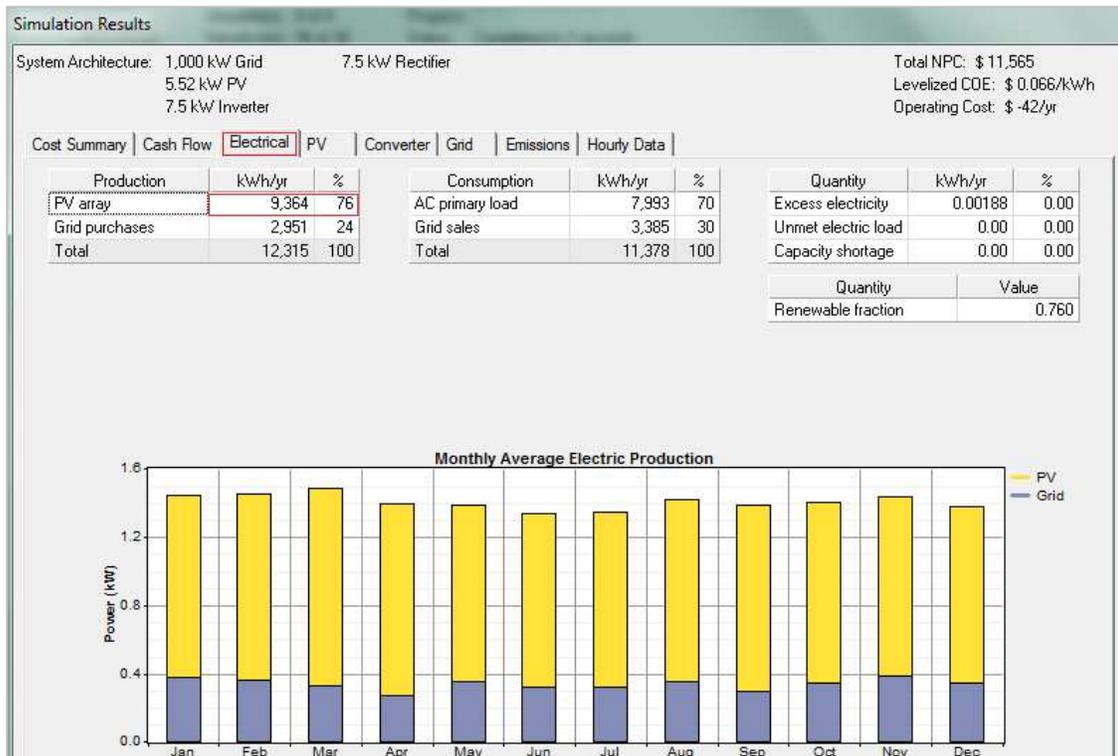


Figura 5.12 Resultados Distribución Eléctrica HOMER©

En la Figura 5.13 podemos observar la pantalla de resultados PV de HOMER©. En los resultados de esta simulación se establece que la producción diaria de este sistema es de 25.7 kwh por día mientras que en un año el sistema es capaz de producir 9,364 kilovatios. En la Figura 5.14 observamos los resultados del inversor

en HOMER©. Esto muestra la cantidad de energía que entra y sale del inversor así como su capacidad de inversión.

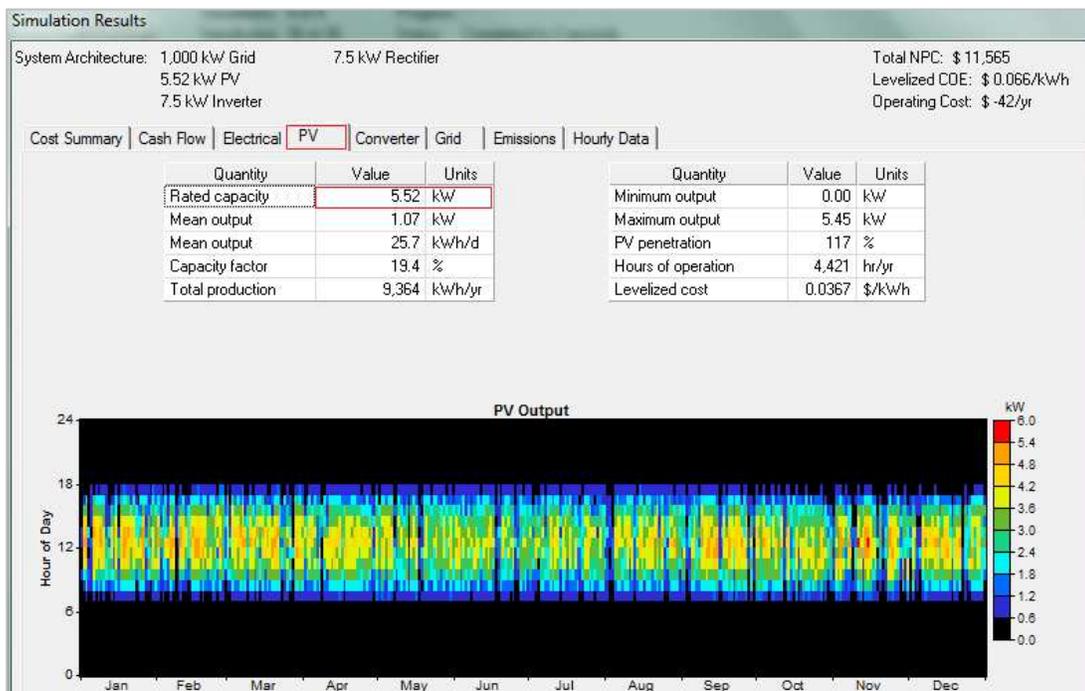


Figura 5.13 Resultados PV HOMER©

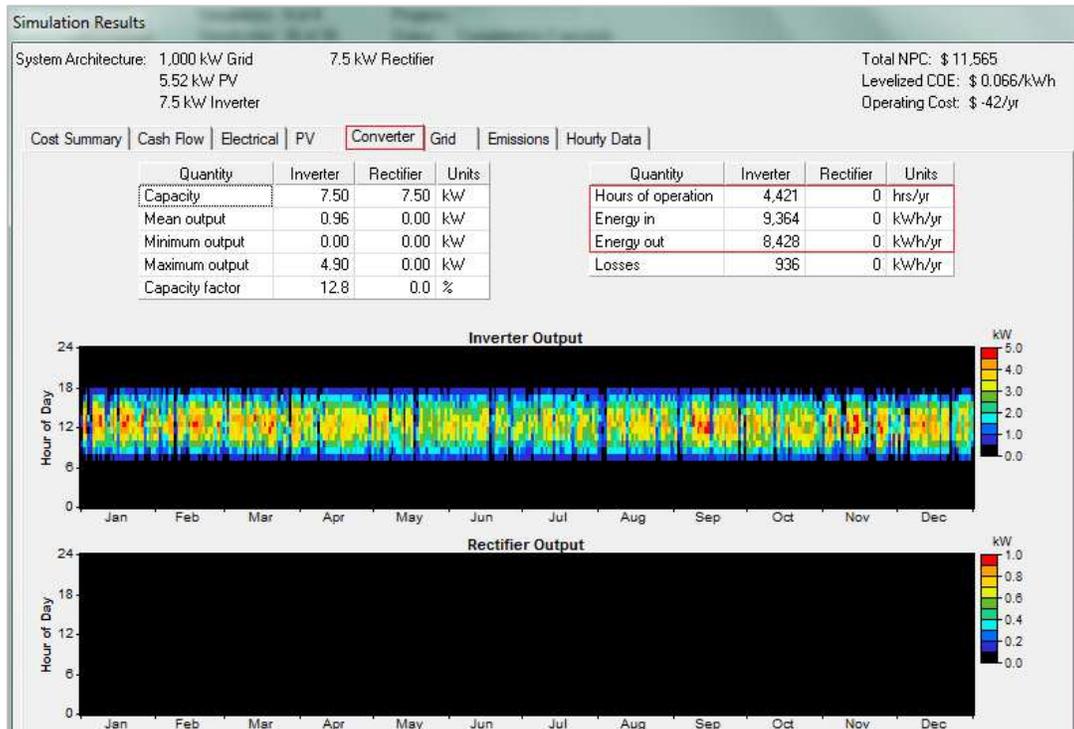


Figura 5.14 Resultados Inversor HOMER©

En la Figura 5.15 observamos los resultados de la energía provista por la AEE y aquí se muestra la cantidad de energía que se consume, la que el sistema le vende a la AEE y la compra de energía neta luego que se la AEE hace el ajuste a través de Medición Neta. Para este caso específico observamos que la compra neta de energía a la AEE en un año es de -434 kilovatio-hora luego de haberle vendido a la AEE 3,385 kilovatio-hora que el sistema fotovoltaico produjo en exceso.

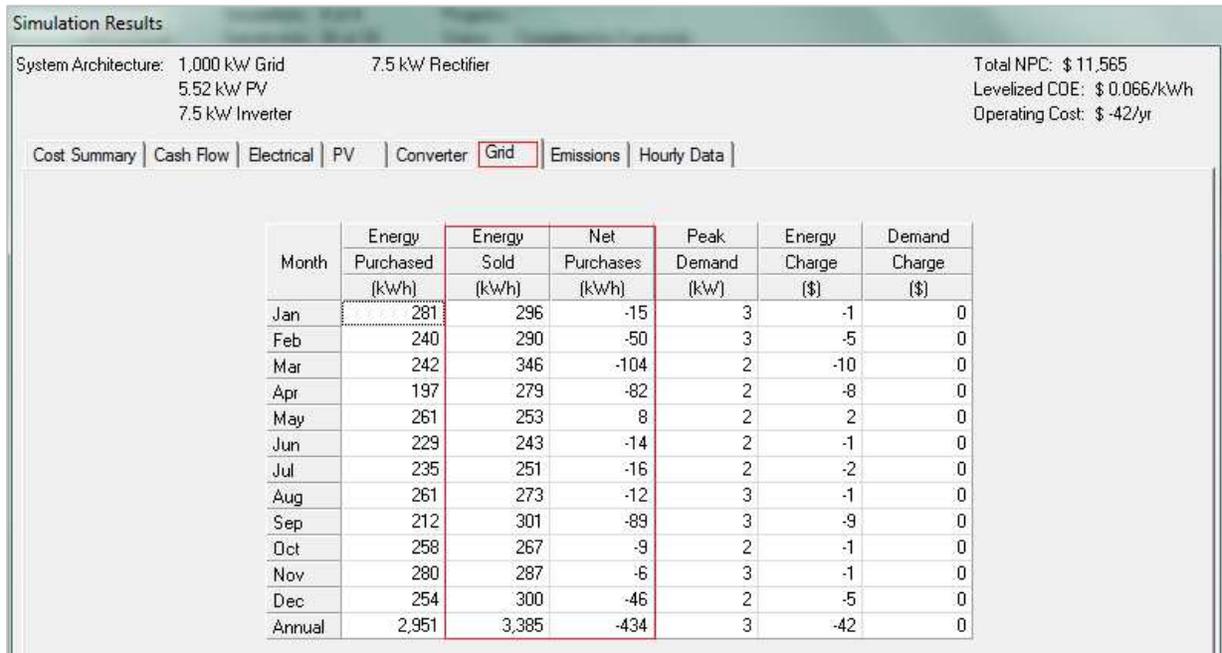


Figura 5.15 Resultados Red Eléctrica HOMER©

En la pantalla de resumen de costos presentada en la Figura 5.11 tenemos el icono *compare* a través del cual podemos comparar los resultados de un sistema tomando como base el cual sólo analiza los costos de estar conectado a la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico versus el sistema que incluye los equipos de energía renovables. En la Figura 5.16 presentamos esta comparación. En la comparación del costo total neto en el presente observamos que el sistema renovable se muestra favorablemente frente al costo de utilizar sólo la energía producida por la AEE. Para un cliente conectado a la red de la AEE la inversión en 25 años traída al presente es de \$52,813 versus tener un sistema renovable fotovoltaico con un costo neto en el presente de \$11,569. Se observa que con el sistema renovable el cliente

sería capaz de ahorrar cerca de \$41,244 a lo largo de la vida del proyecto con un periodo de recuperación de la inversión de 5.12 años.

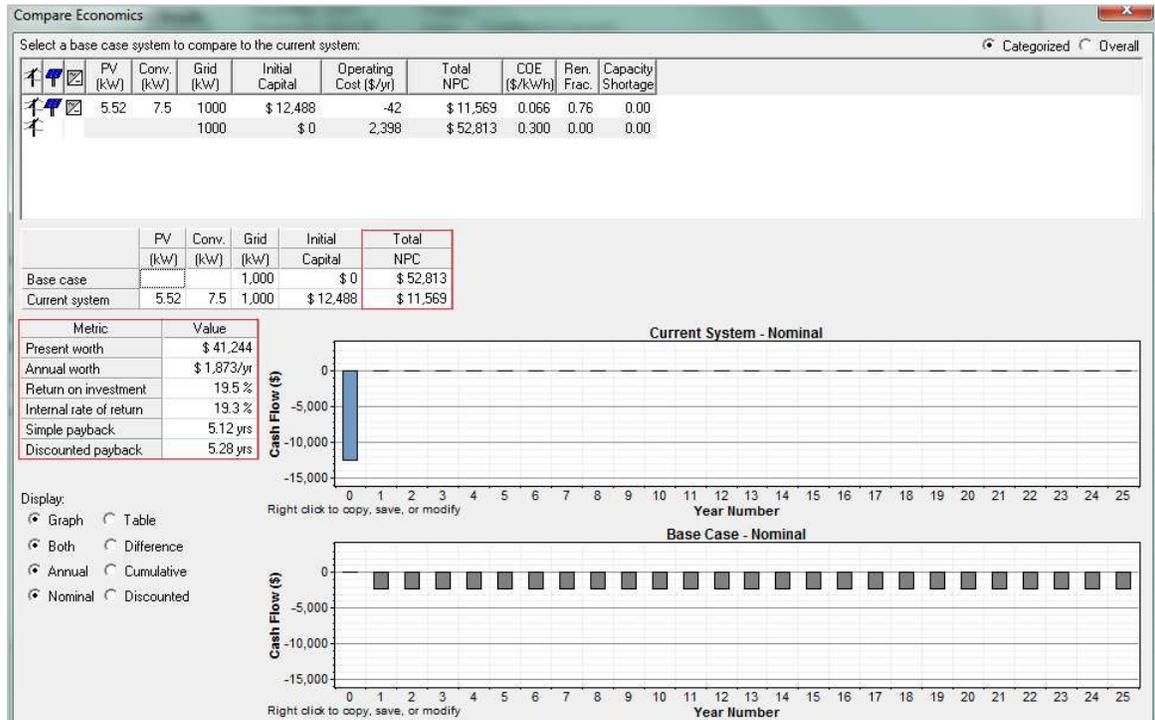


Figura 5.16 Comparación Resultados Caso Base y Sistema Renovable HOMER©

5.1.2.6 Reducción en Contaminantes

Uno de los factores tomados en consideración en esta investigación lo fue la reducción en contaminación ambiental debido a la quema de combustibles fósiles. En la Figura 5.17 vemos como compara la utilización de energía eléctrica generada a través de la quema de combustibles fósiles y la energía eléctrica generada a través de un sistema renovable conectado a la red eléctrica. Estos resultados demuestran que la utilización de la energía producida por la AEE para este caso en particular emiten 6,321 kilogramos al año de dióxido de carbono mientras que con el sistema

renovable de paneles fotovoltaicos conectados a la red de la AEE la reducción en emisiones de dióxido de carbono es del 100% menos para un total de -274 kilogramos al año de emisión de dióxido de carbono. Estas emisiones son negativas porque se toma en consideración la eliminación de contaminantes debido a la energía producto del sistema renovable insertada en la red eléctrica de la AEE. Los valores para la reducción de dióxido de sulfuro y óxido de nitrógeno son igualmente comparables con el dióxido de carbono. Para un consumo de energía eléctrica producida a través de la AEE las emisiones de dióxido de sulfuro son de 27.4 kilogramos al año y las de óxido de nitrógeno son de 13.4 kilogramos al año, mientras que para el sistema con energía renovable la emisión de dióxido de sulfuro es de -1.19 kilogramos al año y la de óxido de nitrógeno es de -0.582 kilogramos al año. Esto se traduce en una disminución de prácticamente 100% de las emisiones para ambos casos.

Simulation Results	
System Architecture: 1,000 kW Grid 7.5 kW Rectifier 5.52 kW PV 7.5 kW Inverter	
Cost Summary Cash Flow Electrical PV Converter Grid Emissions Hourly Data	
Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-274
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-1.19
Nitrogen oxides	-0.582

Simulation Results	
System Architecture: 1,000 kW Grid	
Cost Summary Cash Flow Electrical Grid Emissions Hourly Data	
Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	6,321
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	27.4
Nitrogen oxides	13.4

Figura 5.17 Comparación Emisión Contaminantes HOMER©

5.2 Estimado de Costos

Para la realización del diseño conceptual del sistema fotovoltaico a instalarse en la oficina de campo de proyectos de infraestructura se utilizó un Panel Fotovoltaico poli cristalino Canadian Solar modelo CS6P-230 de 230 *watios*. También se utilizaron los datos del inversor SUNNY BOY 6000US. Estos modelos cumplen con la certificación de equipos renovables autorizados a ser utilizados en Puerto Rico y cualifican para el programa de Instalaciones Fotovoltaicas de la Administración de Asuntos Energéticos de PR. La definición de los modelos a utilizarse era necesaria para poder hacer el análisis económico y entrar los datos requeridos por el programa de computación HOMER[®]. En las Tablas 5.4 y 5.5 se muestran las especificaciones técnicas de los modelos de panel fotovoltaico e inversor escogidos para el análisis económico de los casos estudiados en esta investigación.

Model	Canadian Solar CS6P-230
Nominal Maximum Power at STC (Pmax)	230W
Optimum Operating Voltage (Vmp)	29.6V
Optimum Operating Current (Imp)	8.03A
Open Circuit Voltage (Voc)	36.8V
Short Circuit (Isc)	8.34A
Operating Temperature	-40°C ~+85°C
Maximum System Voltage	1000V (IEC) /600V (UL)
Maximum Series Fuse Rating	15A
Power Tolerance	+5W
Pmax	-0.43%/°C
Voc	-0.34 %/°C
Isc	0.065 %/°C
NOCT	45°C

Tabla 5.4 Especificaciones Panel Fotovoltaico Canadian Solar CS6P - 230

Model	SUNNY BOY 6000US
Recommended Maximum PV Power (Module STC)	7500 W
DC Maximum Voltage	600 V
Peak Power Tracking Voltage	250–480 V
DC Maximum Input Current	25 A
Number of Fused String Inputs	3 (inverter), 4 x 20 A
PV Start Voltage	300 V
AC Nominal Power	6000 W
AC Maximum Output Power	6000 W
AC Maximum Output Current (@ 208, 240, 277 V)	29 A, 25 A, 22 A
AC Nominal Voltage Range	183 – 229 V @ 208 V 211 - 264 V @ 240 V 244 - 305 v @ 277 V
AC Frequency: nominal / range	60 Hz / 59.3 – 60.5 Hz
Power Factor (Nominal)	0.99
Peak Inverter Efficiency	97%
CEC Weighted Efficiency	95.5% @ 208 V 95.5% @ 240 V 96.0% @ 277 V

Tabla 5.5 Especificaciones Inversor SUNNY BOY 6000US

Para obtener los modelos de paneles fotovoltaicos e inversor se compararon los precios ofrecidos por distintos suplidores a través de Internet y se escogió el panel e inversor que cumplieran con los requisitos mínimos de garantía y eficiencia según la lista que provee la Administración de Asuntos Energéticos de Puerto Rico, y se tomó en consideración los modelos que resultaran en la mayor producción energética posible para así minimizar la cantidad de paneles e interconexiones necesarios. El precio por panel fotovoltaico Canadian Solar de 230 vatios es \$379.50 según la página *Affordable Solar*⁸. Por lo tanto el costo por vatio de un panel es de \$1.65 y el costo por vatio en paletas de 20 paneles incluyendo el flete es \$1.59. Este panel

⁸ Affordable Solar. <http://www.affordable-solar.com/store/solar-panels> (13 de Agosto de 2011)

fotovoltaico incluye una garantía de 25 años en la operación de los paneles y 98% de potencia nominal durante este termino de tiempo. Para los datos de Inversor se escogió el SUNNY BOY 6000US que está valorado en \$2,905.93 según la página de internet *Affordable Solar*⁹. Este equipo incluye una garantía de 10 años.

Utilizando los costos antes descritos para los equipos a instalarse se evaluó en HOMER las diferentes posibilidades para un diseño de energía renovable con paneles fotovoltaicos. Comparando la mejor opción para cada oficina con la posibilidad de utilizar sólo la energía proveniente de la AEE en el escenario #1 los resultados fueron los presentados en la Tabla 5.6.

⁹ Affordable Solar. http://www.affordable-solar.com/store/solar-inverters-grid-tied_2 (28 de junio de 2011)

	Oficina Mayagüez Sistema Fotovoltaico	Oficina Mayagüez Red Eléctrica AEE	Oficina San Germán Sistema Fotovoltaico	Oficina San Germán Red Eléctrica AEE	Oficina Hormigueros Sistema Fotovoltaico	Oficina Hormigueros Red Eléctrica AEE
Paneles Fotovoltaicos (kW)	4.83	N/A	4.83	N/A	5.52	N/A
Convertidor (kW)	7.5	N/A	7.5	N/A	7.5	N/A
Red Eléctrica (kW)	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Capital Inicial	\$11,267	\$0	\$11,267	\$0	\$12,488	\$0
Costo Operación (\$/año)	34	2,223	1,514	3,734	-42	2,398
Costo Presente Neto	\$12,022	\$48,954	\$46,848	\$87,767	\$11,507	\$56,367
Costo Energía (\$/kWh)	0.074	0.300	0.160	0.300	0.061	0.300
Fracción Renovable	0.74	0.00	0.54	0.00	0.76	0.00

Tabla 5.6 Resultados HOMER para Oficinas tomando en consideración el tamaño del Techo de la Oficina – escenario #1

A continuación se presentan el desglose de los resultados detallados para cada una de las oficinas de campo de proyectos de infraestructuras evaluadas dentro del escenario #1.

5.2.1 Resultados Económicos Oficina de Campo de Mayagüez

Para la oficina de Campo de la ciudad de Mayagüez el sistema óptimo de energía renovable tomando en consideración el espacio de techo disponible es un sistema de 21 paneles de 230 vatios con un inversor de 7.5 kilovatios para producir 4.83

kilovatios de energía en una hora por aproximadamente 5 horas diarias. Este sistema requiere una inversión inicial de \$11,267 después de recibir los créditos y descuentos aplicables, mientras que el costo de permanecer conectado a la red eléctrica de la AEE es \$0. Sin embargo se observa que el costo neto en el presente de la energía consumida en un periodo de 25 años con los equipos renovables instalados es de \$12,022 mientras que el costo neto al presente de no utilizar energía renovable y continuar con el uso de la red eléctrica AEE es de \$48,954. Esto representa un casi el 400% de aumento en el costo comparando entre una inversión y la otra. En la Figura 5.18 se muestra la producción de la energía renovable y el consumo en los diferentes meses del año para la oficina de Mayagüez.

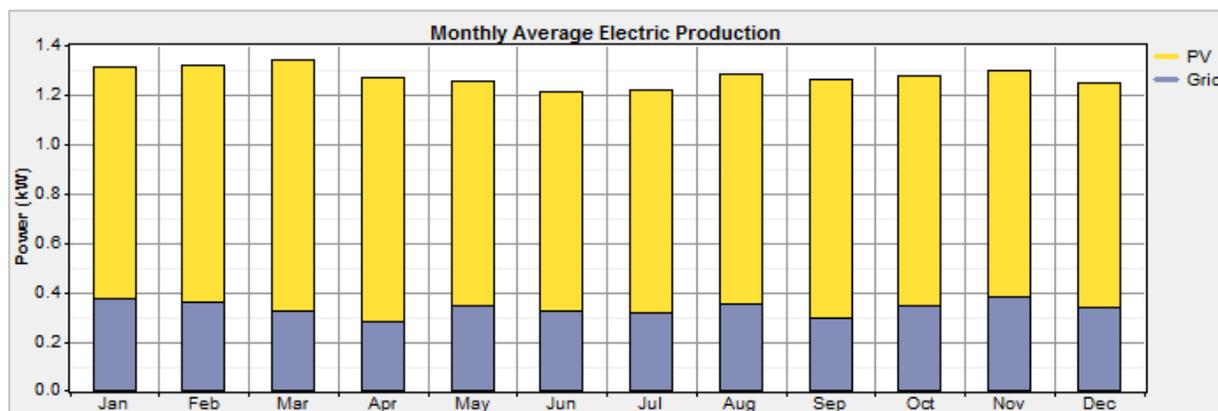


Figura 5.18 Producción Eléctrica Mensual de la Oficina de Campo Mayagüez¹⁰

Con este sistema renovable de 21 paneles fotovoltaicos produciendo cerca de 22.6 kilovatio hora al día y un consumo promedio diario de aproximadamente 27 kilovatios de energía en la oficina de campo de Mayagüez el 74% de esta energía

¹⁰ Imagen tomada de los resultados Programa HOMER

PV = sistema fotovoltaico

Grid = red eléctrica de la AEE

Power (kW) = Energía (kilovatio)

será producida por el sistema renovable mientras que el 26% restante de la energía que se consume sería adquirida de la red de energía eléctrica de la AEE. En los periodos de tiempo en que el sistema fotovoltaico está produciendo energía y ésta no es consumida por la oficina, se transfiere la energía de forma automática a la AEE. Según los resultados obtenidos a través del análisis en HOMER anualmente se le compraría a la AEE cerca de 2,945 vatios de energía mientras se transfiere a su red 2,946 vatios de energía producidos a través de los paneles fotovoltaicos para dejar una diferencia de -1 Vatio de energía comprado a través del año a la AEE. Lo que significa que la energía que se está comprando a la AEE esta siendo devuelta en su totalidad a la red. En la tabla 5.7 se muestra la compra y venta de energía a la AEE utilizando este sistema fotovoltaico.

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	280	260	20	2	6
Febrero	239	254	-15	2	-2
Marzo	240	299	-59	2	-6
Abril	204	245	-41	2	-4
Mayo	259	218	41	2	12
Junio	231	212	19	2	6
Julio	236	217	18	2	5
Agosto	260	236	23	2	7
Septiembre	214	263	-48	2	-5
Octubre	257	231	26	2	8
Noviembre	274	248	26	2	8
Diciembre	253	263	-10	2	-1
Anual	2,945	2,946	-1	2	34

Tabla 5.7 Compras de Energía realizadas a la Red Eléctrica de la AEE caso Mayagüez

Como el costo al que se compra la energía de la AEE, que para este caso fluctúa entre 27 y 30 centavos el vatio no es el mismo costo utilizado para la venta de energía, que son 10 centavos el vatio, siempre se incurre en un costo al utilizar la energía de la AEE. En el momento que se realizaron estos análisis económicos, en agosto de 2011, el costo del kilovatio hora en Puerto Rico estaba en 30 centavos de dólar. En febrero de 2012 este costo del kilovatio hora estaba en 28 centavos de dólar y este costo fluctúa de mes a mes. Para propósito de esta investigación se presumió un costo de kilovatio hora de 30 centavos de dólar.

En este caso de la oficina de campo de Mayagüez comprar a la AEE 2,945 vatios de energía eléctrica le cuesta al consumidor \$883.50 utilizando \$0.30/kilovatio-hora mientras que al venderle la misma cantidad de energía el costo que el consumidor recuperaría sería de \$294.50 con el costo del kilovatio hora de \$0.10/kilovatio-hora.

Una vez instalado este sistema fotovoltaico el costo por la energía se reduce a \$0.074 el kilovatio por el largo de la vida del proyecto. Esto será así después de haber recuperado la inversión realizada, que para este caso es después de 5.15 años de la instalación de los equipos y comenzar a producir energía eléctrica. En la Figura 5.19 se muestra el periodo de repago para la inversión del sistema renovable fotovoltaico en la oficina de campo de Mayagüez.

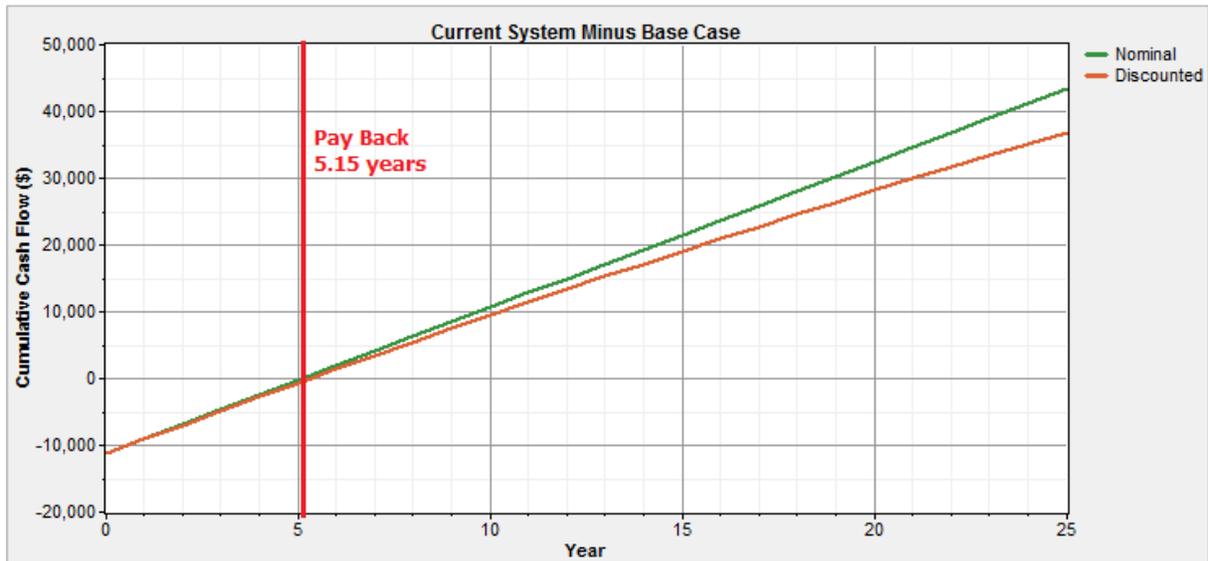


Figura 5.19 Periodo de Repago para Sistema Fotovoltaico de la Oficina de Mayagüez

Dentro de los resultados obtenidos luego de analizar los datos en HOMER se muestra el valor presente o *Present Worth* que es la diferencia entre el costo neto al presente del caso base y el sistema renovable que estamos analizando. El signo de este valor indica cuando el sistema compara favorablemente como una opción de inversión frente al caso base, que en este caso sería la opción de utilizar sólo energía eléctrica producida a través de combustibles fósiles como la producida por la AEE. El valor positivo indica que el sistema propuesto ahorra dinero a través de la vida del proyecto comparado con la opción de no utilizar un sistema de energía renovable. Para este caso, el valor presente es de \$36,932 lo que indica claramente que la opción de adquirir e instalar el sistema renovable fotovoltaico en la oficina de campo de proyecto de infraestructura en el caso de Mayagüez es favorable. También se presenta la tasa de retorno de la inversión que es la tasa de descuento donde el valor

presente neto del caso base se iguala con el valor presente neto del sistema renovable evaluado y si el resultado de esta tasa es positivo significa que es recomendable hacer la inversión en el sistema evaluado. Para este caso, la tasa de recuperación de inversión es de 19.4% lo que reafirma que es favorable realizar la inversión del sistema propuesto.

En la Tabla 5.8 se presentan los resultados de las diferentes métricas evaluadas por HOMER para los casos evaluados. El caso de la Oficina de Campo de Mayagüez fue descrito anteriormente mientras que los casos de las Oficinas de San Germán y Hormigueros se describen a continuación.

Escenario #1	Oficina Mayagüez Sistema Fotovoltaico	Oficina San Germán Sistema Fotovoltaico	Oficina Hormigueros Sistema Fotovoltaico
Costo ciclo de vida	\$36,932	\$40,919	\$44,859
Costo Anual	\$1,677/año	\$1,741/año	\$1,908/año
Tasa de retorno de Inversión	19.40%	19.70%	19.50%
Tasa de retorno Interna	19.20%	19.50%	19.30%
Recuperación Simple	5.15 años	5.07 años	5.12 años
Recuperación Con Descuento	5.31 años	5.15 años	5.20 años

Tabla 5.8 Resultados Métricas Económicas HOMER Escenario #1

5.2.2 Resultados Económicos Oficina de Campo de San Germán

Para el caso de la oficina de Campo de San Germán y tomando en consideración el espacio de techo provisto por la propia oficina se evaluó la instalación de un sistema solar fotovoltaico de 21 paneles solares de 230 vatios cada panel junto con un inversor de 7,500 vatios. Este sistema fotovoltaico es capaz de producir 4.83 kilovatios por hora para un total en capacidad de 24.15 kilovatios por día. El consumo eléctrico facturado para la oficina de campo de San Germán es de 74 kilovatios diarios, este consumo incluye la iluminación exterior nocturna y la utilización de la energía de la oficina para el suplido de energía de equipo de construcción. Luego de la auditoría energética realizada en el lugar se midió el consumo energético de los equipos eléctricos dentro de la oficina y se hicieron los cálculos pertinentes para obtener que el consumo real de la oficina de campo es de aproximadamente 34 kilovatios hora por día. Utilizando un sistema renovable fotovoltaico de 21 paneles fotovoltaicos capaz de producir 4.83 kilovatios por hora se puede generar el 54% de la carga energética necesaria para operar la oficina. Esto se traduce en que la mitad de la necesidad energética de la oficina será suplida por el sistema renovable evaluado y la restante necesidad energética será provista por la AEE. La Figura 5.20 muestra la distribución mensual aproximada de la energía para la oficina de campo de san Germán, en ella se puede ver la variación de mes a mes de la producción de energía renovable versus la adquirida de la AEE que es cerca de la mitad de la energía necesaria para ambos casos.

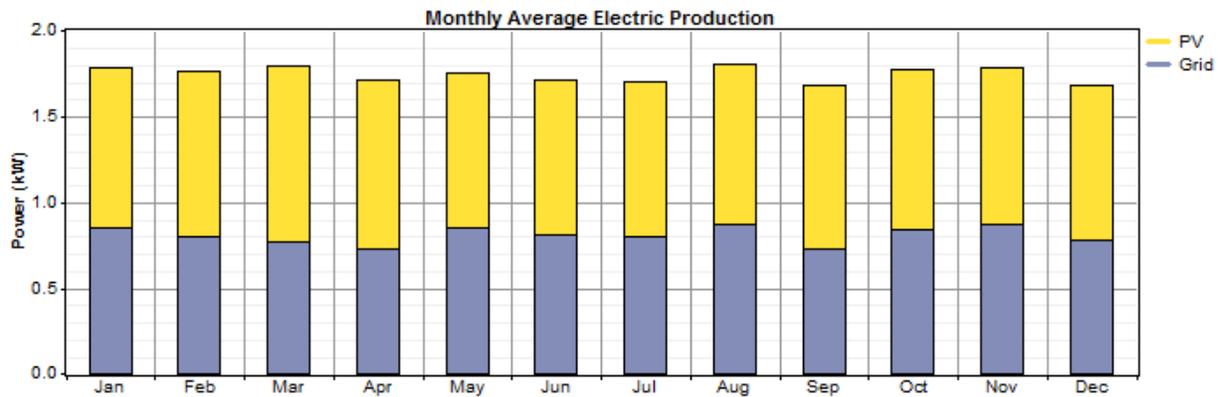


Figura 5.20 Producción Energía Eléctrica Mensual para Oficina de San Germán¹¹

La oficina evaluada consume cerca de 15,306 kilovatios hora al año de los cuales 8,223 kilovatios hora serán provistos por el sistema renovable fotovoltaico y cerca de 7,083 kilovatios hora serán adquiridos de la red de energía eléctrica de la AEE. Como se mencionó en el caso anterior el costo de venderle la energía renovable no utilizada a la AEE es menor comparado con el costo que la AEE le vende la energía a los consumidores. Para este caso se le compra a la AEE 7,083 kilovatios hora al año con un valor de 30 centavos de dólar el vatio para totalizar \$2,124.90 y se le vende a la AEE 2,037 kilovatios hora al año a un costo de 10 centavos de dólar por vatio para obtener una recuperación de \$203.70 por la energía aportada a la red eléctrica de la AEE. La Tabla 5.9 muestra los resultados de la compra y venta de energía a la AEE dado el sistema fotovoltaico propuesto.

¹¹ Imagen tomada de programa de computación HOMER
 PV = Sistema fotovoltaico
 Grid = Red eléctrica de la AEE
 Power (kW) = Energía (kilovatio)

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	634	168	466	5	140
Febrero	540	174	366	5	110
Marzo	573	204	369	5	111
Abril	524	158	366	5	110
Mayo	632	159	473	5	142
Junio	587	158	429	5	129
Julio	594	152	442	5	133
Agosto	645	161	484	5	145
Septiembre	521	177	344	5	103
Octubre	629	158	471	5	141
Noviembre	626	182	444	5	133
Diciembre	578	186	392	5	118
Anual	7,083	2,037	5,046	5	1,514

Tabla 5.9 Compras de Energía realizadas a la Red Eléctrica de la AEE caso San Germán – escenario #1

Este sistema fotovoltaico de 21 paneles de 230 vatios y un inversor de 7,500 vatios requiere una inversión inicial de \$11,267 después de los descuentos e incentivos aplicables bajo la Ley 83 mientras que el costo inicial o de inversión de capital por estar conectado a la AEE es de \$0.¹² Sin embargo cuando observamos los resultados del costo neto en el presente para este caso tomando en cuenta los 25 años de vida del proyecto vemos que para el sistema renovable este costo es de \$46,848 versus permanecer conectado a la AEE solamente que tendría un costo neto en el presente de \$87,767. La Figura 5.21 presenta el flujo de dinero nominal a través de los años para este caso. El costo neto de permanecer conectado únicamente a la AEE duplica la opción de realizar una inversión en el sistema

¹² Ver sección 3.7 donde se detallan descuentos e incentivos aplicables

renovable propuesto. De hacerse esta inversión el costo por kilovatio hora se reduce a \$0.16 a lo largo de vida del proyecto mientras que continuar conectado a la AEE presume fluctuaciones en los precios y aumentos de estos debido a la inflación y al aumento del costo del petróleo y combustibles fósiles. Otros costos evaluados son los costos de operación y mantenimiento que para el sistema renovable propuesto son de \$1,514 al año debido a la porción de energía que no cubre el sistema renovable, y para la oficina que opera sólo con la energía de la AEE este costo es de \$3,734 al año. Los costos antes mencionados presentan como mejor opción la adquisición del equipo renovable fotovoltaico para la oficina de campo del proyecto de San Germán. Sin embargo, son las métricas económicas las que mejor recomiendan la adquisición del sistema renovable a evaluarse.

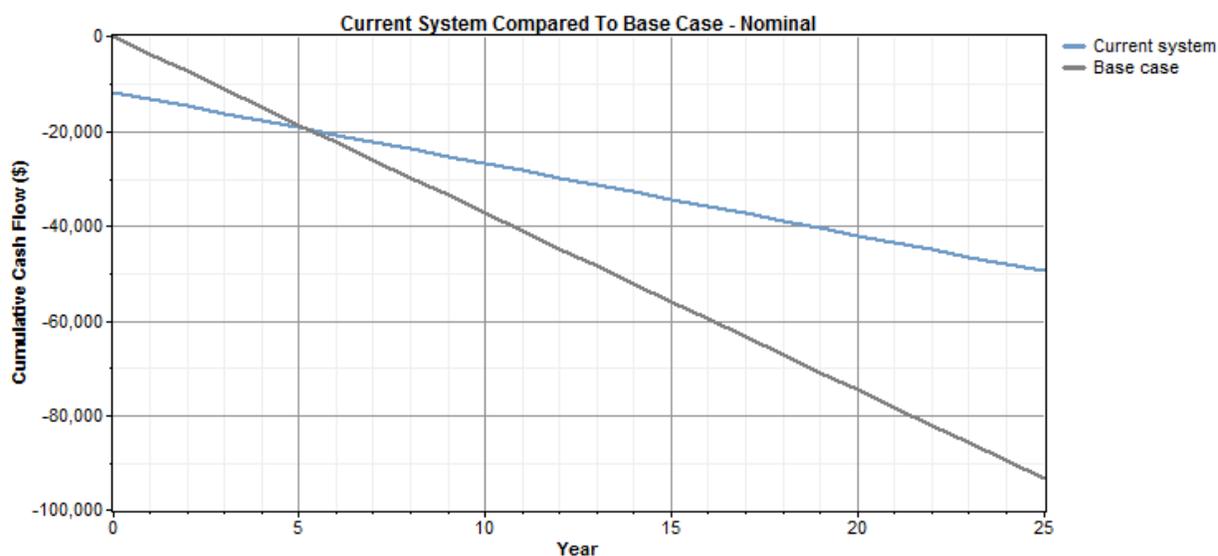


Figura 5.21 Flujo de Dinero Nominal Acumulado a través de los Años caso San Germán

Las métricas evaluadas por HOMER para este caso presentan un valor presente de \$40,919 mientras que el valor anual es de \$1,741. El valor de la tasa de retorno de la inversión es de 19.7% y la razón interna de retorno es de 19.5%, ambos valores positivos sirven de base para la recomendación de la adquisición de este sistema renovable fotovoltaico evaluado para esta oficina de campo en el proyecto de San Germán. Con estos resultados y la Inversión propuesta se espera un periodo de recuperación de la inversión de 5.07 años presentado en la Figura 5.22.

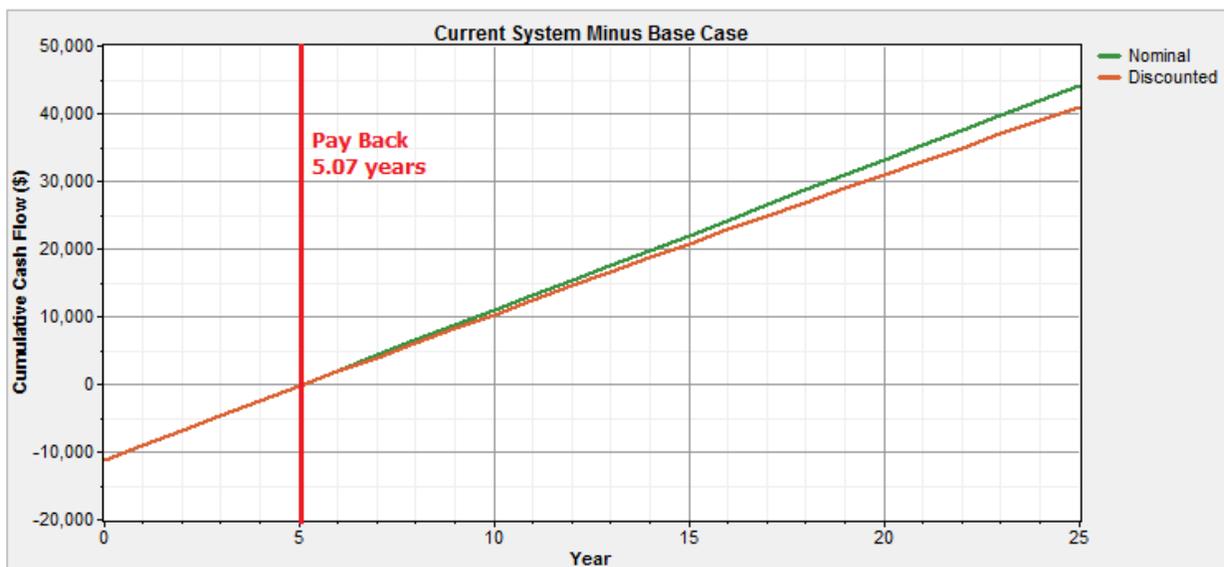


Figura 5.22 Periodo de Repago Caso Oficina De Proyecto San Germán

5.2.3 Resultados Económicos Oficina de Campo de Hormigueros

En el caso de la oficina de proyectos de Hormigueros según el espacio disponible en el techo de la oficina se propuso un sistema fotovoltaico de 24 paneles de 230 vatios cada panel para un total de 5.52 kilovatios, con un inversor de 7,500 vatios. Este sistema fotovoltaico es capaz de producir 25.7 kilovatios hora diariamente para

una producción total en un año de 9,364 kilovatios hora. La inversión inicial en este sistema es aproximadamente de \$12,488 después de los incentivos, descuentos y créditos aplicables mientras que el costo neto en el presente es de \$11,507 versus el costo neto en el presente de continuar utilizando sólo la energía eléctrica de la AEE que es de \$56,367. La operación de este sistema presume un costo de operación y mantenimiento anual de negativo \$42 versus la utilización de la red eléctrica de la AEE que asume un costo de operación y mantenimiento de \$2,398. La implementación de este sistema renovable fotovoltaico reduce el costo de la electricidad a lo largo de vida del proyecto a \$0.061 por kilovatio hora mientras que el costo de utilizar la AEE fluctúa entre los 27 centavos de dólar y 30 centavos de dólar aparte de estar sujetos a los cambios abruptos de precio debido a los precios de venta del petróleo a nivel mundial. Este sistema renovable cubre cerca del 76% de la energía necesitada para la operación de la oficina. En la Figura 5.23 se muestra un perfil del consumo eléctrico mensual de la oficina de campo de Hormigueros con el sistema renovable propuesto instalado.

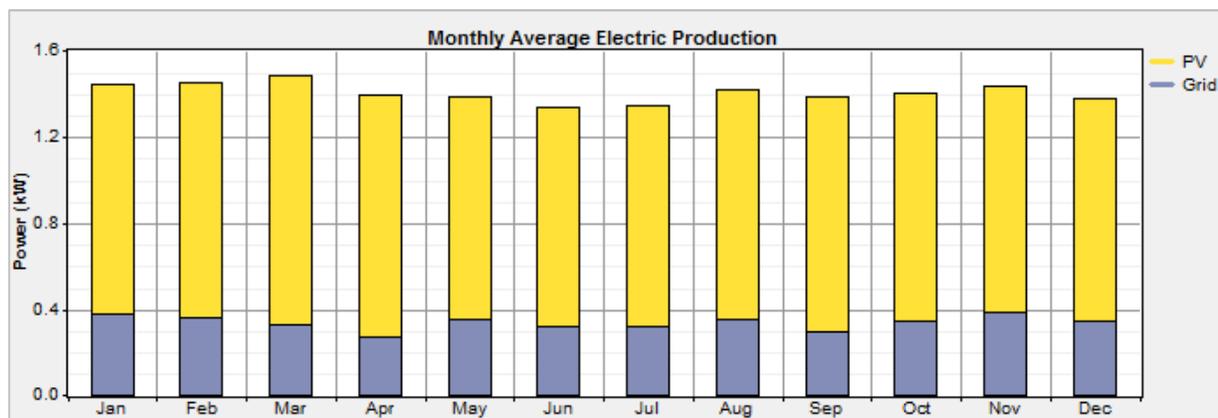


Figura 5.23 Perfil de Consumo Eléctrico mensual Oficina Hormigueros

Este sistema eléctrico fotovoltaico es capaz de producir 9,364 kilovatios en un año mientras que se adquiere de la red eléctrica de la AEE cerca de 2,951 kilovatios en un año para un total de 12,315 kilovatios de producción total del sistema. Por lo que observamos que el 76% de la energía es producida a través del sistema fotovoltaico. Sin embargo, de la red eléctrica de la AEE se compran 2,951 kilovatios y se le venden, a través del programa de Medición Neta ó *Net Metering* 3,385 kilovatios. Como el costo del kilovatio en la compra y venta a la AEE es diferente tenemos que para la compra se invierte \$885.30 mientras que por la energía que se le vende a la AEE se recuperan \$338.50, esto es así porque la energía que se adquiere de la AEE tiene un valor de 30 centavos de dólar mientras que la energía que se le vende a la AEE tiene un valor de 10 centavos de dólar. En términos de los kilovatios hora el sistema renovable tiene una compra neta al sistema eléctrico de la AEE de -434 kilovatios hora, lo que significa que existe un sobrante de energía producido por el sistema renovable y que cancela la energía utilizada de la AEE. Si el costo de comprar energía a la red eléctrica de la AEE fuera el mismo que al venderle energía, la AEE le tendría que devolver al cliente \$130.20 a un costo de kilovatio de 30 centavos de dólar. La Tabla 5.10 se muestra las compras y venta de energía a la red eléctrica de la AEE. Se observa que sólo en el mes de mayo se realiza una compra neta, mientras que los demás meses del año es mayor la energía que se le vende a la AEE que la que se adquiere de ellos. También podemos observar que la demanda

pico de energía no sobrepasa los 3 kilovatios y que en promedio es de 2 kilovatios para este caso.

Otros resultados obtenidos a través de la evaluación en HOMER de este caso fueron las métricas. El resultado del valor presente para este caso fue de \$44,859 mientras que el valor anual fue de \$1,908. El valor presente nos indica que el sistema propuesto ahorra dinero a través de la vida del proyecto comparado con el sistema base que es permanecer conectado a la red eléctrica de la AEE únicamente.

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	281	296	-15	3	-1
Febrero	240	290	-50	3	-5
Marzo	242	346	-104	2	-10
Abril	197	279	-82	2	-8
Mayo	261	253	8	2	3
Junio	229	243	-14	2	-1
Julio	235	251	-16	2	-2
Agosto	261	273	-12	3	-1
Septiembre	212	301	-89	3	-9
Octubre	258	267	-9	2	-1
Noviembre	280	287	-6	3	-1
Diciembre	254	300	-46	2	-5
Anual	2,951	3,385	-434	3	-42

Tabla 5.10 Compras de Energía realizadas a la Red Eléctrica de la AEE caso Hormigueros – escenario #1

Entre otros resultados se obtuvo también la tasa de retorno de inversión con un valor de 19.50% y la tasa de retorno interna con un valor de 19.30%. Estos valores

son indicadores de cuan recomendable debe ser la inversión en el sistema renovable propuesto. También se presenta en la Figura 5.24 el tiempo de recuperación de la inversión que para este caso es de 5.12 años.

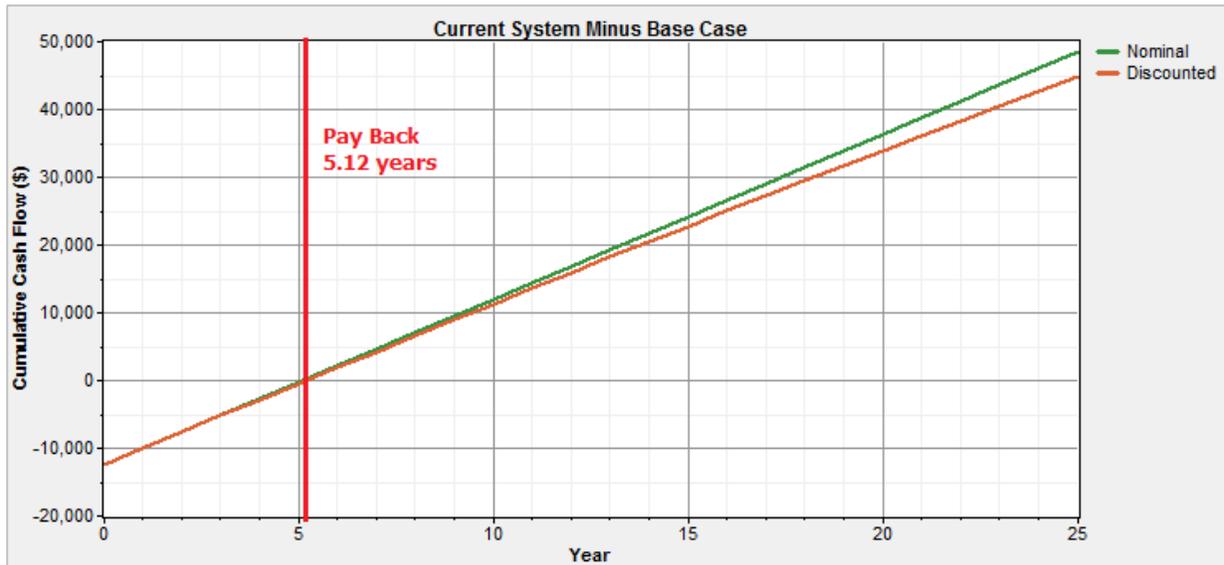


Figura 5.24 Periodo de Repago Caso Oficina Hormigueros –escenario #1

5.2.4 Dinero a Través del Tiempo Oficina Hormigueros

Otros ejemplos de resultados que se obtuvieron en este estudio utilizando HOMER son las gráficas de flujo de dinero a través del tiempo y el desglose del costo neto al presente de la inversión que se esta proponiendo con el sistema solar fotovoltaico. La Figura 5.25 presenta el desglose del costo neto al presente para el caso de Hormigueros. En el caso de la oficina de Hormigueros este sistema muestra un valor negativo cuando se calcula el costo del *Grid* o, en este caso red de energía eléctrica AEE, que significa que lo que se adquiere de la red de la AEE son ganancias y no gastos. Esto es así porque el sistema eléctrico fotovoltaico propuesto produce

mas energía de la que consume a través de los años y este exceso de energía se le esta vendiendo a la AEE.

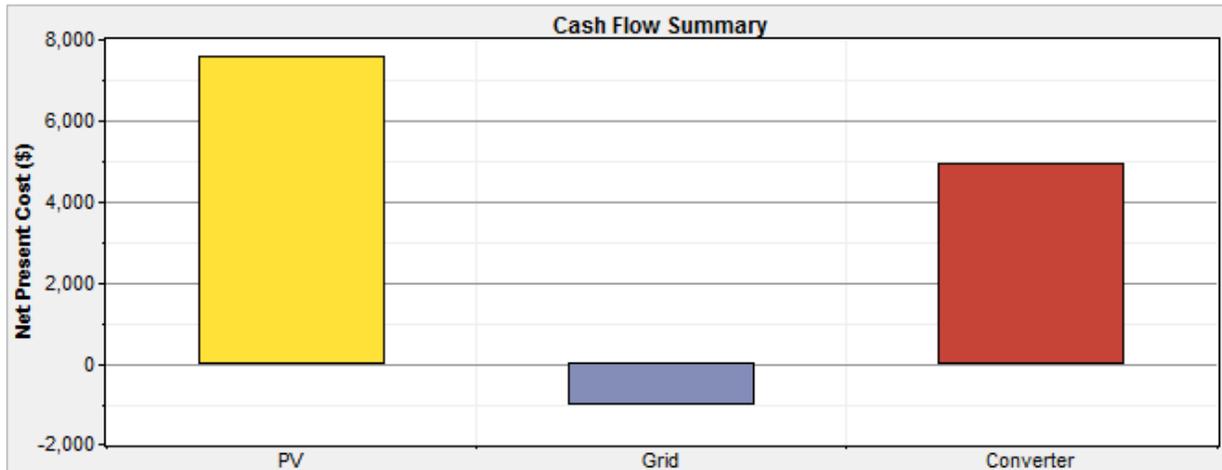


Figura 5.25 Desglose dinero costo neto en el presente caso Hormigueros¹³

En la Tabla 5.11 se muestra la distribución del dinero invertido a través del costo neto al presente para la inversión inicial, conocida como capital y el total que toma en consideración los 25 años de vida del proyecto evaluado para el caso de Hormigueros. Así como en la Figura 5.26 observamos la distribución de dinero a través del tiempo para este mismo caso. Al comienzo del proyecto este presume una inversión de 12,500 dólares mientras que al finalizar el proyecto a los 25 años se espera tener un ahorro acumulado de cerca de 45,000 dólares. Se aclara que la duración de las garantías de los equipos fotovoltaicos para trabajar en la eficiencia provista por los fabricantes es de 25 años, por tal razón se escogió esta cantidad de tiempo como la vida del proyecto. Sin embargo se espera que los equipos

¹³ Imagen tomada de los resultados programa HOMER

PV = Sistema Fotovoltaico
 Grid = Red eléctrica de la AEE
 Converter = Convertidor

instalados continúen funcionando así que se presume que luego de los 25 años el cliente continuará obteniendo beneficios del sistema.

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	7,568	0	7,568
Red AEE	0	-981	-981
Convertidor	4,920	0	4,920
Sistema	12,488	-981	11,507

Tabla 5.11 Desglose de Costos Para el costo Neto al presente Caso Hormigueros

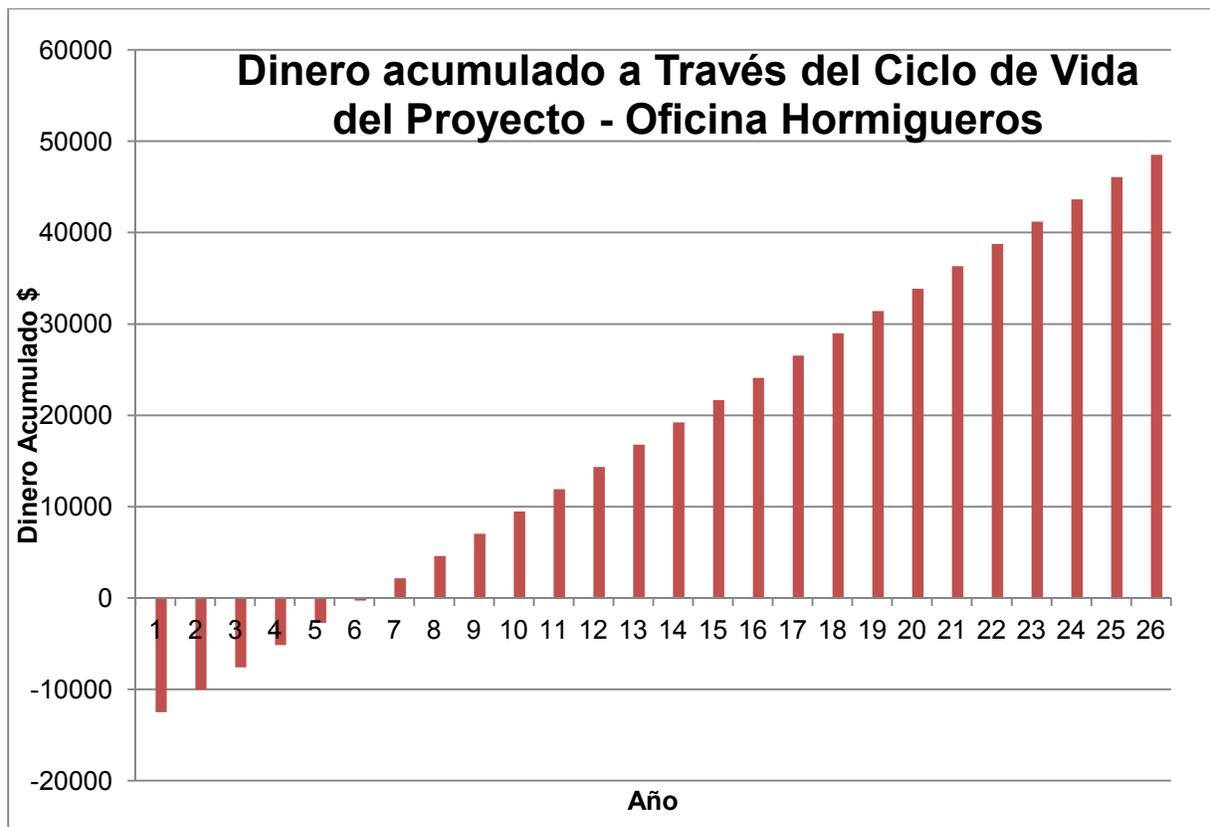


Figura 5.26 Flujo de dinero acumulado a través del ciclo de vida del proyecto - oficina Hormigueros escenario #1

5.2.5 Dinero a Través del Tiempo Oficina Mayagüez

La Figura 5.27 muestra el desglose de los costos de inversión en el presente para los sistemas eléctricos adquiridos en la oficina de Mayagüez. En este caso el componente perteneciente a la red eléctrica de la AEE aporta un valor positivo al costo neto presente del sistema por que se espera que a través del ciclo de vida del proyecto la oficina continúe utilizando energía de la AEE y ésta sea mayor que la que se pueda vender producto del sistema fotovoltaico a través del programa de *Net Metering*.

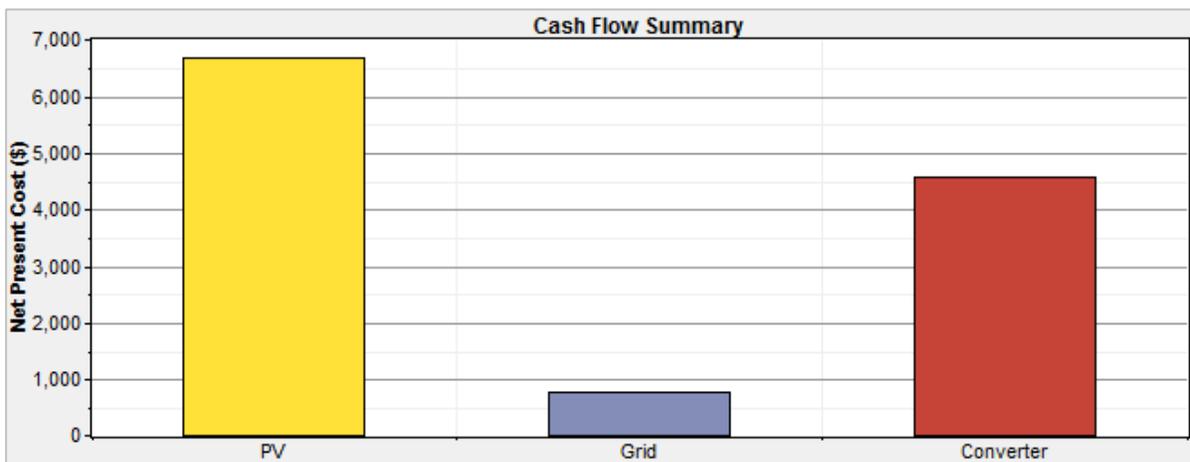


Figura 5.27 Desglose Dinero Costo neto al presente Caso Mayagüez¹⁴

En la Tabla 5.12 se observan los diferentes componentes evaluados en la Inversión inicial del sistema eléctrico fotovoltaico para el Costo Neto al Presente de la oficina de Mayagüez. Se puede observar que el costo total, que es el costo neto en el

¹⁴ Resumen de Flujo de dinero

PV = sistema fotovoltaico

Grid = red eléctrica de la AEE

Converter = convertidor

Net Present Cost = Costo neto al presente ó ciclo de vida del proyecto

presente es mayor que la inversión de capital debido a que se le añade el costo de operación y mantenimiento e incluido en este costo se encuentra el costo de operar la red de energía eléctrica de la AEE.

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	6,685	0	6,685
Red AEE	0	755	755
Convertidor	4,583	0	4,583
Sistema	11,267	755	12,022

Tabla 5.12 Desglose de Costos Para el Costo Neto al presente Caso Mayagüez

En la Figura 5.28 se muestra un grafico del dinero acumulado a través del tiempo para la Inversión en el caso de la oficina de Mayagüez. Este sistema presenta una Inversión neta de cerca de 12,000 dólares al comienzo del proyecto, sin embargo al final del ciclo de vida del proyecto que para los casos evaluados es de 25 años este sistema presenta unos ahorros de 37,000 dólares por lo que es favorable la inversión en un sistema renovable fotovoltaico como el evaluado.

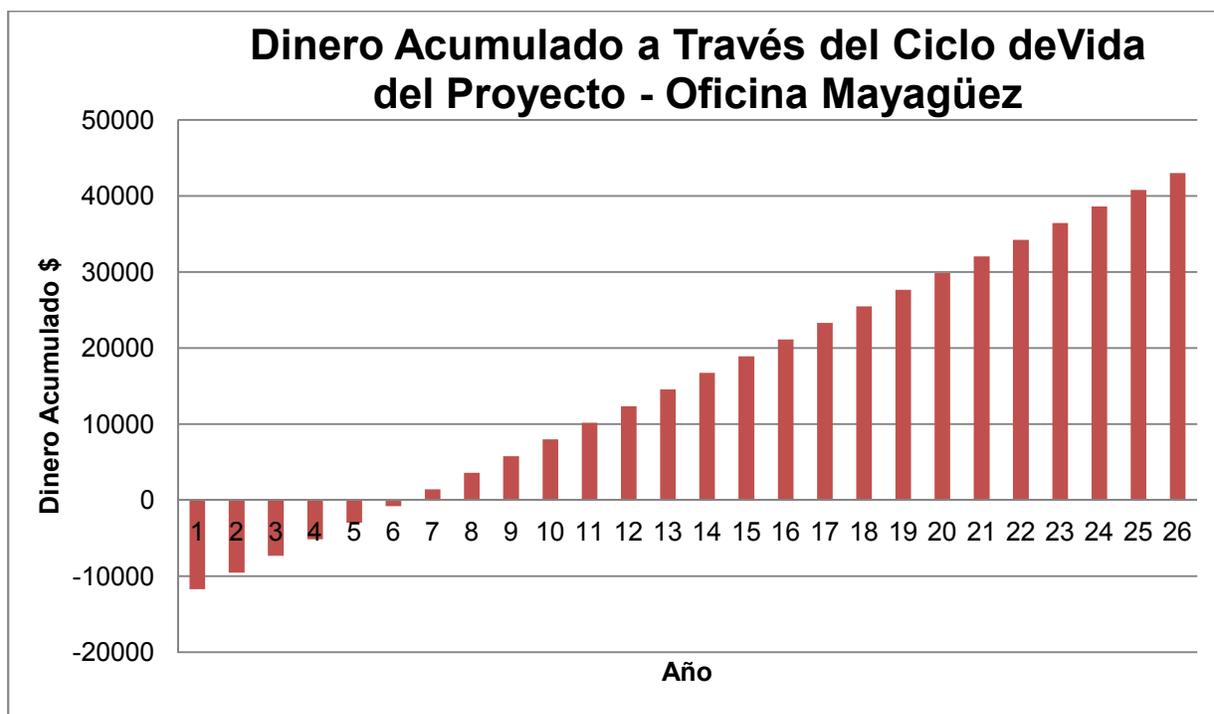


Figura 5.28 Dinero acumulado a través del ciclo de vida del proyecto - oficina Mayagüez escenario #1

5.2.6 Dinero a Través del Tiempo Oficina San Germán

En la Figura 5.29 se presenta el desglose del costo de los componentes evaluados para el sistema renovable fotovoltaico a ser recomendado en la oficina de proyectos de San Germán. Se puede observar que para este caso la inversión mayor se realiza en los costos de adquirir la energía eléctrica mediante la red eléctrica de la AEE. Esto se debe a que la demanda energética de esta oficina duplica la demanda energética de los casos antes expuestos, el de la oficina de Mayagüez y la oficina de Hormigueros, para un tamaño de oficina similar.

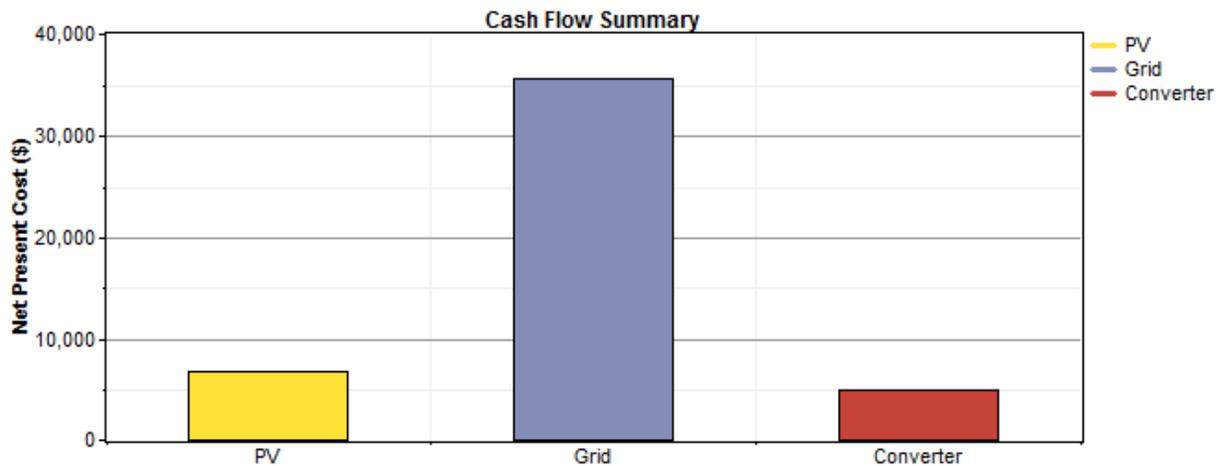


Figura 5.29 Desglose de dinero del costo neto al presente oficina San Germán escenario #1¹⁵

En la Tabla 5.13 se presenta el desglose del costo neto al presente de los diferentes componentes del sistema renovable fotovoltaico evaluado para la oficina de campo del proyecto de San Germán. El costo neto al presente de esta inversión es de 46,848 dólares mientras que la inversión inicial luego de las exenciones y créditos aplicables es de 11,267 dólares. Esto es así por que al costo neto en el presente se le añade el costo de operación y mantenimiento, y este costo incluye el costo de operar la oficina con la energía producida a través de la AEE. Para este caso sólo el 54% de necesidad energética es cubierta con energía renovable por lo que la cantidad de energía eléctrica adquirida de la AEE es mayor que en los casos anteriores y por ende más costosa. En este caso la adquisición de energía eléctrica a

¹⁵ Resumen de Flujo de dinero

PV = sistema fotovoltaico

Grid = red eléctrica de la AEE

Converter = convertidor

Net Present Cost = Costo neto al presente ó ciclo de vida del proyecto

través de las redes de la AEE triplica el costo de la inversión inicial del sistema fotovoltaico.

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	6,685	0	6,685
Red AEE	0	35,581	35,581
Convertidor	4,583	0	4,583
Sistema	11,267	35,581	46,848

Tabla 5.13 Desglose de Costos para el Costo Neto Al Presente Caso San Germán

En la Figura 5.30 se muestra un grafico del dinero acumulado a través del tiempo para la oficina de San Germán. Se espera que después de una inversión inicial de cerca de 11,267 dólares el sistema genere en ahorros al cliente cerca de 41,000 dólares al final de los 25 años para los que fue diseñado el sistema renovable. Después de este tiempo se espera que el sistema continúe generando ahorros al cliente sin embargo es posible que el cliente tenga que incurrir en algún gasto de mejoras a los equipos existentes del sistema renovable fotovoltaico.

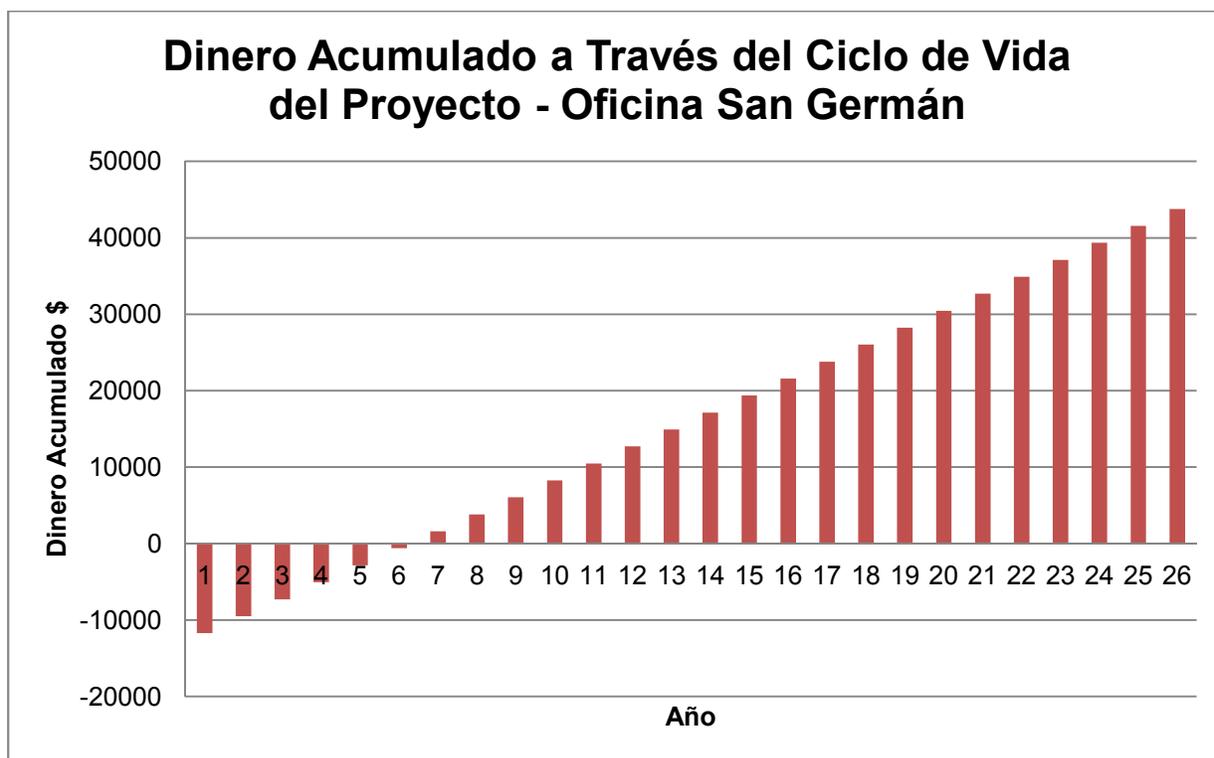


Figura 5.30 Dinero acumulado a través del ciclo de vida del proyecto oficina San Germán - escenario #1

5.2.7 Análisis Económico de los Sistemas de Energía Renovables

Como resultado de esta investigación se propusieron dos diseños conceptuales de sistemas renovables fotovoltaicos para las oficinas de campo estudiadas en el escenario #1. El primer sistema renovable fotovoltaico consiste de 21 paneles fotovoltaicos, un inversor, un controlador de carga y demás equipo necesario para su instalación. El segundo sistema fotovoltaico propuesto consiste de 24 paneles fotovoltaicos, un inversor, un controlador de carga y demás equipo necesario para su instalación. En las Figuras 5.31 y 5.32 podemos observar los diferentes sistemas

fotovoltaicos instalados sobre una oficina de proyectos de construcción para el escenario #1.



Figura 5.31 Conceptual Oficina de Proyectos con Sistema Fotovoltaico 24 paneles – escenario #1



Figura 5.32 Conceptual Oficina de Proyectos con Sistema Fotovoltaico 21 paneles – escenario #1

Este tráiler utilizado como oficina de proyectos de construcción es un modelo a escala de una oficina real con 40 pies de largo y 10 pies de ancho. Los paneles ubicados sobre el techo de la oficina simulan una inclinación de 18 grados, la necesaria para una radiación solar directa sobre los paneles fotovoltaicos en Puerto Rico.

El costo de estos sistemas al cliente depende de los diferentes incentivos, créditos contributivos o exenciones económicas a los cuales cualifique. Sin embargo, si el cliente va a adquirir un sistema fotovoltaico como los antes propuestos, los costos totales sin ningún tipo de beneficio económico externo e incluyendo instalación serian los siguientes:

- Para un sistema fotovoltaico de 24 paneles y utilizando los modelos de panel fotovoltaico e inversor antes descritos el costo total de la inversión sería de \$31,238.37. Este costo incluye la compra y transportación de los equipos a instalarse tales como los paneles fotovoltaicos, el inversor, los cables y materiales eléctricos necesarios, así como los materiales de instalación. Este costo antes expuesto incluye el costo de ser certificado por la AEE como un sistema fotovoltaico autorizado a operar en Puerto Rico.
- Para un sistema fotovoltaico de 21 paneles y utilizando los modelos de panel fotovoltaicos e inversores antes descritos el costo total de la inversión seria de \$28,196.60. Este costo incluye los mismos costos que se describieron para el sistema de 24 paneles.

En la Tabla 5.14 se observan los costos de realizar una inversión en los equipos solares fotovoltaicos de 24 y 21 paneles. Se compara el costo de hacer la inversión con incentivos gubernamentales y el costo de adquirir estos equipos por cuenta del cliente. Estos costos son sólo de adquirir los equipos e instalarlos. Como estos sistemas no sustituyen el 100% de la energía consumida en las oficinas a instalarse es necesario evaluar el costo neto al presente del sistema fotovoltaico incluyendo los costos de adquirir la energía de la AEE. En las secciones 5.2.1 a la 5.2.3 se discute en detalle este tema.

Sistema Fotovoltaico 24 paneles		Sistema Fotovoltaico 21 paneles	
Costo sin Incentivos	Costo con Incentivos	Costo sin Incentivos	Costo con Incentivos
\$31,238	\$12,495	\$28,196	\$11,278

Tabla 5.14 Costos Inversión Sistemas Fotovoltaicos 21 y 24 paneles

Cuando se menciona el costo con incentivos se refiere a las diferentes ayudas gubernamentales o créditos contributivos aplicables. Para este caso se aplicó los créditos contributivos de la Ley 83 del Fondo de Energía Verde Para Puerto Rico que establece que los proyectos Nivel I menores a los 100 Kilovatios de instalación tienen derecho a un reembolso del 60% de la inversión incluyendo instalación.

Como resultado de esta investigación también se propusieron dos diseños conceptuales de sistemas renovables fotovoltaicos para las oficinas de campo estudiadas en los escenarios #2 y #3. Los sistemas renovables fotovoltaicos

considerados para el escenario #2 fueron de 30 paneles fotovoltaicos, un inversor, un controlador de carga y demás equipo necesario para su instalación. El segundo sistema fotovoltaico propuesto consiste de 42 paneles fotovoltaicos, dos inversores, un controlador de carga y demás equipo necesario para su instalación. En la Figura 5.33 podemos observar el conceptual de un sistema fotovoltaico instalado sobre una oficina de proyectos de construcción y el sobre techo adicional.

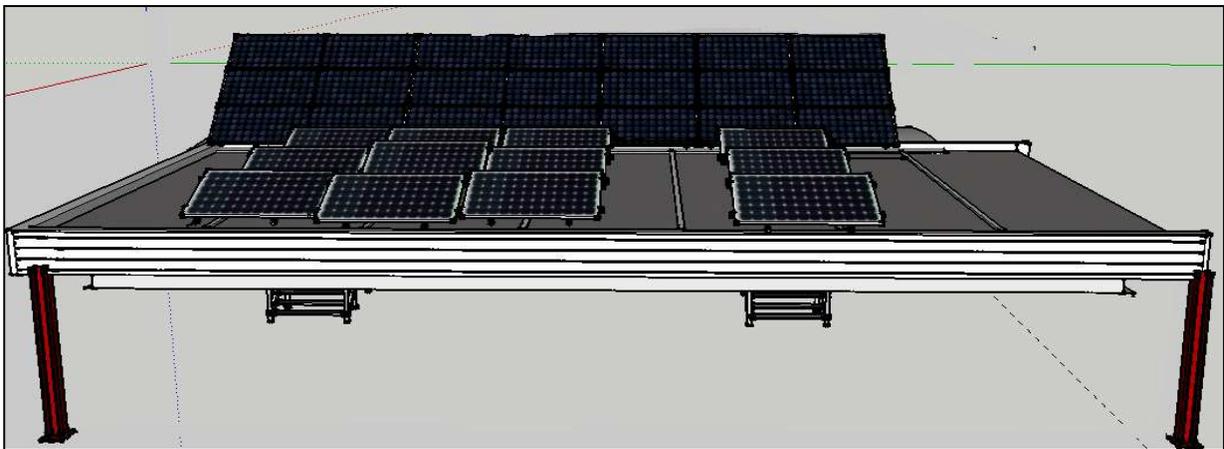


Figura 5.33 Conceptual Oficina de proyectos con sistema fotovoltaico – escenario #2

El costo de estos sistemas al cliente depende de los diferentes incentivos, créditos contributivos o exenciones económicas a los cuales cualifique. Sin embargo, si el cliente va a adquirir un sistema fotovoltaico como los antes propuestos, los costos totales sin ningún tipo de beneficio económico externo e incluyendo instalación serian los siguientes:

- Para un sistema fotovoltaico de 30 paneles y utilizando los modelos de panel fotovoltaico e inversor antes descritos el costo total de la inversión sería de \$37,705. Este costo incluye la compra y transportación de los equipos a

instalarse tales como los paneles fotovoltaicos, el inversor, los cables y materiales eléctricos necesarios, así como los materiales de instalación. Este costo antes expuesto incluye el costo de ser certificado por la AEE como un sistema fotovoltaico autorizado a operar en Puerto Rico.

- Para un sistema fotovoltaico de 42 paneles y utilizando los modelos de panel fotovoltaicos e inversores antes descritos el costo total de la inversión sería de \$52,619. Este costo incluye los mismos costos que se describieron para el sistema de 30 paneles.

En la Tabla 5.15 se observan los costos de realizar una inversión en los equipos solares fotovoltaicos de 30 y 42 paneles. Los costos con incentivos son presumiendo que el dueño se acoge al 60% de reembolso de la Ley 83 explicada anteriormente.

Sistema Fotovoltaico 30 paneles		Sistema Fotovoltaico 42 paneles	
Costo sin Incentivos	Costo con Incentivos	Costo sin Incentivos	Costo con Incentivos
\$37,705	\$15,075	\$52,619	\$28,196

Tabla 5.15 Costos inversión sistema fotovoltaico de 30 y 42 paneles

Los sistemas renovables fotovoltaicos considerados para el escenario #3 fueron de 42 paneles fotovoltaicos, dos inversores, un controlador de carga y demás equipo necesario para su instalación. El segundo sistema fotovoltaico propuesto consiste de 63 paneles fotovoltaicos, dos inversores, un controlador de carga y demás equipo necesario para su instalación. En la Figura 5.34 podemos observar el conceptual de

un sistema fotovoltaico instalado sobre una oficina de proyectos de construcción y el sobre techo adicional.

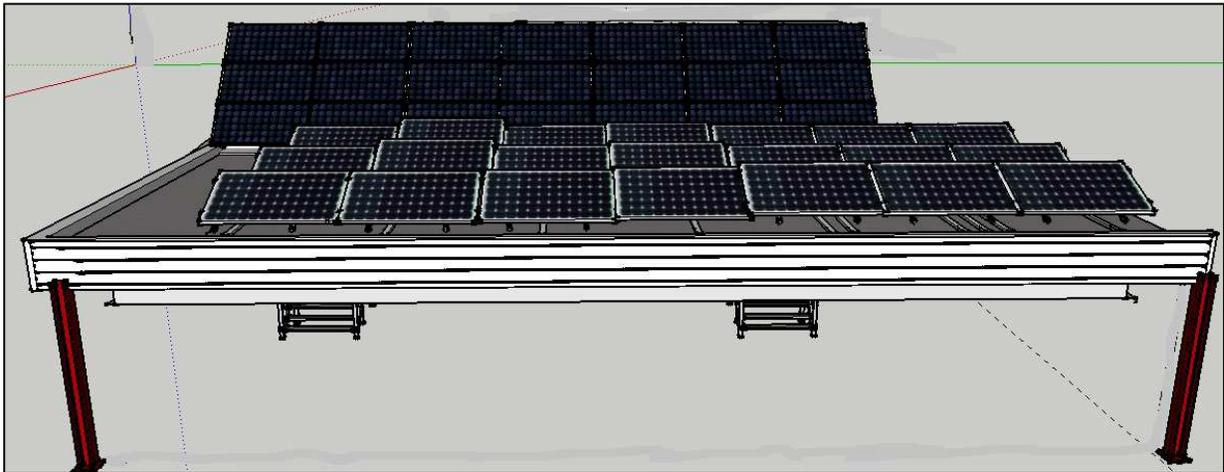


Figura 5.34 Conceptual oficina de proyectos con sistema fotovoltaico – escenario #3

Como se ha mencionado anteriormente el costo de estos sistemas para el cliente depende de los diferentes incentivos, créditos contributivos o exenciones económicas a los cuales cualifique. Sin embargo, si el cliente va a adquirir un sistema fotovoltaico como los antes propuestos, los costos totales sin ningún tipo de beneficio económico externo e incluyendo instalación serian los siguientes:

- Para un sistema fotovoltaico de 42 paneles y utilizando los modelos de panel fotovoltaico e inversor antes descritos el costo total de la inversión sería de \$52,619. Este costo incluye la compra y transportación de los equipos a instalarse tales como los paneles fotovoltaicos, los inversores, los cables y materiales eléctricos necesarios, así como los materiales de instalación. Este

costo antes expuesto incluye el costo de ser certificado por la AEE como un sistema fotovoltaico autorizado a operar en Puerto Rico.

- Para un sistema fotovoltaico de 63 paneles y utilizando los modelos de panel fotovoltaicos e inversores antes descritos el costo total de la inversión sería de \$73,919. Este costo incluye los mismos costos que se describieron para el sistema de 42 paneles.

En la Tabla 5.16 se observan los costos de realizar una inversión en los equipos solares fotovoltaicos de 42 y 63 paneles. Los costos con incentivos son presumiendo que el dueño se acoge al 60% de reembolso de la Ley 83 explicada anteriormente.

Sistema Fotovoltaico 42 paneles		Sistema Fotovoltaico 63 paneles	
Costo sin Incentivos	Costo con Incentivos	Costo sin Incentivos	Costo con Incentivos
\$52,619	\$21,032	\$73,912	\$29,555

Tabla 5.16 Costos inversión sistema fotovoltaico de 42 y 63 paneles

5.2.8 Resultados Escenarios Evaluados

Esta investigación evaluó la viabilidad de instalar un sistema fotovoltaico sobre la oficina de campo de proyectos de construcción para proveer las cargas energéticas necesarias para el funcionamiento de éstas. Sin embargo, existe la posibilidad de evaluar otros escenarios dentro de los diseños de sistemas renovables fotovoltaicos para las oficinas de proyectos de construcción. Se tomó como escenario #1 el diseño de un sistema fotovoltaico para la oficina de proyectos de construcción y el área

provista por el techo de la oficina. Como escenario #2 se evaluó el área provista por el techo de la oficina, adicional a un área de sobre techo que en los casos estudiados provee sombra a las oficinas. Esta es de aproximadamente 1,200 pies cuadrados en cada caso estudiado. En ambos escenarios las cargas evaluadas fueron las cargas de los equipos electrónicos utilizados dentro de las oficinas sin incluir iluminación exterior e iluminación nocturna. En el escenario #3 se diseñó un sistema fotovoltaico que cubriera la necesidad energética de la oficina de campo de proyectos tomando en consideración la factura eléctrica de cada oficina. Esta incluye el total de carga eléctrica facturado para cada caso incluyendo iluminación nocturna y cualquier otro uso adicional que se le pueda dar a la oficina. En el apéndice número dos se encuentran los resúmenes de los reportes de los análisis económicos y ambientales realizados por HOMER para cada caso y escenario evaluado.

Como los sistemas fotovoltaicos evaluados no están diseñados para almacenar energía (no llevan baterías), si se desea sustituir el 100% de la necesidad energética por energía producto del sistema renovable hay que aumentar la cantidad de paneles fotovoltaicos hasta cubrir el 100% de la carga, y aun así el sistema estará utilizando energía de la red eléctrica de la AEE durante los periodos nocturnos cuando el sistema renovable no produce energía.

En la Tabla 5.17 se presentan los resultados obtenidos del análisis para el diseño conceptual del sistema fotovoltaico para cada caso estudiado en el escenario #1. Los detalles de estos casos fueron discutidos anteriormente en las secciones 5.2.1 a 5.2.3.

Estos sistemas son los recomendados en este estudio.

Oficina	Energía Requerida kWh/día	Cantidad de Paneles Fotovoltaicos 230 vatios/cu	Cantidad de Inversores 7500 vatios/cu	Costo del Sistema Fotovoltaico	Fracción Renovable	Costo con Incentivos \$	Costo Neto al Presente \$
Mayagüez	20	21	1	\$28,196	74%	\$11,267	\$12,022
Hormigueros	22	24	1	\$31,138	76%	\$12,488	\$11,507
San Germán	34	21	1	\$28,196	54%	\$11,267	\$46,848

Tabla 5.17 Resultados Sistema Renovable Escenario #1

En la Tabla 5.18 se presentan los resultados para la evaluación del escenario #2 con los casos estudiados. En esta ocasión para los casos de Mayagüez y Hormigueros el sistema fotovoltaico tiene un tamaño de 6.9 kilovatios con un inversor de 7.5 kilovatios para cada oficina. El caso de San Germán tiene un sistema de 9.66 kilovatios con 2 inversores de 7.5 kilovatios cada uno. Estos sistemas proveen el 79% de energía renovable para el caso de Mayagüez, el 78% de energía renovable para el caso de Hormigueros y el 76% para el caso de San Germán. Para la evaluación de este escenario es necesaria un área de instalación adicional a la provista por el techo de la oficina. Tomando en consideración que para los casos estudiados esta área estaba disponible se recomendó la cantidad de paneles que cubría la necesidad energética diaria de cada oficina. Como este es un sistema conectado a la red eléctrica de la AEE y no almacena energía para suplir energéticamente los periodos nocturnos, la cantidad de energía provista por el sistema renovable no es el 100% de la carga energética necesaria. Sin embargo el excedente energético producido con energía renovable se pasa a la red de la AEE y

para todos los casos este es mayor que la cantidad de energía que se adquiere de esta, documentado en las Tablas 5.4, 5.6 y 5.7.

Oficina	Energía Requerida kWh/día	Cantidad de Paneles Fotovoltaicos 230 vatios/cu	Cantidad de Inversores 7500 vatios/cu	Costo del Sistema Fotovoltaico	Fracción Renovable	Costo con Incentivos \$	Costo Neto al Presente \$
Mayagüez	27	30	1	\$37,005	79%	\$15,075	\$12,579
Hormigueros	27	30	1	\$37,005	78%	\$15,075	\$13,028
San Germán	45	42	2	\$52,619	76%	\$21,032	\$27,814

Tabla 5.18 Resultados Sistema Renovable Escenario #2

También, se presenta en la Tabla 5.14 los costos de la inversión inicial en el caso de acogerse a la Ley 83 de incentivos Verdes¹⁶ con el 60% de reembolso de la Inversión realizada y el costo neto al presente para cada caso. El escenario #2 presenta un costo de inversión inicial y costo neto al presente menor que los costos encontrados en el escenario #1, sin embargo el costo de la inversión es mayor, y es el cliente quien tiene que pagar por la inversión para luego de sometida y aprobada su solicitud por la Administración de Asuntos Energéticos obtener el reembolso de los costos pertinentes. La diferencia en cantidad de energía producida de forma renovable entre el escenario #1 y el escenario #2 no es mayor al 5% para los casos de Mayagüez y Hormigueros mientras que para el caso de San Germán hay una diferencia de 30% de energía producto del sistema fotovoltaico. Sin embargo, la diferencia en el costo de los sistemas renovables fotovoltaicos entre el escenario #1 y el #2 para el caso de Mayagüez y el de Hormigueros es cerca de \$10,000 mientras

¹⁶ Descrito en la sección 3.7 de Leyes Aplicables

que para el caso de San Germán la diferencia económica en la inversión es de casi \$25,000. El cliente es quien escoge cual es el sistema y la inversión que le conviene. Sin embargo, en términos económicos y por la cantidad de energía renovable que se va a obtener el escenario #1 presenta mejores beneficios. Para una evaluación completa el cliente debería revisar las métricas económicas y los impactos ambientales reducidos al instalar el sistema y así tener un marco más completo a la hora de tomar una decisión.

Como otra opción de una posible inversión en un sistema renovable fotovoltaico que sustituya la energía eléctrica consumida en la oficina de campo se realizó un diseño conceptual utilizando todas las cargas eléctricas facturadas en cada una de las oficinas a través de las facturas eléctricas de la AEE. A la condición de utilizar las facturas de la AEE para la realización del análisis se le denominó como Escenario #3. En la Tabla 5.19 se presentan los resultados obtenidos para este escenario.

Oficina	Energía Requerida kWh/día	Cantidad de Paneles Fotovoltaicos 230 vatios/cu	Cantidad de Inversores 7500 vatios/cu	Costo del Sistema Fotovoltaico	Fracción Renovable	Costo con Incentivos \$	Costo Neto al Presente \$
Mayagüez	35	42	2	\$52,619	73%	\$21,032	\$16,284
Hormigueros	32	42	2	\$52,619	77%	\$21,032	\$13,671
San Germán	75	63	2	\$73,912	69%	\$29,555	\$57,540

Tabla 5.19 Resultados Sistema Renovable Escenario #3

Para este escenario la energía requerida medida en kilovatios hora es un promedio de las facturas de por los menos seis meses de consumo energético. Se

diseñó un sistema fotovoltaico que fuera capaz de cubrir la carga energética diaria. Sin embargo, en este caso se tomó en consideración el consumo energético nocturno así que el sistema no será capaz de sustituir el 100% de la demanda energética con los paneles fotovoltaicos. Aun cuando la cantidad de paneles fotovoltaicos se duplica en este escenario en comparación con el escenario número #1, el aumento en generación de energía producto del sistema renovable es similar, esto debido a que se duplica la carga energética evaluada. Estos resultados son similares a los resultados obtenidos en el escenario número #2 para este renglón. Observando las métricas para cada caso dentro de los escenarios número #2 y número #3 en las Tablas 5.20 y 5.21 respectivamente encontramos que la tasa de retorno de inversión y la tasa de retorno interna para cada una de las oficinas disminuye un 3% para el caso de la oficina de Mayagüez, aumenta un 13% para el caso de la oficina de San Germán, y disminuye un 9% para el caso de la oficina de Hormigueros. Comparando el escenario número #2 con el escenario número #1 estos valores de tasa de retorno aumentaron un 1% para el caso de Mayagüez y un 2% para el caso de Hormigueros mientras disminuyó un 0.5% para el caso de San Germán. Se recuerda que mientras mayor sea la tasa de retorno de inversión y la tasa de retorno interna, mejor recomendada esta la inversión en el sistema renovable propuesto.

	Oficina Mayagüez Sistema Fotovoltaico	Oficina San Germán Sistema Fotovoltaico	Oficina Hormigueros Sistema Fotovoltaico
Costo de ciclo de vida	\$49,880	\$76,903	\$55,436
Costo Anual	\$ 2,265/año	\$ 3,272/año	\$ 2,358/año
Tasa de retorno de Inversión	19.60%	19.80%	19.90%
Tasa de retorno Interna	19.30%	19.60%	19.70%
Recuperación Simple	5.11 años	5.05 años	5.03 años
Recuperación Con Descuento	5.27 años	5.12 años	5.10 años

Tabla 5.20 Resultados Métricas Económicas HOMER Escenario #2

En el renglón de la recuperación simple y la recuperación con descuento la diferencia entre el escenario #1 y el escenario #2 para el caso de Mayagüez, San Germán y para el caso de Hormigueros es de aproximadamente un mes. Sin embargo, entre los escenarios #2 y #3 para el caso de Mayagüez la diferencia en el periodo de repago de la inversión es de cerca de un mes, y para los casos de San Germán y Hormigueros los periodos de repago 7 meses y 6 meses respectivamente. Comparando los resultados obtenidos a través de las métricas económicas de los análisis de HOMER, la mejor inversión para el cliente es la que se presenta en el escenario #1 si los renglones evaluados son la tasa de retorno de la inversión y el periodo de repago de la inversión y la cantidad de energía que se produce por el valor del sistema.

	Oficina Mayagüez Sistema Fotovoltaico	Oficina San Germán Sistema Fotovoltaico	Oficina Hormigueros Sistema Fotovoltaico
Costo de ciclo de vida	\$67,397	\$127,003	\$68,691
Costo Anual	\$ 3,060/año	\$ 5,403/año	\$ 2,922/año
Tasa de retorno de Inversión	19.10%	22.50%	18.10%
Tasa de retorno Interna	18.80%	22.40%	17.90%
Recuperación Simple	5.24 años	4.44 años	5.51 años
Recuperación Con Descuento	5.41 años	4.50 años	5.60 años

Tabla 5.21 Resultados Métricas Económicas HOMER Escenario #3

Tomando en consideración el valor presente de cada uno de los escenarios evaluados entre el escenario #1 y el escenario #2 la diferencia para los casos de Mayagüez y Hormigueros es de \$500 y \$1,500 respectivamente, mientras que para el caso de San Germán existe una diferencia de \$30,000. Entre el escenario #2 y el #3 la diferencia entre los casos de Mayagüez y Hormigueros es de cerca de \$4,000 y \$500 respectivamente, mientras que para el caso de San Germán es de \$40,000. Aunque se invierte en un sistema renovable fotovoltaico con mayor capacidad en los escenarios #2 y #3 el valor presente de los casos evaluados demuestra que esta inversión no aumenta considerablemente los beneficios de esta adquisición, en comparación con el escenario #1. Los beneficios adquiridos en los diferentes escenarios son similares basándonos en las métricas económicas. Las tasas de

retorno de la inversión para cada uno de los casos evaluados dentro de los escenarios aquí presentados fluctúan entre 18% y 20%. Estos números significan que hacer una inversión en cualquiera de los sistemas antes mencionados redundaría en similar cantidad de beneficios entre unos y otros. Cada escenario se diferencia por la carga eléctrica considerada para suplir por el sistema renovable y el área disponible para su instalación. Según la necesidad del dueño éste podría escoger entre cualquiera de los sistemas presentados porque todos muestran períodos de recuperación similares al igual que los costos de ciclo de vida. En el Apéndice número 3 se muestran los resultados encontrados para todos los casos de los escenarios #2 y #3. En cuanto a la energía renovable producida por los sistemas fotovoltaicos, los sistemas aquí evaluados producen más del 50% de la energía requerida por las oficinas de forma renovable. Es el dueño quien escoge la cantidad de energía que desea sustituir de forma renovable, aun así estos sistemas presentan ahorros para el dueño a lo largo del ciclo de vida de cada proyecto comparado con la opción de no tener ningún sistema renovable y permanecer conectados a la red de la AEE exclusivamente.

6 VIABILIDAD SOSTENIBLE

Según la Administración de Servicios Generales de los Estados Unidos (GSA, siglas en inglés), el desarrollo sostenible busca reducir los impactos negativos al ambiente, la salud y la comodidad de los ocupantes de los edificios mientras se mejora el rendimiento de los propios edificios (U.S. General Service Administration 2011). Para cumplir con esto se deben poner en práctica los principios básicos del diseño sostenible que son: optimizar el potencial del lugar a desarrollarse, minimizar el consumo de energía no renovable, la utilización de productos ambientalmente favorables, la protección y conservación del agua, mejoras a la calidad ambiental dentro de los edificios y la optimización de las practicas de operación y mantenimiento. Para verificar que se cumple con los criterios de sostenibilidad la GSA utiliza la herramienta LEED, discutida brevemente anteriormente en la sección 3.5.1.1. LEED es recomendado para medir el desarrollo de los edificios sostenibles por el programa *Whole Building Design Guide* de la *National Institute of Building Science* (Todd; Fowler 2010). A continuación se estará presentando una descripción de los parámetros que se utilizan para el diseño de edificios verdes y los que se estarán utilizando como referencia para demostrar la viabilidad sostenible y el análisis de los datos obtenidos en la investigación para mostrar la viabilidad sostenible de los sistemas de energía renovable en las oficinas de proyectos de construcción.

6.1 Sostenibilidad de los Edificios

Los edificios constituyen la función principal en todas las sociedades, proveen vivienda, lugares para trabajar, centros de intercambio y lugares donde ocupar el tiempo. El uso y funcionamiento de los edificios impacta directamente la salud, la comodidad, la seguridad, la economía y la calidad de vida de los ciudadanos. En adición a esto los edificios provocan impactos ambientales en términos de usos de recursos y la generación de desperdicios y emisiones al ambiente. Los edificios son los responsables de consumir cerca del 40% de la energía utilizada en la sociedad con niveles equivalentes de emisiones de gases de invernadero, 30% de generación de desperdicios y utilización de materiales nuevos y 20% del consumo del agua (Lowe; Ponce 2009). A su vez las actividades de construcción de edificios nuevos y remodelaciones mayores aumentan a través del mundo con una inversión estimada de 3 trillones de dólares anuales según datos del Programa Ambiental de las Naciones Unidas. Este aumento en construcciones crea un aumento en el consumo de materiales e impacto ambiental que obligan a la sociedad a crear construcciones y maneras de operar los edificios de forma sostenible para poder preservar la calidad de vida de las generaciones futuras.

La diferencia entre un edificio sostenible y uno no sostenible se deriva del alcance de los problemas considerados, la escala con la que se mide y el rendimiento que se logra mediante la solución de estos problemas en un proyecto de construcción. En la comunidad académica se le conoce como indicadores de sostenibilidad a los elementos utilizados para medir los problemas que deben ser corregidos en los

proyectos de construcción o el proyecto evaluado. En la figura 6.1 podemos observar que para un enfoque de negocios estos elementos son el Costo, Calidad y Tiempo en que se realiza el proyecto. Mientras que para un enfoque de Proyectos Verdes ó Paradigma Verde, estos elementos incluyen los mismos elementos vistos antes para el enfoque de Negocios en adición a que se toma en consideración los recursos utilizados, la emisiones de contaminantes al ambiente y la biodiversidad. Sin embargo para el paradigma de la Sostenibilidad se toman en consideración elementos como la equidad social y situaciones culturales, limitaciones económicas y calidad ambiental además de tocar los mismos elementos que el Paradigma de los proyectos considerados como verdes. Estas diferencias fueron adaptadas de *Agenda 21 para la Construcción Sustentable, 1999*.

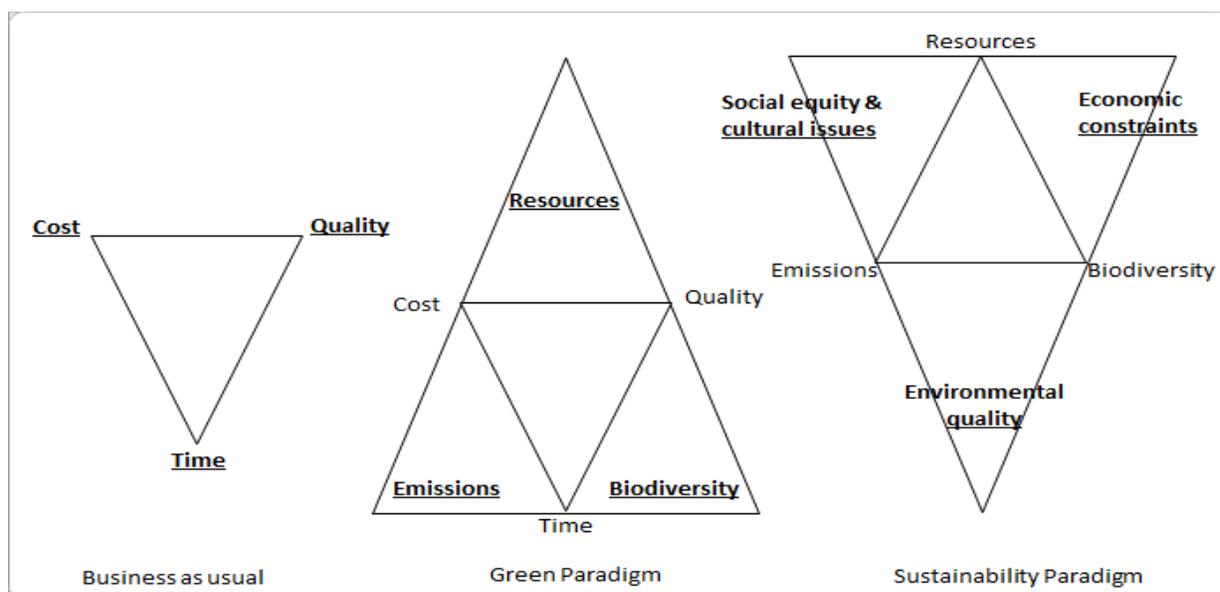


Figura 6.1 Comparación Indicadores Sostenibilidad

Imagen tomada de: FINANCIAL & SUSTAINABILITY METRICS REPORT An international review of sustainable building performance indicators & benchmarks

Los edificios verdes son aquellos en cuya construcción y ciclo de vida de operación asegura un medio ambiente lo más saludable posible mientras que representa el uso más eficiente y menos perjudicial de la tierra, el agua, la energía y los recursos. De otra parte un edificio sostenible es una estructura que es eficiente en los recursos que emplea, saludable y productiva para sus ocupantes, maximiza el retorno sobre la inversión en su ciclo de vida, y a través de su eficiencia, produce una ligera huella en el planeta (Ramírez 2009). Entre los edificios considerados como verdes y los considerados sostenibles existe una diferencia en los parámetros utilizados para medir cuan verde o sostenible puede ser un edificio. Esta diferencia reside en que la sostenibilidad toma en consideración los aspectos sociales y culturales de un proyecto así como sus consideraciones económicas y de planificación urbana mientras que los parámetros para medir edificios verdes se enfocan en la contaminación al ambiente y el consumo de los recursos utilizados en los diferentes procesos del ciclo de vida del proyecto. La figura 6.2 muestra algunos de estos parámetros utilizados para medir edificios verdes y o sostenibles. Se puede observar que todos los indicadores de edificios verdes son considerados indicadores de edificios sostenibles (Naciones Unidas 2009). Un ejemplo de los aspectos sociales atendidos por los edificios sostenibles podría ser cuantos empleos se generan en ese proceso de construcción, cuantas casas se pueden preservar para cambiar rutas de ser necesario, si esa construcción o proyecto promueve la reducción de impactos de emisiones contaminantes al ambiente entre otros. Por otra parte, los aspectos culturales dentro de la sostenibilidad atienden la preservación histórica y de

identidad comunitaria, buscan promover el folclore o eventos típicos de el lugar específico donde se están evaluando los proyectos. Dentro de los aspectos de planificación urbana y de transportación la sostenibilidad pretende diseños eficientes que redunden en la comodidad y accesibilidad de los ocupantes.

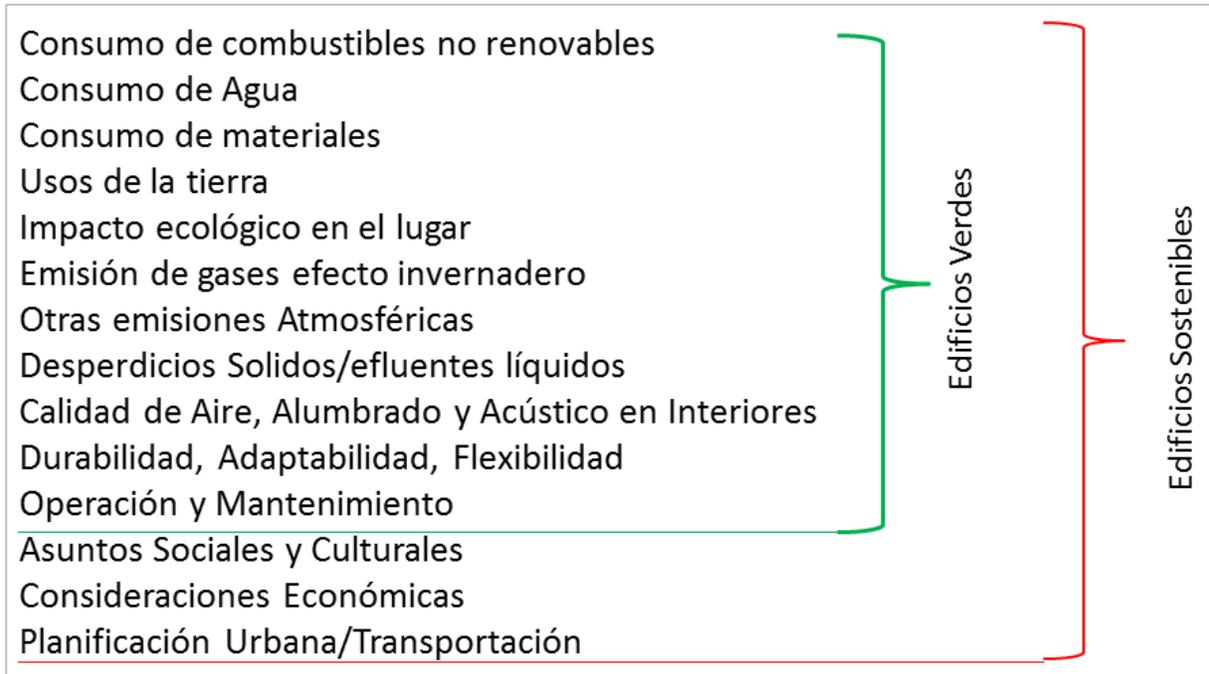


Figura 6.2 Indicadores de Edificios Verdes y edificios Sostenibles

Dentro de las consideraciones económicas la sostenibilidad buscar realizar inversiones que redunden en la mayor calidad posible con la menor cantidad de inversión maximizando el retorno sobre la inversión en su ciclo de vida.

6.2 Herramientas e Indicadores de Sostenibilidad

Existen diversas herramientas para medir la sostenibilidad de los proyectos actualmente. Una breve descripción de algunas de estas se discutió en la sección 3.5.1.1, sin embargo no todas las herramientas miden la sostenibilidad de los edificios

o proyectos de construcción de forma similar. Cada una de las herramientas adapta diferentes parámetros para medir la sostenibilidad o cuan verde puede ser una construcción o un edificio dependiendo del lugar donde se lleva a cabo la evaluación y el enfoque para el cual fue desarrollada la herramienta. Algunas de las herramientas utilizadas como indicadores de sostenibilidad a nivel Mundial son las siguientes:

Nombre del Sistema de Indicadores	País de origen
LEGOE	Alemania
Green Star	Australia
NABERS (National Australian Built Environment Rating System)	Australia
TQ Building Assessment System (Total Quality Building Assessment System)	Austria
Sustainability indicator set for the construction sector	Austria
Green Building Challenge (GBC): GBTool_05 - SBTool_07	Canadá
BEPAC (Building Environmental Performance Assessment Criteria)	Canadá
Green Globes Canadá (adaptado también a EEUU y Reino Unido)	Canadá
CEPAS (Comprehensive Environmental Performance Assessment Scheme)	China
HK BEAM (Hong Kong Building Environmental Assessment Method)	China
BEAT 2002 (Building Environmental Assessment Tool)	Dinamarca
Nordic set of environmental indicators for the property sector	Dinamarca, Finlandia, Noruega, Suecia, Islandia
LEED (adaptado también a Mexico, Canadá, India)	EEUU
SPiRiT (Sustainable Project Rating Tool)	EEUU
VERDE (aplicación de SBTool a España/application of SBTool to Spain)	España
MIVES (Modelo Integrado de Valor para Estructuras Sostenibles/Integrated Value Model for Sustainable Structures)	España
LEnSE (Label for Environmental, Social and Economic Buildings)	Europa
CASBEE	Japón
Green Building Rating System	Korea
SBAT (Sustainable Building Assessment Tool)	Sudáfrica
BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) -En proceso de adaptación a otros países europeos como España	Reino Unido
SPeAR	Reino Unido

Tabla 6.1 Sistemas de Indicadores de Sostenibilidad existentes en la edificación

Para esta investigación se tomo en consideración que LEED es la herramienta para medir sostenibilidad más utilizada en los Estados Unidos de América y está avalada por el gobierno norteamericano. Por tal razón se escogió LEED como la herramienta utilizada para medir la sostenibilidad de las oficinas de campo de proyectos de construcción específicamente proyectos de Infraestructura. Debido a las limitaciones de recursos para llevar a cabo esta investigación no se evaluaron todos los indicadores presentados anteriormente y fueron utilizados solo los relacionados a los aspectos ambientales, específicamente de emisiones, y a los aspectos económicos por tratarse de los indicadores de mayor interés por los gerentes entrevistados en los casos.

6.3 LEED

Leadership in Energy and Environmental Design fue desarrollado como un método de medición de la sostenibilidad de los edificios por el *United States Green Building Council* (McGregor; Cole 2002). LEED esta diseñado para poder utilizarse en diferentes tipos de construcción o proyectos ya sean remodelaciones mayores o construcciones nuevas. Este esta basado en un principio de conservación energética y ambiental, y busca un balance entre practicas conocidas de construcción y conceptos innovadores de ésta. LEED es actualmente el sistema de medidores de sostenibilidad dominante en el mercado de Estados Unidos y ha sido adaptado para diferentes mercados a nivel mundial (Fowler; Rauch 2006). En el caso de esta

investigación se evaluó la sostenibilidad de las oficinas de proyectos con LEED para construcciones nuevas y remodelaciones mayores.

LEED para nuevas construcciones, núcleo y cubierta, y escuelas son un grupo de estándares de desempeño para certificar el diseño y la construcción de edificios comerciales, institucionales, y residenciales de todo tamaño, ya sean públicos o privados. LEED intenta promover practicas saludables, durables, cómodas y ambientalmente amigables de realizar el diseño y construcción de edificios. Para esto LEED divide sus sistema en siete partes de prerrequisitos y créditos a ser evaluados. Estos son:

- Sitios Sostenibles (SS)
- Eficiencia del Agua (WE)
- Energía y Atmosfera (EA)
- Materiales y Recursos (MR)
- Calidad Ambiental Interior (IEQ)
- Innovación en Diseño (ID)
- Prioridad Regional (RP)

Las certificaciones de LEED son acreditadas de acuerdo a la siguiente escala numérica:

- Certificado: 40 - 49 puntos
- Plata: 50 – 59 puntos
- Oro: 60 – 79 puntos
- Platino: 80 puntos en adelante

Las diferentes categorías de LEED ofrecen distintas cantidades de puntos para poder ser certificados, y todos incluyen una serie de pre requisitos que son obligatorio cumplir para cualificar al proceso de certificación. Todas las series de sistemas de LEED tienen como máximo 100 puntos, además de tener la oportunidad de acumular hasta 10 puntos de bono a través de cumplir con la sección de créditos de Innovación en Diseño u Operaciones, y Prioridad Regional. Cada crédito de LEED tiene el mínimo de 1 punto. El máximo de los puntos que pueden ser acumulados por cada división para LEED de construcciones nuevas y renovaciones mayores es la siguiente:

Divisiones LEED	Puntos Máximos
Sitios Sostenibles (SS)	26
Eficiencia del Agua (WE)	10
Energía y Atmósfera (EA)	35
Materiales y Recursos (MR)	14
Calidad Ambiental Interior (IEQ)	15
Innovación en Diseño (ID)	6
Prioridad Regional (RP)	4

Tabla 6.2 Puntos Máximos Por cada División para LEED Construcciones Nuevas

Debido a las limitaciones de esta investigación solo se verifico que los casos evaluados cumplieran con los prerrequisitos y criterios aplicables a la parte de energía y atmosfera.

6.3.1 Descripción Categorías LEED

A continuación se presenta una breve descripción de las diferentes categorías de LEED para construcciones nuevas y renovaciones mayores.

6.3.1.1 Sitios Sostenibles (SS)

La selección y el desarrollo del lugar donde se van a construir las estructuras es un componente fundamental dentro de las prácticas de construcción de edificios sostenibles. El daño ambiental causado por la industria de la construcción puede tomar años de trabajo para remediarlo (U.S. Green Building Council 2009). Por tal razón la sección de lugares sostenibles atiende las preocupaciones ambientales relacionadas con el diseño paisajista de los edificios, carreteras y situaciones exteriores de estos. LEED lugares sostenibles para Construcciones Nuevas promueve las siguientes medidas, Selección y Desarrollo del Lugar de Construcción sabiamente, Reducción de emisiones asociadas con la Transportación, Plantación de Paisajes Sostenibles, Protección a los Hábitats existentes en los alrededores, Manejo de escorrentías, Reducción del Efecto de Calor y la Eliminación de la Contaminación debido al alumbrado exterior.

La división de LEED Lugares Sostenibles promueve responsablemente la innovación y estrategias de diseño que sean sensitivas a las plantas, los animales, y calidad del aire y el agua.

6.3.1.2 Eficiencia del Agua (WE)

El consumo desmedido del agua potable continua en aumento a través de los años. El *U.S. Geological Survey* estima que entre el año 1990 y el 2000 el consumo del agua en los Estados Unidos aumento un 12%, a 43.3 billones de galones por día (Hutson et al. 2004). Solo cerca del 14% del agua se evapora, o transpira, o es absorbida por la tierra o productos, el resto es usado, tratado, y desechado en los cuerpos de agua de la nación. Las descargas de agua contaminan los ríos, los lagos, y el agua potable con bacterias, nitrógeno, metales tóxicos y otros contaminantes (U.S. Environmental Protection Agency 2012). Por tal razón la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos junto con el gobierno de los E.U.A. han legislado para promover la utilización de sistemas más eficientes en el consumo, purificación y desecho del agua potable.

En los edificios el uso de altos volúmenes de agua aumentan los costos de mantenimiento a través del ciclo de vida del proyecto, también aumenta el costo a los consumidores por cargos adicionales de suministro y plantas de tratamientos. Opuesto a esto los edificios con sistemas eficientes de agua ahorran dinero a través del ciclo de vida del proyecto al reducir sus costos por menos consumo, menos volumen de alcantarillado, reducción en la energía y en los químicos utilizados, y una menor capacidad de cargas y límites.

Los créditos de LEED para construcciones nuevas de eficiencia de agua exhortan a la utilización de estrategias y tecnologías que reduzcan la cantidad de agua potable que se utiliza en los edificios. LEED WE atiende las condiciones ambientales

relacionadas al uso y disposición del agua en los edificios a través de las siguientes medidas: Monitoreo del Desempeño de la Utilización del Agua, Reducción del Consumo de agua Potable dentro del edificio, reducción del consumo de agua potable para ahorrar energía y mejorar la salud ambiental, y la utilización de practicas eficientes de sistemas de riego en los alrededores.

6.3.1.3 Energía y Atmósfera (EA)

La generación de electricidad producto de los combustibles fósiles con sus procesos de extracción, transportación, refinamiento y distribución conllevan a impactos negativos al ambiente como el cambio climático mundial producto de la liberación al ambiente de dióxido de carbono, la neblina tóxica conocida en el idioma inglés como “*smog*”, producto de las emisiones de oxido de nitrógeno por la quema de carbón, la lluvia ácida producto de las emisiones de dióxido de azufre y el efecto de gases de invernadero. LEED Energía y Atmósfera pretende mitigar y eliminar a través del cumplimiento de los prerrequisitos y créditos establecidos. Esta División será discutida en detalle en la sección 6.3.2.

6.3.1.4 Materiales y Recursos (MR)

La operación de los Edificios genera una gran cantidad de desperdicios diariamente. LEED Materiales y Recursos reduce la cantidad de desperdicios generados a través de mejoras ambientales al edificio bajo un manejo responsable de desperdicios y selección de materiales. Estos créditos se focalizan en el impacto

ambiental generado por los materiales utilizados en el edificio y la minimización de desperdicios no reciclables. Esta categoría de LEED maneja las preocupaciones ambientales relacionadas a la selección de materiales, y manejo y reducción de desperdicios a través de las siguientes medidas: una selección sostenible de materiales priorizando con los productos desarrollados a base de materiales reciclados y utilizando el mercado local para la adquisición de estos minimizando los impactos de transportación, además de practicas de reducción de desperdicios no solo en los edificios sino también en la fuente, a través de menos demanda de materiales nuevos. Se promueve también que se reúse y se reciclen los materiales tanto de edificios existentes como en el diseño de los edificios nuevos y con esto se evita la extracción de materiales nuevos se preserva el espacio de los vertederos y se previene de la contaminación al aire y agua subterránea a través de la descomposición de estos desperdicios. Reusar y reciclar también puede ahorrar dinero a través de un manejo eficiente de desperdicios y su disposición generando dinero a través de procesos de reventa.

6.3.1.5 Calidad Ambiental en Interiores (IEQ)

Los americanos utilizan cerca del 90% de su tiempo dentro de edificios por lo que la calidad del ambiente tiene una influencia significativa en su salud, productividad y calidad de vida (U.S. Environmental Protection Agency 2001). La Agencia de protección Ambiental de los Estados Unidos reporta que los niveles de contaminantes en los interiores de los edificios suele ser de 2 a 5 veces mayores que en el exterior

llegando en ocasiones a ser mayor de 100 veces. Estos niveles de contaminación suelen ser los causantes de problemas respiratorios, síntomas como la náusea, dolores de cabeza, letargo, cansancio, irritación de los ojos, nariz y garganta. Así como la continua exposición a contaminantes puede causar problemas de aprendizaje, cáncer y daños al sistema nervioso. Además de los problemas de salud, reducción en los niveles de productividad pueden ser asociados a la exposición de altas concentraciones de contaminantes en el lugar de desempeño. Para disminuir o eliminar la contaminación dentro de los edificios LEED Calidad ambiental en interiores se enfoca en resolver los problemas relacionados a la calidad ambiental de los interiores, la salud, seguridad y comodidad de los ocupantes; el consumo energético, la efectividad de los cambios en el aire y el manejo de los contaminantes del aire. Para atender estos asuntos LEED IEQ utiliza las siguientes estrategias: Mejoras a la ventilación, Manejo de los contaminantes del aire como el humo del tabaco, el dióxido de carbono y partículas sueltas; la especificación de materiales menos dañinos y peligrosos al ambiente y a la salud humana; permitiéndoles a los ocupantes de los edificios el control de los ajustes de iluminación y termostatos, y proveyendo iluminación natural.

6.3.1.6 Innovación en el Diseño

Las estrategias y medidas del diseño sostenible envuelven la constante evolución mejoría del diseño y prácticas de construcción. El propósito de esta categoría es reconocer los proyectos por la innovación en las características de los edificios así

como las prácticas y estrategia de edificios sostenibles. Esta categoría atiende la implementación de nuevas tecnologías y métodos de construcción además de evaluar mejores y desempeño que excedan los requeridos por LEED o no estén considerados en sus criterios de evaluación.

6.3.1.7 Prioridad Regional

Como algunas situaciones ambientales son únicas del lugar donde se ubica el proyecto en evaluación, las oficinas regionales del USGBS han identificado distintas zonas ambientales e identificados 6 créditos que pueden fomentar que los equipos de diseño se enfoquen en las prioridades regionales. Un proyecto que obtiene un crédito en prioridad regional automáticamente acumula 1 en adición a los puntos obtenidos por ese crédito. Se pueden acumular de esta forma hasta 4 puntos de bono.

6.3.2 LEED Energía y Atmósfera

Como ha sido mencionado anteriormente los edificios consumen aproximadamente el 40% de la energía y el 74% de la electricidad producida en los Estados Unidos anualmente. Esta electricidad es generada mayormente de combustibles fósiles cuya combustión libera dióxido de carbono y gases efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. La División de LEED Energía y Atmósfera atiende estas preocupaciones a través de la verificación del rendimiento energético, tomando en cuenta el diseño de los sistemas de aire acondicionado

(HVAC), además de atender los materiales utilizados, los métodos de construcción, las cubiertas de los edificios, la eficiencia del agua, así como los sistemas de calentamiento, la ventilación y los sistemas de alumbrado para identificar usos eficiente de la energía. También se requiere que en las construcciones nuevas se instalen equipos de monitoreo energético que verifiquen la eficiencia de los diferentes sistemas instalados siguiendo el *International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)* y cumpliendo con los requisitos mínimos de ASHRAE 90.1 2007. Para cumplir con esto en la tabla 6.3 se presentan los prerrequisitos requeridos por LEED para poder ser certificado, y los créditos evaluados con el rango de puntos que se pueden adquirir dentro de cada crédito.

Credit	Title	New Construction
EA Prerequisite 1	Fundamental Commissioning of Building Energy Systems	Required
EA Prerequisite 2	Minimum Energy Performance	Required
EA Prerequisite 3	Fundamental Refrigerant Management	Required
EA Credit 1	Optimized Energy Performance	1-19 points
EA Credit 2	On-Site Renewable Energy	1-7 points
EA Credit 3	Enhanced Commissioning	2 points
EA Credit 4	Enhanced Refrigerant Management	2 points
EA Credit 5	Measurement and Verification	3 points
EA Credit 5.1	Measurement and Verification - Base Building	NA
EA Credit 5.2	Measurement and Verification - Tenant Submetering	NA
EA Credit 6	Green Power	2 points

Tabla 6.3 Prerrequisitos y Créditos de LEED Energía y Atmosfera

A continuación se presenta una breve descripción de estos créditos que son requisitos para cumplir con LEED Energía y Atmosfera:

- *EA Prerrequisito 1: Inicio Fundamental del Sistema de Energía del Edificio*

Este prerrequisito intenta verificar que los sistemas energéticos instalados cumplan con la calibración y funcionamiento de acuerdo a los requisitos de los dueños del proyecto, el diseño y documentos de construcción. Beneficios de comisionarse incluyen la reducción del uso de energía, bajos costos de operación, reducción de reclamos por daños a contratistas, mejoras en la documentación del edificio, mejoras a la productividad de los ocupantes y verificación del funcionamiento de los sistemas de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

- EA Prerrequisito 2: Rendimiento Mínimo Energético

Intenta establecer los niveles mínimos de eficiencia energética propuestos por los desarrolladores de los edificios a la vez que reduce los impactos económicos y ambientales asociados con el uso excesivo de energía.

- EA Prerrequisito 3: Gerencia Fundamental de Refrigerantes

Este prerrequisito intenta reducir el agotamiento de la estratosfera de la capa de ozono a través de la reducción o eliminación de equipos que producen Clorofluorocarbonos (CFC).

- EA Crédito 1: Optimización del Rendimiento de la Energía

Este crédito busca aumentar los mayores niveles de rendimiento de energía a través de cumplir con los estándares prerrequisitos para reducir los impactos económicos y ambientales asociados al uso excesivo de energía. Dependiendo de la disminución de la cantidad de su consumo energético son

los puntos que pueden ser acumulados en este crédito, estos van de 1 a 19 puntos.

- EA Crédito 2: Energía Renovable en el Campo

Busca Aumentar los niveles de energía renovable en el lugar evaluado para reducir los impactos económicos y ambientales asociados con el uso de energía producto de combustibles fósiles. Se pueden acumular hasta 7 puntos dentro de este crédito dependiendo de la cantidad de energía producida por tecnología de energía renovable.

- EA Crédito 3: Mejoras del Comienzo de un Proyecto

Este crédito intenta mejorar e incluir los procesos requeridos para comisionarse dentro de la fase de diseño del proyecto y mejorar el sistema de verificación de los procesos requeridos. Dentro de este crédito se pueden acumular hasta 2 puntos dependiendo de que se cumpla con los requisitos de verificación de documentos y requisitos para comisionarse antes del comienzo del proyecto.

- EA Crédito 4: Mejoras al Sistema de Refrigeración

Este crédito intenta reducir el agotamiento de la capa de ozono y apoyar el cumplimiento del protocolo de Montreal mientras se minimiza las contribuciones directas al cambio climático. Con este crédito se puede adquirir hasta 2 puntos dependiendo de la no utilización de refrigerantes o que la utilización de estos este dentro de los niveles previamente establecidos en LEED.

- EA Crédito 5: Medición y Verificación

Con este crédito se pretende mantener la contabilización del consumo energético del edificio a través del tiempo. Se pueden adquirir hasta 3 puntos con este crédito dependiendo del desarrollo e implementación de sistemas de monitoreo energético en los proyectos.

- EA Crédito 6: Energía Verde

Este crédito intenta fomentar el desarrollo y uso de fuentes de energía, y tecnologías de energía renovables en una red de cero contaminación. Con este crédito se pueden acumular hasta 2 puntos dependiendo de que se cumpla con un contrato mínimo de producción de energía renovable por dos años y que cubra al menos el 35% de la energía utilizada en el proyecto evaluado.

6.3.3 Evaluación de Criterios Sostenibilidad

La sostenibilidad de un proyecto puede ser medida desde diferentes puntos de vista. Esto puede ser cumpliendo con los prerequisites de las diferentes herramientas existentes en el mercado para medir sostenibilidad, así como la disminución de impacto y contaminación ambiental, y la comodidad y salud de los ocupantes del proyecto entre otros. Para el caso específico de esta investigación se verifico que los casos evaluados cumplieran con los prerequisites de Energía y Atmosfera de LEED Construcciones Nuevas. Para certificar una estructura en LEED

es necesario que se cumplan con todos los pre-requisitos de cada una de las categorías de LEED discutidas en la sección 6.3.1 sin embargo esta investigación se limita a evaluar el la viabilidad de sustituir la energía eléctrica consumida en las diferentes oficinas de campo de proyectos de construcción por energía renovable, por tal razón, solo se verificó que cumplieran con los requisitos necesarios para considerarse sostenibles por LEED en el uso de energía renovable. A raíz de cumplir con los pre-requisitos necesarios para ser certificado como una estructura sostenible en LEED existe la oportunidad de obtener créditos adicionales por proveer mayores niveles de ahorro energético y aumentar el valor de la estructura que esta siendo evaluada. El dueño del proyecto es quien toma las decisiones pertinentes a cuan sostenible desea que sea su estructura y que tipo de inversiones desea realizar, por lo que es el quien decide si la instalación de cualquier equipo renovable o mejoras a su estructura es viable.

Los criterios evaluados para el cumplimiento de LEED fueron el cumplimiento de los diferentes prerrequisitos en la categoría de Energía y Atmósfera. El prerrequisito número 1 establece que debe existir un proceso de comisionarse donde se presentan todos los documentos pertinentes de los equipos energéticos existentes en el edificio evaluado, se presenta también los procedimientos de monitoreo de eficiencia energética adoptados por parte del dueño y evidencia del proceso de educación y adiestramiento de los ocupantes del edificio. En los casos evaluados se encontró que existe la capacidad para cumplir con este prerrequisito. Los equipos eléctricos instalados dentro de las oficinas de campo en su mayoría eran equipos eficientes

considerados *Energy Star* dentro de sus especificaciones y existía toda su documentación, además de que los ocupantes del lugar conocían diferentes técnicas de eficiencia energética a implantar durante la utilización de la oficina. Lo antes descrito es parte del proceso de comisionarse.

El prerrequisito número 2 mide el rendimiento mínimo de la energía para reducir los impactos ambientales y económicos asociados al uso excesivo de esta. Para cumplir con este prerrequisito se tiene que demostrar mejoras en el rendimiento de la energía por un 10%, y se debe crear una simulación del edificio demostrando dos escenarios: el escenario base y el escenario que presenta las mejoras energéticas. Se debe cumplir con las secciones 5.4, 6.4, 7.4, 8.4, 9.4 y 10.4 del *ASHRAE Standard 90.1 2007, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.* (ASHRAE, por sus siglas en ingles). Estas secciones establecen las especificaciones de aislamiento y espacios de ventilación necesarios, los mínimos de eficiencia para los equipos eléctricos dentro de cada oficina, establecen sistemas de control y monitoreo de cargas eléctricas, el voltaje máximo en las líneas eléctricas, controles y monitoreo de los sistemas de iluminación, y define la eficiencia mínima para los motores eléctricos. Para el escenario #1 de los casos evaluados todos cumplen y superan el 10% de mejoras en el rendimiento de la energía. El caso de Mayagüez sustituye su energía eléctrica en un 74% por energía producto del sistema renovable fotovoltaico, en el caso de San Germán se sustituye el 54% de la energía y en el caso de Hormigueros se sustituye un 76% de la energía utilizada en la oficina. Evaluados por LEED estos valores de uso de energía renovable también logran

obtener puntos en el crédito 1, crédito 2 y crédito 6 los cuales pueden ser hasta 28 puntos. Para la adquisición de los 19 puntos que se pueden obtener a través del crédito #1 se debe mejorar la eficiencia energética en un 48%, para los casos evaluados todos cumplen con este criterio. Para la adquisición de los 7 puntos del crédito número 2, se tiene que producir 13% de la energía utilizada a través de fuentes renovables, para los casos evaluados se cumple con este criterio. Para la adquisición de los 2 puntos que se pueden obtener a través del crédito número 6, se debe utilizar por un mínimo de 2 años continuos el 35% de la electricidad de los edificios, en este caso las oficinas, producto de energía renovable, y para los casos evaluados si se adquieren los sistemas renovables propuestos cumplirían con éste criterio. En los casos evaluados todos cumplen con los máximos necesarios para la acumulación de puntos en estos créditos, por lo tanto cada proyecto acumularía 28 puntos al ser evaluados por éstos renglones de LEED.

El pre-requisito número 3 de energía y atmosfera para LEED establece que se debe reducir el deterioro de la capa de ozono a través del uso de refrigerantes con cero uso de clorofluorocarbonos. Todos los casos evaluados cumplen con este pre-requisito ya que los refrigerantes utilizados en los aires acondicionados no contienen clorofluorocarbonos.

Como mínimo LEED establece que para cumplir con los criterios de sostenibilidad hay que cumplir con los correspondientes prerrequisitos de los diferentes renglones evaluados. En esta investigación se comprobó que se puede cumplir con esos

prerrequisitos por lo que para este este renglón de LEED se puede decir que se cumple con los pre-requisitos de energía y atmósfera, y con los criterios 1, 2 y 6.

Otro criterio aplicado para medir la sostenibilidad de un proyecto y que debe ser considerado a la hora de hacer una inversión en tecnologías renovables es la contaminación ambiental. Cuando se sustituye una tecnología para producir energía a través de la combustión de combustibles fósiles por tecnologías renovables se están disminuyendo o eliminando las emisiones de contaminantes al ambiente, esto dependiendo de la tecnología empleada. La disminución de estos contaminantes es necesaria para poder preservar la calidad de vida de los seres humanos ahora y en las generaciones futuras.

En la tabla 6.4 se presentan los diferentes contaminantes emitidos al ambiente por las oficinas de campo de proyectos de construcción conectadas exclusivamente a la red eléctrica de la AEE y en la tabla 6.5 se muestran los contaminantes emitidos al ambiente con el sistema renovable instalado e interconectado a la red eléctrica de la AEE. Comparando los resultados obtenidos en ambos casos, con y sin sistema renovable, después de instalados los sistemas propuestos en cada oficina y continuando la utilización de la energía eléctrica de la red de la AEE se disminuye el 100% de las emisiones en las oficinas de Mayagüez y Hormigueros, y 81% para la oficina de San Germán.

Contaminante	Emisiones Oficinas – Conectadas AEE		
	Mayagüez kg/año	San Germán kg/año	Hormigueros kg/año
Dióxido de Carbono	4,360	16,747	5,444
Dióxido de Sulfuro	18.9	72.6	23.6
Oxido de Nitrógeno	9.24	35.5	11.5

Tabla 6.4 Emisión de contaminantes al Ambiente Oficinas Conectadas a AEE – escenario #1

La venta de energía a la red eléctrica de la AEE resulta en reducciones en las emisiones producidas por la red y se podría llegar a generar emisiones negativas en uno o mas de los contaminantes si la electricidad que se le esta vendiendo a la AEE es de bajas emisiones o cero emisiones en su producción. Este es el caso para las oficinas de Mayagüez y Hormigueros donde la disminución de las emisiones de contaminantes fue mayor al 100% de estas, obteniendo resultados negativos que se traducen en cero contaminación generada por el consumo eléctrico de las oficinas y la electricidad aportada a la red de la AEE.

Contaminante	Emisiones Oficinas		
	Mayagüez kg/año	San Germán kg/año	Hormigueros kg/año
Dióxido de Carbono	-1	3,189	-274
Dióxido de Sulfuro	-0.00386	13.8	-1.19
Oxido de Nitrógeno	-0.00189	6.76	-0.582

Tabla 6.5 Emisión de Contaminantes al Ambiente Oficinas con Sistema Renovable - escenario #1

Evaluando el caso de San Germán que es el que más contaminante aporta al ambiente, se disminuye el 81% de la emisión al ambiente de dióxido de carbono, el

81% del dióxido de sulfuro y 81% oxido de nitrógeno. Estas disminuciones de contaminantes emitidos al ambiente ayudan a conservar saludablemente el entorno donde habitan los seres humanos. Los parámetros de contaminación son utilizados para medir cuan verde puede ser una estructura, y en términos energéticos estas oficinas pueden ser consideradas edificios de cero emisiones contaminantes y edificios verdes contribuyendo a la conservación energética y frenando el desgaste de los recursos naturales.

En los casos evaluados para el escenario #2 vemos en las Tablas 6.6 y 6.7 la disminución en contaminantes cuando las oficinas están utilizando el sistema renovable fotovoltaico para proveer su energía versus la utilización del sistema de energía de la red de la AEE.

Contaminante	Emisiones Oficinas – Conectadas AEE		
	Mayagüez kg/año	San Germán kg/año	Hormigueros kg/año
Dióxido de Carbono	5,975	8,489	6,136
Dióxido de Sulfuro	25.9	36.8	26.6
Oxido de Nitrógeno	12.7	18	13

Tabla 6.6 Emisión de contaminantes al Ambiente Oficinas Conectadas a AEE – escenario #2

Contaminante	Emisiones Oficinas		
	Mayagüez kg/año	San Germán kg/año	Hormigueros kg/año
Dióxido de Carbono	-716	-865	-550
Dióxido de Sulfuro	-3.11	-3.75	-2.39
Oxido de Nitrógeno	-1.52	-1.83	-1.17

Tabla 6.7 Emisión de Contaminantes al Ambiente Oficinas con Sistema Renovable - escenario #2

Las reducciones de dióxido de carbono para este escenario comparan con las emisiones emitidas del consumo de 1,111 galones de gasolina o, consumir 23.1 barriles de aceite según el *Greenhouse Gas Equivalencies Calculator-U.S.* de la *Environmental Protection Agency* de Estados Unidos (EPA 2012a). Estas reducciones en contaminantes al ambiente son las que deja de emitir la oficina de campo al utilizar el sistema renovable fotovoltaico, sin embargo los números negativos en la Tabla 6.7 son la cantidad de contaminantes que deja de emitir la AEE por la cantidad de energía que se traspa a sus redes a través del programa de medición neta. Cada vatio de energía que se coloca en la red de la AEE producto del sistema renovable es un vatio menos de energía que la AEE deja de producir a través de derivados de combustibles fósiles.

En las Tablas 6.8 y 6.9 se presentan las emisiones de contaminantes al ambiente por las oficinas de proyectos evaluadas utilizando la energía tradicional de las redes de la AEE y la energía producto de los sistemas renovables fotovoltaicos para el escenario #3.

Contaminante	Emisiones Oficinas – Conectadas AEE		
	Mayagüez kg/año	San Germán kg/año	Hormigueros kg/año
Dióxido de Carbono	8,005	16,747	7,382
Dióxido de Sulfuro	34.7	72.6	32
Oxido de Nitrógeno	17	35.5	15.7

Tabla 6.8 Emisión de contaminantes al Ambiente Oficinas Conectadas a AEE – escenario #3

Contaminante	Emisiones Oficinas		
	Mayagüez kg/año	San Germán kg/año	Hormigueros kg/año
Dióxido de Carbono	-1,363	-1,278	-1,979
Dióxido de Sulfuro	-5.91	-5.54	-8.58
Oxido de Nitrógeno	-2.89	-2.71	-4.20

Tabla 6.9 Emisión de Contaminantes al Ambiente Oficinas con Sistema Renovable - escenario #3

Similar al escenario #2, en todos los casos con la utilización de energía producto del sistema renovable fotovoltaico se reducen el 100% de las emisiones contaminantes al ambiente. Este consumo en contaminantes es el equivalente de cerca de 1,500 galones de gasolina consumidos para las oficinas de Mayagüez y Hormigueros, mientras que para la oficina de San Germán su emisión de contaminantes es equivalente a 3,111 galones de gasolina consumidos (EPA 2012). Este escenario presenta cantidades considerables de disminución de emisiones al ambiente en comparación con los escenarios #1 y #2, considerando los contaminantes que la AEE deja de emitir al ambiente debido a la energía que se coloca en sus redes a través del programa de medición neta. Estos contaminantes son equivalentes a 396 galones de gasolina consumidos, mientras que en el escenario #1 el equivalente es de 66 galones de gasolina consumidos.

Todos los escenarios evaluados presentan disminución en contaminantes al ambiente producto de la utilización de derivados de combustibles fósiles para producir energía que aportan al efecto de invernadero y calentamiento global.

6.4 Comparación entre Viabilidad Sostenible y Viabilidad Costo - Beneficio

El análisis costo-beneficio es el proceso mediante el cual las decisiones de negocios son evaluadas. En este análisis se totalizan los beneficios y los costos de realizar un proyecto y se le da un valor monetario a cada uno. Los beneficios menos los costos proveen como resultado un valor numérico que de resultar positivo significa que existe un beneficio económico en la inversión y de resultar negativo se obtendrían pérdidas. Para mostrar la viabilidad del análisis costo – beneficio es necesario evaluar las ganancias y los costos a lo largo del ciclo de vida del proyecto, y utilizar las métricas económicas como el período de repago de la inversión, el valor presente neto, y la tasa de retorno entre otros.

Al momento de realizar la inversión se debe de tomar en cuenta no solo la viabilidad del análisis costo – beneficio sino los beneficios marginales que se obtienen a través de la inversión. Dentro de estos beneficios se debe considerar la viabilidad sostenible y los diferentes parámetros evaluados dentro de la sostenibilidad que no se pueden medir en términos de dinero.

La sostenibilidad de un proyecto abarca los parámetros económicos, sociales y ambientales, por lo que la viabilidad costo – beneficio es parte de la viabilidad sostenible pero no es lo único que se debe tomar en consideración en el momento de realizar una inversión en sistemas renovables de producción de energía. Esto se demuestra porque quienes han definido sostenibilidad han encontrado el valor no monetario del bienestar humano, tomando en consideración la calidad de vida, del

agua, del aire, de los recursos naturales consumidos y la salud ambiental en general. Esto es apoyado por la preocupación mundial de preservar los recursos para las generaciones futuras desarrollando las distintas herramientas de sostenibilidad con todos los indicadores que se mencionan en la tabla 6.1 y que evalúan diferentes áreas además de la económica. A pesar de que el ejemplo que se realizó en esta investigación tiene la metodología para el análisis económico se reconoce que habría que demostrar viabilidad en los otros parámetros para llevar a cabo una viabilidad sostenible completa.

Desde el punto de vista social sería necesario realizar una evaluación de impacto a la comunidad, donde se verifique que no se esté afectando asuntos sociales y culturales, la salud y la comodidad, y las situaciones referentes a la planificación urbana y transportación. Aunque se presentan los resultados de la disminución de contaminantes al ambiente a través de la sustitución de energía producto de combustibles fósiles por energía producto de sistemas renovables fotovoltaicos sería necesario una declaración de impacto ambiental que cubra todos los parámetros requeridos dentro de esta área.

Debido a la naturaleza de las oficinas de campo de construcción en donde la estructura se ubica en forma temporera y luego se relocaliza a otro proyecto o simplemente no se utiliza, resulta difícil medir los demás parámetros o indicadores sociales. Por tal razón, esta investigación se concentró en aquellos indicadores económicos y ambientales más relevantes a los casos estudiados.

6.5 Beneficios de Invertir en Tecnologías de Energía Renovable

Existen diversos beneficios de invertir en tecnologías renovables de generación de energía. La implementación de este tipo de tecnología favorece la minimización de los impactos ambientales asociados con los métodos tradicionales de generación energética, ayudando a proteger la salud humana y la salud ambiental. Financieramente la energía renovable estabiliza los costos de producción y se desliga de los constantes cambios en los costos de los combustibles fósiles. Esto genera ahorros a largo plazo tomando en consideración que las fuentes de combustibles fósiles son limitadas y su costo permanece en constante aumento.

Por otra parte las tecnologías renovables ofrecen la seguridad de servir de reserva en caso de que el sistema de la red eléctrica al cual se encuentran conectadas las oficinas falle. La adopción de estas tecnologías demuestra el liderato cívico y emprendedor dentro de la industria de la construcción a la vez que se sitúa a la vanguardia de los movimientos pro ambiente, salud y seguridad. Esto a su vez genera publicidad positiva brindando la oportunidad de reconocimiento y relaciones públicas dentro de la vertiente de conservación ambiental e innovación.

La implantación de estas tecnologías ayuda a estimular la economía local y a crear oportunidades de empleo en los procesos de adquisición, instalación y monitoreo. Además de que el dueño del proyecto puede beneficiarse de programas de incentivos y créditos económicos disponibles para individuos y negocios que invierten en tecnologías verdes.

La figura 6.3 muestra los beneficios económicos, sociales y ambientales de invertir en tecnologías renovables a través del tiempo. Los beneficios comienzan desde la auditoría energética, luego el financiamiento del proyecto y la creación de los empleos que esto requiera, la implementación de las mejoras físicas a los edificios, el adiestramiento de los encargados de las facilidades, el proceso de verificación y monitoreo, la verificación de las mejoras a la salud y comodidad de los ocupantes, los ahorros del dueño y el aumento en valor de la propiedad, hasta llegar a la reducción de las emisiones de gases con efecto invernadero.

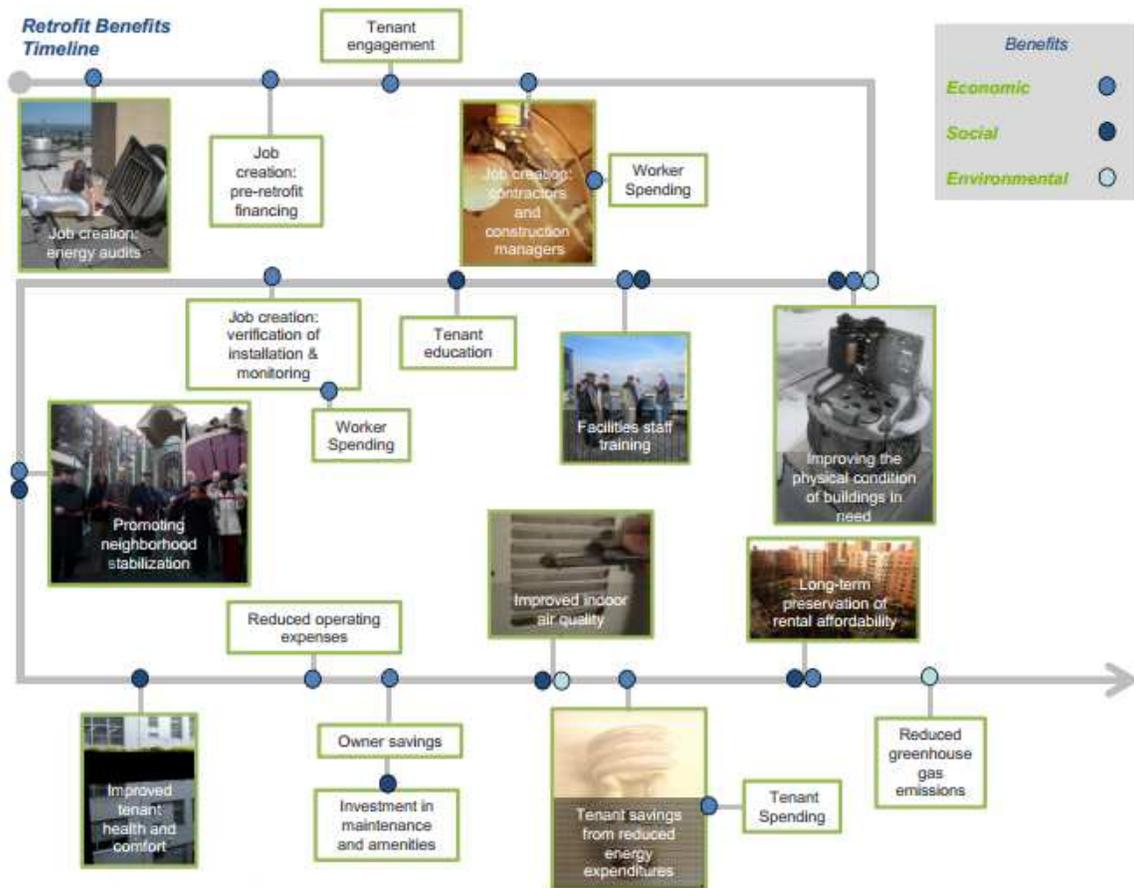


Figura 6.3 Línea de Tiempo Beneficios Inversión Tecnologías Renovables
 (Imagen de: Steven Winter Associates, The Community Preservation Corporation; HR&A Advisors)

Tomando en consideración todos los beneficios antes expuestos se puede concluir que es recomendable la adquisición de tecnologías renovables para producir energía y contribuir con esto al bienestar de la humanidad en el presente y en las generaciones futuras.

7 CONCLUSIONES

En este capítulo se presentan las conclusiones obtenidas luego de estudiar todos los casos y escenarios en esta investigación. Se presenta también las recomendaciones e investigaciones futuras sugeridas como continuidad de desarrollo y ampliación de la utilización de tecnologías de energía renovable dentro de los proyectos de construcción.

7.1 Contribución a la Generación de Nuevos Conocimientos

Al finalizar esta investigación se contribuyó a la generación de nuevos conocimientos con una metodología para la realización de análisis energético en las oficinas de campo de proyectos de construcción, y se identificó un sistema eléctrico fotovoltaico que puede ser viable desde el punto de vista económico y ambiental siempre y cuando se cumplan con las siguientes condiciones:

- El dueño o inversionista se beneficie de los incentivos y créditos contributivos que hacen de la inversión una atractiva y recomendable desde el punto de vista económico.
- Que las oficinas donde se instalarán los paneles fotovoltaicos estén orientadas al sur de manera que el sistema reciba la radiación solar directa, y se comporte

eficientemente y cumpliendo con la producción energética para la que fue diseñado.

- Que la utilización de las oficinas se mantenga activa y constante durante el ciclo de vida de los sistemas renovables fotovoltaicos instalados.

Como parte de esa metodología se identificaron los parámetros de entrada y de salida necesarios para identificar la viabilidad de la adquisición de un sistema renovable fotovoltaico para oficinas de campo de proyectos de construcción de infraestructura. A continuación se definen esos parámetros.

Parámetros de entrada:

- Carga energética – Es el consumo energético del proyecto evaluado, medido en kilovatios-hora por día.
- Tamaño del panel fotovoltaico – Es la capacidad energética del panel fotovoltaico, a mayor capacidad de panel, menos paneles son necesarios para cubrir la carga energética que se está evaluando.
- Eficiencia del panel – Mientras mayor sea la eficiencia del panel fotovoltaico, menor es la cantidad de paneles necesarios para cubrir la carga energética.
- Área de instalación – El tamaño del sistema fotovoltaico dependerá del área disponible para su instalación.
- Radiación solar – La capacidad de producción energética del sistema fotovoltaico dependerá de la cantidad de radiación solar disponible en el lugar donde se pretende instalar el sistema fotovoltaico.

- Inversión de capital – El tamaño del sistema adquirido para producir energía depende de la cantidad de dinero disponible por el dueño para realizar la inversión.
- Tipo de sistema renovable – Los diseños de los sistemas renovables dependen de el tipo de sistema que se va a instalar, ya sea interconectado a la red eléctrica de la AEE ó un sistema aislado e independiente de la AEE.
- Tiempo que se retiene la oficina trabajando – Los períodos de recuperación de la inversión y el costo del ciclo de vida del proyecto se verán afectados en la medida que la oficina no trabaje de forma continua durante una cantidad de tiempo mayor al período de recuperación para el cual fue diseñado el sistema.
- Utilización de baterías – La utilización de baterías se debe tomar en consideración en sistemas renovables fotovoltaicos no conectados a la red eléctrica de la AEE, además de sus ubicación en el lugar de instalación del sistema, su futura disposición una vez completen su ciclo de vida y los costos asociados a esto.

Parámetros de Salida

- Capacidad del sistema renovable – Una vez tomado en consideración todos los parámetros de entrada se diseña un sistema renovable que cumpla con todos estos y se obtiene la capacidad energética de ese sistema.

- Costo de ciclo de vida del proyecto – Una vez se tenga el tamaño del sistema renovable que se va a instalar se realizan los análisis económicos pertinentes y se calcula el costo de ciclo de vida de éste, valor necesario para la toma de decisión del dueño al momento de realizar la inversión.
- Tiempo de retorno de la inversión – Es el momento en que la persona que realiza la adquisición de los equipos renovables recupera su inversión.
- Disminución emisión en contaminantes – Es la comparación que establece cuanta cantidad de contaminantes se deja de emitir al ambiente al utilizar el sistema de energía renovable fotovoltaica para producir la energía necesaria versus continuar conectado a la red de la AEE solamente.

7.2 Conclusiones Generales

En esta investigación se estudio la viabilidad en Puerto Rico para fomentar el uso de sistemas renovables fotovoltaicos en las oficinas de campo de proyectos de construcción de infraestructura. Se verificaron las leyes, incentivos y reglamentos que aplican a este tipo de proyectos y que beneficiarían a los dueños de proyectos al momento de hacer la inversión en los sistemas renovables. Se realizó una auditoria energética donde se documentó el consumo típico de energía para una oficina administrativa de proyectos de construcción de infraestructura. Con la información adquirida se creó una metodología para estudiar la viabilidad de instalar un sistema renovable fotovoltaico en una oficina de proyectos de construcción. El estudio de

viabilidad se enfocó en un análisis económico y ambiental de los diferentes escenarios y casos estudiados. Para la realización del análisis se trabajó con tres oficinas de proyectos de construcción de infraestructura, y para cada una de estas se evaluaron 3 escenarios. Con los escenarios propuestos se realizó un análisis de comportamiento de un sistema fotovoltaico para las oficinas de campo de proyectos de construcción aplicado a Puerto Rico utilizando el programa de simulación HOMER. A continuación se describen los resultados obtenidos de los casos evaluados.

7.2.1 Conclusiones Casos Evaluados

Se evaluaron tres oficinas de proyectos de construcción para proyectos de infraestructura. Se utilizaron proyectos de infraestructuras porque las oficinas de campo de este tipo de proyecto deben de cumplir con las especificaciones del *Standard Specifications for Road and Bridge Construction* implementado por la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico, donde se establecen los requerimientos mínimos de los equipos eléctricos dentro de las oficinas, y a su vez esto fue la base para la carga energética mínima dentro de una oficina típica de proyectos de infraestructura.

Los escenarios evaluados se distinguen por el área disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos a colocarse en cada una de las oficinas, y el consumo energético considerado para cada evaluación. Las oficinas evaluadas son proyectos de la Autoridad de Carreteras y Transportación de Puerto Rico y los casos seleccionados son de proyectos a cargo de la Compañía de construcción Tamrio Inc.

Las oficinas estaban ubicadas en los pueblos de Mayagüez, Hormigueros y San Germán. Para cada una de las oficinas en los escenarios evaluados se realizó una simulación del comportamiento de los sistemas fotovoltaicos propuestos y se obtuvo los resultados económicos y ambientales de instalar los sistemas renovables propuestos. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada escenario:

Conclusiones Escenario #1

El escenario #1 se definió por el área disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos, que es el área del techo de cada oficina, 44.6 m² para la oficina de Mayagüez, 33.5 m² para la oficina de Hormigueros, 29.7 m² para la oficina de San Germán, y la carga energética generada por los equipos eléctricos utilizados dentro de estas, sin incluir la iluminación exterior nocturna. Bajo este escenario se diseñaron dos sistemas fotovoltaicos renovables, uno de 21 paneles y otro de 24 paneles fotovoltaicos con capacidad de 4,830 vatios y 5,520 vatios respectivamente. En la Tabla 7.1 se presentan los resultados de la cantidad de paneles fotovoltaicos recomendados para cada oficina.

Oficina	kwh/día	Techo m ²	Panel Instalado	Área Disponible m ²
Mayagüez	20	25.5	21	44.8
Hormigueros	22	28	24	33.45
San Germán	34	43.3	21	29.73

Tabla 7.1 Resumen Resultados paneles fotovoltaicos instalados Escenario #1

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada caso:

- Oficina Mayagüez

Se analizó en HOMER la oficina de Mayagüez para un sistema fotovoltaico de 21 paneles y un inversor de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$28,196, este sistema será capaz de producir el 74% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$11,267 y el costo neto al presente sería de \$12,022. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 5.15 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.40%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 4,683 kilogramos al año de dióxido de carbono, 20.3 kilogramos de dióxido de sulfuro y 9.93 kilogramos de óxido de nitrógeno.

- Oficina Hormigueros

Se analizaron en HOMER los datos recolectados de la oficina de Hormigueros para un sistema fotovoltaico de 24 paneles y un inversor de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$31,238, este sistema será capaz de producir el 76% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$12,488 y el costo neto al presente sería de \$11,507. Las métricas económicas para este caso presentaron

un periodo de repago de la inversión de 5.12 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.50%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 5,326 kilogramos al año de dióxido de carbono, 23.09 kilogramos de dióxido de sulfuro y 11.2 kilogramos de oxido de nitrógeno.

- Oficina San Germán

Se analizaron en HOMER los datos recolectados de la oficina de San Germán para un sistema fotovoltaico de 21 paneles y un inversor de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$28,196, este sistema será capaz de producir el 54% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$11,267 y el costo neto al presente sería de \$46,848. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 5.07 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.70%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 13,558 kilogramos al año de dióxido de carbono, 58.8 kilogramos de dióxido de sulfuro y 28.74 kilogramos de oxido de nitrógeno.

Conclusiones Escenario #2

El escenario #2 se definió por el área disponible para la instalación de los paneles fotovoltaicos, que es el área del techo de cada oficina y un área adicional que es

utilizada como un sobre techo para proveer sombra a estas, y la carga energética generada por los equipos eléctricos utilizados dentro de las oficinas, sin incluir la iluminación exterior nocturna. Bajo este escenario se diseñaron dos sistemas fotovoltaicos renovables, uno de 30 paneles y otro de 42 paneles fotovoltaicos con capacidad de 6,900 vatios y 9,660 vatios respectivamente. En la Tabla 7.2 se presentan los resultados de la cantidad de paneles fotovoltaicos recomendados para cada oficina.

Oficina	kwh/día	Techo m ²	Panel Instalado	Área Disponible m ²
Mayagüez	27	34.4	30	83.61
Hormigueros	27	34.4	30	167.22
San Germán	45	57.3	42	63.53

Tabla 7.2 Resumen Resultados paneles fotovoltaicos instalados Escenario #2

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada caso:

- Oficina Mayagüez

Se analizó en HOMER la oficina de Mayagüez para un sistema fotovoltaico de 30 paneles y un inversor de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$37,705, este sistema será capaz de producir el 79% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$15,075 y el costo neto al presente sería de \$12,579. Las métricas económicas para este caso presentaron un período de repago de la inversión de 5.11 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.60%, valores que favorecen la

realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 6,691 kilogramos al año de dióxido de carbono, 29.01 kilogramos de dióxido de sulfuro y 14.22 kilogramos de oxido de nitrógeno.

- Oficina San Germán

Se analizó en HOMER la oficina de Mayagüez para un sistema fotovoltaico de 42 paneles y dos inversores de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$52,619, este sistema será capaz de producir el 76% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$21,032 y el costo neto al presente sería de \$17,814. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 5.05 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.8%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 9,354 kilogramos al año de dióxido de carbono, 40.55 kilogramos de dióxido de sulfuro y 19.83 kilogramos de oxido de nitrógeno.

- Oficina Hormigueros

Se analizó en HOMER la oficina de Hormigueros para un sistema fotovoltaico de 30 paneles y un inversor de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$38,434, este sistema será capaz de producir el 78% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley

número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$15,075 y el costo neto al presente sería de \$13,028. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 5.03 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.90%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 6,686 kilogramos al año de dióxido de carbono, 28.99 kilogramos de dióxido de sulfuro y 14.17 kilogramos de oxido de nitrógeno.

Conclusiones Escenario #3

El escenario #3 se definió por el total de las cargas energéticas facturadas en cada oficina. En este escenario se considero la iluminación exterior nocturna y cualquier consumo energético realizado por equipos adicionales a los establecidos previamente en los equipos requeridos en las oficinas. En este escenario no se considero un área mínima de diseño aunque el área necesaria para la instalación de los sistemas fotovoltaicos estaba disponible en los proyectos evaluados. Bajo este escenario se diseñaron dos sistemas fotovoltaicos renovables, uno de 42 paneles y otro de 63 paneles fotovoltaicos con capacidad de 9,660 vatios y 14,490 vatios respectivamente. En la Tabla 7.3 se presentan los resultados de la cantidad de paneles fotovoltaicos recomendados para cada oficina.

Oficina	kwh/día	Techo m ²	Panel Instalado	Área Disponible m ²
Mayagüez	35	44.6	42	107.77
Hormigueros	32	40.8	42	167.22
San Germán	75	95.5	63	101.24

Tabla 7.3 Resumen Resultados paneles fotovoltaicos instalados Escenario #3

A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada caso:

- Oficina Mayagüez

Se analizó en HOMER la oficina de Mayagüez para un sistema fotovoltaico de 42 paneles y dos inversores de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$52,619, este sistema será capaz de producir el 73% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$21,032 y el costo neto al presente sería de \$16,284. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 5.24 años y una tasa de retorno de la inversión de 19.10%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 9,368 kilogramos al año de dióxido de carbono, 40.61 kilogramos de dióxido de sulfuro y 19.89 kilogramos de oxido de nitrógeno.

- Oficina San Germán

Se analizó en HOMER la oficina de Mayagüez para un sistema fotovoltaico de 63 paneles y dos inversores de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el

costo del sistema fotovoltaico será de \$73,912, este sistema será capaz de producir el 69% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$29,555 y el costo neto al presente sería de \$57,540. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 4.44 años y una tasa de retorno de la inversión de 22.5%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 18,025 kilogramos al año de dióxido de carbono, 78.14 kilogramos de dióxido de sulfuro y 38.21 kilogramos de oxido de nitrógeno.

- Oficina Hormigueros

Se analizó en HOMER la oficina de Hormigueros para un sistema fotovoltaico de 42 paneles y dos inversores de 7,500 vatios, y se obtuvieron los siguientes resultados: el costo del sistema fotovoltaico será de \$52,619, este sistema será capaz de producir el 77% de carga energética necesaria para operar. Recibiendo los beneficios de la Ley número 83 del Fondo de Energía Verde de Puerto Rico el costo inicial de la inversión sería de \$21,032 y el costo neto al presente sería de \$13,671. Las métricas económicas para este caso presentaron un periodo de repago de la inversión de 5.51 años y una tasa de retorno de la inversión de 18.10%, valores que favorecen la realización de la inversión por parte del cliente. Con la instalación de este sistema de energía renovable la oficina dejaría de emitir al ambiente 9,361

kilogramos al año de dióxido de carbono, 40.58 kilogramos de dióxido de sulfuro y 19.90 kilogramos de óxido de nitrógeno.

Todos los resultados de los escenarios evaluados representan mejoras a la calidad ambiental y disminución de los gases que aportan al efecto invernadero.

Los tres escenarios evaluados demuestran mayores beneficios en términos económicos de repago de inversión, tasa de retorno, y cantidad de energía renovable generada a través del sistema renovable fotovoltaico en comparación con el uso exclusivo de la red eléctrica de la AEE. Dentro de los parámetros establecidos de incentivos económicos para la inversión, la disponibilidad del área necesaria para la instalación de los sistemas fotovoltaicos y tomando en consideración que las oficinas son ubicadas de forma tal que reciben la radiación solar directa en el sistema renovable fotovoltaico se concluye que es viable una instalación de este tipo en las oficinas de campo de proyectos de construcción. Sin embargo es el dueño de la oficina quien evalúa todos los parámetros pertinentes y decide cuando una inversión es viable para él. Se debe tomar en consideración que para que se cumpla con los ahorros antes descritos los proyectos evaluados deben estar activos durante el ciclo de vida para el cual fueron diseñados los sistemas eléctricos renovables, de lo contrario, el periodo de recuperación de la inversión así como el costo del ciclo de vida del proyecto se pueden ver afectados aumentando estos costos y la recuperación de la inversión.

7.2.2 Otras Conclusiones

De los resultados económicos y de sostenibilidad de esta investigación se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Los modelos y la simulación de las cargas eléctricas específicas como parte de una auditoría energética es un método de identificar, definir y presentar oportunidades para un manejo energético más efectivo.
2. El costo de ciclo de vida cuando se utiliza paneles fotovoltaicos es mas bajo que el costo de ciclo de vida cuando no utilizamos nada y mantenemos un consumo energético de la red de la AEE.
3. Basado en la auditoría el consumo eléctrico en una oficina de campo en proyectos de infraestructura es comparable con el consumo típico de una residencia unifamiliar en Puerto Rico.
4. Al documentar el uso de energía en la oficina de campo se encontró que el patrón de uso energético es similar para este tipo de oficina de campo de proyectos de construcción de infraestructura.
5. Los costos de electricidad es uno de los componentes de los costos operativos que pueden ser reducidos a través de prácticas energéticas y tecnologías eficientes beneficiando tanto a las partes envueltas en un proyecto de construcción como al medio ambiente.
6. Cuando se va a realizar una inversión en un sistema de energía renovable es importante tomar en consideración no sólo los beneficios económicos que esto puede representar sino los beneficios ambientales y sociales que se pueden generar a través de la utilización de estos sistemas aportando al bienestar de esta generación y las generaciones futuras, y contribuyendo a la disminución de contaminantes al ambiente y reducción de efecto invernadero.

7. Luego del análisis económico, bajo las condiciones establecidas para cada caso, se determinó que la utilización de sistemas renovables fotovoltaicos es la mejor opción en comparación con el sistema eléctrico tradicional producido a base de combustibles fósiles aunque los beneficios económicos sean a largo plazo. El tiempo de recuperación, que fluctúa entre 4 años y medio y 6 años, es menos de un cuarto del tiempo de vida útil del sistema, que son 25 años, por lo que presenta ahorros dentro de un tiempo considerable tomando en consideración que los ahorros están sujetos a los aumentos en el costo de la electricidad y que la oficina donde se utiliza el sistema renovable se utilice de forma continua para poder recuperar el costo de la inversión. Mientras mayor el costo de la electricidad, en menor tiempo se recupera la inversión realizada y mayores son los ahorros obtenidos.
8. La sustitución de fuentes de energía a base de combustibles fósiles por fuentes renovables propicia una disminución de contaminantes perjudiciales al ambiente como el dióxido de carbono, dióxido de sulfuro y óxido de nitrógeno. En algunos casos gracias al programa de *Net Metering* se pueden generar emisiones de contaminantes negativas al venderle energía producida por métodos renovables no contaminantes a las AEE y esta disminuir su producción a base de combustibles fósiles.
9. Todos los casos evaluados obtendrían 28 puntos en el área de Energía y Atmósfera de la herramienta para medir sostenibilidad LEED, si éstos fueran evaluados para las certificaciones de LEED.

10. A través de la utilización de fuentes renovables de energía, simultáneamente se puede reducir la dependencia de los combustibles fósiles, disminuir proporcionalmente las emisiones de gases de efecto invernadero y aumentar el valor de los proyectos impactados.

7.3 Recomendaciones e Investigaciones Futuras

De los resultados de esta investigación se determinaron varias recomendaciones las cuales veremos a continuación. Se presentan, además, áreas para futuras investigaciones que podrían añadir importantes conocimientos relacionados a la utilización de tecnologías de energía renovables en el campo de la construcción y otros campos relacionados que no eran parte del alcance de este estudio.

Las recomendaciones son las siguientes:

1. A través de los hallazgos de esta investigación es evidente la necesidad de transformar la forma en la que los seres humanos convivimos con los recursos en el planeta Tierra dado que muchos de estos no son infinitos. Este es el caso de los combustibles fósiles utilizados para la producción de energía eléctrica. Por tal razón se recomienda la adquisición e implantación de estos sistemas de energía renovable fotovoltaica tanto en los procesos de construcción como en el producto final. De esta manera se estará salvaguardando el bienestar de las generaciones futuras, disminuyendo la contaminación en el ambiente y preservando los recursos naturales.

2. Se debe crear política pública que involucre leyes e incentivos que apoyen a todos los sectores de la sociedad en especial al sector de la construcción en la adquisición de sistemas energéticos renovables que proporcionen beneficios a la ciudadanía puertorriqueña a través del valor añadido de las propiedades, mejoras al medio ambiente, generación de empleo e impactos positivos a la sociedad.

Las investigaciones futuras recomendadas son las siguientes:

1. Esta investigación se limitó a identificar la metodología necesaria para demostrar la viabilidad de utilizar tecnologías renovables fotovoltaicas en las oficinas de campo de proyectos de infraestructura, por lo que como continuación a este estudio se recomienda la instalación y monitoreo de estos sistemas para corroborar empíricamente los resultados propuestos.
2. Otro tema de una investigación futura sería la evaluación de las oficinas de proyectos de construcción como edificios sostenibles bajo algunas de las herramientas de sostenibilidad como LEED tomando en consideración los diferentes indicadores de sostenibilidad mencionados en esta investigación tales como, salud y bienestar, beneficio social, calidad de aire, diseño y operación, desperdicios, materiales y competitividad entre otros.
3. Dado el alcance de esta investigación se evaluaron oficinas de campo de proyectos de infraestructura, sin embargo sería posible identificar otros tipos de oficinas dentro de los proyectos de construcción así como oficinas comerciales donde se puedan implantar técnicas de eficiencia energética a través de los

equipos eléctricos y así disminuir la carga eléctrica que necesitaría ser suplida por el sistema renovable e identificar un sistema que pueda ser utilizado tanto por los contratistas como los dueños de proyectos y estructuras que redunde beneficios económicos, ambientales y sociales a todos los involucrados.

REFERENCIAS

Administración de Asuntos Energéticos de Puerto Rico. (2009). “Reglamento para la certificación de sistemas de energías renovables”. Gobierno de Puerto Rico

Administración de Asuntos Energéticos de Puerto Rico. (2010). “Resumen de nuevas legislaciones de energía en P.R.”. Gobierno de Puerto Rico

Affordable Solar. <http://www.affordable-solar.com/store/solar-inverters-grid-tied_2>

Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., & Serra, J. (1997). “La construcción sostenible: el estado de la cuestión”. *Informes de la Construcción*, 49(451): 41-47 doi: 10.3989/ic.1997.v49.i451.936

Asociación de la Industria Fotovoltaica. (2010). “Historia de la Energía Solar Fotovoltaica”

Boccas, Maxime. (2010). “Fuentes de Energías”, *Energías Renovables No Convencionales de Chile*, <<http://everdechile.wordpress.com/>>

BRE. 2008. ENVEST 2, “Environmental Impact Assessment & Whole Life Cost”, <<http://invest2.bre.co.uk/account.jsp#>>

BREEAM. (2011). “New Construction Technical Manual SD5073 – 2.0:2011”, BREEAM, < www.breeam.org>

Brundtland Commission. (1992). “Report of the World Commission on Environment and Development” <http://www.un.org/documents/ga/res/42/ares42-187.htm>

Bureau of Energy Efficiency. (2010). “General Aspects of Energy Management and Energy Audit”. Guide Book for National Certification Examination for Energy Managers and Energy Auditors. Government of India

Campus Center for Appropriate Technology (CCAT). (2003). “Mobile Renewable Energy Trailer Proposal”. Humboldt State University

CASBEE. 2001. “The Assessment Method Employed by CASBEE” <<http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/methodE.htm>>

Censo 2010 Puerto Rico. (2011). Junta de Planificación de Puerto Rico. <<http://www.censo.gobierno.pr/> > (12 de enero de 2012)

Clark, William. (1998). "Análisis y gestión energética de edificios. Métodos, proyectos y sistemas de ahorro energético". Edit Mc Graw Hill. ISBN: 0-07-011920-1

Clean Energy Group (CEG). (2008). "States Advancing Solar: Solar Technologies"

Cole, R., Larsson, N. (2002). "GBTool Overview", <<http://www.iisbe.org/gbc2k/gbcstart.htm>>

Cole, Raymond. Larsson, Nils. (2002). GBTool Overview.
<http://www.iisbe.org/gbc2k/gbc-start.htm>

Dávila-Velázquez, Jorge A. (2008). "Desarrollo de un modelo para el diseño de sistemas de energía renovable para acueductos comunitarios en Puerto Rico". ME tesis. Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez

Duarte, Carlos M. (Coord.). (2006). "Cambio Global. Impacto de la Actividad Humana sobre el Sistema Tierra". Colección divulgación, 3. 167 p. Consejo Superior de Investigación Científica, Madrid

Environmental Protection Agency U.S. (2010). "Greenhouse Gas Emissions - Climate Change". <<http://www.epa.gov/climatechange/emissions/index.html>>

Fowler, K.M., Rauch E.M. (2006). Sustainable Building Rating Systems Summary. U.S. Department of Energy. Pacific Northwest Laboratory

Gobierno de Puerto Rico. (2007). "Ley Núm. 114 del año 2007. Para ordena y autorizar a la AEE a establecer un programa de medición neta (net metering)". 16 de agosto de 2007. Puerto Rico

González, Martha E., Jurado Enrique, González, Socorro E., Aguirre, Óscar C., Jiménez, Javier P., Navar, José. (2003). "Cambio Climático Mundial: Origen Y Consecuencias". Revista de difusión científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, CIENCIA UANL / VOL. VI, No. 3

Goodland, R. (1992). "The Case that the World has Reached Limits in Population, Technology, and Lifestyle - The Transition to Sustainability", ed. R. Goodland, et al. Washington, DC: Island Press pp. 3-22

Green Building Council España. (2011) "Herramientas de Evaluación de Edificios". <<http://www.gbce.es/es/pagina/herramientas-de-evaluacion-de-edificios>>

Hughes, L. (2000). "Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?". Trends in Ecology and Evolution 15: 56-61

Hutson, Susan S., Nancy L. Barber, Joan F. Kenny, Kristin S. Linsey, Deborah S. Lumia, and Molly A. Maupin. (2004). "Estimated Use of Water in the United States in 2000". U. S. Geological Survey

Illinois Department Of Transportation, (2002). "Standard Specifications For Road and Bridge Construction" Departmental Policies

Jurado-Andino, Sheila M. (2010). "Ciudad Solar: Metodología para el Análisis Económico" ME tesis. Universidad de Puerto Rico – Recinto de Mayagüez

Kibert, Charles J. (2008). "Sustainable construction: green building design and delivery 2nd ed"

Lambert T., Gilman P., Lilienthal P. (2005). "Micropower system modeling with HOMER, Integration of Alternative Sources of Energy". Farret FA, Simões MG, John Wiley & Sons, ISBN 0471712329

Lorenz, D., d'Amato, M., Des Rosiers, F., van Genne, F., Hartenberger, U., Hill, S., Jones, K., Kauko , T. (2008). "Sustainable Property Investment & Management – Key Issues and Major Challenges"

Loster, Matthias. (2010). "Total Primary Energy Supply — From Sunlight"

Lowe C., Ponce A.. (2009). "Financial & Sustainability Metrics Report". United Nations Environment Program. Innovative Financing for Sustainability

McCluney, Ross Ph. D. (2004). "Justifying Energy Efficient and Renewable Energy Technology". Plenary Session, Solar Energy Society of Canada

McGregor Alisdair, Roberts Cole. (2002). "Using the SPeARTM Assessment Tool in Sustainable Master Planning"

Morra, Linda G., Friedlander, Amy C. (2001). "Evaluaciones Mediante Estudios de Caso". Departamento de Operaciones Banco Mundial

Naciones Unidas. 2009. "Financiamiento Innovador Para la sostenibilidad, Iniciativa Financiera". Programa Ambiental de las Naciones Unidas

Naciones Unidas (NNUU). (1992). Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro. "Agenda 21"

National Renewable Energy Laboratory. (2005). "Getting Started Guide for HOMER Ver. 2.1" National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO

Pirages, D. (1994). "Sustainability as an Evolving Process". *Futures*, 26(2), 197-205

Prindle, Bill, Eldridge, Maggie. (2007). "The Twin Pillars of Sustainable Energy: Synergies between Energy Efficiency and Renewable Energy Technology and Policy". American Council for an Energy-Efficient Economy

Puerto Rico. Ley Núm. 114 del año 2007. Para ordena y autorizar a la AEE a establecer un programa de medición neta (net metering). 16 de agosto de 2007

Ramírez Zarzosa, Aurelio. (2009). "Un Diseño para un Edificio Sostenible". Consejo Construcción Verde España. Spain Green Building Council

Romero Risalde, Francisco J. (2005). "Diseño Central térmica de biomasa de 5 Mw de potencia"

Ropp, Michael. (2007). "Photovoltaic System", *Encyclopedia of Energy Engineering and Technology - 3 Volume Set (Print Version)* Edited by Barney L. Capehart, CRC Press, Pages 1147–1159, Print ISBN: 978-0-8493-3653-9

Sánchez, Carlos., Piedra Castillo, Denisse e Mendoza, Iveth. (2006). Validación y ajuste de modelos de radiación solar directa para la ciudad de Bogotá a partir de datos experimentales tomados en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. *REVISTA COLOMBIANA DE FÍSICA*, VOL. 38, No. 4

Siegenthaler, Urs; et al. (2005). "Stable Carbon Cycle–Climate Relationship During the Late Pleistocene". *Science* 310 (5752): pp. 1313–1317

Todd, Joel., Fowler, Kim. (2010). "Measuring Performance of Sustainable Buildings". Pacific Northwest National Laboratory, National Institute of Building Sciences

Urban Planning Council Abu Dhabi. (2010). "Pearl Building Rating System: Design & Construction, Version 1.0"

U.S. Census Bureau. (2011). <<http://www.census.gov/>>, (14 de Julio de 2011)

US Central Intelligence Agency. (2011). "The World Factbook". <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/rq.html>. (14 de septiembre de 2011)

U.S. Department of Energy. (2008). "Energy Data Book". Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. < <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov>>

U.S. Energy Information Administration. (2010). "International Energy Outlook 2010 – Highlights". www.eia.gov (3 de octubre de 2011)

U.S. Environmental Protection Agency. (2012a). Greenhouse Gas Equivalencies Calculator-U.S. (21 de abril de 2012)

U.S. Environmental Protection Agency. (2011a). "Recent Climate Change: Atmosphere Changes", Climate Change Science Program. <<http://www.epa.gov/>> Datos de 14 de Julio de 2011

U.S. Environmental Protection Agency. (2011b) "Clean Energy: Air Emissions". <www.epa.gov>

U.S. Environmental Protection Agency. (2001). "Healthy Buildings, Healthy People: A Vision for the 21st Century"

U.S. Environmental Protection Agency. (2012) "List of Drinking Water Contaminants & MCLS" Office of Ground Water and Drinking Water (6 de marzo de 2012)

U.S. General Service Administration. "Sustainable Design Program". <<http://www.gsa.gov/>>

U.S. Green Building Council. (2009). "LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction"

U.S. Green Building Council. (2000). "What LEED Is". <http://www.usgbc.org>

Vanegas Jorge A., DuBose Jennifer R., Pearce Annie R., (1996). "Sustainable Technologies for the Building Construction Industry". Proc. Symp. on Design for the Global Environment. Atlanta, GA

Wikipedia, (2007). "Energía Renovable". <[Http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_renovable)>

Wikipedia, (2007). "Energía Solar". <[Http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar](http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar)>

World Energy Consumption,
http://en.wikipedia.org/wiki/World_energy_consumption

APENDICE 1

Datos Recolectados en las Auditorias Energéticas

Datos Auditoría Oficina Hormigueros

Equipos eléctricos dentro de las oficinas de Tamrío Hormigueros

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Computadora de escritorio	1	200	120	1.666667	2	2	400
Impresora(1)	1	350	120	2.916667	0.1	3	35
Impresora(2)	1	1200	120	10	0.1	1	120
Bocinas Computadora	1	30	120	0.25	1	5	30
Router	1	100	120	0.833333	6	5	600
Internet /fax	1	204	120	1.7			0
Teléfono	3	15	115	0.130435	N/A	5	0
Calculadora Eléctrica	1	30	120	0.25	0.08	1	2.4
Microonda	1	1100	120	9.166667	0.2	5	220
Nevera	1	204	115	1.773913	16	7	3264
Maquina de Hielo	1	1200	120	10	16	7	0
Maquina de Agua	1	600	120	5	2	7	1200
Acondicionador de Aire(1)	1	1230	120	10.25	8	5	9840
Acondicionador de Aire(2)	1	1450	120	12.08333	8	5	11600
Cargadores	5	6	120	0.05	2	5	60
Lámpara Fluorescente 4'	6	40	120	0.333333	8	5	1920
Lámpara Fluorescente 8'	2	100	120	0.833333	12	5	
Lámpara	2	400	120	3.333333	12	5	
							29291.4

Tráiler de reunión

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana
Acondicionador de Aire	2	3516	120	29.3	6	1
Nevera	1	300	120	2.5	12	7

Datos Auditoría Oficina San Germán

Equipos eléctricos dentro de las oficinas de Tamrío San Germán

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Computadora de escritorio	1	200	120	1.666667	4	2	800
Computadora Portátil	1	150	120	1.25	3	5	450
Impresora(1)	1	350	120	2.916667	0.25	5	87.5
Impresora(2)	2	450	120	3.75	0.15	5	135
Bocinas Computadora	1	30	120	0.25	2	5	60
Router	1	30	120	0.25	12	5	360
Internet /fax	1	204	120	1.7	0.25	5	51
Teléfono	3	15	115	0.130435	0	5	0
Calculadora Eléctrica	1	30	120	0.25	0.25	1	7.5
Radio Reloj	1	100	120	0.833333	2	5	200
Microonda	1	950	120	7.916667	0.08	5	76
Cafetera	1	1000	120	8.333333	1	5	1000
Nevera	1	204	115	1.773913	16	7	3264
Nevera de Refresco	1	1440	120	12	16	7	
Maquina de Hielo	1	1200	120	10	16	7	

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Acondicionador de Aire(1)	1	1230	120	10.25	0	5	0
Acondicionador de Aire(2)	2	1450	120	12.083333	12	5	34800
Cargadores	6	6	120	0.05	12	5	432
Lámpara/foco	3	100	120	0.8333333	12	7	
Lámpara Fluorescente 4'	10	40	120	0.3333333	12	5	4800
Lámpara/foco	1	1000	120	8.3333333	12	7	
Lámpara/foco	5	400	120	3.3333333	12	7	
Tráiler de almacén - San Germán							46523
Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	
Computadora Portátil	1	400	120	3.3333333	3	1	
Maquina de Cortar acero	1		220	0	6	1	

Datos Auditoría Oficina Mayagüez

Equipos eléctricos dentro de las oficinas de Tamrío

Mayagüez

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Computadora de escritorio	1	200	120	1.666667	3	3	600
Computadora Portátil	1	150	120	1.25	3	5	450
Impresora	2	350	120	2.916667	0.16	5	112
Bocinas Computadora	1	30	120	0.25	1	5	30

Equipos	Cantidad	Vatios	Voltios	Amperes	Horas uso por día	Días por semana	Consumo Diario
Router	1	30	120	0.25	12	5	360
Internet /fax	1	204	120	1.7	2	5	408
Teléfono	2	15	115	0.130435	0	5	0
Calculadora Eléctrica	1	30	120	0.25	0.25	1	7.5
Radio Reloj	1	100	120	0.833333	2	5	200
Microonda	1	950	120	7.916667	0.08	5	76
Cafetera	1	1000	120	8.333333	0.2	5	200
Nevera	1	204	115	1.773913	16	7	3264
Maquina de Hielo	1	1200	120	10	16	7	0
Acondicionador de Aire	1	2666	240	11.10833	8	5	21328
Cargadores	3	6	120	0.05	3	5	54
Lámpara/foco	6	150	120	1.25	12	7	0
Lámpara/foco	20	40	120	0.333333	8	7	0

27.0895

APENDICE 2

Resultados Programa HOMER[®] para los casos Estudiados

System Report - Oficina Hormigueros Escenario #1

Sensitivity case

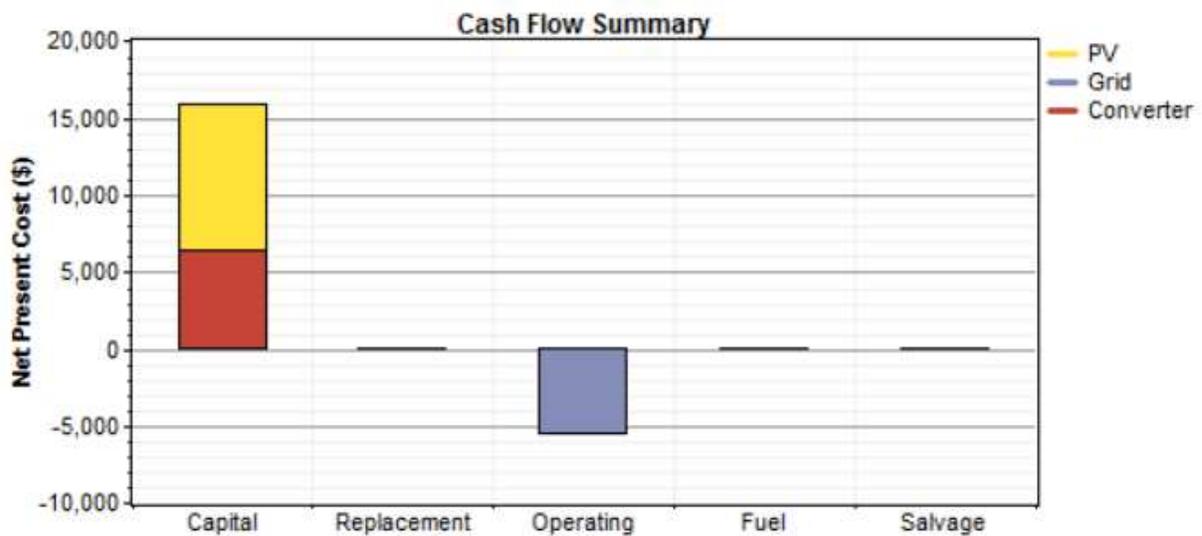
Rate 1 Power Price: 0.3 \$/kWh
 Annual Real Interest Rate: 0.48 %
 Maximum Annual Capacity Shortage: 0 %
 Operating Reserve Solar: 10 %

System architecture

PV Array 5.52 kW
 Grid 1,000 kW
 Inverter 7.5 kW
 Rectifier 6 kw

Cost summary

Total net present cost	\$ 11,507
Levelized cost of energy	\$ 0.056/kWh
Operating cost	\$ -41.7/yr

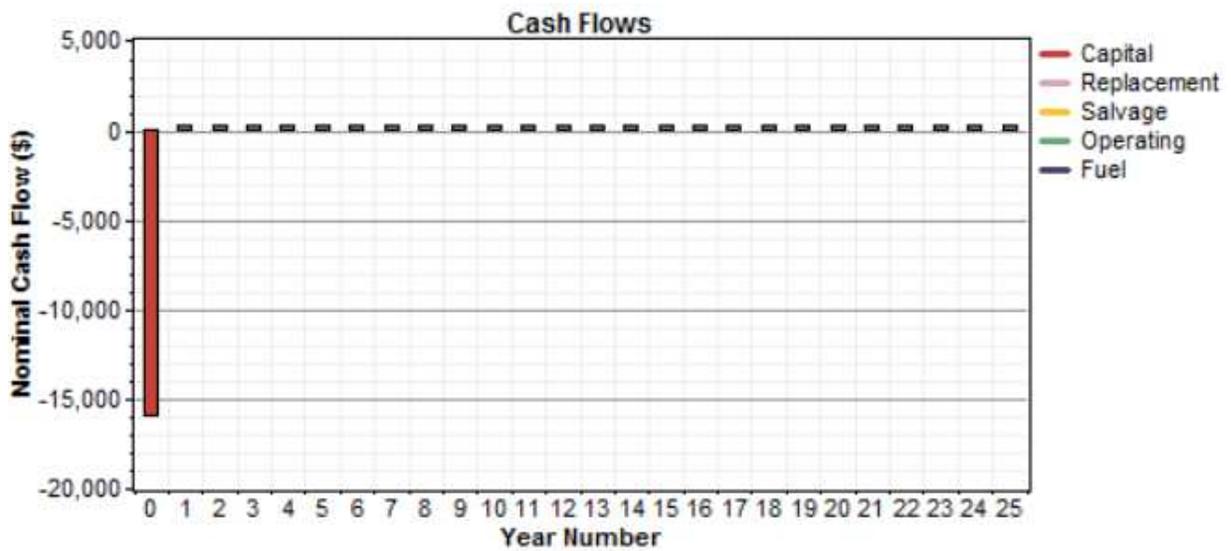


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	7,816	0	0	0	0	7,816
Grid	0	0	-981	0	0	-981
Converter	3,702	0	0	0	0	3,702
System	11,518	0	-981	0	0	11,507

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	333	0	0	0	0	333
Grid	0	0	-42	0	0	-42
Converter	157	0	0	0	0	157
System	490	0	-42	0	0	448

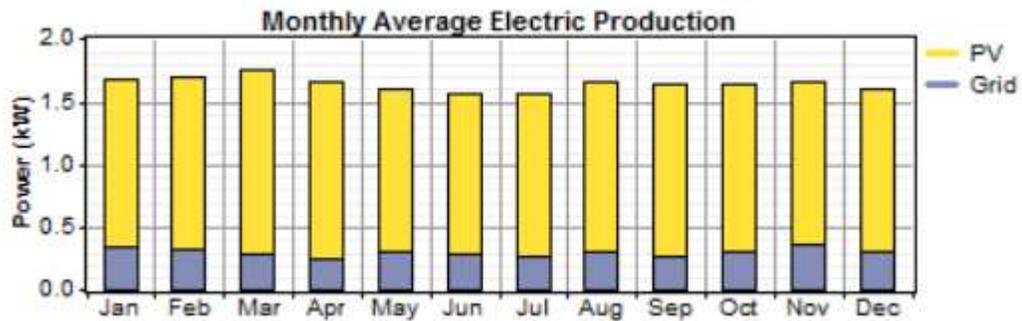


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	9,364	76%
Grid purchases	2,951	24%
Total	12,315	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	7,993	70%
Grid sales	3,385	30%
Total	11,378	100%

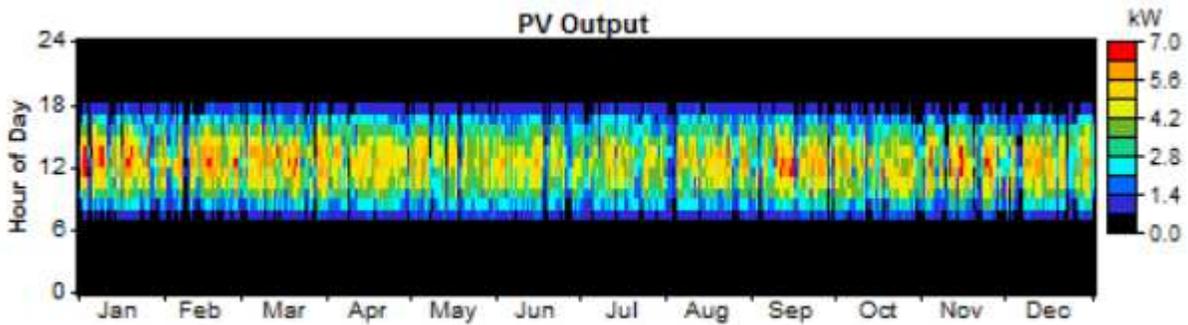
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.00188	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.760	



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	5.52	kW
Mean output	1.07	kW
Mean output	25.7	kWh/d
Capacity factor	19.4	%
Total production	9,364	kWh/yr

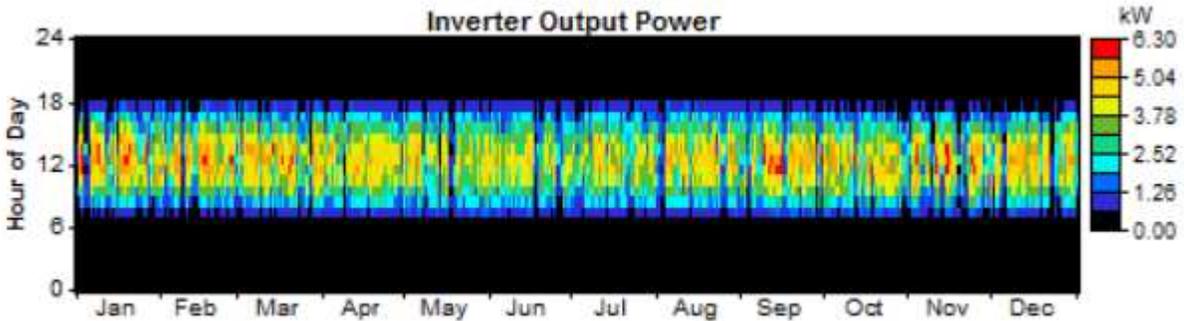
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	5.45	kW
PV penetration	117	%
Hours of operation	4,421	hr/yr
Levelized cost	0.0355	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	6.00	6.00	kW
Mean output	0.96	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	4.90	0.00	kW
Capacity factor	16.0	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,421	0	hrs/yr
Energy in	9,364	0	kWh/yr
Energy out	8,428	0	kWh/yr
Losses	936	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	281	296	-15	3	-1	0
Feb	240	290	-50	3	-5	0
Mar	242	346	-104	2	-10	0
Apr	197	279	-82	2	-8	0
May	261	253	8	2	3	0
Jun	229	243	-14	2	-1	0
Jul	235	251	-16	2	-2	0
Aug	261	273	-12	3	-1	0
Sep	212	301	-89	3	-9	0
Oct	258	267	-9	2	-1	0
Nov	280	287	-6	3	-1	0
Dec	254	300	-46	2	-5	0
Annual	2,951	3,385	-434	3	-42	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-274
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-1.19
Nitrogen oxides	-0.582

System Report - Oficina Hormigueros Escenario #2

Sensitivity case

Rate 1 Power Price:	0.3 \$/kWh
Annual Real Interest Rate:	0.48 %
Maximum Annual Capacity Shortage:	0 %
Operating Reserve Solar:	10 %

System architecture

PV Array	6.9 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	7.5 kW
Rectifier	7.5 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 13,028
Levelized cost of energy	\$ 0.057/kWh
Operating cost	\$ -233/yr

Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	9,481	0	0	0	0	9,481
Grid	0	0	-5,479	0	0	-5,479
Converter	6,372	0	0	0	0	6,372
System	15,853	0	-5,479	0	0	10,374

AC Load: Primary Load 1

Data source: Synthetic

Daily noise: 1%

Hourly noise: 1%

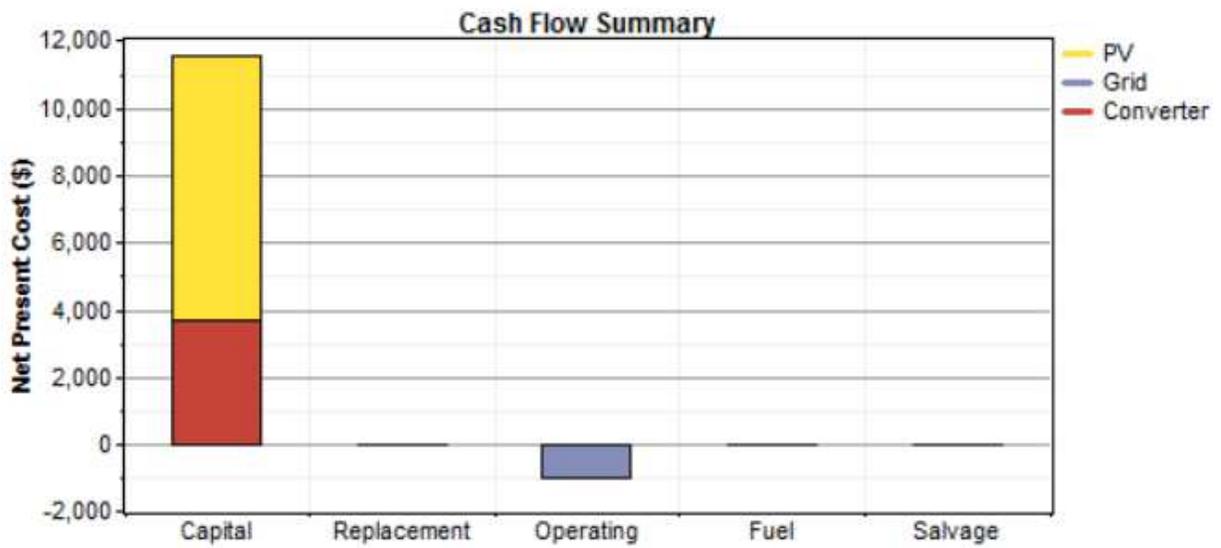
Scaled annual average: 21.9 kWh/d

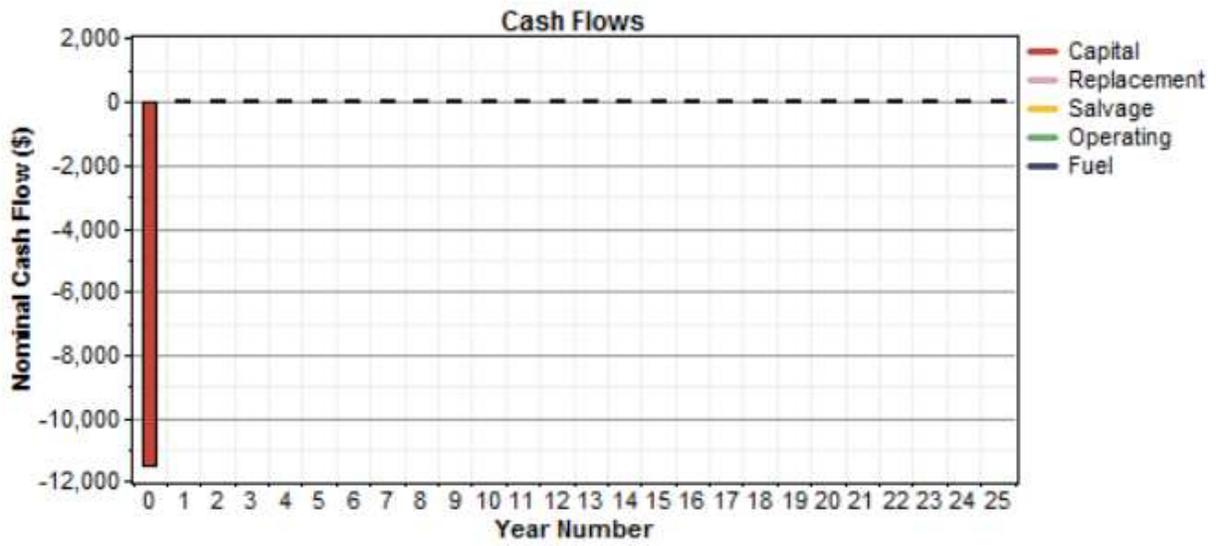
Scaled peak load: 3.22 kW

Load factor: 0.283

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	403	0	0	0	0	403
Grid	0	0	-233	0	0	-233
Converter	271	0	0	0	0	271
System	674	0	-233	0	0	441



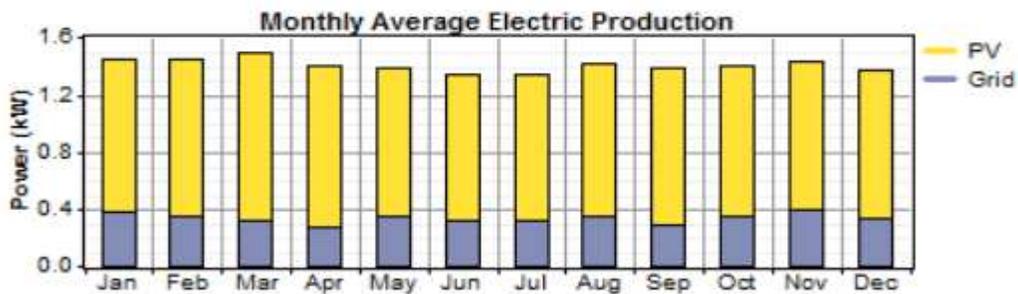


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	11,755	82%
Grid purchases	2,636	18%
Total	14,391	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.000963	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.817	

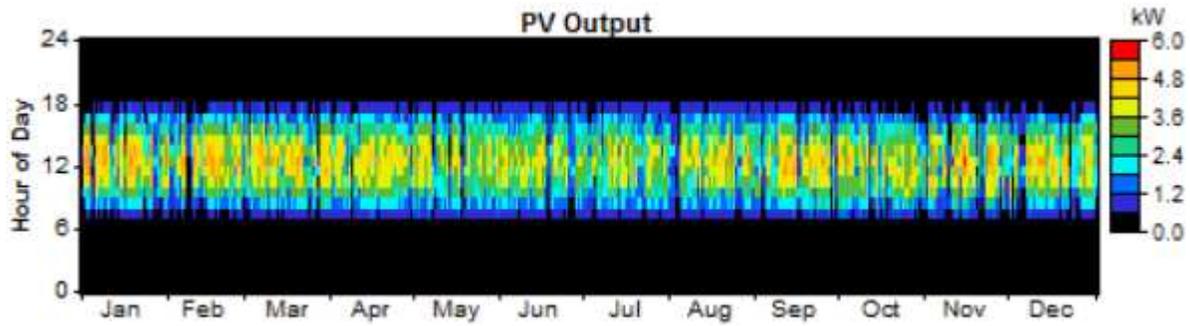
Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	8,249	62%
Grid sales	4,967	38%
Total	13,216	100%



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	6.90	kW
Mean output	1.34	kW
Mean output	32.2	kWh/d
Capacity factor	19.4	%
Total production	11,755	kWh/yr

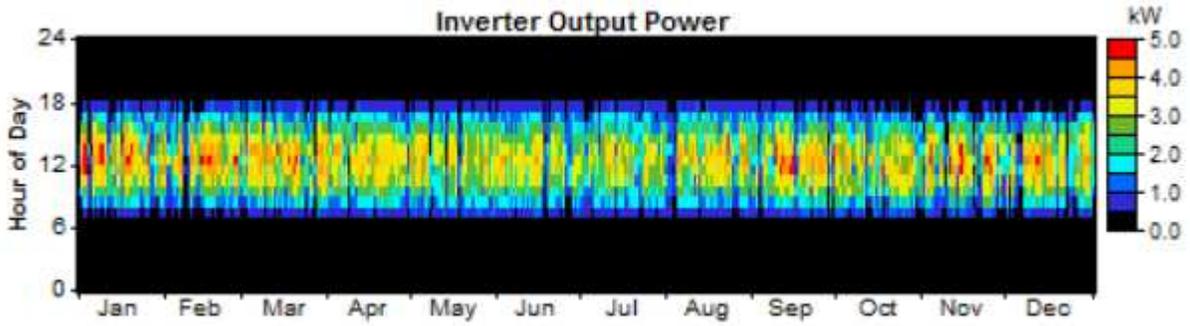
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	6.83	kW
PV penetration	143	%
Hours of operation	4,421	hr/yr
Levelized cost	0.0343	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	12.0	12.0	kW
Mean output	1.2	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW
Maximum output	6.1	0.0	kW
Capacity factor	10.1	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,421	0	hrs/yr
Energy in	11,755	0	kWh/yr
Energy out	10,580	0	kWh/yr
Losses	1,176	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	256	430	-174	3	-17	0
Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Feb	218	417	-199	3	-20	0
Mar	216	496	-281	3	-28	0
Apr	172	420	-248	3	-25	0
May	233	379	-146	3	-15	0
Jun	203	365	-162	3	-16	0
Jul	205	376	-172	3	-17	0
Aug	231	403	-172	3	-17	0
Sep	188	439	-251	4	-25	0
Oct	229	396	-167	3	-17	0
Nov	255	413	-157	3	-16	0
Dec	230	432	-202	3	-20	0
Annual	2,636	4,967	-2,331	4	-233	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-1,473
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-6.39
Nitrogen oxides	-3.12

AC Load: Primary Load 1

Data source: Synthetic

Daily noise: 1%

Hourly noise: 1%

Scaled annual average: 26.6 kWh/d

Scaled peak load: 3.95 kW

Load factor: 0.281

System Report - Oficina Hormigueros Escenario #3

AC Load: Primary Load 1

Sensitivity case

Data source: Synthetic

Daily noise: 1%

Hourly noise: 1%

Scaled annual average: 32 kWh/d

Scaled peak load: 3.45 kW

Load factor: 0.387

Rate 1 Power Price: 0.3 \$/kWh

Annual Real Interest Rate: 0.48 %

Maximum Annual Capacity Shortage: 0 %

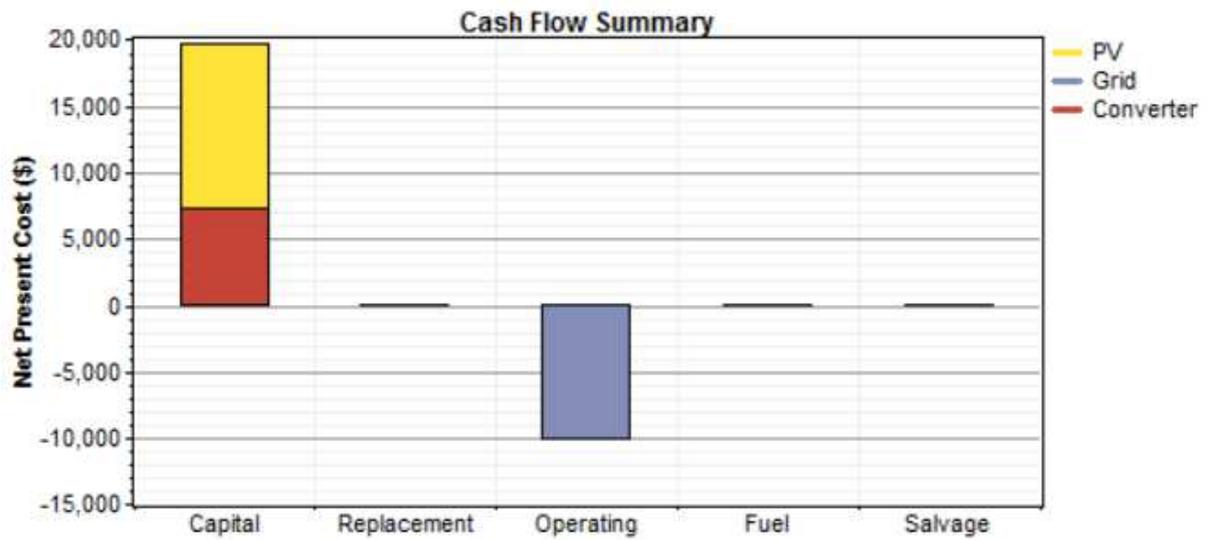
Operating Reserve Solar: 10 %

System architecture

PV Array	9.66 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	15 kW
Rectifier	15 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 13,671
Levelized cost of energy	\$ 0.050/kWh
Operating cost	\$ -429/yr

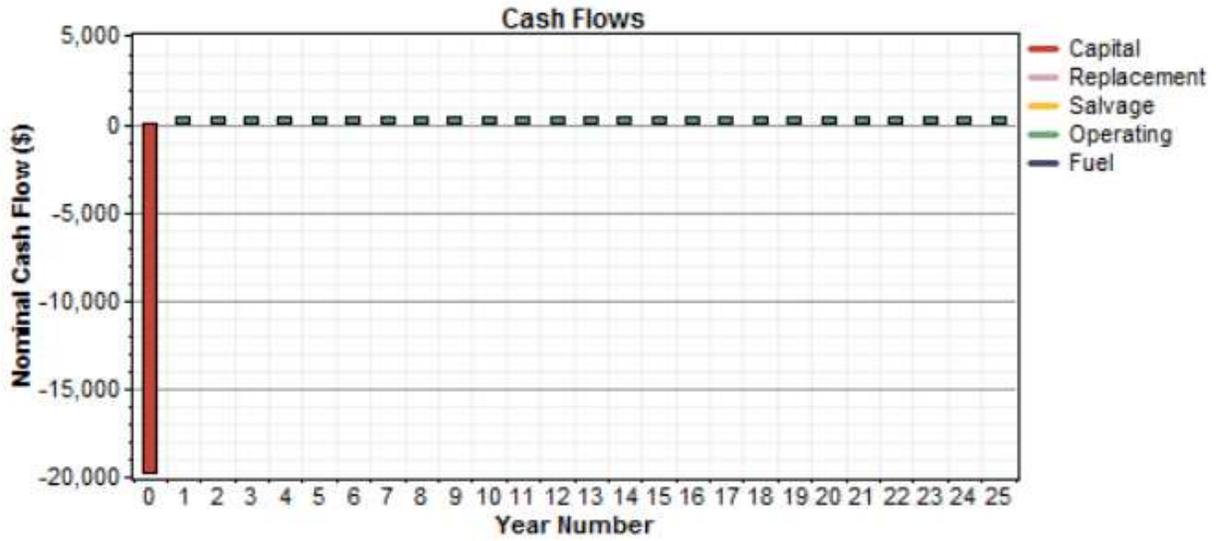


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	12,420	0	0	0	0	12,420
Grid	0	0	-10,079	0	0	-10,079
Converter	7,320	0	0	0	0	7,320
System	19,740	0	-10,079	0	0	13,671

Annualized Costs

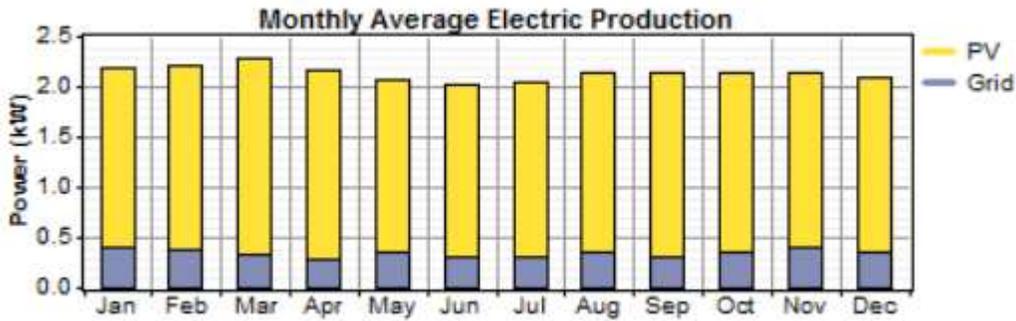
Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	528	0	0	0	0	528
Grid	0	0	-429	0	0	-429
Converter	311	0	0	0	0	311
System	840	0	-429	0	0	411



Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	15,674	84%
Grid purchases	3,032	16%
Total	18,706	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	9,819	57%
Grid sales	7,320	43%
Total	17,139	100%

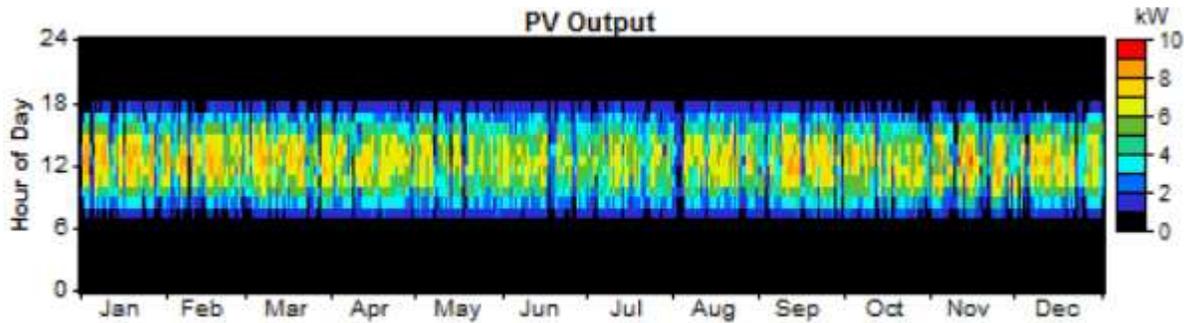


Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.000946	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.838	

PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	9.20	kW
Mean output	1.79	kW
Mean output	42.9	kWh/d
Capacity factor	19.4	%
Total production	15,674	kWh/yr

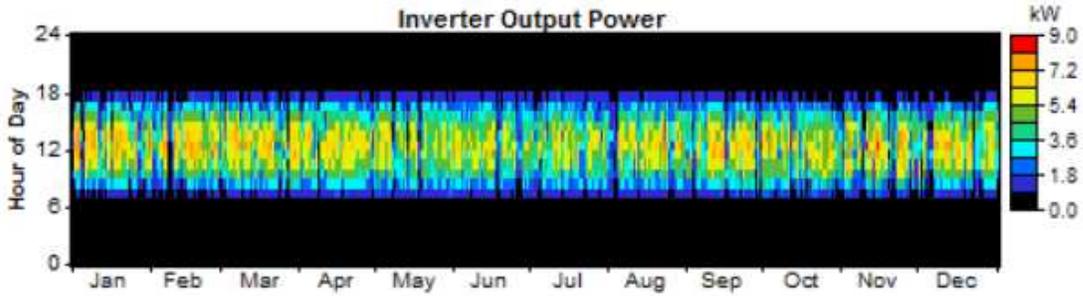
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	9.11	kW
PV penetration	160	%
Hours of operation	4,421	hr/yr
Levelized cost	0.0337	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	12.0	12.0	kW
Mean output	1.6	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW
Maximum output	8.2	0.0	kW
Capacity factor	13.4	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,421	0	hrs/yr
Energy in	15,674	0	kWh/yr
Energy out	14,106	0	kWh/yr
Losses	1,567	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	298	635	-337	3	-34	0
Feb	251	607	-356	3	-36	0
Mar	249	722	-474	3	-47	0
Apr	201	626	-424	2	-42	0
May	262	562	-299	3	-30	0
Jun	230	540	-311	3	-31	0
Jul	230	558	-328	3	-33	0
Aug	260	595	-335	3	-33	0
Sep	220	644	-423	4	-42	0
Oct	268	596	-328	3	-33	0
Nov	293	603	-310	3	-31	0
Dec	270	633	-363	3	-36	0
Annual	3,032	7,320	-4,288	4	-429	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-2,710
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-11.7
Nitrogen oxides	-5.75

System Report - Oficina Mayagüez Escenario #1

Sensitivity case

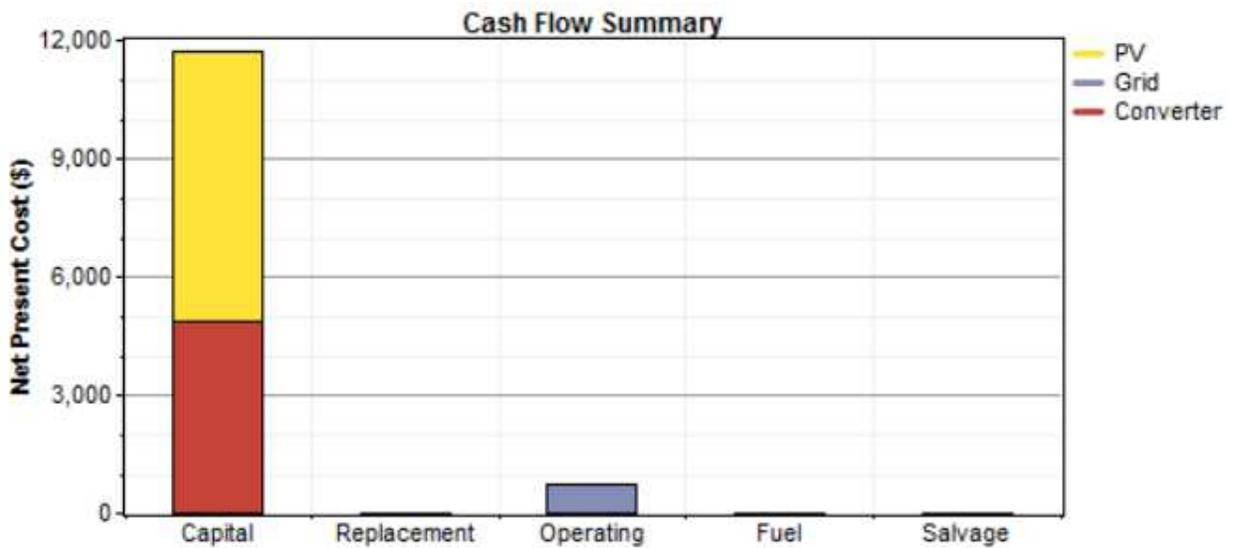
Rate 1 Power Price:	0.3 \$/kWh
Annual Real Interest Rate:	1 %
Maximum Annual Capacity Shortage:	5 %
Operating Reserve Hourly Load:	0 %
Operating Reserve Solar:	10 %

System architecture

PV Array	4.83 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	7.5 kW
Rectifier	7.5 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 12,022
Levelized cost of energy	\$ 0.074/kWh
Operating cost	\$ 34.3/yr

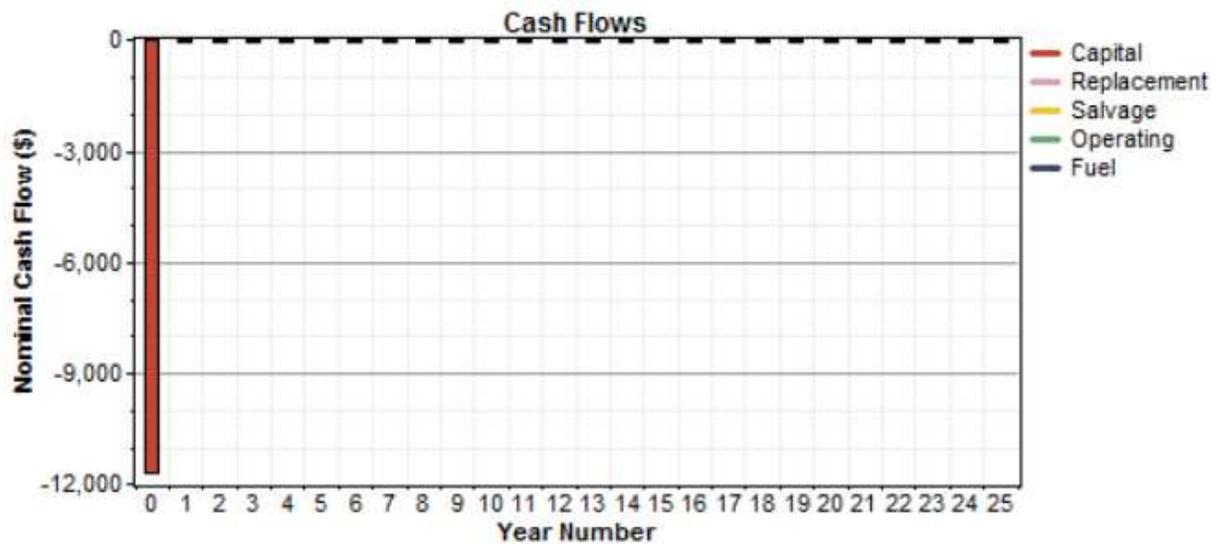


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	6,839	0	0	0	0	6,839
Grid	0	0	755	0	0	755
Converter	4,878	0	0	0	0	4,878
System	11,717	0	755	0	0	12,022

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	311	0	0	0	0	311
Grid	0	0	34	0	0	34
Converter	221	0	0	0	0	221
System	532	0	34	0	0	566

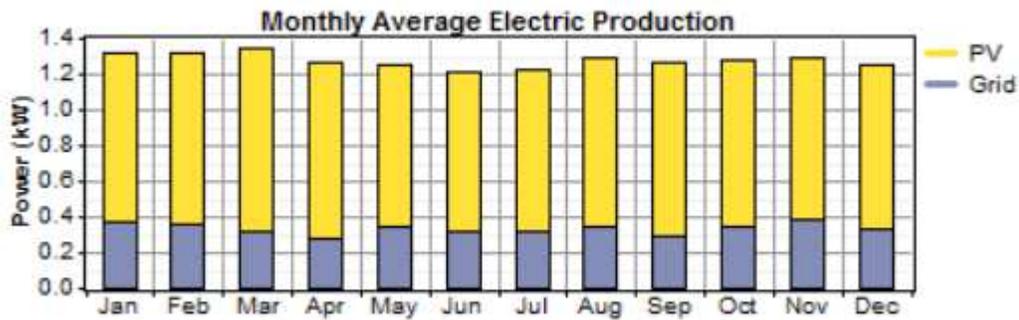


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	8,234	74%
Grid purchases	2,945	26%
Total	11,179	100%

Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.00144	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.737	

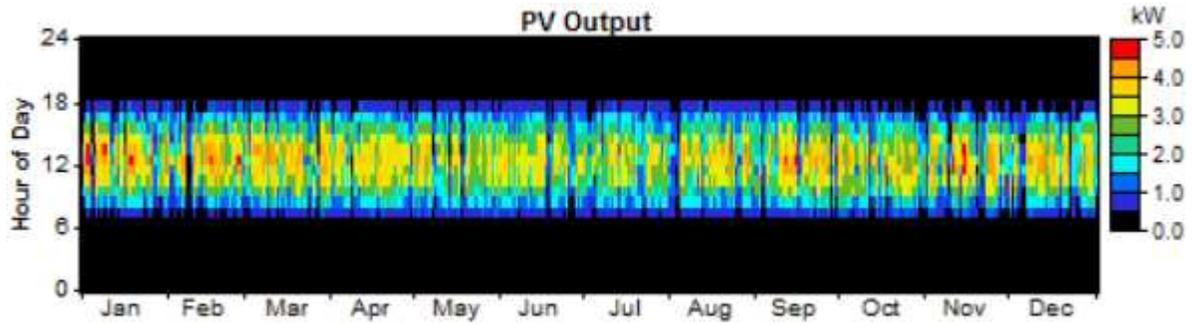
Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	7,409	72%
Grid sales	2,946	28%
Total	10,356	100%



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	4.83	kW
Mean output	0.940	kW
Mean output	22.6	kWh/d
Capacity factor	19.5	%
Total production	8,234	kWh/yr

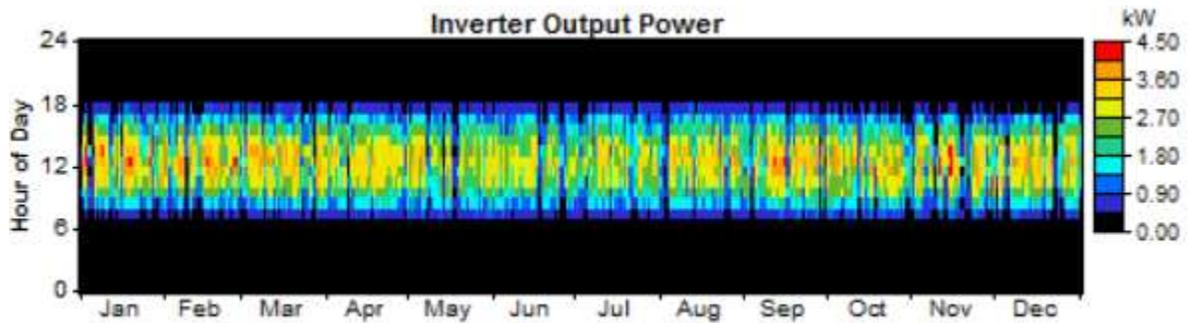
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	4.78	kW
PV penetration	111	%
Hours of operation	4,420	hr/yr
Levelized cost	0.0377	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	6.00	6.00	kW
Mean output	0.85	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	4.31	0.00	kW
Capacity factor	14.1	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,420	0	hrs/yr
Energy in	8,234	0	kWh/yr
Energy out	7,411	0	kWh/yr
Losses	823	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	280	260	20	2	6	0
Feb	239	254	-15	2	-2	0
Mar	240	299	-59	2	-6	0
Apr	204	245	-41	2	-4	0
May	259	218	41	2	12	0
Jun	231	212	19	2	6	0
Jul	236	217	18	2	5	0
Aug	260	236	23	2	7	0
Sep	214	263	-48	2	-5	0
Oct	257	231	26	2	8	0
Nov	274	248	26	2	8	0
Dec	253	263	-10	2	-1	0
Annual	2,945	2,946	-1	2	34	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-0.889
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-0.00386
Nitrogen oxides	-0.00189

AC Load: Primary Load 1

Data source:	Synthetic
Daily noise:	1%
Hourly noise:	1%
Scaled annual average:	20.3 kWh/d
Scaled peak load:	2.61 kW
Load factor:	0.324

System Report - Oficina Mayagüez Escenario #2

Sensitivity case

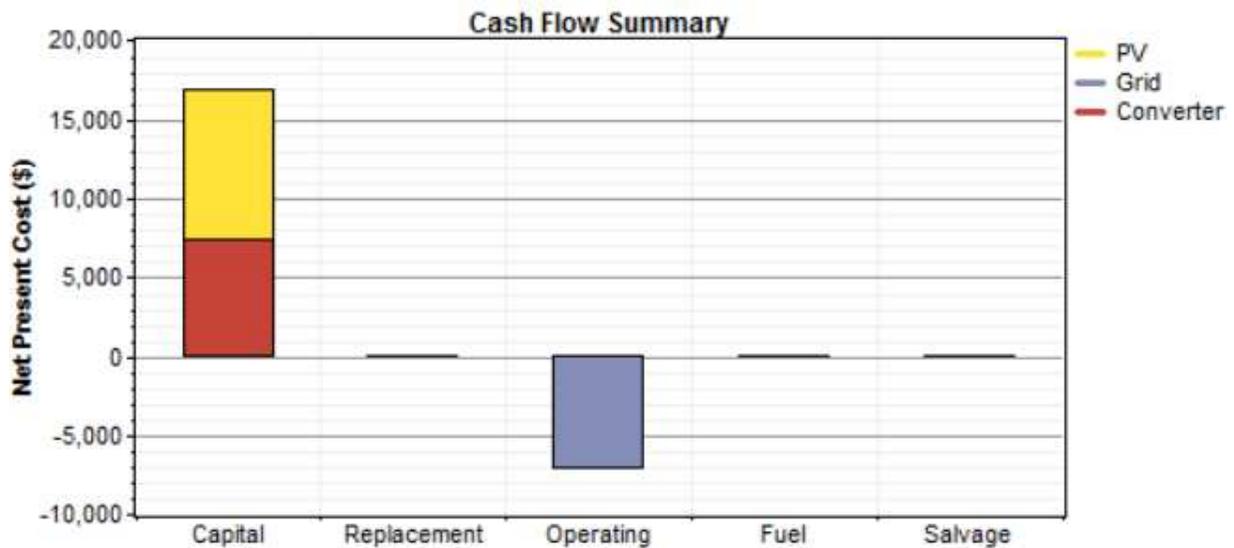
Rate 1 Power Price:	0.3 \$/kWh
Annual Real Interest Rate:	1 %
Maximum Annual Capacity Shortage:	5 %
Operating Reserve Hourly Load:	0 %
Operating Reserve Solar:	10 %

System architecture

PV Array	6.9 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	7.5 kW
Rectifier	7.5 kW

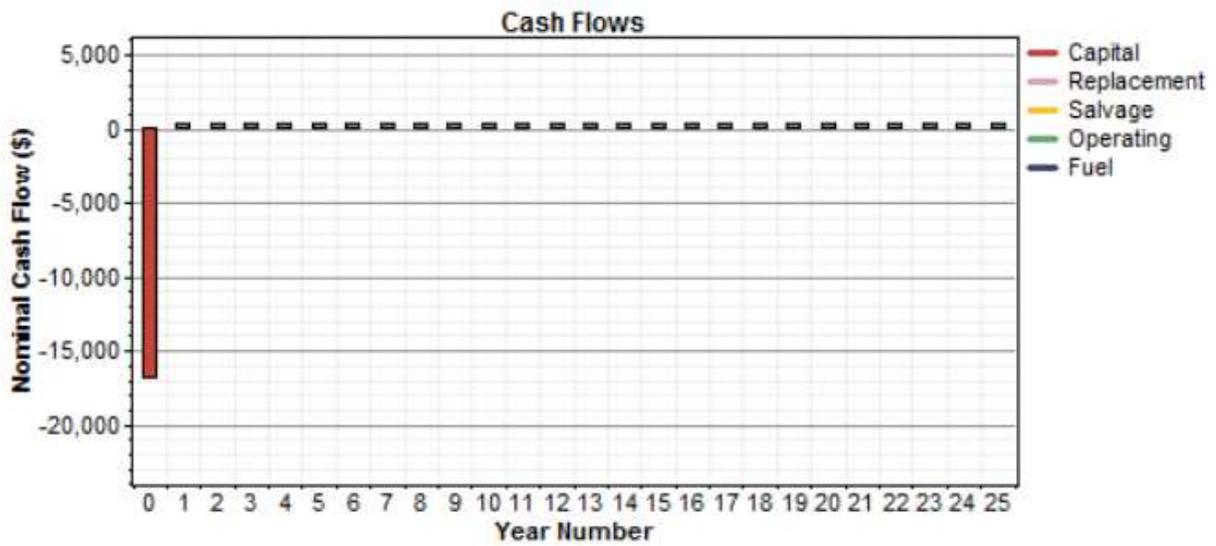
Cost summary

Total net present cost	\$ 12,579
Levelized cost of energy	\$ 0.060/kWh
Operating cost	\$ -318/yr



Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	9,481	0	0	0	0	9,481
Grid	0	0	-6,998	0	0	-6,998
Converter	7,428	0	0	0	0	7,428
System	16,909	0	-6,998	0	0	12,579



Annualized Costs

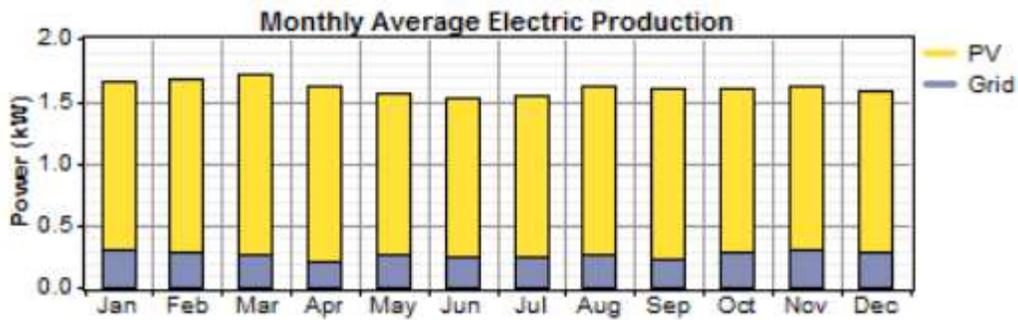
Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	430	0	0	0	0	430
Grid	0	0	-318	0	0	-318
Converter	337	0	0	0	0	337
System	768	0	-318	0	0	450

Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	11,763	83%
Grid purchases	2,335	17%
Total	14,098	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	7,409	57%
Grid sales	5,512	43%
Total	12,922	100%

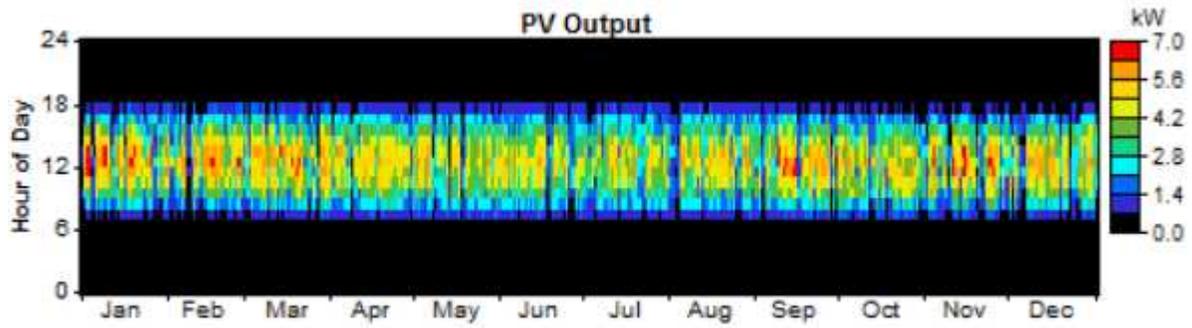
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.000654	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.834	



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	6.90	kW
Mean output	1.34	kW
Mean output	32.2	kWh/d
Capacity factor	19.5	%
Total production	11,763	kWh/yr

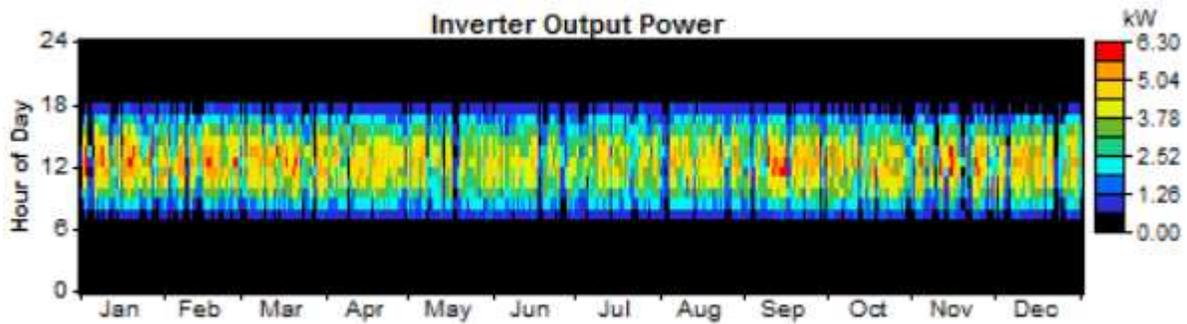
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	6.83	kW
PV penetration	159	%
Hours of operation	4,420	hr/yr
Levelized cost	0.0366	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	12.0	12.0	kW
Mean output	1.2	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW
Maximum output	6.2	0.0	kW
Capacity factor	10.1	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,420	0	hrs/yr
Energy in	11,763	0	kWh/yr
Energy out	10,587	0	kWh/yr
Losses	1,176	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	231	481	-250	2	-25	0
Feb	197	461	-264	2	-26	0
Mar	195	547	-352	2	-35	0
Apr	154	469	-315	2	-32	0
May	200	419	-219	2	-22	0
Jun	175	404	-229	2	-23	0
Jul	180	422	-242	2	-24	0
Aug	201	447	-246	2	-25	0
Sep	166	482	-316	2	-32	0
Oct	206	448	-242	2	-24	0
Nov	225	454	-229	2	-23	0
Dec	206	478	-272	2	-27	0
Annual	2,335	5,512	-3,178	2	-318	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-2,008
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-8.71
Nitrogen oxides	-4.26

AC Load: Primary Load 1

Data source: Synthetic
 Daily noise: 1%
 Hourly noise: 1%
 Scaled annual average: 25.9 kWh/d
 Scaled peak load: 4.28 kW
 Load factor: 0.252

System Report - Oficina Mayagüez Escenario #3

Sensitivity case

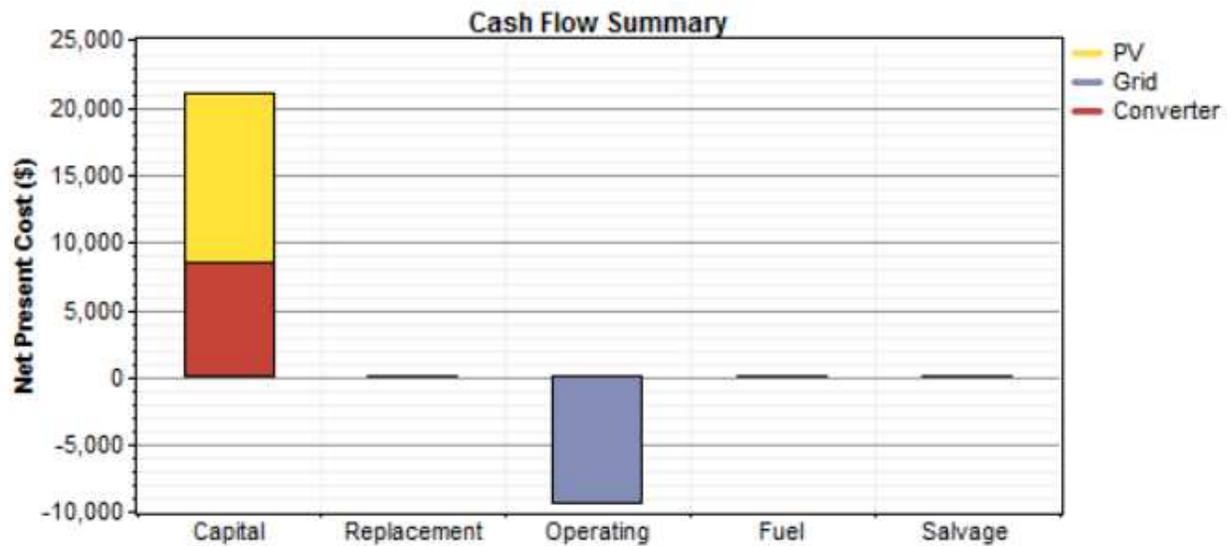
Rate 1 Power Price:	0.3 \$/kWh
Annual Real Interest Rate:	1 %
Maximum Annual Capacity Shortage:	5 %
Operating Reserve Hourly Load:	0 %
Operating Reserve Solar:	10 %

System architecture

PV Array	9.66 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	15 kW
Rectifier	15 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 16,284
Levelized cost of energy	\$ 0.058/kWh
Operating cost	\$ -426/yr

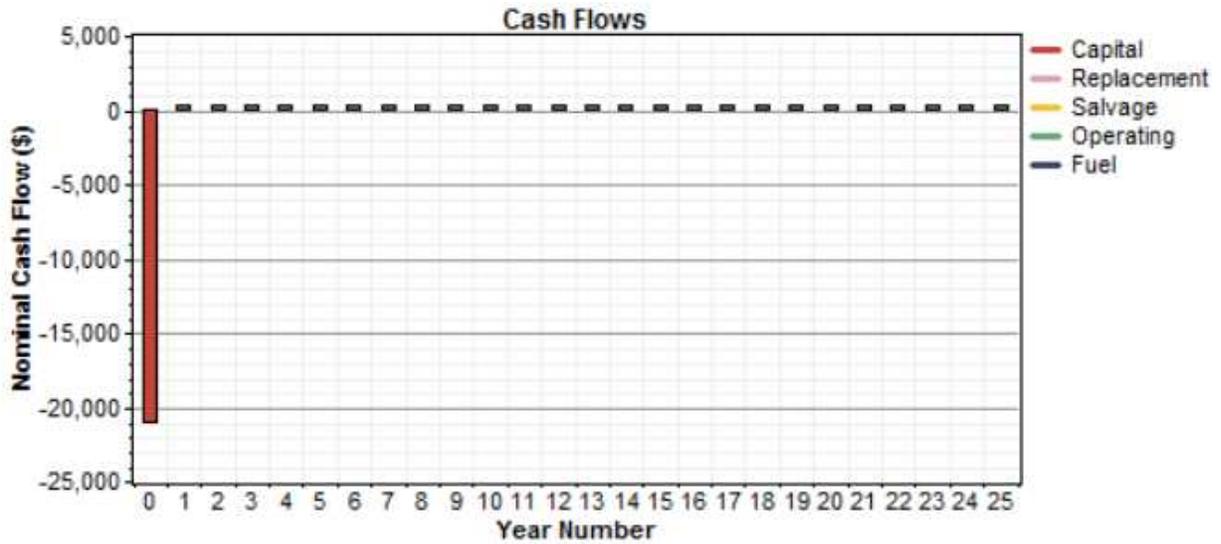


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	12,420	0	0	0	0	12,420
Grid	0	0	-9,384	0	0	-9,384
Converter	8,544	0	0	0	0	8,544
System	20,964	0	-9,384	0	0	16,284

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	564	0	0	0	0	564
Grid	0	0	-426	0	0	-426
Converter	388	0	0	0	0	388
System	952	0	-426	0	0	526

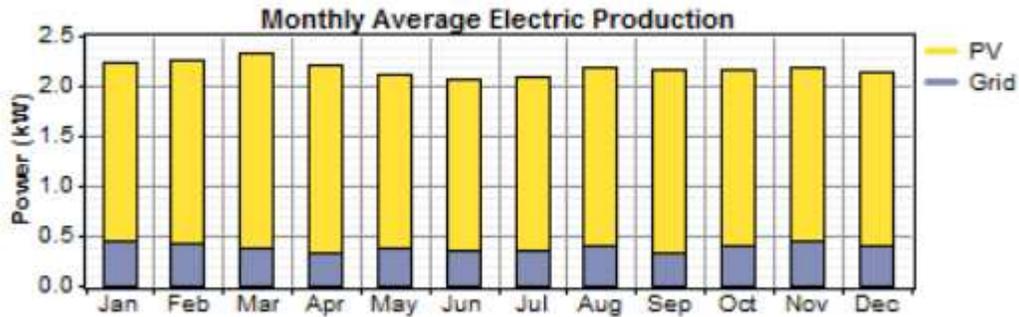


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	15,684	82%
Grid purchases	3,429	18%
Total	19,113	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	9,855	56%
Grid sales	7,690	44%
Total	17,545	100%

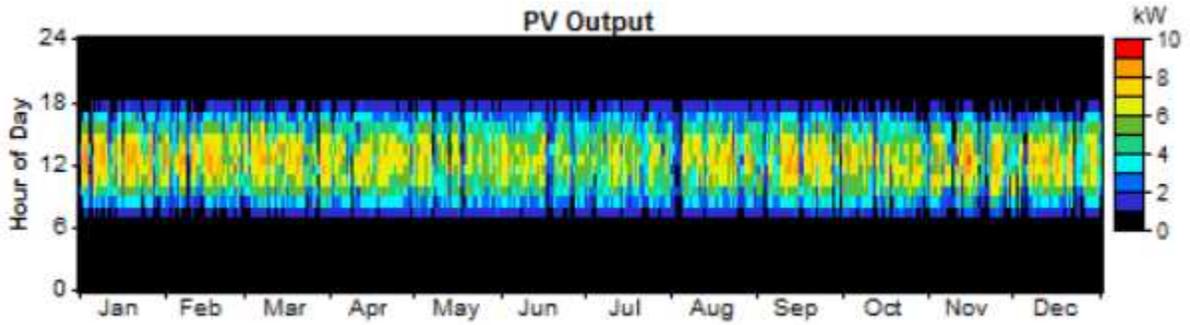
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.0000172	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.821	



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	9.20	kW
Mean output	1.79	kW
Mean output	43.0	kWh/d
Capacity factor	19.5	%
Total production	15,684	kWh/yr

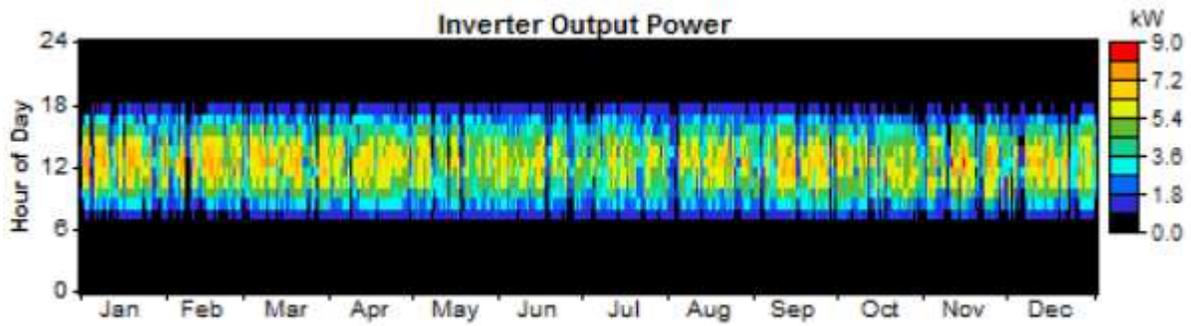
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	9.11	kW
PV penetration	159	%
Hours of operation	4,420	hr/yr
Levelized cost	0.0360	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	12.0	12.0	kW
Mean output	1.6	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW
Maximum output	8.2	0.0	kW
Capacity factor	13.4	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,420	0	hrs/yr
Energy in	15,684	0	kWh/yr
Energy out	14,116	0	kWh/yr
Losses	1,568	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	332	670	-337	3	-34	0
Feb	286	641	-355	3	-35	0
Mar	286	758	-471	3	-47	0
Apr	234	655	-421	3	-42	0
May	292	588	-296	3	-30	0
Jun	259	566	-307	3	-31	0
Jul	269	594	-324	3	-32	0
Aug	295	627	-332	3	-33	0
Sep	248	668	-420	3	-42	0
Oct	299	625	-326	3	-33	0
Nov	324	633	-309	3	-31	0
Dec	303	664	-362	3	-36	0
Annual	3,429	7,690	-4,261	3	-426	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-2,693
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-11.7
Nitrogen oxides	-5.71

AC Load: Primary Load 1

Data source:	Synthetic
Daily noise:	1%
Hourly noise:	1%
Scaled annual average:	34.7 kWh/d
Scaled peak load:	3.43 kW
Load factor:	0.422

System Report – Oficina San Germán Escenario #1

Sensitivity case

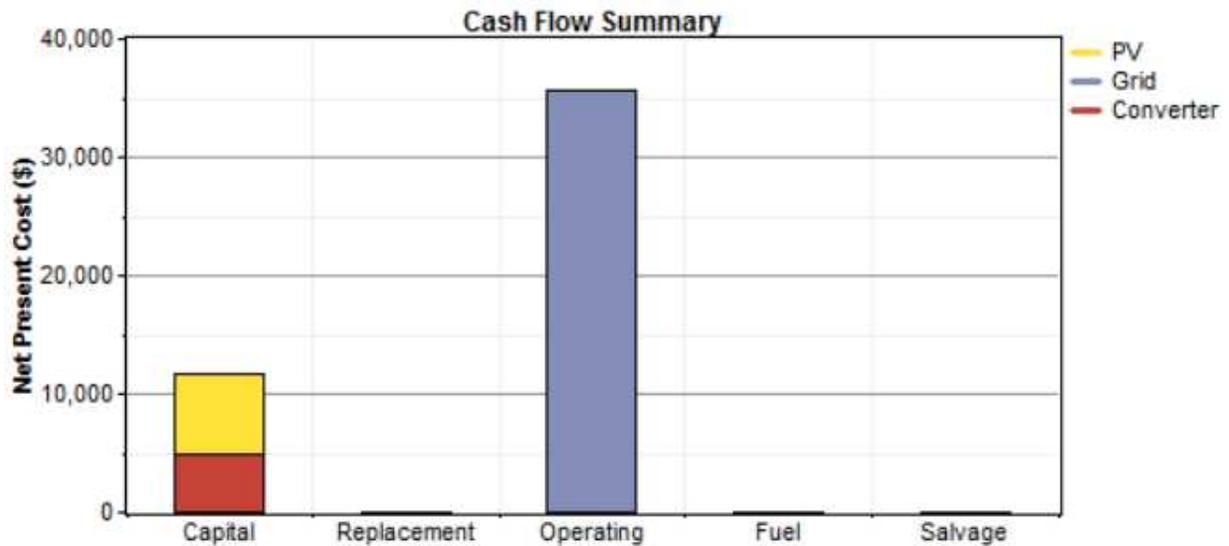
Rate 1 Power Price:	0.3	\$/kWh
Annual Real Interest Rate:	0.48	%
Maximum Annual Capacity Shortage:	0	%
Operating Reserve Solar:	10	%

System architecture

PV Array	4.83 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	7.5 kW
Rectifier	7.5 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 46,848
Levelized cost of energy	\$ 0.160/kWh
Operating cost	\$ 1,514/yr

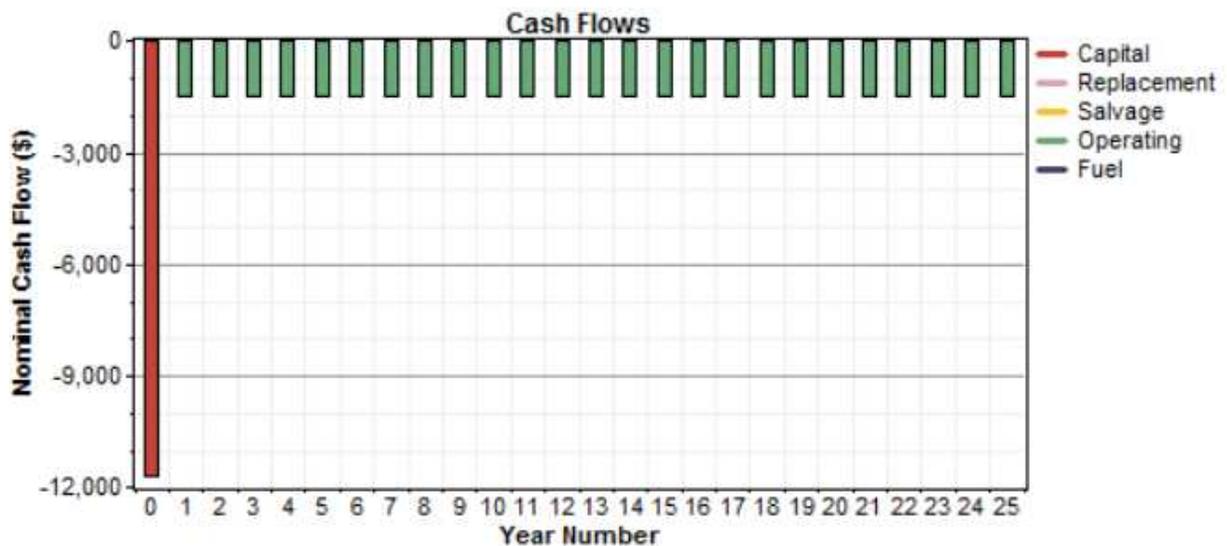


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	6,839	0	0	0	0	6,839
Grid	0	0	35,581	0	0	35,581
Converter	4,878	0	0	0	0	4,878
System	11,717	0	35,581	0	0	46,848

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	291	0	0	0	0	291
Grid	0	0	1,514	0	0	1,514
Converter	208	0	0	0	0	208
System	498	0	1,514	0	0	2,012

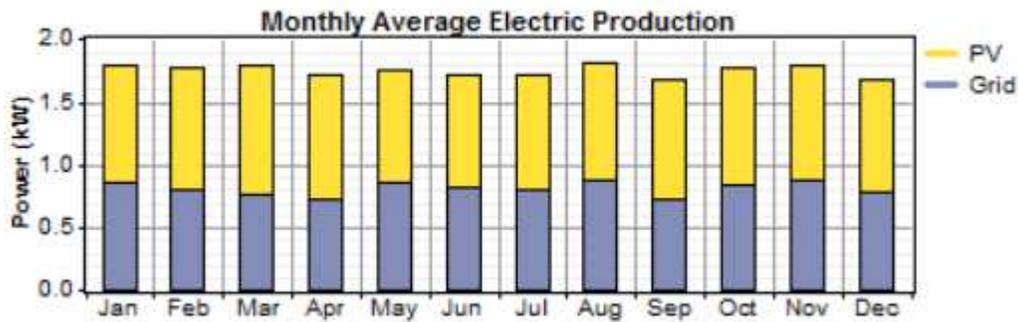


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	8,223	54%
Grid purchases	7,083	46%
Total	15,306	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	12,447	86%
Grid sales	2,037	14%
Total	14,484	100%

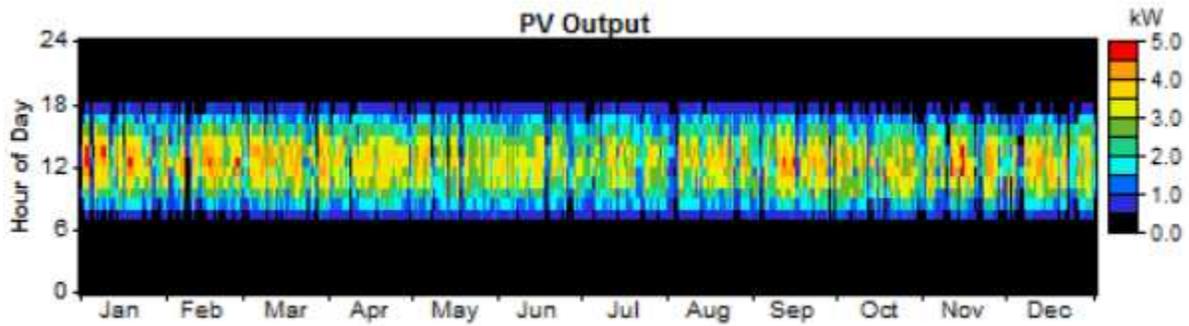
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.00109	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.537	



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	4.83	kW
Mean output	0.939	kW
Mean output	22.5	kWh/d
Capacity factor	19.4	%
Total production	8,223	kWh/yr

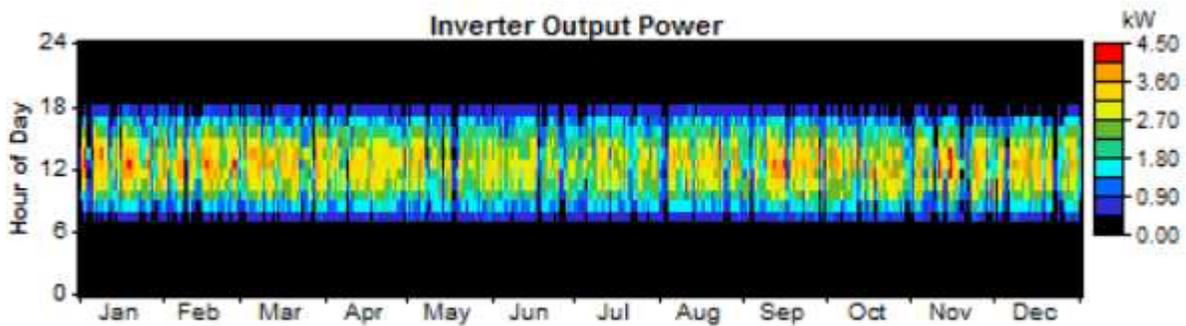
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	4.78	kW
PV penetration	66.1	%
Hours of operation	4,421	hr/yr
Levelized cost	0.0354	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	6.00	6.00	kW
Mean output	0.84	0.00	kW
Minimum output	0.00	0.00	kW
Maximum output	4.31	0.00	kW
Capacity factor	14.1	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,421	0	hrs/yr
Energy in	8,223	0	kWh/yr
Energy out	7,401	0	kWh/yr
Losses	822	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	634	168	466	5	140	0
Feb	540	174	366	5	110	0

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Mar	573	204	369	5	111	0
Apr	524	158	366	5	110	0
May	632	159	473	5	142	0
Jun	587	158	429	5	129	0
Jul	594	152	442	5	133	0
Aug	645	161	484	5	145	0
Sep	521	177	344	5	103	0
Oct	629	158	471	5	141	0
Nov	626	182	444	5	133	0
Dec	578	186	392	5	118	0
Annual	7,083	2,037	5,046	5	1,514	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	3,189
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	13.8
Nitrogen oxides	6.76

AC Load:Primary Load 1

Data source:	Synthetic
Daily noise:	5%
Hourly noise:	5%
Scaled annual average:	34.1 kWh/d
Scaled peak load:	5.34 kW
Load factor:	0.266

System Report - Oficina San Germán Escenario #2

Sensitivity case

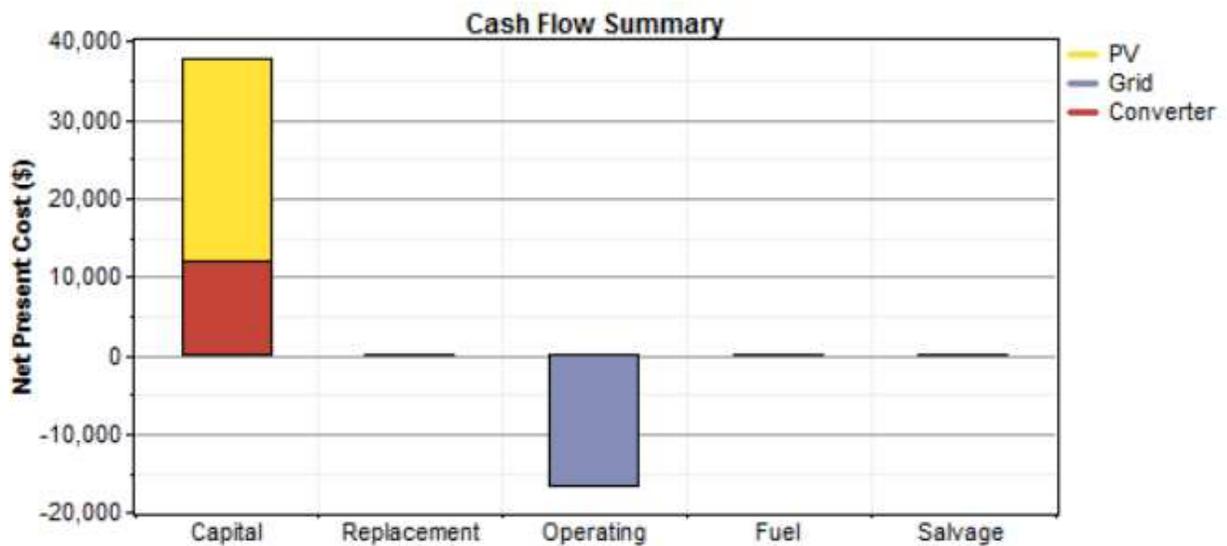
Rate 1 Power Price:	0.23 \$/kWh
Annual Real Interest Rate:	0.48 %
Maximum Annual Capacity Shortage:	0 %
Operating Reserve Solar:	10 %

System architecture

PV Array	9.66 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	15 kW
Rectifier	15 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 18,017
Levelized cost of energy	\$ 0.061/kWh
Operating cost	\$ -701/yr

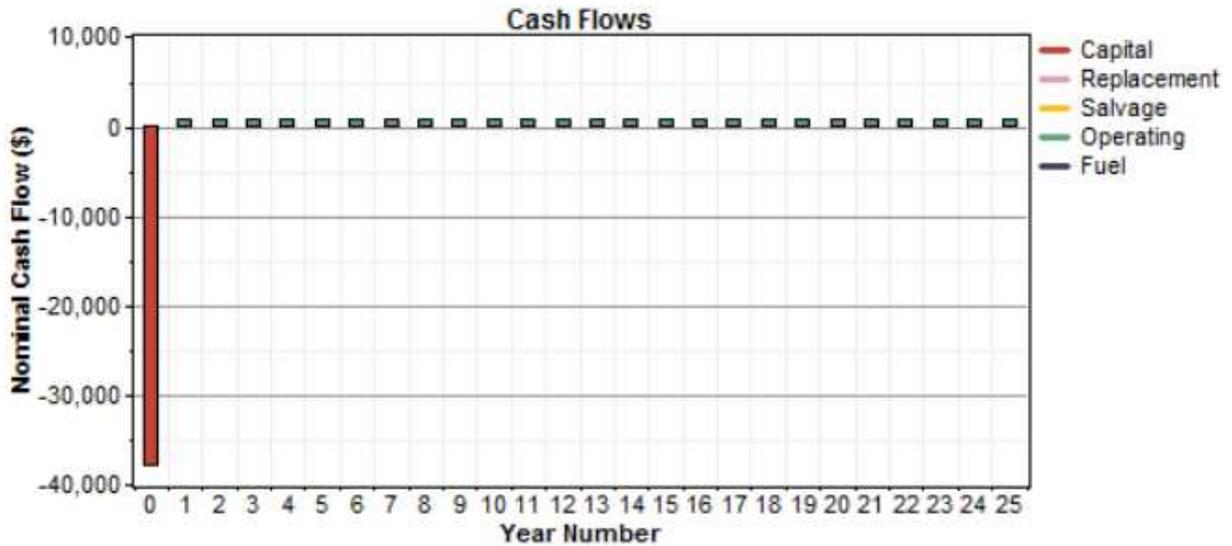


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	25,639	0	0	0	0	25,639
Grid	0	0	-16,472	0	0	-16,472
Converter	12,096	0	0	0	0	12,096
System	37,735	0	-16,472	0	0	18,017

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	1,091	0	0	0	0	1,091
Grid	0	0	-701	0	0	-701
Converter	515	0	0	0	0	515
System	1,605	0	-701	0	0	905

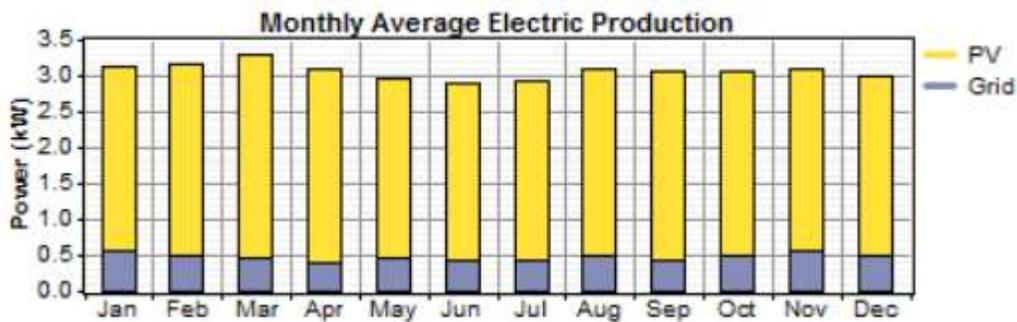


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	22,711	84%
Grid purchases	4,186	16%
Total	26,897	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	13,432	55%
Grid sales	11,194	45%
Total	24,626	100%

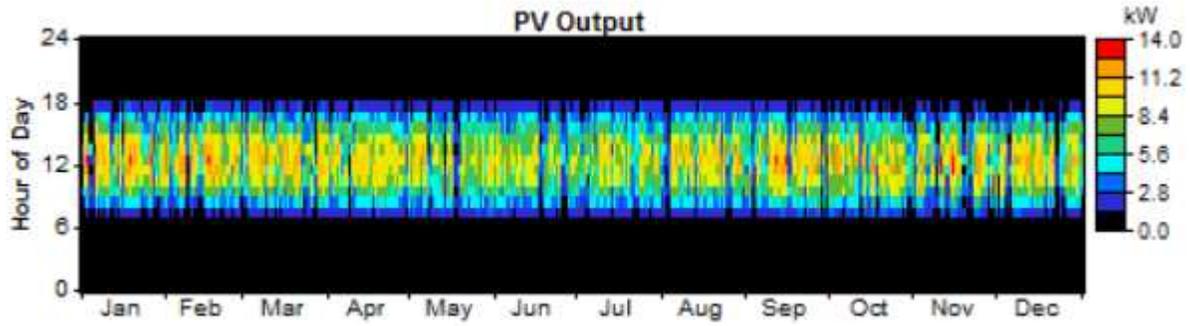
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.00163	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.844	



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	13.3	kW
Mean output	2.59	kW
Mean output	62.2	kWh/d
Capacity factor	19.4	%
Total production	22,711	kWh/yr

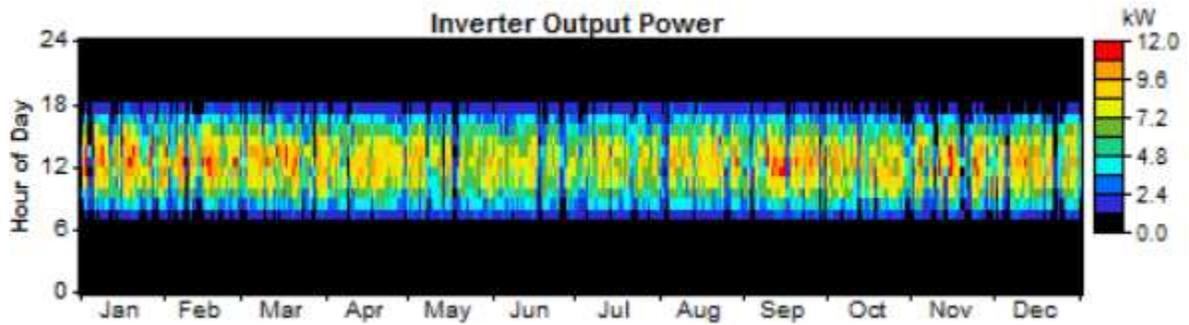
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	13.2	kW
PV penetration	169	%
Hours of operation	4,421	hr/yr
Levelized cost	0.0480	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	18.0	18.0	kW
Mean output	2.3	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW
Maximum output	11.9	0.0	kW
Capacity factor	13.0	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,421	0	hrs/yr
Energy in	22,711	0	kWh/yr
Energy out	20,440	0	kWh/yr
Losses	2,271	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	417	969	-552	5	-55	0
Feb	338	920	-583	5	-58	0
Mar	347	1,099	-752	5	-75	0
Apr	277	958	-681	5	-68	0
May	355	866	-511	5	-51	0
Jun	316	830	-513	5	-51	0
Jul	321	865	-545	5	-54	0
Aug	368	903	-535	5	-54	0
Sep	304	982	-678	5	-68	0
Oct	375	915	-540	5	-54	0
Nov	401	919	-518	5	-52	0
Dec	369	969	-601	5	-60	0
Annual	4,186	11,194	-7,008	5	-701	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-4,429
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-19.2
Nitrogen oxides	-9.39

AC Load: Primary Load 1

Data source: Synthetic
 Daily noise: 5%
 Hourly noise: 5%
 Scaled annual average: 36.8 kWh/d
 Scaled peak load: 5.82 kW
 Load factor: 0.264

System Report - Oficina San Germán Escenario #3

Sensitivity case

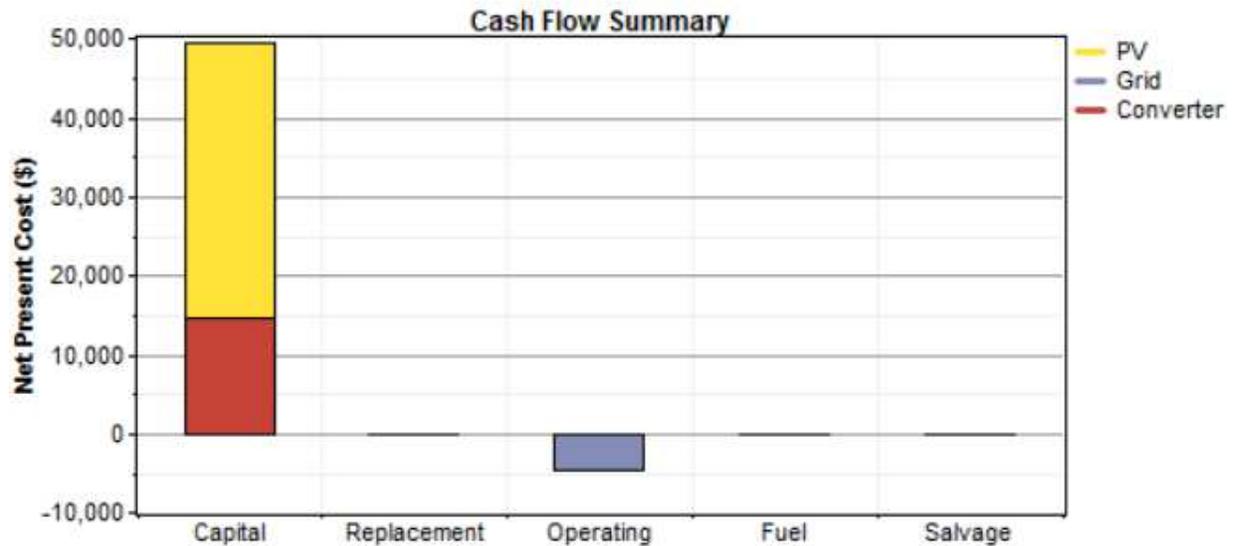
Rate 1 Power Price: 0.23 \$/kWh
 Annual Real Interest Rate: 0.48 %
 Maximum Annual Capacity Shortage: 0 %
 Operating Reserve Solar: 10 %

System architecture

PV Array	14.49 kW
Grid	1,000 kW
Inverter	15 kW
Rectifier	15 kW

Cost summary

Total net present cost	\$ 57,540
Levelized cost of energy	\$ 0.094/kWh
Operating cost	\$ -202/yr

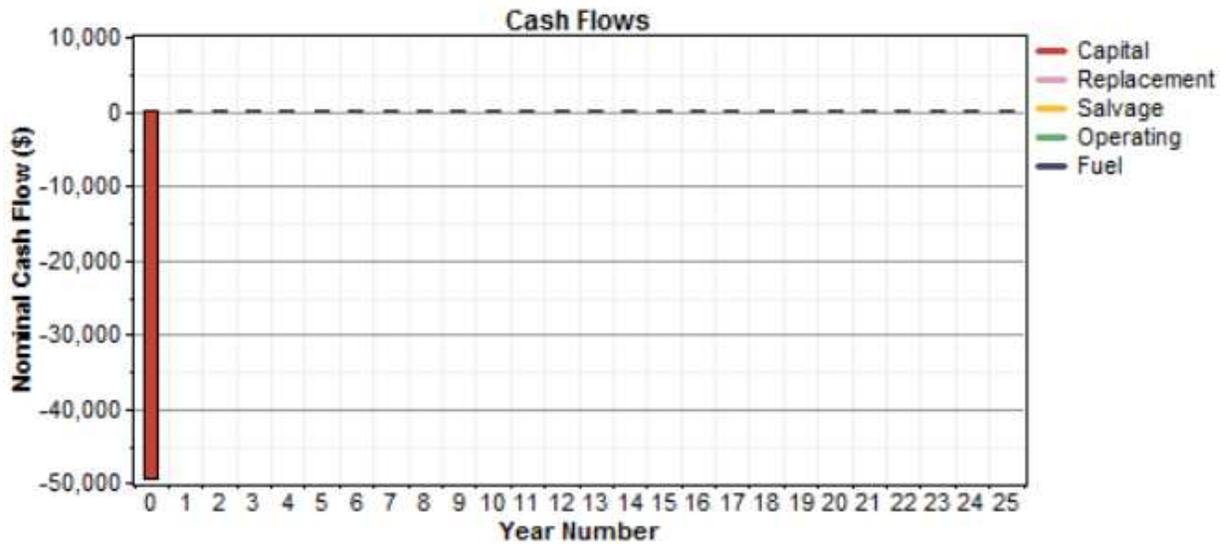


Net Present Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)	(\$)
PV	34,960	0	0	0	0	34,960
Grid	0	0	-4,754	0	0	-4,754
Converter	14,544	0	0	0	0	14,544
System	49,504	0	-4,754	0	0	57,540

Annualized Costs

Component	Capital	Replacement	O&M	Fuel	Salvage	Total
	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)	(\$/yr)
PV	1,487	0	0	0	0	1,487
Grid	0	0	-202	0	0	-202
Converter	619	0	0	0	0	619
System	2,106	0	-202	0	0	1,904

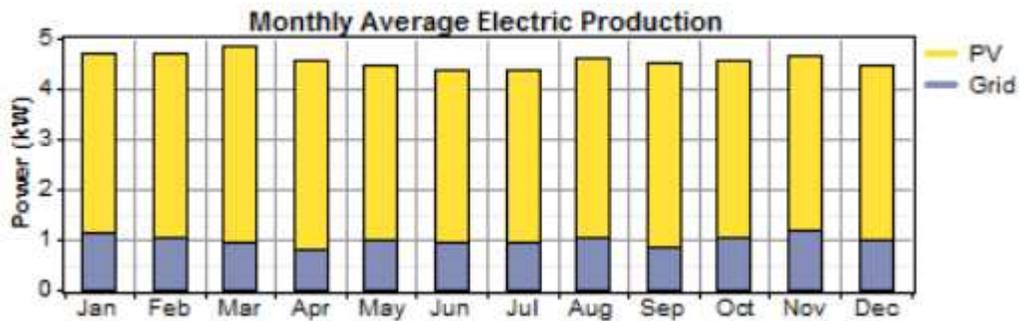


Electrical

Component	Production	Fraction
	(kWh/yr)	
PV array	31,326	78%
Grid purchases	8,818	22%
Total	40,143	100%

Load	Consumption	Fraction
	(kWh/yr)	
AC primary load	26,171	71%
Grid sales	10,840	29%
Total	37,011	100%

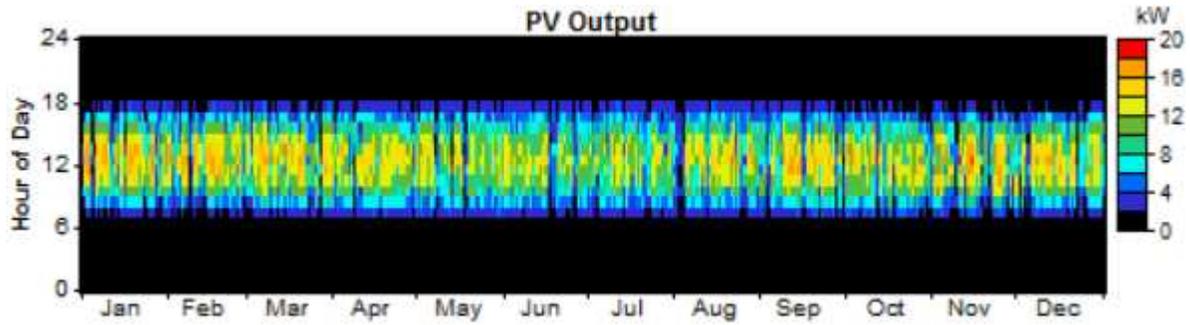
Quantity	Value	Units
Excess electricity	0.000935	kWh/yr
Unmet load	0.00	kWh/yr
Capacity shortage	0.00	kWh/yr
Renewable fraction	0.780	



PV

Quantity	Value	Units
Rated capacity	18.4	kW
Mean output	3.58	kW
Mean output	85.8	kWh/d
Capacity factor	19.4	%
Total production	31,326	kWh/yr

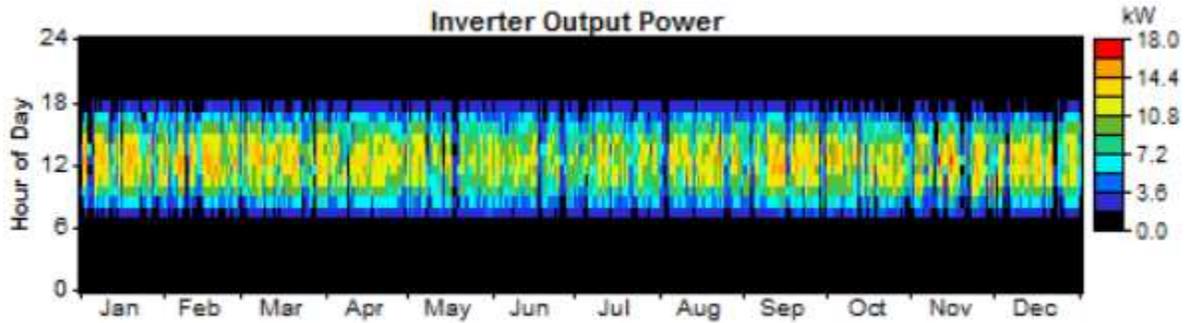
Quantity	Value	Units
Minimum output	0.00	kW
Maximum output	18.2	kW
PV penetration	120	%
Hours of operation	4,421	hr/yr
Levelized cost	0.0475	\$/kWh



Converter

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Capacity	18.0	18.0	kW
Mean output	3.2	0.0	kW
Minimum output	0.0	0.0	kW
Maximum output	16.4	0.0	kW
Capacity factor	17.9	0.0	%

Quantity	Inverter	Rectifier	Units
Hours of operation	4,421	0	hrs/yr
Energy in	31,326	0	kWh/yr
Energy out	28,193	0	kWh/yr
Losses	3,133	0	kWh/yr



Grid

Rate: Rate 1

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Jan	861	953	-93	9	-9	0
Feb	711	932	-221	8	-22	0

Month	Energy Purchased	Energy Sold	Net Purchases	Peak Demand	Energy Charge	Demand Charge
	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kW)	(\$)	(\$)
Mar	714	1,101	-387	8	-39	0
Apr	573	895	-321	7	-32	0
May	759	802	-43	8	-4	0
Jun	701	787	-86	8	-9	0
Jul	693	801	-108	7	-11	0
Aug	792	848	-56	8	-6	0
Sep	630	971	-341	9	-34	0
Oct	771	844	-73	8	-7	0
Nov	853	930	-78	8	-8	0
Dec	760	975	-215	8	-21	0
Annual	8,818	10,840	-2,022	9	-202	0

Emissions

Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	-1,278
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	-5.54
Nitrogen oxides	-2.71

AC Load: Primary Load 1

Data source:	Synthetic
Daily noise:	5%
Hourly noise:	5%
Scaled annual average:	71.7 kWh/d
Scaled peak load:	11.0 kW
Load factor:	0.272

APENDICE 3

Resultados Casos Evaluados Escenarios #2 y #3

Escenario #2

Oficina Hormigueros

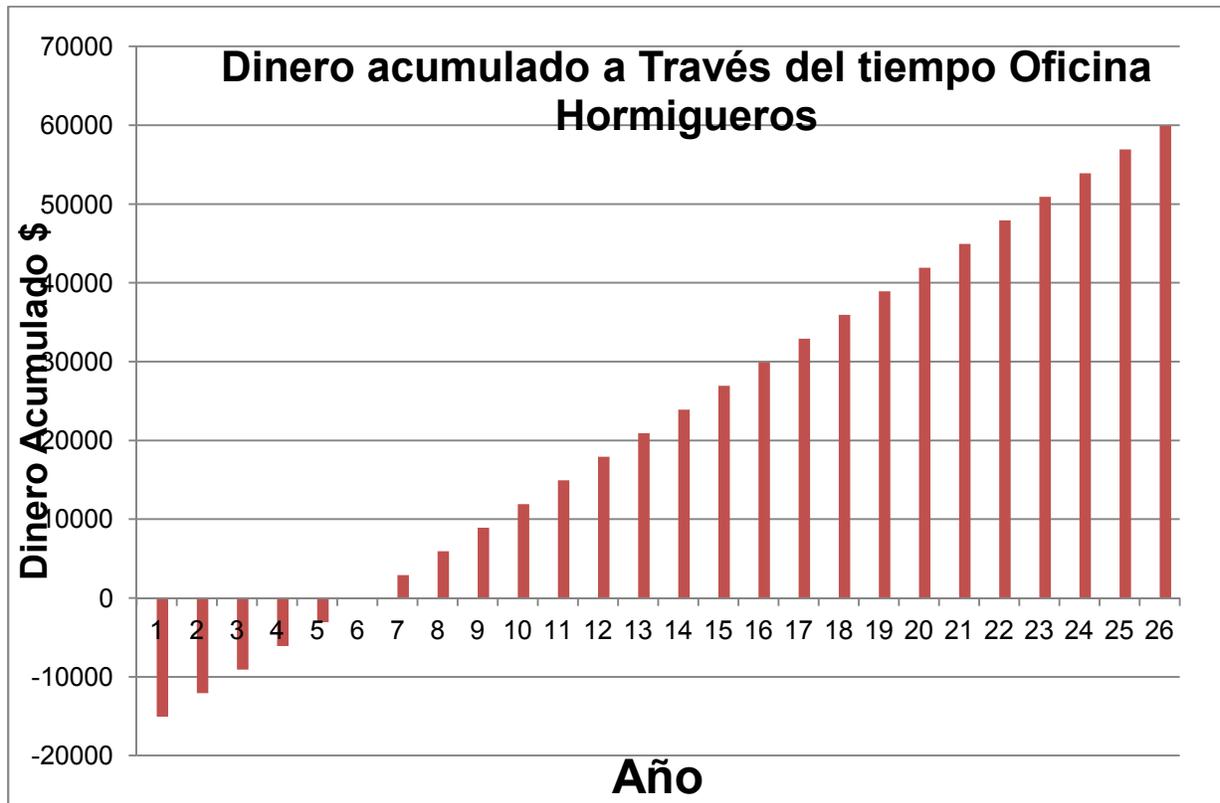


Figura A.1 Dinero acumulado a través del tiempo

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	9,488	0	9,488
Red AEE	0	-2,047	-2,047
Convertidor	5,588	0	5,588
Sistema	15,075	-2,047	13,028

Tabla A.1 Costo neto en el presente oficina Hormigueros – escenario #2

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	321	367	-46	3	-5
Febrero	271	358	-87	3	-9
Marzo	264	421	-158	3	-16
Abril	213	343	-130	3	-13
Mayo	290	308	-17	4	-2
Junio	259	303	-44	3	-4
Julio	262	310	-49	3	-5
Agosto	291	334	-43	3	-4
Septiembre	229	368	-139	4	-14
Octubre	285	323	-39	3	-4
Noviembre	314	349	-34	3	-3
Diciembre	283	368	-85	4	-8
Anual	3,282	4,153	-871	4	-87

Tabla A.2 Compras netas energía a la AEE oficina de Hormigueros – Escenario #2

Oficina Mayagüez



Tabla A.3 Dinero acumulado a través del tiempo oficina de Mayagüez – escenario #2

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	9,488	0	9,488
Red AEE	0	-2,496	-2,496
Convertidor	5,588	0	5,588
Sistema	15,075	-2,496	12,579

Tabla A.3 Costo neto al presente oficina Mayagüez – escenario #2

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	306	376	-70	4	-7
Febrero	265	373	-108	3	-11
Marzo	264	444	-180	3	-18
Abril	207	358	-151	2	-15
Mayo	290	330	-40	3	-4
Junio	249	313	-65	3	-6
Julio	258	328	-70	3	-7
Agosto	286	352	-65	4	-7
Septiembre	224	383	-159	3	-16
Octubre	278	339	-62	3	-6
Noviembre	310	367	-57	4	-6
Diciembre	276	384	-107	3	-11
Anual	3,213	4,347	-1,134	4	-113

Tabla A.4 Compras netas energía a la AEE oficina de Mayagüez – escenario #2

Oficina San Germán

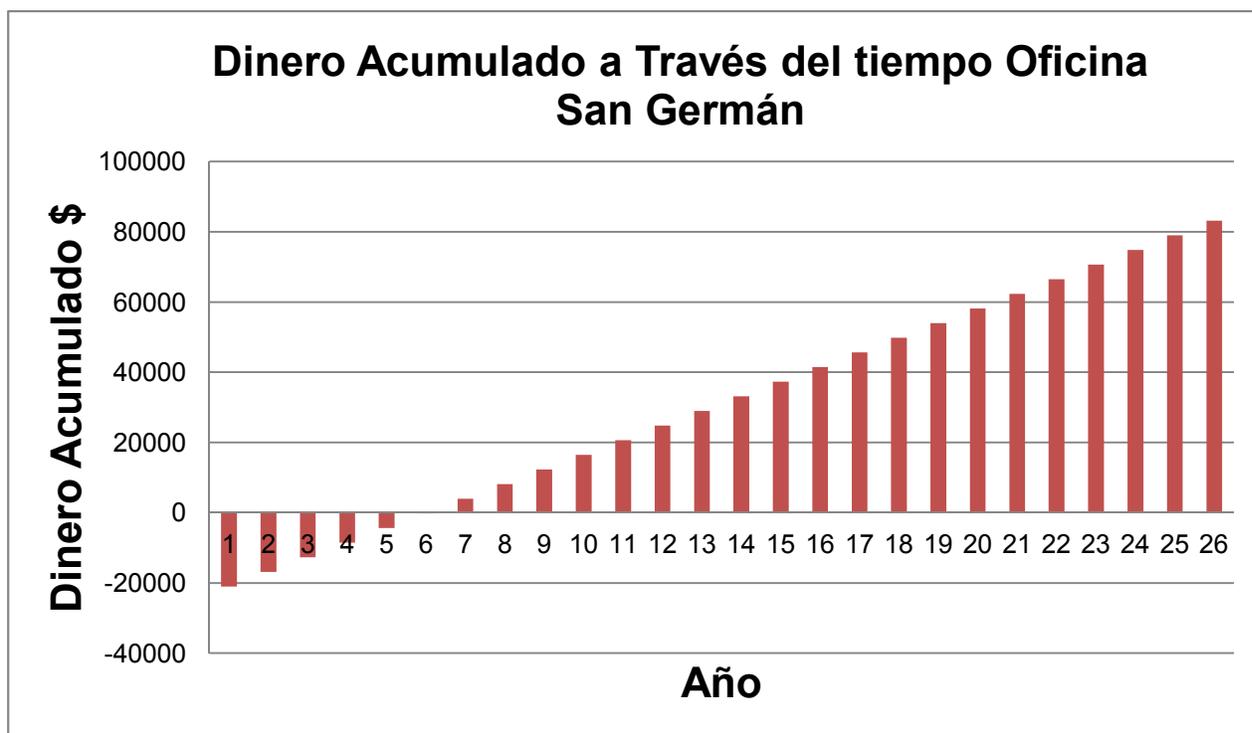


Figura A.3 Dinero a través del tiempo oficina San Germán – escenario #2

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	12,857	0	12,857
Red AEE	0	-3,036	-3,016
Convertidor	8,175	0	8,175
Sistema	21,032	-3,036	18,017

Tabla A.5 Costo ciclo vida San Germán – escenario #2

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	497	572	-75	5	-7
Febrero	411	551	-140	5	-14
Marzo	421	652	-231	5	-23
Abril	356	550	-194	5	-19
Mayo	445	493	-48	5	-5
Junio	410	481	-71	5	-7
Julio	414	496	-82	5	-8
Agosto	465	521	-57	5	-6
Septiembre	377	580	-203	5	-20
Octubre	463	528	-65	5	-7
Noviembre	485	551	-66	5	-7
Diciembre	440	577	-137	5	-14
Anual	5,183	6,552	-1,369	5	-137

Tabla A.6 Compras netas energía AEE oficina San Germán – escenario #2

Escenario #3

Oficina Hormigueros

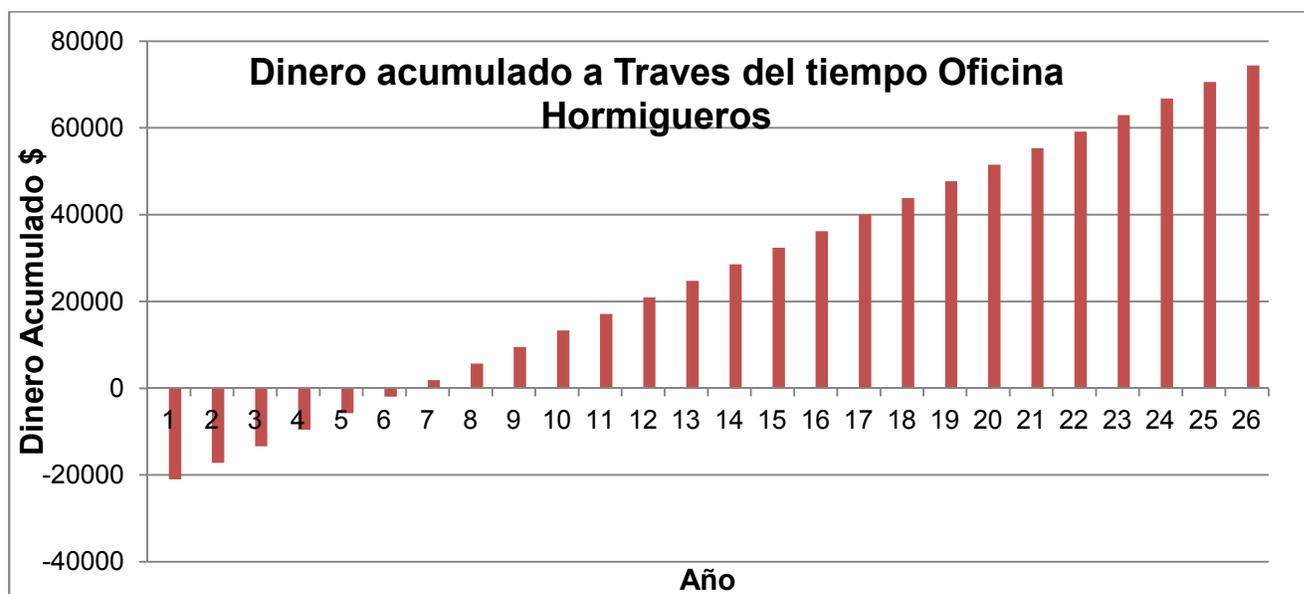


Figura A.4 Dinero a través del tiempo Hormigueros – escenario #3

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	12,857	0	12,857
Red AEE	0	-7,361	-7,361
Convertidor	8,175	0	8,175
Sistema	121,032	-7,361	13,671

Tabla A.7 Costo neto en el presente Oficina Hormigueros – escenario #3

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	459	693	-233	3	-23
Febrero	394	663	-269	3	-27
Marzo	405	787	-382	3	-38
Abril	344	679	-335	2	-34
Mayo	414	607	-193	3	-19
Junio	369	585	-216	2	-22
Julio	380	609	-229	3	-23
Agosto	415	646	-230	2	-23
Septiembre	358	697	-340	3	-34
Octubre	424	648	-224	3	-22
Noviembre	444	653	-209	3	-21
Diciembre	418	689	-271	3	-27
Anual	4,825	7,957	-3,132	3	-313

Tabla A.8 Compras netas AEE oficina Hormigueros – escenario #3

Oficina Mayagüez



Figura A.5 Dinero a través del tiempo oficina Mayagüez – escenario #3

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	12,857	0	12,857
Red AEE	0	-4,749	-4,749
Convertidor	8,175	0	8,175
Sistema	21,032	-4,749	16,284

Tabla A.9 Consto neto en el presente oficina Mayagüez – escenario #3

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	574	723	-150	3	-15
Febrero	496	691	-195	3	-19
Marzo	518	817	-300	3	-30
Abril	455	711	-256	3	-26
Mayo	531	638	-107	3	-11
Junio	477	613	-136	3	-14
Julio	499	644	-145	3	-15
Agosto	536	679	-144	3	-14
Septiembre	459	722	-264	3	-26
Octubre	540	678	-138	3	-14
Noviembre	554	683	-129	3	-13
Diciembre	523	717	-194	3	-19
Anual	6,160	8,317	-2,156	3	-216

Tabla A.10 Compras netas AEE oficina Mayagüez – escenario #3

Oficina San Germán

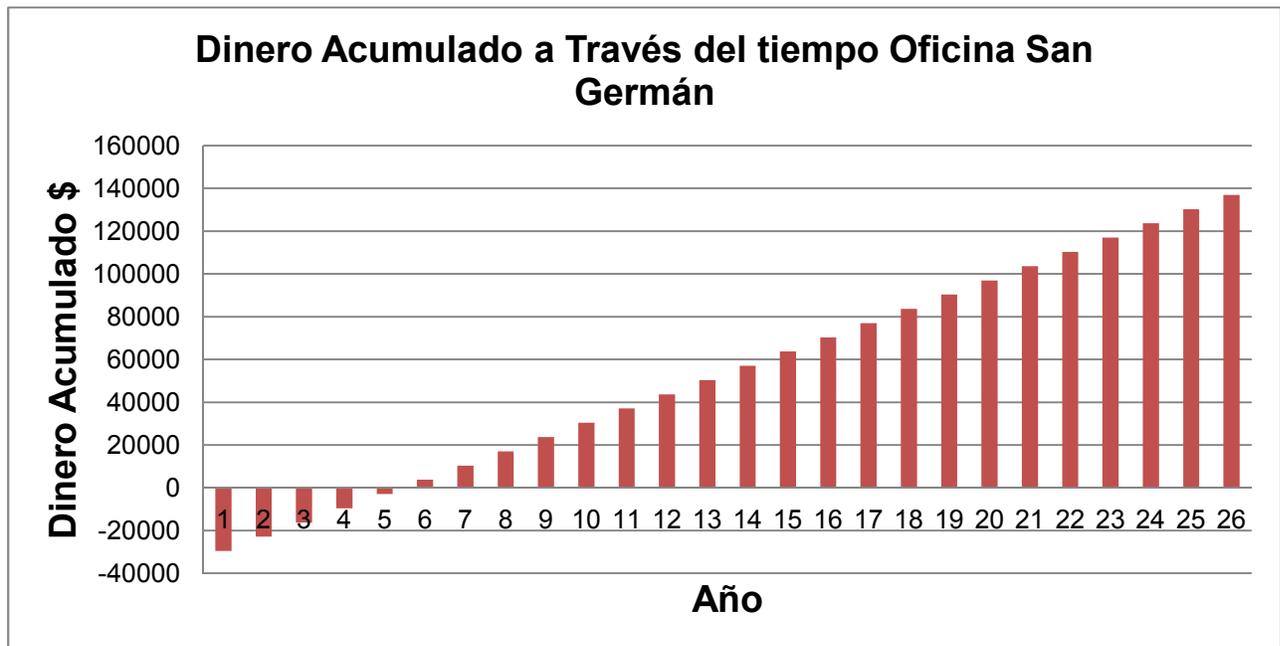


Figura A.6 Dinero acumulado a través del tiempo oficina San Germán – escenario #3

Componente	Capital (\$)	O&M (\$)	Total (\$)
Sistema Fotovoltaico	19,025	0	19,025
Red AEE	0	27,985	27,985
Convertidor	10,530	0	10,530
Sistema	29,555	27,985	57,540

Tabla A.11 Costo neto en el presente oficina San Germán – escenario #3

Mes	Energía Comprada (kWh)	Energía Vendida (kWh)	Compras Netas (kWh)	Demanda Pico (kW)	Cargo Energía (\$)
Enero	1,015	600	415	9	95
Febrero	851	602	249	8	57
Marzo	871	704	166	9	38
Abril	745	549	196	7	45
Mayo	974	525	449	8	103
Junio	901	517	384	8	88
Julio	897	513	383	8	88
Agosto	992	539	452	8	104
Septiembre	784	620	163	9	38
Octubre	973	542	431	8	99
Noviembre	1,018	616	402	8	93
Diciembre	922	644	278	8	64
Anual	10,941	6,973	3,969	9	913

Tabla A.12 Compras netas energía AEE oficina San Germán – escenario #3