

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Guía para la evaluación del impacto ambiental
de construcciones, Parte III

TOMO III
Micro generación

Trabajo de graduación en la modalidad de megaproyecto
presentado por Gustavo Enrique Perdomo Sierra, Paolo
Stefano Buratti García, para optar el grado académico de
Licenciados en Ingeniería Civil;
Claudia María Lima Ruiz, Humberto José Muñoz Arias,
Andrés López Alejos, para optar al grado académico de
Licenciados en Ingeniería Industrial

Guatemala

2012

Guía para la evaluación del impacto ambiental de
construcciones, Parte III

TOMO III
Micro generación

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería



Guía para la evaluación del impacto ambiental de
construcciones, Parte III

TOMO III
Micro generación


Trabajo de graduación en la modalidad de megaproyecto
presentado por Gustavo Enrique Perdomo Sierra, Paolo
Stefano Buratti García, para optar el grado académico de
Licenciados en Ingeniería Civil;

Claudia María Lima Ruiz, Humberto José Muñoz Arias,
Andrés López Alejos, para optar al grado académico de
Licenciados en Ingeniería Industrial

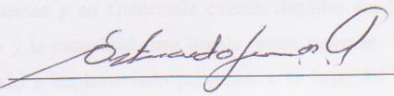
Guatemala

2012

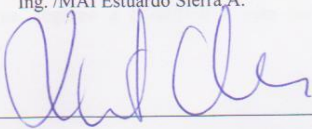
Vo. Bo. :

(f) 
Lic. Juan Pablo Blas Arias

Tribunal Examinador:

(f) 

Ing. /MAI Estuardo Sierra A.

(f) 

(Ing. /MBA Roberto Godo)

(f) 

(Lic. Juan Pablo Blas)

Fecha de aprobación: Guatemala, 21 de noviembre de 2012

PREFACIO

Existen varias fuentes de energía renovable con potencial en Guatemala y la energía eólica, solar y la hidráulica pueden ser de utilidad para la generación de energía a menor escala. Se han desarrollado avances tecnológicos para la implementación de estos sistemas y en Guatemala existen distintas entidades que cuentan con el conocimiento y la capacidad para instalar estos sistemas. Varias de estas entidades han planificado e implementado proyectos a lo largo del país para contribuir a la demanda de energía eléctrica. Se le agradece a las empresas guatemaltecas dedicadas a promover la energía eólica y solar en el país, por su tiempo y entrega para responder las dudas que llegaron a contribuir a este trabajo de investigación.

CONTENIDO

	Página
PREFACIO	vi
LISTA DE ILUSTRACIONES	xii
LISTA DE TABLAS	xv
LISTA DE GRÁFICAS	xix
RESUMEN	xx
Capítulos	
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	4
III. OBJETIVOS	5
IV. ANTECEDENTES	7
A. Energía	7
B. Energía eólica	8
1. Actualidad de la energía eólica	14
2. Tipos de generadores eólicos	18
3. Capacidad de mini generadores eólicos	19
4. Aplicaciones de la energía eólica	20
5. Energía eólica para bombear agua	22
6. Bombas sumergibles	24
7. Actualidad de las bombas sumergibles funcionando con energía eólica	25
C. Energía solar	26
1. Paneles solares	33
2. Capacidad de paneles solares	37
D. Vientos	39
1. El anemómetro	40
2. Factores que influyen en la disponibilidad del viento	44
E. Estado actual de la energía eólica en Guatemala	45
1. Viento en Guatemala	45
2. Proyectos eólicos en Guatemala	46
3. Proyectos de energía solar en Guatemala	49

4.	Producción de energía vs. Consumo de energía en la ciudad de Guatemala	52
F.	Energía hidráulica	58
1.	Disponibilidad de recursos hidráulicos	59
2.	Desarrollo histórico de la energía hidráulica	59
3.	Potencial energía hidroeléctrica	60
4.	Situación eléctrica actual de energía eléctrica en Guatemala	62
5.	Aspectos relevantes para el precio de oportunidad de la energía	65
6.	Correlación del producto interno bruto (PIB) con la demanda de potencia y energía	68
V.	ANÁLISIS DEL RÍO	71
A.	Curso del río	71
B.	El cauce	72
C.	El caudal	73
D.	Métodos para calcular caudales	74
1.	Método área de velocidad	74
2.	Dilución con trazadores	74
E.	Caudales en Guatemala	77
F.	Micro centrales hidroeléctricas	80
1.	Características particulares de la tecnología de MCH	83
2.	Obras de captación	83
3.	Toma de agua sin obra de cierre	85
4.	Toma de agua con obra de cierre	85
5.	Materialización de las obras de cierre (tipos y cuidados constructivos)	86
6.	Obras de conducción	88
7.	La micro central hidroeléctrica (MCH)	92
8.	Turbinas	96
a.	¿Qué son las turbinas?	96
b.	¿Cuántas clases de turbinas hay?	96
1)	Turbinas Pelton	96
2)	Turbinas Banki	98
3)	Turbinas Kaplan	101

	4) Turbinas Francis	103
	5) Generadores	103
	6) Generador síncrono	104
	7) Generador de inducción	104
	8) Generador de imanes permanentes	105
	9) Alternador automotriz	105
	10) Reguladores y tableros de control	105
VI.	ANÁLISIS TÉCNICO HIDROELÉCTRICO	106
	A. Requerimientos de equipo	106
	B. Capacidad máxima de generación de energía	106
	C. Requerimiento mínimo de espacio para instalación	107
	D. Mano de obra necesaria	107
VII.	ANÁLISIS TÉCNICO AEROGENERADORES	108
	A. Descripción del sitio de instalación	108
	1. Torre	109
	2. Baterías	109
	3. Regulador	110
	4. Inversor de corriente	110
	5. Cableado eléctrico	110
	6. Cables tensores	110
	B. Emisiones de ruido	110
	C. Medición de viento	111
	D. Especificaciones de los equipos a considerar	111
	1. Aerogenerador A	112
	2. Aerogenerador B	113
	3. Aerogenerador C	114
	E. Emisiones de CO ₂	115
	F. Perfil del usuario	115
VIII.	DISEÑO DE UN SISTEMA EÓLICO PARA BOMBLEAR AGUA POTABLE	117
	A. Situar el lugar del proyecto	117
	B. Investigación de mediciones de viento	117
	C. Definir el proyecto	119
	1. ¿A que se le proporcionará agua potable?	119

	2.	¿Cuál es la demanda de agua del proyecto?	120
	3.	Estimación del tamaño de la bomba	121
D.		Aerogeneradores candidatos	128
	1.	Aerogenerador D	129
	2.	Aerogenerador E	131
	3.	Aerogenerador F	133
	4.	Aerogenerador G	135
IX.		ANÁLISIS FINANCIERO	138
	A.	Tarifas	138
	B.	Facturación	139
	C.	Cálculo de generación de potencia por aerogenerador para hogares	140
	D.	Ahorro con propuesta por aerogenerador para hogares	143
	E.	Ahorro en emisiones de CO2 aerogeneradores para hogares	146
	F.	Flujo de efectivo por aerogenerador para hogares	147
	G.	Escenarios para bombeo de agua	152
	1.	Escenario A	153
	2.	Escenario B	157
	3.	Escenario C	159
	H.	Escenarios con energía solar	161
	I.	Escenarios con hidroeléctricas	180
	1.	Factores y suposiciones	180
	2.	Costo de inversión	188
	3.	Criterios para evaluar proyectos con micro centrales hidroeléctricas ..	189
	4.	Costos de operación	190
	5.	Análisis financiero de las micro centrales hidroeléctricas	191
	6.	Discusión del análisis financiero	203
	7.	Ventajas y desventajas de las micro centrales hidroeléctricas	204
X.		GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA MICRO CENTRAL HIDROELÉCTRICA	206
XI.		CONCLUSIONES	209
XII.		RECOMENDACIONES	212
XIII.		BIBLIOGRAFÍA	214
XIV.		GLOSARIO	219
XV.		ANEXOS	221

A.	Normativa relacionada con la generación de energía renovable	221
B.	Organizaciones relevantes para el sector de energía renovable en Guatemala .	222
C.	Mapa de relieve que muestra la velocidad del viento en Guatemala	224
D.	Crecimiento del PIB vs crecimiento de consumo de energía	225
E.	Crecimiento del PIB vs crecimiento de consumo de energía	225
F.	Mapa de torres de medición en Guatemala para el 2006	226
G.	Estructura del mercado eléctrico nacional	226
H.	Overview Proyecto Condado Naranjo, website Enphase	227
I.	Formulario para usuarios auto productores con excedentes de Energía	228
J.	Diagrama de flujo de autorización de usuarios con excedentes de Energía	229
K.	Guía para usuarios auto productor con excedentes de energía	230
L.	Mapa solar de Guatemala	232
M.	Ley de la tarifa social para el suministro de energía eléctrica	232
N.	Visita a mini central hidroeléctrica	233
Ñ.	Ríos que alimentan la mini central	234
O.	Funcionamiento de la turbina	234
P.	Micro central Mitchell Banki	235
Q.	Ensamblaje de la micro central tipo Mitchell Banki	235

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración	Página
1. Conversión de energía en un sistema eólico	7
2. Comparación entre un generador y un mini generador eólico	8
3. Diseño de una turbina eólica	9
4. Sistema conectado a la red	12
5. Análisis FODA de la implementación de un sistema eólico	14
6. Tipo de generadores eólicos en base al diseño del rotor 1	18
7. Curva de potencia de una turbina de viento	20
8. Turbina de viento para bombeo de agua	23
9. Funcionamiento de una bomba sumergible	25
10. Generación de energía eléctrica fotovoltaica	26
11. Componentes de un panel solar	27
12. Orientación del sol en el amanecer y el atardecer	28
13. Análisis FODA de la implementación de un sistema fotovoltaico	30
14. Instalación mixta eólica-fotovoltaica	32
15. Proceso de generación de energía proveniente del viento y del sol	32
16. Anemómetro de molinete	41
17. Anemómetro de filamento caliente	41
18. Funcionamiento teórico de un anemómetro de presión hidrodinámica	42
19. Indicador de agujas y esferas	42
20. Anemómetro de empuje	43
21. La densidad y el comportamiento del aire	45
22. Torre de medición eólica en Guatemala	48
23. Instalaciones verdes del edificio	50
24. Sistema nacional integrado de Guatemala	54
25. Radiación en la República de Guatemala	58
26. Hidroeléctrica río Danubio	60
27. Aumento de electrificación nacional	63
28. Departamentos con menor índice de iluminación según INDE	65
29. Energía total generada por hidroeléctricas (GWh)	66
30. Energía generada por hidroeléctricas	66

31. Energía total generada por época	67
32. Energía generada por Chixoy	67
33. Demanda histórica de potencias y energía	68
34. Porcentaje de crecimiento anual de potencia y energía	69
35. Evaluación de la demanda máxima de potencia y crecimiento el PIB	69
36. Comparación de la demanda máxima de potencia y crecimiento el PIB	70
37. Mapa de la República de Guatemala	70
38. Diagrama de lechos de un río	73
39. Sección transversal de verticales	74
40. Inyección de trazadores en un caudal continuo	76
41. Cuatro partes de una MCH	82
42. Desarrollo del flujo espiral en el lecho de un río	84
43. Toma del tipo tirolés	85
44. Canal trapezoidal	89
45. Tuberías de presión	92
46. Gráfica de las diferentes turbinas entre altura y descarga	95
47. Rueda Pelton	97
48. Rueda o Rodete	97
49. Esquema general de una turbina Pelton	98
50. Esquema turbina Banki	99
51. Turbina de flujo transversal de admisión parcial	100
52. Gráfica de la turbina de flujo transversal	101
53. Rotor de una turbina Kaplan	102
54. Diagrama de funcionamiento de una turbina Kaplan	102
55. Turbina Kaplan	102
56. Turbina Francis	103
57. Generador sincrónico	104
58. Generador de inducción	104
59. Generador de imanes	105
60. Generador automotriz	105
61. Localización adecuada para instalación de un aerogenerador	108
62. Curva de potencia aerogenerador A	112
63. Curva de potencia aerogenerador B	113

64. Curva de potencia aerogenerador C	114
65. Mapa potencial eólico de Guatemala	118
66. Curva de potencia aerogenerador D	130
67. Curva de producción aerogenerador D	131
68. Curva de potencia aerogenerador E	132
69. Curva de potencia aerogenerador E	133
70. Curva de potencia aerogenerador F	134
71. Curva de potencia aerogenerador F	135
72. Curva de potencia aerogenerador G	136
73. Curva de producción aerogenerador G	137
74. Tendencias de tarifas energéticas en Guatemala	139
75. Factura mensual de energía para un consumo de 180kWh	153
76. Factura mensual de energía para un consumo de 840kWh	158
77. Monto de ahorro energético que cubre los aerogeneradores	160
78. Monto de ahorro energético que no logran cubrir los aerogeneradores	160
79. Periodo de recuperación proyecto panel fotovoltaico y calentador solar	177
80. Periodo de recuperación proyecto calentador solar	178
81. Periodo de recuperación proyecto panel fotovoltaico	179
82. Periodo de recuperación proyecto aerogenerador	180
83. Tarifas de energía en Guatemala	183
84. Recuperación de la inversión, escenario I	193
85. Recuperación de la inversión, escenario III	199
86. Análisis de sensibilidad, escenario I	201
87. Análisis de sensibilidad, escenario II	201
88. Análisis de sensibilidad, escenario III	202
89. Análisis de sensibilidad, escenario IV	202

LISTA DE TABLAS

Tabla	Página
1. Empresas mini eólicas	19
2. Comparación energía eólica y energía solar	31
3. Colectores solares	36
4. Empresas solares globales	37
5. Paneles fotovoltaicos	37
6. Paneles mono cristalinos	38
7. Comparación tipo paneles	38
8. Paneles mono cristalinos de mayor capacidad	38
9. Paneles fotovoltaicos de distintas compañías	39
10. demanda firme 2012-2013	52
11. Consumo de energía de diferentes aparatos	55
12. Distribución de la utilización de energía en el año 2006	56
13. Clasificación promedio del consumo de energía eléctrica	56
14. Comparación crecimiento PIB y crecimiento de energía	57
15. Producción potencial de energía renovable en Guatemala	57
16. Cantidad de energía disponible y aprovechada en Guatemala	61
17. Índices de electrificación en diferentes departamentos	62
18. Ríos más populares según clasificación	78
19. Caudales y longitudes de ríos	79
20. Caudales promedio en m ³ /s	80
21. Cuadro de relación entre velocidad y diámetro para un tubo de polietileno	91
22. Tabla de relación turbinas y altura	96
23. Velocidad promedio en la ciudad de Guatemala a 50 metros de altura	111
24. Especificaciones técnicas aerogenerador A	112
25. Especificaciones técnicas aerogenerador B	113
26. Especificaciones técnicas aerogenerador C	114
27. Perfil de usuario	116
28. Niveles de edificio vs. demanda de agua	119
29. Contribución de aguas residuales por persona	120
30. 400 ft. de nivel freático del pozo	124

31.	500 ft. de nivel freático del pozo	125
32.	600 ft. de nivel freático del pozo	126
33.	700 ft. de nivel freático del pozo	127
34.	Especificaciones técnicas aerogenerador D	129
35.	Especificaciones técnicas aerogenerador E	131
36.	Especificaciones técnicas aerogenerador F	133
37.	Especificaciones técnicas aerogenerador G	135
38.	Detalle de cargos en factura eléctrica sin ajuste solidario	140
39.	Detalle de cargos en factura eléctrica con ajuste solidario	140
40.	Generación eléctrica al mes aerogenerador A	142
41.	Generación eléctrica al mes aerogenerador B	142
42.	Generación eléctrica al mes aerogenerador C	143
43.	Consumo con aerogenerador A instalado	143
44.	Consumo con aerogenerador B instalado	144
45.	Consumo con aerogenerador C instalado	144
46.	Ahorro con propuesta aerogenerador A	145
47.	Ahorro con propuesta aerogenerador B	145
48.	Ahorro con propuesta aerogenerador C	146
49.	Aerogeneradores - comparación ahorro kg C02	147
50.	Inversión inicial aerogenerador A	147
51.	Inversión inicial aerogenerador B	148
52.	Inversión inicial aerogenerador C	148
53.	Flujo de efectivo aerogenerador A	149
54.	Flujo de efectivo aerogenerador B	150
55.	Flujo de efectivo aerogenerador C	151
56.	Tasa interna de retorno aerogeneradores	152
57.	kWh para un edificio de 3 niveles con nivel dinámico del pozo de 400 ft.	153
58.	Tarifa eléctrica escenario A (sin aerogenerador)	154
59.	Datos aerogenerador para escenario A	154
60.	Datos aerogenerador para escenario C (2 aparatos)	155
61.	Cash flow escenario A	156
62.	kWh para un edificio de 10 niveles con nivel dinámico del pozo de 500 ft.	157
63.	Datos aerogeneradores (1 aerogenerador F y 1 aerogenerador E)	158

64.	Cash flow escenario B	159
65.	kWh para un edificio de 15 niveles con nivel dinámico del pozo de 700 ft.	159
66.	Cash flow escenario C	161
67.	Consumo energía eléctrica escenario D	163
68.	Promedio trimestral consumo energía	165
69.	Datos históricos CNEE	166
70.	Cargos factura eléctrica promediados	167
71.	Costo promedio trimestral	168
72.	Especificaciones consumo de agua caliente	168
73.	Inflación en Guatemala 2010-2012	170
74.	Días con lluvia mensual y anual desde 1990 hasta al 2011	172
75.	Días mensuales desde 1990 hasta el año 2011	173
76.	Eficiencia de acuerdo a días lluviosos trimestrales	174
77.	Promedios mensuales y anuales de velocidad del viento (km/h)	175
78.	Eficiencia de acuerdo a la velocidad del viento	176
79.	Evaluación de proyectos	176
80.	Detalles de energía consumida I, escenario I	183
81.	Detalles de enfria consumida II, escenario I	183
82.	Consumo total por casa en kilowatts, escenario I	183
83.	Costos mensuales y anuales por casa, escenario I	184
84.	Detalles de energía consumida I, escenario II	184
85.	Detalles de energía consumida II, escenario II	185
86.	Consumo total por casa en kilowatts, escenario II	185
87.	Costos mensuales y anuales por casa, escenario II	185
88.	Detalles de energía consumida I, escenario III	186
89.	Detalles de energía consumida II, escenario III	187
90.	Consumo total por cas en kilowatts, escenario III	187
91.	Costos mensuales y nauales por casa, escenario III	187
92.	Costos de inversión en dólares	188
93.	Costos de inversión en quetzales	189
94.	Costo de operación	190
95.	Suposiciones para análisis financiero	191
96.	Valor presente neto, escenario I	191

97.	Flujo incremental, escenario I	192
98.	Ahorros proyectados a diez años, escenario II	193
99.	Valor presente neto, escenario II	194
100.	Flujo incremental, escenario III	195
101.	Ahorros proyectados a diez años, escenario II	195
102.	Recuperación de la inversión, escenario III	196
103.	Valor presente neto, escenario III	196
104.	Flujo incremental, escenario III	197
105.	Ahorros proyectados a diez años, escenario III	198
106.	Valor presente neto, escenario IV	199
107.	Flujo incremental, escenario IV	200
108.	Ahorros proyectados a diez años, escenario IV	200

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica	Página
1. Capacidad instalada a nivel mundial	15
2. Tasa crecimiento anual de capacidad instalada	15
3. Países con mayor capacidad instalada	16
4. Capacidad instalada por área superficial	16
5. Nuevas instalaciones por año	17
6. Mini generadores instalados mundialmente al final de 2010	17

RESUMEN

A continuación se estudia la factibilidad económica de instalar aerogeneradores para el suministro de energía en edificios y viviendas dentro de la ciudad de Guatemala. Para esto se realiza una investigación empezando con la teoría básica del viento y sus componentes. Luego se analiza los componentes de los aerogeneradores, sus limitaciones, los tipos que existen y sus ventajas y por último, sus aplicaciones prácticas.

El trabajo se divide en tres pilares. El primero realiza un análisis técnico y financiero para determinar la factibilidad de instalar mini aerogeneradores en una vivienda modelo en la ciudad de Guatemala. El segundo análisis determina si es económicamente viable suministrar energía a una bomba para que sea distribuida a un edificio de varios niveles. Y el tercer pilar realiza una comparación entre la energía eólica y la solar y determina cuál de estas tiene mayor potencial para suministrarle la energía a una vivienda doméstica.

El agua proviene de la evaporación de los océanos, el cual hasta la fecha permanece como uno de los energéticos más importantes por las siguientes características: disponibilidad, no es contaminante y produce trabajo a la temperatura ambiente. Un sistema hidroeléctrico básicamente transforma la energía hidráulica de una masa de agua situada a cierta altura H en energía eléctrica. Las hidroeléctricas han sido un sistema de generación de energía bastante común en los últimos años debido a su eficiencia y productividad. Se considera un proyecto bastante interesante ya que se ha comprobado que el sol evapora aproximadamente 40,000 km³ de agua, la cual la mayor parte retorna a los mares directamente en forma de lluvia por medio de ríos.

Se analizarán sistemas hidroenergéticos los cuales todos se enfocan en el mismo fin: transformar la energía hidráulica de una masa de agua situada a cierta altura H con flujo continuo en energía. Se comenzará investigando y estudiando acerca de la historia de las hidroeléctricas y de sus diversos funcionamientos a nivel mundial. Se estudiarán varios tipos de turbinas tales como Pelton, Francis, Kaplan y Mitchell Banki. Además se investigará y estudiará el funcionamiento general de las micro centrales hidroeléctricas y el funcionamiento de cada una de sus partes. Se tomarán datos de ciertas plantas hidroeléctricas en funcionamiento y se analizará su impacto en el medio ambiente y la efectividad de cada una de ellas.

Se analizarán los diferentes puntos a favor y en contra de dichas micro centrales hidroeléctricas en el ámbito financiero. Se estudiará la rentabilidad de las mismas con el

cálculos de valor presente, tasa mínima atractiva de retorno, análisis de sensibilidad, entre otros; el cual tendrá como fin visualizar el ahorro financiero a largo plazo con el fin de poder promover de una buena forma el uso de las micro centrales hidroeléctricas en las comunidades.

Se espera lograr con esta investigación establecer lazos de compromiso entre los beneficiarios, de manera que estos vayan apropiando la tecnología, incorporándola en su sistema de vida y dándole un lugar importante en su vida y en sus sociedades. Para lograr hacer viable la implementación del micro central hidroeléctrico, se requiere un grupo humano transparente y con un sistema organizativo eficiente y empresarial comprometido sinceramente en el interés de llevar a cabo este tipo de proyectos para aumentar el uso de energías generadas por fuentes renovables. .

I. INTRODUCCIÓN

Así como la población crece, se aumenta el consumo de energía. Está presente en todos los grandes y fundamentales procesos industriales. Hoy en día la mayor parte de la energía es producida por combustibles fósiles la cual cumple con los requerimientos energéticos. El problema está en que, primero su materia prima, el petróleo, es un recurso natural limitado y el segundo y más importante es que tiene efectos devastadores para el medio ambiente.

Por estas razones las energías renovables vienen siendo convenientes. Estas formas de energía a partir de recursos naturales nos brinda es limpia y no crea la contaminación que el combustible fósil genera. Años atrás esta tecnología estaba dando sus primeros pasos e investigaciones se llevaban a cabo para hacer eficientes estos recursos energéticos. Hoy en día estos estudios se han desarrollado de una forma muy positiva.

Una de las energías renovables más eficientes es la energía eólica. Esta aprovecha la velocidad del viento y la convierte en energía cinética que a su vez se convierte en energía mecánica. El proceso que se utiliza para esta tarea tiene varios nombres: Turbina eólica, Aerogenerador, Molino de viento. Actualmente se conocen estas nuevas maneras de producir energía pero no se tiene acceso a ellas. Es decir, la mayoría de viviendas y residencias no tienen acceso a esta tecnología y ser parte de este movimiento verde dependen gran parte de la iniciativa de instituciones.

El presente trabajo de investigación trata de la factibilidad de aprovechar la energía eólica en una escala relativamente pequeña. Generalmente se trabaja con parques eólicos grandes que tienen capacidad de producción energética para miles de personas. Esta energía generada a gran escala ya ha dado frutos en muchos países y en Guatemala se cuentan con algunos proyectos que han sido exitosos. Para proyectos más pequeños como un edificio pequeño o una serie de viviendas no se realizan estudios en Guatemala.

Durante la planeación del estudio se efectuó una serie de recopilación de datos e investigación previa y se definió que el viento constante no es un recurso muy abundante en el país, como lo son otros. Sin embargo, estudios realizados por el MEM (Ministerio de Energía y Minas) y otras instituciones gubernamentales dan resultados de viento convincentes para por lo menos hacer rotar las hélices de estas mini turbinas. Por otra parte, en estudios satelitales de la NASA se logra apreciar velocidades de viento que también cubren las necesidades mínimas de las mini turbinas eólicas.

Debido a los vientos relativamente bajos se tomó la decisión de considerar la investigación de algunas aplicaciones prácticas de estos aerogeneradores que demandará una energía reducida que las bajas velocidades en el país puedan cubrir. Después de analizar estas posibilidades se tomó la decisión de realizar un análisis financiero y técnico de un mini aerogenerador aplicándolo tanto a una vivienda modelo como a un edificio modelo para el suministro de la energía. Así mismo, se realiza una comparación financiera entre el uso de aerogeneradores y paneles solares con el fin de determinar que recurso tiene mayor potencial en la ciudad de Guatemala.

Además de esto, la energía hidroeléctrica en la actualidad es un porcentaje bajo y esta energía se produce sin emisiones de carbono. Ya se han elaborado recursos hidroeléctricos de gran envergadura, una simple justificación de energía limpia para el desarrollo de recursos hidroeléctricos a menor escala.

La generación de energía de los ríos y arroyos no está exento de controversia, y la capacidad de la producción de energía de estas fuentes tendrá que equilibrarse con el medio ambiente y otros intereses público. Ese equilibrio puede verse favorecida por la investigación en nuevas tecnologías y con visión de futuro las regulaciones que fomentan el desarrollo de estos recursos en el costo-efectividad, formas respetuosas del medio ambiente, que reconocen que dichas instalaciones, una vez construido, puede durar por lo menos 50 años.

El departamento de Energía estima que estos proyectos, si se llegan a desarrollar, producirían un aumento del 50% en la generación total de energía hidroeléctrica.

Se vive en un país que cuenta con una gran cantidad de recursos naturales que no se han sabido aprovechar, por lo que se debe ampliar el conocimiento en dichas áreas para poder obtener el mayor provecho que éstas pueden brindar a nuestra sociedad.

El motivo principal de este trabajo es presentar diferentes escenarios reales para la sociedad guatemalteca y que éstos sirvan como punto de referencia para que se empiece a implementar las nuevas tecnologías con las que contamos al alcance no solo para salvar los recursos no renovables sino también presentar un ahorro en el largo plazo. En el presente trabajo se analizarán costos, ahorros, impactos sociales y varios factores más para que podamos tener una idea más clara de los beneficios que éstas micro centrales hidroeléctricas pudieran traer a nuestras comunidades para comenzar a promover el uso de las mismas y mejorar tanto el estatus social y económico de las familias como ayudar al medio ambiente evitando el uso de sustancias no renovables que son utilizadas hoy en día para la generación de electricidad como lo es el carbón.

Para el presente trabajo de la investigación, se cotizaron equipos para poder escoger la mejor opción. Se debe tomar en cuenta que los tipos de iluminación utilizadas en los escenarios son bombillas incandescentes. Luego de tener los diferentes costos de electricidad, equipo, instalación, etc. se utilizaron

herramientas como valor presente neto, tasa interna de retorno, análisis de sensibilidad para demostrar que es rentable la inversión en estos equipos y el ahorro notable que se obtiene en un período de 10 años.

Luego de realizar dichos estudios y análisis, se obtuvo que en tres diferentes escenarios es rentable instalar micro centrales hidroeléctricas para disminuir el costo mensual de electricidad en las casas. Por lo general, se recupera la inversión en un período de seis a siete años y posteriormente se obtiene notables ahorros.

II. JUSTIFICACIÓN

Guatemala es un país con mucho subdesarrollo. Se debe a varios factores, siendo uno de ellos la carencia de recursos energéticos. El INDE es la empresa a cargo de la generación de energía eléctrica en todo el país. No obstante, la energía no llega a todos los rincones del país. Para el progreso de Guatemala, es de principal importancia tener acceso a la energía.

No hace falta señalar todas las ventajas de tener a la mano aparatos que funcionan con energía eléctrica. Empezando con el acceso a internet hasta el simple hecho de poseer iluminación por las noches. Tomando como punto de partida, se determinó la importancia de realizar un estudio de factibilidad del suministro de energía por medio del viento en Guatemala y que alcance tiene esta.

Por otro lado, no se tiene que olvidar la gran ventaja que tiene esta energía para el ambiente, ya que es una energía renovable y que no ha sido aprovechada. El primer paso es dar a conocer los beneficios de la energía eólica hasta que muchas personas estén dispuestas a utilizarla.

Por estas razones se definió para el presente proyecto realizar un análisis financiero de un sistema eólico en viviendas y edificios en la ciudad de Guatemala.

III. OBJETIVOS

A. General

Realizar un análisis comparativo de la implementación de mini aerogeneradores eólicos en la ciudad de Guatemala aplicado a residencias y edificios, utilizando las distintas aplicaciones y tecnologías que existen actualmente.

B. Específicos

1. Conocer las ventajas y desventajas que conlleva instalar un mini generador eólico.
2. Realizar un análisis financiero para evaluar la rentabilidad y determinar qué aerogenerador es el más conveniente para el ahorro energético en una vivienda en la ciudad de Guatemala.
3. Proponer tres escenarios modelo para el bombeo de agua y realizar un análisis financiero y determinar su demanda energética.
4. Conocer el viento en Guatemala.
5. Definir si existe un patrón entre tamaño del proyecto vs. recuperación de inversión.
6. Definir qué tan eficientes son los aerogeneradores con la velocidad de viento disponible.
7. Definir si en Guatemala es factible realizar este tipo de proyectos eólicos.
8. Definir los pasos para realizar un proyecto de bombeo eólico.
9. Realizar una comparación entre la conveniencia de utilizar energía solar a la energía eólica.
10. Determinar qué sistema fotovoltaico es el más atractivo económicamente para suministrarle energía a una vivienda modelo en la ciudad de Guatemala.
11. Investigar las partes de una micro central hidroeléctrica para la construcción de la misma.

12. Investigar la demanda máxima de potencia y energía en el país y así poder diferenciar las diferentes áreas que posean electrificación.
13. Determinar el consumo promedio de una vivienda en una comunidad para poder establecer el máximo de casas que una micro central hidroeléctrica con esa capacidad puede abastecer.
14. Realizar un análisis financiero para estudiar la rentabilidad de las micro centrales hidroeléctricas en las comunidades.

IV. ANTECEDENTES

A. Energía

1. Definición. Energía es la capacidad de producir trabajo. Un cuerpo o sistema aislado tiene energía constante y esta puede cambiar o ser transformada según el estado físico-químico del mismo. La energía puede manifestarse de distintas formas como por ejemplo potencial, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, entre otras. Estas distintas formas de energía pueden ser transformadas entre si tomando en cuenta el principio de conservación de la energía, el cual indica que la energía no puede ser creada o destruida, solo transformada. Para cada transformación la energía total se conserva.

En nuestro planeta la energía capaz de mantener vida por medio de desarrollo y crecimiento es la radiación solar. Al ingresar al ecosistema la radiación solar llega a transformarse en distintas maneras trabajando en conjunto con la fuerza gravitacional. Se generan distintos climas y cambios climáticos incluyendo calor, viento y evaporación del agua de los mares. Las nubes se forman a causa de la evaporación de los mares y luego caen en forma de lluvia y nacen ríos, lagos y caídas de agua o cataratas. De esta manera es cómo funciona el ciclo que mantiene vida en el planeta Tierra por medio de la radiación solar.

La energía de la naturaleza es aprovechada por los humanos por medio de distintos procesos y es utilizada para distintas funciones. Las fuentes de energía pueden ser renovables y no renovables y también se pueden clasificar según su utilización. Las fuentes de energía renovables se caracterizan por ser inagotables ya que llegan a nuestro planeta de forma continua como se describió anteriormente, algunos ejemplos incluyen la energía eólica, solar, hidráulica, biomasa, mareomotriz, entre otras. A diferencia de las fuentes de energía renovables, las fuentes de energía no renovables son limitadas y se agotan conforme se utilizan, algunos ejemplos incluyen el petróleo, uranio, gas natural, carbón, hidrogeno, entre otros. La demanda mundial de energía depende principalmente de fuentes no renovables.

Según la utilización, las fuentes de energía se pueden clasificar como primarias o secundarias. Primarias se refiere a todo lo que se obtiene directamente de la naturaleza, por lo que es una energía acumulada. Secundarias se refiere a todo lo que se obtiene a partir de las primarias por medio de transformación o medios técnicos.

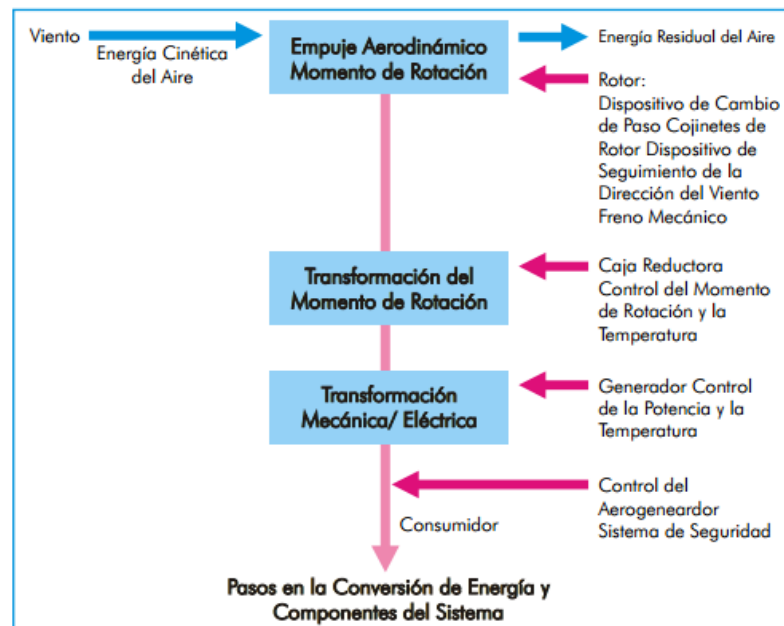
La energía eléctrica es una energía secundaria y se genera consumiendo tanto fuentes no renovables, como lo es el petróleo, y fuentes renovables como el viento. En la actualidad solamente un mínimo porcentaje de la población utiliza fuentes renovables para producir electricidad. Es importante resaltar que energía es la cantidad consumida (kWh) y potencia es la razón a la cual la energía es consumida (kW).

B. Energía eólica

La energía eólica es la energía generada por el viento. El viento se produce debido a la rotación de la tierra y a la variación de temperaturas en el ambiente. Las masas de aire se forman cuando se calienta la atmosfera de manera desigual y los cambios de presión se dan debido a que la densidad del aire va cambiando. La formación de estos vientos puede ser utilizada para generar energía limpia y segura a través de generadores eólicos.

Los generadores eólicos son sistemas mecánicos de rotación, equipados de palas o aspas que rotan conforme la velocidad del viento. La energía cinética causada por el movimiento de las aspas, es luego transformada en energía mecánica por medio de una caja reductora y por último el generador la transforma en energía eléctrica. A continuación se muestra un diagrama detallado del proceso de conversión de energía del viento y las pérdidas de eficiencia que se producen hasta el último paso.

Ilustración 1: Conversión de energía en un sistema eólico

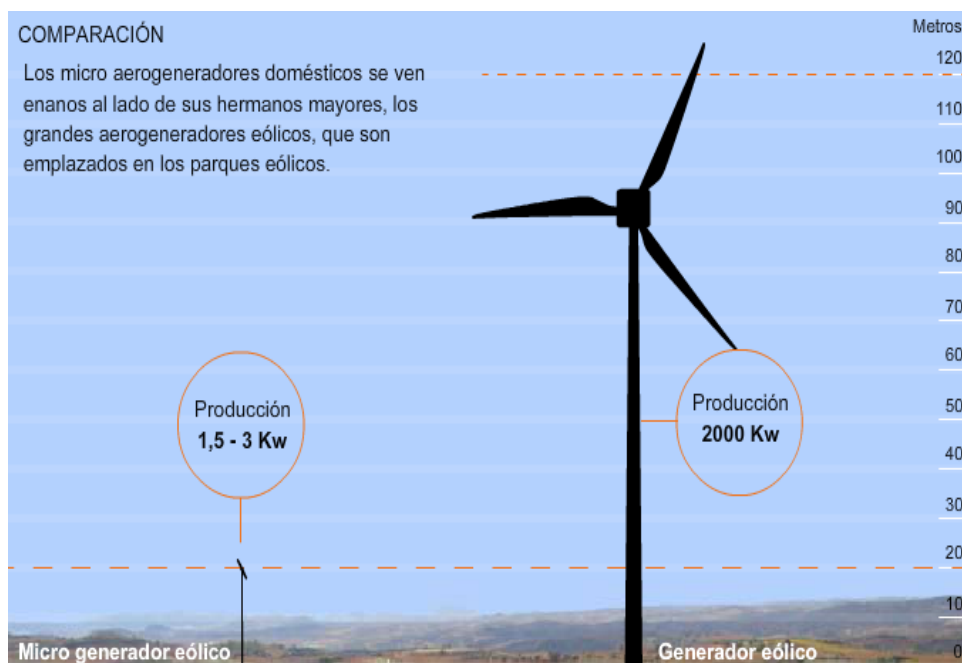


Los sistemas de energía eólica se utilizan para generar electricidad para redes eléctricas interconectadas, redes eléctricas aisladas, suministros eléctricos remotos, bombeo de agua, apoyo para redes débiles, reducción al precio de la energía y reducción a las pérdidas de transmisión y distribución e incluso se pueden utilizar sin conexión a red eléctrica. La energía generada por un aerogenerador es determinada por medio de la velocidad del viento ya que la energía generada es proporcional al cubo de su velocidad. El viento no es constante por lo que llega a variar la cantidad de energía generada y es difícil pronosticar la velocidad del viento en un periodo específico.

También existen sistemas mini eólicos que se caracterizan por tener potencias inferiores a 100kW por lo general. Se pueden utilizar para zonas aisladas lejanas a la red o para sistemas conectados a la red. Los mini aerogeneradores son colocados en techos o lugares altos para captar la mayor velocidad del viento posible. Además mientras más altura más constante es la velocidad del viento. También pueden ser complementos de otros sistemas de energía como por ejemplo paneles fotovoltaicos.

Entre sus ventajas se puede mencionar que producen energía a pequeña escala, el espacio que ocupan es reducido, generan menos impacto visual, no necesitan mantenimiento y si se da el caso es mínimo, no requiere estudios de viabilidad complejos y minimiza las pérdidas de energía debido a que se encuentra más próximo al punto de consumo. En la actualidad es muy común ver este tipo de sistemas implementados en países como Holanda, Inglaterra y Estados Unidos. A continuación se muestra una ilustración donde se puede observar la diferencia entre un generador eólico y un mini generador eólico.

Ilustración 2. Comparación entre un generador y un mini generador eólico

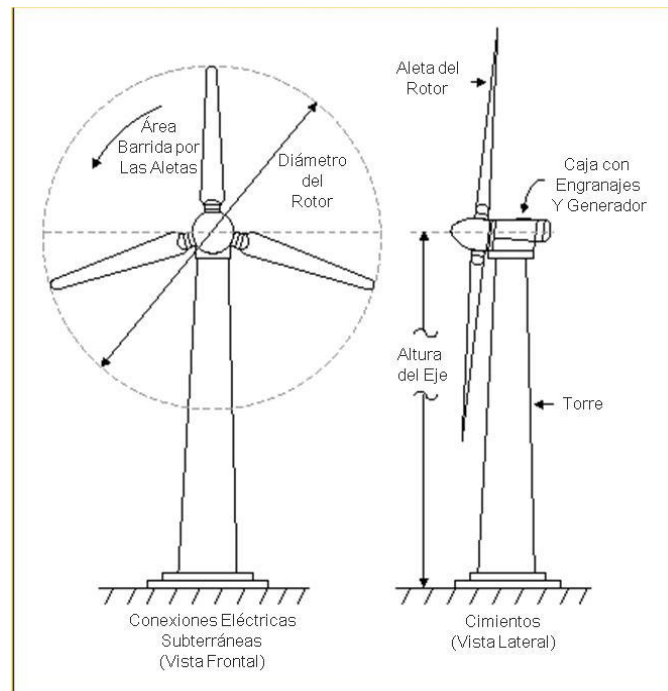


Fuente: Eroski Consumer

Existen dos tipos de generadores eólicos, los de eje horizontal y los de eje vertical. Los diseños más comunes de mini turbinas eólicas son de eje vertical ya que son aptos para zonas con vientos turbulentos. Sin embargo las turbinas más comunes son las de eje horizontal, también llamadas corriente viento arriba. Por lo general están compuestas de dos a tres alabes y fabricadas de materiales compuestos, entre ellos fibra de vidrio.

Una turbina eólica se compone de distintas partes entre ellas el rotor, la caja de engranajes, la torre, los cimientos, el freno, el equipo de control y monitoreo y el generador. En el rotor es donde se ubican las aspas, la caja de engranajes es utilizada para aumentar la frecuencia de la producción de energía eléctrica, el generador genera electricidad conforme sea la velocidad del viento y la torre es clave para determinar la elevación a la que estará la turbina y poder evitar vientos turbulentos. Es importante que el diseño de la turbina sea el adecuado y previamente estudiado. A continuación se muestra una ilustración donde se detallan los componentes principales de una turbina eólica.

Ilustración 3. Diseño de una turbina eólica



En la actualidad las empresas dedicadas a la producción de aerogeneradores realizan distintas pruebas para determinar la velocidad máxima que la turbina llega a soportar y de esta manera diseñan sistemas de frenado automático. Además los materiales utilizados son específicos para aguantar todo tipo de ambientes y amenazas climática, como por ejemplo nieve, granizo, ceniza de volcán, entre otras.

Entre los aspectos más importantes a tomar en cuenta a la hora de seleccionar una turbina eólica es el diámetro del rotor ya que es el que va a determinar la cantidad de electricidad que se va a generar. El diámetro del rotor conforma la cantidad de viento interceptado por la turbina. Además se debe evaluar si es

económicamente viable, si se cuenta con la velocidad del viento necesaria para el funcionamiento del generador eólico que se desea instalar y determinar cuanta energía se necesita o cuanta energía se quiere llegar a generar. Dependiendo del tamaño de la turbina se debe evaluar si se cuenta con el espacio disponible y los permisos necesarios.

El proceso de generación de energía por medio de una turbina eólica se resume en los siguientes pasos:

El viento hace girar las aspas de la turbina.

El generador eléctrico de la turbina transforma la energía mecánica en energía eléctrica.

La energía eléctrica generada es de corriente directa por lo que se necesitara de sistemas como un inversor o transformador de potencia para obtener corriente alterna. Esto depende de los equipos que serán utilizados.

Si se desea almacenar la energía directa se requiere de baterías, la otra opción es conducir la energía por medio de cables. Si las baterías están 100% cargadas, se deja de enviar energía a las baterías automáticamente y absorbe la energía excedente.

Para que un aerogenerador arranque e inicie su funcionamiento es necesario contar con una determinada cantidad de velocidad de viento, a este valor mínimo se le llama velocidad de conexión. Cuando la turbina comienza a rotar, la energía cinética es convertida en mecánica hasta que se llega a alcanzar la potencia nominal. La potencia nominal es la máxima potencia que se puede entregar por lo que el sistema está programado de tal manera que no trabaje bajo condiciones que puedan dañarla. Es decir aunque la turbina se encuentre operando a velocidades mayores, la potencia nominal entregada siempre será la misma. Cuando la turbina para por cuestiones de seguridad es porque ha llegado a la velocidad de corte.

La cantidad de energía que un aerogenerador puede llegar a transformar en electricidad va a depender de la velocidad del viento. Además hay que tomar en cuenta la densidad del viento debido a que mientras más denso sea el aire, más energía va a recibir la turbina. Por el otro lado se debe tener precaución con las turbulencias del aire ya que afectan la eficacia del aerogenerador y llegan a afectar la vida útil de mismo a causa de desgastes y roturas en la turbina.

Se puede generar electricidad para sistemas aislados como por ejemplo, viviendas alejadas al Sistema Nacional Interconectado, ya sea instalando un sistema individual (pequeño generador, baterías y un regulador). Se puede incluir un inversor. También instalando un sistema centralizado (energía distribuida) o un sistema híbrido (pequeños generadores, fluctuaciones de viento).

Ilustración 4. Sistema conectado a la red



Un sistema eólico individual, es decir sin estar conectado a una red eléctrica, es común para bombear agua. Se necesita de una turbina pequeña, aproximadamente de 50W a 10kW, y baterías para almacenar la energía generada. También se puede utilizar para electrificación rural, ranchos ganaderos, ranchos agrícolas, refrigeración, telecomunicaciones, ecoturismo, zonas naturales protegidas, refugios, filtraje de agua y casas de campo.

Un sistema eólico conectado a una red eléctrica es útil para obtener ahorro de energía facturada, sirve como respaldo para apagones, es una opción para el funcionamiento de cámaras de seguridad, se cuenta con autonomía y seguridad energética. También es útil para residencias ecológicas, para empresas con seguridad social y para obtener iluminación eficiente.

Entre las desventajas de instalar e implementar una turbina eólica se puede mencionar que el giro del rotor produce ruido. Por ejemplo el nivel de ruido de las turbinas eólicas residenciales moderna se encuentra entre 52 y 55 decibeles. También llegan a afectar el impacto visual dependiendo del tamaño de la turbina y se corre el riesgo de que aves lleguen a colisionar con las aspas.

Otro factor que llega a afectar es que el aire posee un peso específico relativamente bajo por lo que requiere de grandes maquinarias y esto conlleva a mayor inversión. Debido a que el viento es una fuente de energía intermitente, no siempre está disponible cuando se necesita, por lo tanto se requiere de la inversión de acumuladores para el autoabastecimiento de la electricidad.

Para poder implementar un proyecto eólico se requiere de una evaluación de los recursos eólicos disponibles, una evaluación ambiental, es decir contar con el espacio disponible, verificar las regulaciones, definir el diseño y la construcción. Se necesita como mínimo un promedio anual de 4m/s a 7m/s de velocidad de viento para poner en funcionamiento un aerogenerador.

Con el tiempo los constructores de aerogeneradores han ido disminuido el costo de fabricación de los mismos, por medio de la implementación de técnicas de fabricación. Además evaluando los distintos materiales disponibles para la construcción de las aspas, torre y rotor. Además se deben tomar en cuenta los costos de instalación de la torre y el equipo necesario.

La implementación de un aerogenerador requiere del uso de la tierra, es decir gran espacio disponible, esto crea efecto visual en el área dependiendo de la cantidad de turbinas y el tamaño de las mismas. Ya instalados los aerogeneradores se produce ruido, aunque conforme la tecnología va avanzando los aerogeneradores son cada vez más silenciosos. Otro factor es que los aerogeneradores pueden producir interferencia electromagnética por reflexión de la señal en las palas del rotor.

También se deben tomar en cuenta los aspectos de salud y seguridad, por ejemplo se debe tener control sobre los aceites lubricantes, fluidos hidráulicos y aislantes utilizados para el mantenimiento de las turbinas para evitar contaminación de agua subterráneo o cualquier impacto sobre el hábitat. Entre los accidentes se debe tener cuidado con las aspas ya que las láminas pueden llegar a desprenderse y debido a que van girando pueden salir volando en dirección del viento y causar un impacto. Además como se debe realizar trabajo en altura para el mantenimiento o instalación se deben tomar medidas de precaución.

Los recursos arqueológicos y paleontológicos también se ven afectados debido a que se debe tratar con las tierras. Se debe realizar un estudio previo del área donde se desea realizar la instalación. Por lo mismo se ven afectados aspectos ecológicos como la flora y la fauna. Se han dado casos donde aves se accidentan con las aspas y no logran sobrevivir.

En los últimos 20 años se ha llegado a innovar la tecnología de los aerogeneradores incrementándoles hasta 200 veces su capacidad. A nivel mundial la energía eólica es el sistema con mayor crecimiento. En la actualidad los generadores pueden mantener su funcionamiento a un rango mayor de velocidades de viento aunque todavía es muy variable la cantidad de energía que genera.

El siguiente análisis FODA indica algunas fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas presentes o que podría llegar darse al implementar de un sistema eólico.

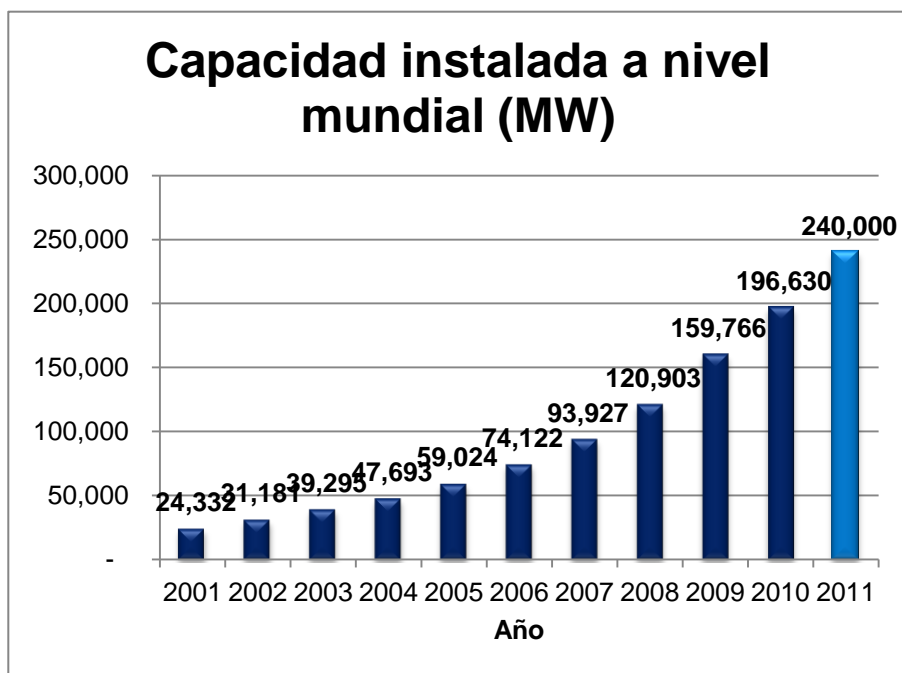
Ilustración 5: Análisis FODA de la implementación de un sistema eólico



1. Actualidad de la energía eólica. El Reporte Anual de Energía Eólica en el mundo detallado por la Asociación Mundial de Energía Eólica conocida como “WWINDEA” por sus siglas en inglés (World Wind Energy Association), muestra la capacidad instalada en el año 2010 de 196,630 Megavatios, indicando la cantidad de energía que se puede llegar a producir a partir de herramientas disponibles o en este caso de los aerogeneradores colocados alrededor del mundo.

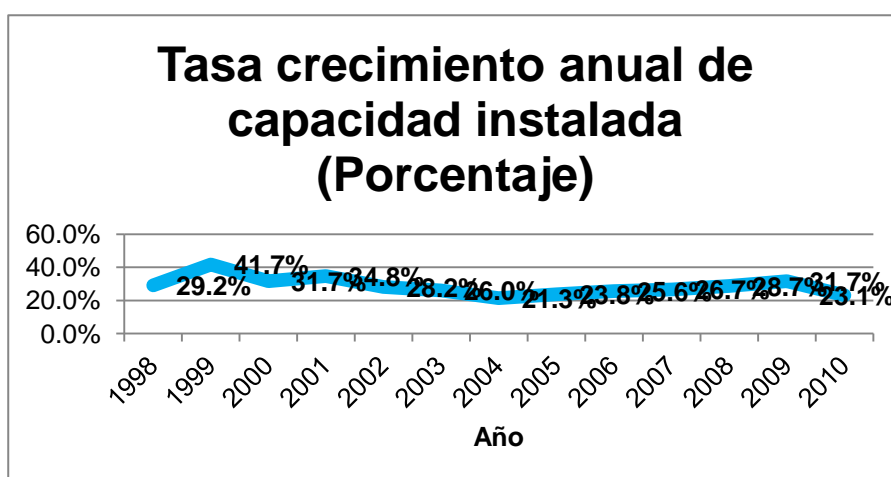
En la Gráfica 1 se muestran datos de la capacidad instalada según los distintos años y una proyección de generación de este tipo de energía para el año 2011 a partir del crecimiento anual promedio de 25.78% mostrado en la Gráfica 2. En ésta se puede notar una tendencia creciente a utilizar de este tipo de energía renovable y como la misma ha cobrado importancia a través de los años.

Gráfica 1: Capacidad instalada a nivel mundial



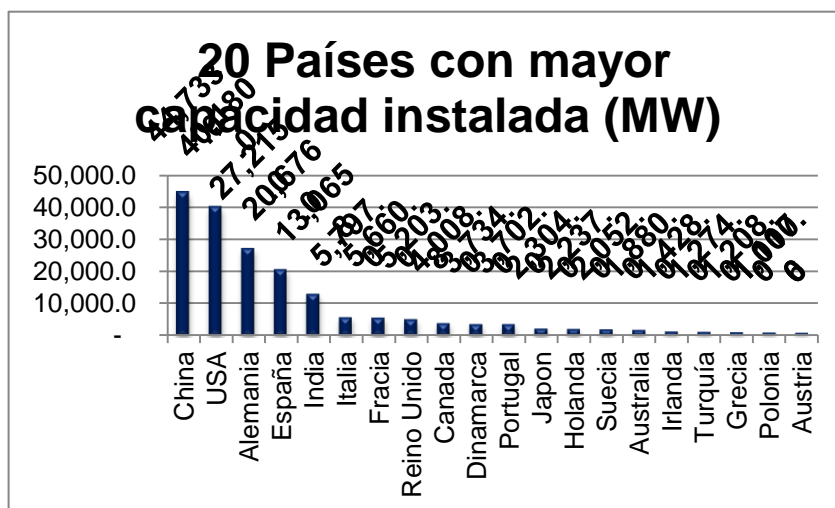
Es importante notar que alrededor del mundo esta tecnología crece rápidamente y a escalas amplias, generando no solo electricidad para un país, si no, nuevas oportunidades de desarrollo. En la Gráfica 2 se muestra la tasa de crecimiento anual de capacidad instalada desde el año 1998 hasta el 2010 de la cual se obtiene un promedio anual de crecimiento de 25.78%.

Gráfica 2: Tasa crecimiento anual de capacidad instalada



También es importante el conocer que países invierten en este tipo de energía, en la Gráfica 3 se notan los veinte países con mayor capacidad instalada en el mundo.

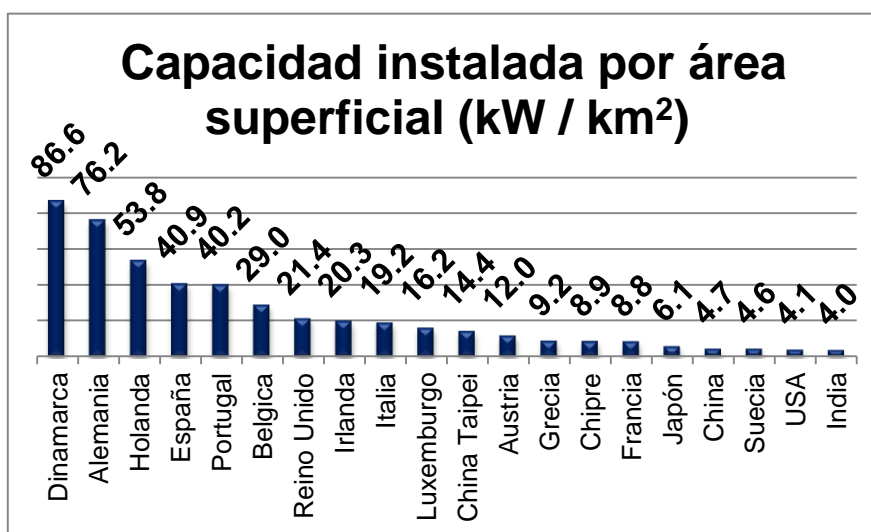
Gráfica 3: Países con mayor capacidad instalada



Así mismo, es importante mencionar que la capacidad instalada no es lo mismo que la capacidad de generación, muchos de estos países no poseen la mejor colocación o el mejor recurso disponible y a pesar de esto aprovechan al máximo la disponibilidad del mismo.

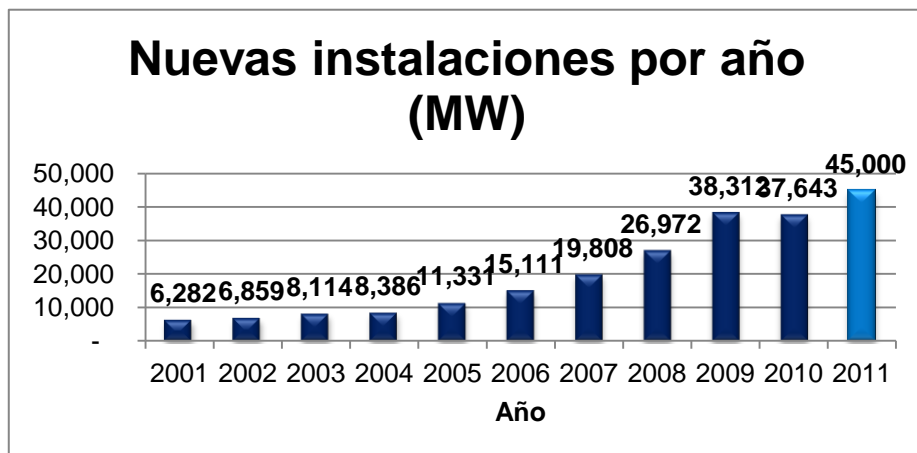
En la Gráfica 4 se puede apreciar los países que aprovechan el recurso utilizando sus terrenos disponibles para obtener mayor beneficio del mismo. Es por ello que países como China o Estados Unidos se encuentran muy por debajo de la posición que ocupan en la Gráfica 3 y otros países como Dinamarca, Alemania, Holanda o España son más eficientes y potencializan más el recurso que otros países con mayores disposiciones del mismo.

Gráfica 4. Capacidad instalada por área superficial.



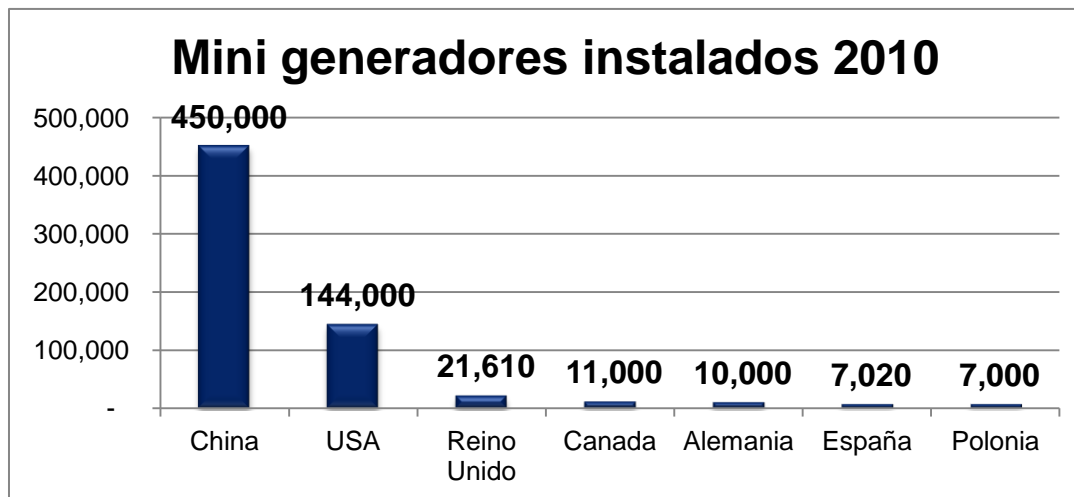
La Gráfica 5 muestra las nuevas instalaciones construidas alrededor del mundo durante la última década, nuevamente el año 2011 queda como una proyección realizada. Se puede notar cómo es que se ha ido aprovechando este recurso para proveer estas instalaciones y la tendencia al alza durante estos años debida al potencial mundial del mismo.

Gráfica 5. Nuevas instalaciones por año.



Todos los datos señalados anteriormente han sido con respecto a la energía eólica en general, la Gráfica 6 hace referencia a la cantidad de mini generadores eólicos instalados alrededor del mundo. Los mini generadores eólicos entran dentro de una clasificación distinta a los parques eólicos, ya que no generan la misma cantidad de energía, así como los requerimientos y velocidades de viento necesarias para operar son distintas.

Gráfica 6: Mini generadores instalados mundialmente al final de 2010

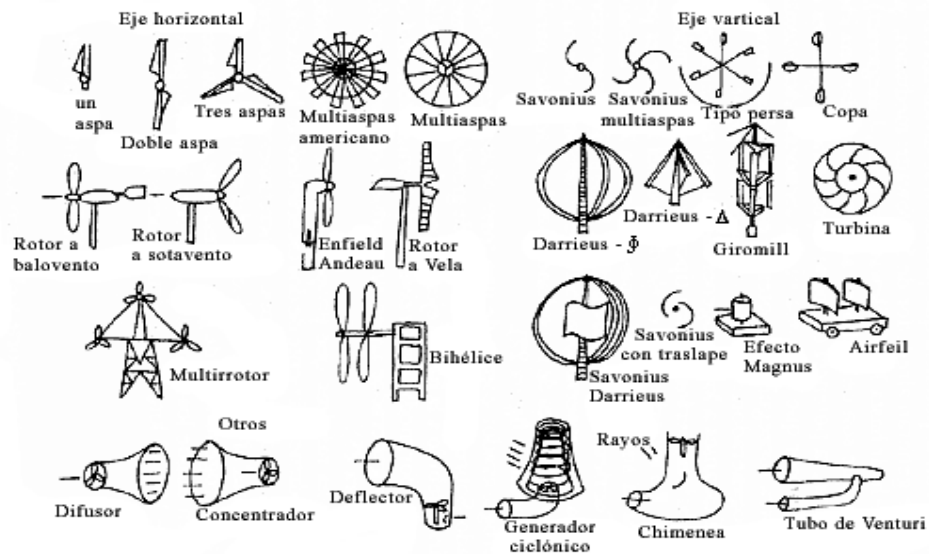


2. Tipos de generadores eólicos. Según el Departamento de Energía de los Estados Unidos los aerogeneradores se separan en dos categorías, horizontales y verticales respectivamente. Esta clasificación indica solamente en qué posición tiene colocado el eje para aprovechar la velocidad del viento, sin embargo, la manera de operares la misma utilizando los principios mencionados previamente.

Otra consideración importante es que los aerogeneradores funcionan en cualquier escala, es decir, no importa si estos son utilizados en un parque eólico o si son colocados para suplir de energía a un hogar.

Para obtener mayor eficiencia utilizando al máximo el recurso eólico influye mucho el tamaño de las turbinas. Mientras mas grande la turbina, mejor sera la eficiencia. Como ya se había mencionado existen turbinas con eje horizontal y eje vertical y tanto para mini aerogeneradores como para generadores eólicos existen distintos diseños de rotores para ambos estilos y se presentan en la siguiente ilustración.

Ilustración 6. Tipos de generadores eólicos con base al diseño del rotor



Fuente: Biblioteca digital

Existen varias empresas dedicadas a producir sistemas de energía mini-eólica con materiales y tecnología aeroespacial en distintas partes del mundo. Estos generadores se caracterizan por ser ligeros y diseñados para distintas áreas de instalación. La tecnología aeroespacial ayuda a que las turbinas sean de mejor calidad y tengan mayor rendimiento. Estas empresas se mantienen en constante innovación para reducir los problemas técnicos de los mini aerogeneradores y lograr obtener la mayor eficiencia posible. La

siguiente tabla muestra algunas empresas conocidas por el diseño y funcionamiento de sus mini generadores eólicos.

Tabla 1. Empresas mini eólicas

Empresa	País
A	Estados Unidos
B	Inglaterra
C	Estados Unidos
D	España
E	Perú

A continuación se mencionan los distintos tipos de mini aerogeneradores disponibles en el mercado. Cabe mencionar que estos generadores no pueden tener una potencia mayor a los 100kW y un área de barrido de no mayor a 200m² usualmente. Por lo general se clasifican de acuerdo a los siguientes aspectos:

- a. Potencia
- b. Eje vertical u horizontal
- c. Posición de las turbinas respecto a la góndola
- d. Sistema aislado o conectado a la red
- e. Protección mecánica ante velocidades del viento
- f. Regulación electrónica de potencia (circuito o esquema interno)
- g. Otras características (número de turbinas, tipo de torre, material, nivel de ruido)

Se pueden tomar distintos diseños de mini aerogeneradores para cada una de las clasificaciones mencionadas anteriormente. Estos diseños pueden variar dependiendo de la forma y los materiales seleccionados para la fabricación del mini aerogenerador. Algunos ejemplos se muestran a continuación:

a. Mini aerogeneradores con hélices de fibra de carbono: este material es característico por poseer siete veces mayor fuerza que el acero común, no generan vibración y son bastante silenciosos.

b. Mini aerogeneradores con sistema de cabeceo vertical: tienen un sistema que está configurado para cambiar de Angulo cuando la velocidad del viento es muy elevada. El aerogenerador

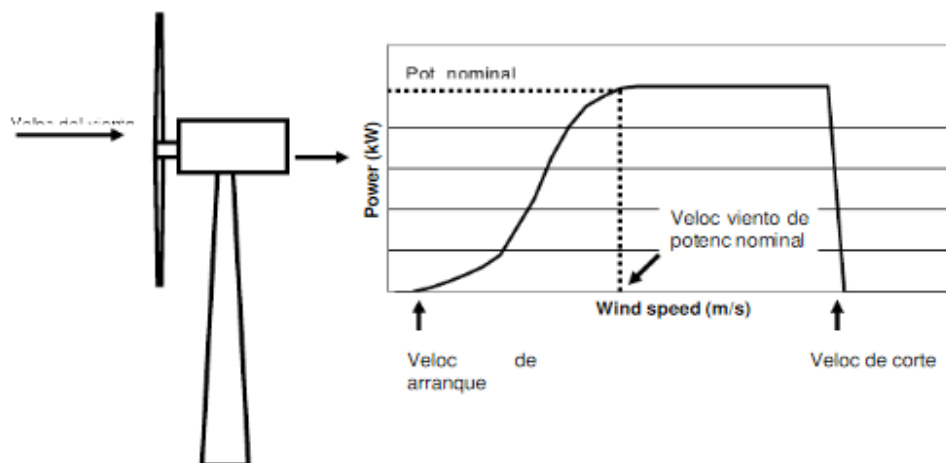
cambia a posición vertical lo cual permite que pueda llegar a generar hasta el doble de su potencia nominal y también evita posibles daños eléctricos o mecánicos.

c. Mini aerogeneradores rotativos: dependiendo de la orientación del viento pueden llegar a girar en redondo a 360° para tener mejor rendimiento. Así como los mini aerogeneradores, también existen varias empresas globales dedicadas al diseño, instalación, manufactura y mantenimiento de aerogeneradores, también se encargan de la operación y mantenimiento. Cuentan con subsidiarias alrededor del mundo incluyendo China, Estados Unidos, India, Europa entre otros. Estas empresas exportan sus equipos a nivel global y han influido en el crecimiento de la generación de energía eléctrica a través del aprovechamiento de la velocidad del viento. También se dedican al estudio del aprovechamiento de este recurso renovable por medio de mejoras en la tecnología y diseño de turbinas eólicas. Algunas de estas empresas cuentan con sus propias granjas eólicas donde realizan pruebas como velocidad límite que llega a aguantar un aerogenerador, pruebas tecnológicas, nivel de ruido, entre otras.

3. Capacidad de mini generadores eólicos. El sistema que sirve para convertir el movimiento del viento en energía es la turbina eólica y que, a diferencia del viento, éste sí se puede controlar y sacarle el mayor de la turbina eólica provecho al momento de diseñarlo.

Para cada turbina se tiene definida una curva de potencia; la cual es una relación entre la velocidad del viento y la energía producida. Esta curva es característica de cada modelo de turbina. En algunos casos estas relaciones dependen únicamente del sitio y sus condiciones climatológicas.

Ilustración 7. Curva de potencia de una turbina de viento



De manera general y para tener una aproximación de la capacidad de estos mini aerogeneradores, la mayoría empiezan a producir energía a velocidades de 3.5 m/s; la cual es su velocidad de arranque; y

logran su potencia nominal cuando el viento llega a 13 m/s. Por motivos de seguridad la turbina se detiene a velocidades de 25 m/s aproximadamente. Estos datos son aproximados y pueden variar dependiendo del aerogenerador en particular. (Walter Hulshorst, 2009)

Para entender la curva es necesario aclarar algunos términos. La velocidad de arranque es la mínima velocidad del viento a la que las palas rotaran y generaran potencia utilizable. La velocidad nominal se define como velocidad de viento que hará que la turbina eólica genere su potencia nominal de diseño. Por ejemplo, un aerogenerador de 10 kW producirá 10 kW hasta que la velocidad del viento alcance la velocidad nominal. Uno de los conceptos a recalcar en la gráfica es que la potencia producida entre la velocidad de arranque y nominal es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Es importante notar que después de la potencia nominal, la energía producida no va a aumentar significativamente. Es por eso que es importante elegir correctamente la turbina para que el sistema sea económicamente viable. (Walter Hulshorst, 2009)

Por último se tiene el término velocidad de corte. Sucede cuando las velocidades de viento son muy altas y con el fin de protegerla de daños, la mayoría paran su producción de energía y se apagan. Para realizar este corte, se han utilizado varios sistemas. En algunas máquinas, se activa un freno automático mediante un sensor. En otras, se anula el empuje rotatorio cambiándole el ángulo de las palas respecto al viento. Así mismo, estos mecanismos se anulan cuando las velocidades descienden a niveles seguros. (Walter Hulshorst, 2009)

4. Aplicaciones de la energía eólica. La energía eólica tiene una serie de aplicaciones cada vez más útiles y viables a nivel mundial, según el fin del aerogenerador, así será su tamaño y su diseño. Por ejemplo, no es lo mismo usar un molino de viento para distribuir energía a una comunidad entera que para distribuir agua a una granja de pequeñas proporciones. Es por eso que las diferentes aplicaciones se dividen y se categorizan de acuerdo al tamaño del proyecto.

Las aplicaciones de un aerogenerador se dividen en dos categorías: Los sistemas centralizados, los cuales se caracterizan por la producción de energía en cantidades relativamente altas. Esta energía generada va directamente a la red de distribución. Ahora bien, los sistemas que requieren menos energía y se basan en las necesidades de pequeñas comunidades o tareas agrícolas se llaman Sistemas Autónomas o Aplicaciones mecánicas. Estas aprovechan la energía mecánica directa y no se conectan a ninguna red de distribución. (MEM)

a. Bombeo de agua y riego: Las fuentes de energía renovable son también una buena opción cuando hay necesidad de bombear una cantidad moderada de agua. Generalmente, se utiliza en sistemas de riego, los cuales requieren de una cantidad muy pequeña de agua. Sin embargo, también se utiliza para fines residenciales relativamente pequeños.

b. Conexión a antena telefónica: La implementación de un sistema eólico aislado, no conectado a la red de distribución, para generar la energía suficiente y hacer funcionar una antena telefónica es interesante. Y más que interesante, muy viable por el hecho que estas antenas por lo regular se colocan en lugares remotos que no cuentan con suministro de energía de la empresa eléctrica.

c. Calentamiento de agua: A pesar de que para el calentamiento de agua los paneles solares son más viables, usar aerogeneradores para generar la energía para calentar el agua es una opción a considerar.

d. Alumbrado y usos eléctricos diversos: La energía eólica se puede utilizar para alimentar de energía cualquier aparato. La energía eólica parece ser una opción renovable efectiva en muchos casos. Sin embargo no todos los países lo pueden aprovechar con la misma eficacia debido a que no poseen las mismas características de viento. Por ejemplo, en Chile es probable que se pueda abastecer la energía completa de una casa con un aerogenerador A. Sin embargo, en Guatemala que posee características de viento más bajas, el aerogenerador A no podrá satisfacer por completo la misma casa. No obstante, la energía eólica podrá ser de utilidad proveyendo de electricidad a aparatos que requieran de energía para su funcionamiento. Generalmente, el sistema se conecta a aquellos aparatos que generan mucho calor.

e. Otros usos

- Acondicionamiento y refrigeración de almacenes.
- Refrigeración de productos agrarios.
- Secado de cosecha

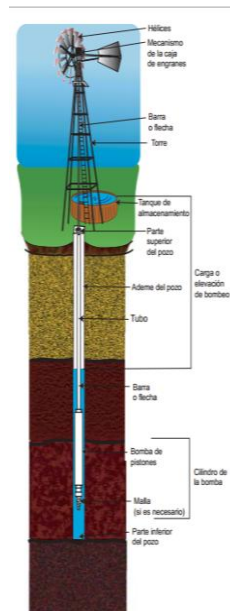
5. Energía eólica para bombear agua. Debido a la gran cantidad de agua necesaria para los cultivos, la energía eólica se utiliza raramente para regar los cultivos. A medida que se desarrollen turbinas de viento más grandes y/o más eficientes, se espera que grupos de este tipo de turbinas de viento (o turbinas de viento individuales) sean capaces de generar suficiente electricidad para ser utilizadas en proyectos de bombeo de agua a cultivos. (Encino; Mercke, 2004)

Al comparar los sistemas mecánicos y eléctricos para bombeo de agua, se puede decir que los primeros son más baratos y que pueden operar a velocidades del viento más bajas; adicionalmente, su mantenimiento es más simple y barato. Los sistemas eléctricos tienen la ventaja de que el aerogenerador no tiene que instalarse en el sitio del pozo de agua, sino que puede ser en un punto donde haya más viento. (Encino; Mercke, 2004)

El dispositivo de viento más comúnmente utilizado es la turbina de viento americano para granjas y haciendas. Estos molinos de viento son comunes en las Grandes Llanuras Norteamericanas y a través del suroeste de la nación. (Encino; Mercke, 2004)

A medida que la tecnología avanza, así van de la mano la evolución de los aerogeneradores. Con mecanismo más avanzado en sus hélices y otros complementos. Un aparato de última generación multiplica la energía considerablemente comparado con una turbina obsoleta. Además de esto, debido a los materiales con los que se construyen, como son la fibra de vidrio, los nuevos aerogeneradores necesitan de menos mantenimiento y cada uno de estos significa menos desembolso monetario. Como si fuera poco, la tecnología se lo facilita más al humano simplificando su instalación, en la mayoría de los casos no se necesita un profesional técnico para su adecuada puesta en funcionamiento. En la Ilustración 4, se muestra un sistema eléctrico moderno. (Encino; Mercke, 2004)

Ilustración 8. Turbina de viento para bombeo de agua



Estas turbinas antiguas no son obsoletas aún gracias a su sistema tan simple y mecánico. Pero sirven en casos muy particulares donde las condiciones de viento son bastante buenas, la demanda es baja y hay un espacio considerable para su instalación, la cual lleva de mucho más trabajo a comparación con los nuevos sistemas. (Encino; Mercke, 2004)

Una turbina mecánica de viento consiste en:

- Un ventilador muy grande con 15 a 40 hélices de acero o galvanizadas. (Encino; Mercke, 2004)

- Un mecanismo con una caja de engranes propulsado por las hélices. Este mecanismo convierte el movimiento rotatorio de las hélices en un movimiento lineal (de arriba hacia abajo). (Encino; Mercke, 2004)
- Una bomba de pistones que es accionada por el movimiento lineal producido por el mecanismo de la caja de engranes. (Encino; Mercke, 2004)
- Una barra o flecha que desciende del molino de viento a la bomba que está dentro del pozo. (Encino; Mercke, 2004)

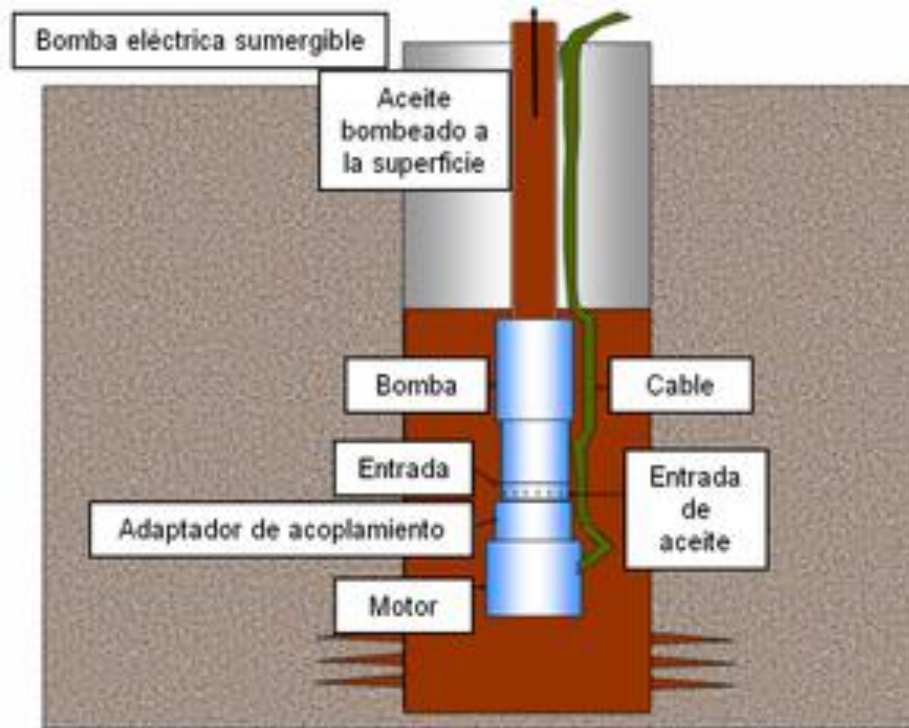
El propulsor debe tener muchas hélices para desarrollar una potente torsión inicial, la cual es necesaria para que la bomba de pistones empiece a operar. Generalmente, las turbinas de viento empiezan a funcionar cuando las velocidades de viento exceden 7 mph. (Encino; Mercke, 2004)

6. Bombas sumergibles. Estas bombas, como su nombre lo indica, se sumergen en el líquido a bombear. El hecho de que estas estén adentro del líquido trae ventajas. Una de éstas es que se puede proporcionar una fuerza de elevación significativa ya que no depende de la presión externa del aire para lograr elevar el líquido. Para el uso exclusivo de bombeo de agua potable o de riego, estas bombas van introducidas adentro del pozo. (Vassaux, 2004)

En un sistema eólico que se implementa para bombear agua es necesario contar con la bomba adecuada. Para que una bomba cumpla con las necesidades hidráulicas del proyecto, esta debe tener la potencia necesaria. La potencia es la que define la altura a la cual se debe bombear el agua. Por lo tanto, mientras más agua y más altura necesite el proyecto, más grande debe ser el tamaño de la bomba. En casos se utilizan dos bombas para controlar de manera segura las presiones y cantidades de agua necesarias. (Vassaux, 2004)

Por esta razón, cuando se piensa en una turbina para bombear agua, lo primero a considerar es la bomba a la cual se le suministrará la energía. De esto dependerá, conjuntamente con las características del viento, el tamaño de nuestro aerogenerador. (Vassaux, 2004)

Ilustración 9. Funcionamiento de una bomba sumergible



Estas bombas cuentan con un sistema de sellos hidráulicos para prevenir que el líquido que se bombea no entre al motor y ocasione un corto circuito. Esta bomba se conecta a la tubería de salida por la cual se impulsa el líquido hasta sus o su punto final. (Vassaux, 2004)

El sistema consiste en varios rodets giratorios uno tras otro logrando aumentar la presión. El motor que contiene dicho aparato gira la bomba y está especialmente diseñado para trabajar a temperaturas de hasta 150 °C. (Vassaux, 2004)

7. Actualidad de las bombas sumergibles funcionando con energía eólica. La ha ayudado a crear aerogeneradores eficientes con sus nuevos modelos aerodinámicos, así han ido las bombas sumergibles avanzando también. La bomba es uno de los factores que define el tamaño de la turbina y es por eso que mientras más efectiva sea esta, la energía se aprovechara de mejor manera.

Considerando las necesidades que se requieren de hacer las bombas más pequeñas, hoy en día existen bombas que han reducido sus necesidades energéticas. Es decir, se necesita de menos potencia para alcanzar la misma altura e impulsando la misma cantidad de agua.

C. Energía solar

La energía solar es la energía producida por la radiación proveniente de los rayos solares que crean reacciones nucleares de fusión. Es una fuente de energía gratuita, limpia e inagotable. Sin embargo es difícil almacenar la luz del sol y se dan casos como en los días nublados que la radiación es escasa. Además es una energía que fluctúa y varía constantemente debido a cambios climáticos. De la energía solar podemos obtener calor y electricidad, el calor mediante colectores térmicos y la electricidad por medio de células fotovoltaicas.

La conversión fotovoltaica se refiere al método más sencillo para captar la radiación y se hace por medio del “efecto fotovoltaico”, que consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de dispositivos conductores conocidos como células fotovoltaicas. Las células son constituidas por materiales semiconductores en los que se ha creado un campo eléctrico constante. El material más común para estos componentes es el silicio.

Estas células son montadas en paneles o módulos solares, ya sea en serie o paralelo, para poder conseguir el voltaje adecuado. No toda la radiación es absorbida por los paneles ya que se puede dar el efecto rebote o al contrario el rayo sigue de largo y atraviesa la célula. En la siguiente ilustración se puede observar el proceso de generación de energía eléctrica por medio de un sistema aislado desde que el panel fotovoltaico capta la radiación del sol.

Ilustración 10. Generación de energía eléctrica fotovoltaica

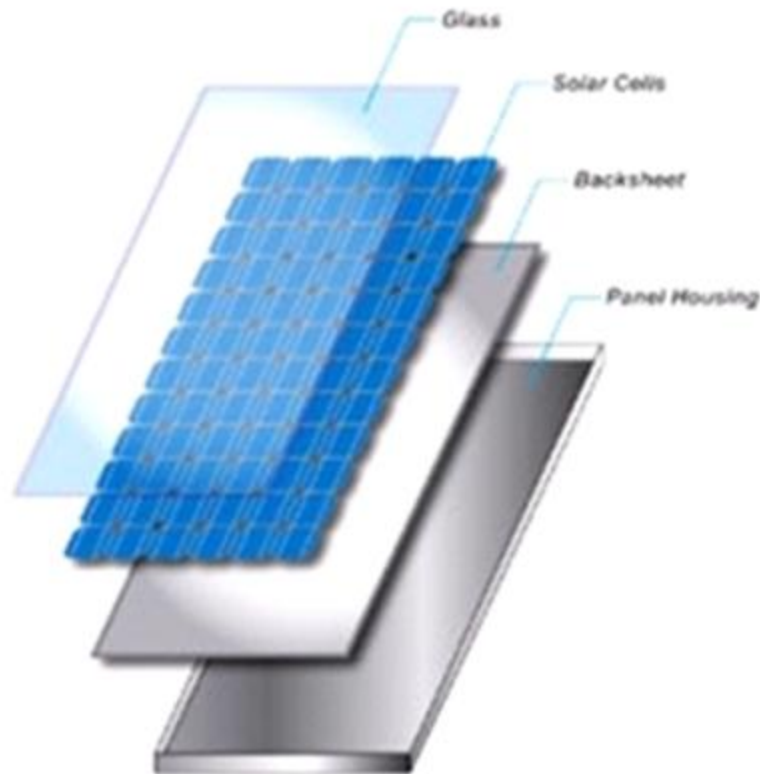


El generador solar al captar la radiación solar la transforma en corriente continua a baja tensión, luego el acumulador almacena la energía para poder utilizarla de noche o cuando el día este nublado. Para evitar sobrecargas o descargas se utiliza el regulador de carga y de esta manera el sistema siempre trabajara al 100% de eficiencia. Si se desea utilizar la generación de energía para aparatos de corriente alterna se necesita instalar un inversor para transformar la corriente.

Los paneles solares pueden ser fabricados de distintas formas, tamaños, puede tener distinto grosor, materiales y células cristalinas. Cada uno de estos factores afecta al equipo en cuanto a eficiencia, potencia, vida útil, uso específico, entre otras características. En la siguiente ilustración podemos observar

las partes que conforman un módulo solar que son la capa de vidrio, las células solares, la lámina inferior y la camisa.

Ilustración 11. Componentes de un panel solar



El proceso de generación de energía por medio de un panel solar se resume en los siguientes pasos:

- Los paneles fotovoltaicos captan la radiación solar y la convierten en energía eléctrica.
- La energía eléctrica generada es de corriente directa por lo que se necesitara de sistemas como un inversor o transformador de potencia para obtener corriente alterna. Esto depende de los equipos que serán utilizados.
- Si se desea almacenar la energía directa se requiere de baterías, la otra opción es conducir la energía por medio de cables. Si las baterías están 100% cargadas, deja de enviar energía a las baterías automáticamente y absorbe la energía excedente.

En la actualidad los paneles solares tienen una vida útil de aproximadamente 30 años. Cada célula es independiente por lo que si una llega a fallar no puede afectar a las demás. Para pequeñas instalaciones por lo general se tiene un inversor por panel pero dependiendo de la magnitud del proyecto se pueden tener una determinada cantidad de inversores con capacidad para conectar varios paneles.

La tecnología ha demostrado varios avances en paneles solares, tales que no necesariamente deben tener ángulos de orientación e inclinación fijos sino que hay estructuras de soporte permiten variar los ángulos conforme la dirección de la que proviene la radiación solar, claro esto implica mayor inversión. En la siguiente ilustración se puede observar la orientación del sol en el amanecer y atardecer según la época del año, lo cual nos indica que dependiendo del ángulo en que se coloquen los paneles solares va a ser el resultado de la cantidad de radiación que logre capturar.

Ilustración 12. Orientación del sol en el amanecer y atardecer.



Por lo general los paneles solares son instalados con orientación hacia el sur para obtener su máximo potencial. La radiación del sol también se puede utilizar para calentar agua o comida, este proceso se conoce como energía solar térmica y se utilizan calentadores y estufas solares. Esta energía es de las que más pueden llegar a aportar debido a que los calentadores de agua son los que más consumo llega a generar. Una instalación solar térmica funciona de tal manera que los colectores captan la radiación solar, transmitiéndola hacia el agua, la cual puede ser utilizada para bañarse, lavar ropa, entre otros usos. Este es un sistema que no se encuentra conectado a la red, por lo que no se genera electricidad, simplemente se tiene un controlador para poder indicar la temperatura a la que se desea el agua.

Los colectores absorben el calor y lo retienen gracias al aislamiento, la capacidad de absorción y el efecto invernadero que se crea dentro de la estructura. De esta manera le transfieren el calor al agua para su posterior uso de distintas maneras en el hogar. Para llevar un control del proceso, se cuenta con un dispositivo electrónico llamado controlador de carga, el cual automáticamente pone en funcionamiento el sistema cuando haga falta agua caliente. En caso que no hubiera sol se tiene como segunda opción un calentador de gas o de paso (eléctrico).

La función principal de los acumuladores es almacenar agua caliente para cuando sea necesario utilizarla. Las 24 horas del día este sistema se mantiene funcionando y por lo tanto es importante mantenerlo lo más aislado posible. Un acumulador es formado por un depósito el cual contiene un serpentín en el interior, el calor absorbido por los colectores fluye a través del serpentín para luego transferir el calor al agua. Se puede optar por una instalación de doble serpentín para mayores temperaturas.

La energía solar térmica también puede ser utilizada para generar energía eléctrica y este proceso se conoce como energía termo solar o termo eléctrica. Además se puede utilizar la energía solar para potabilizar el agua, evaporar, destilar y secar líquidos.

Entre las desventajas de la energía solar cabe mencionar que se requiere de una gran inversión inicial para la instalación del equipo, aunque el retorno de la inversión es de pocos años (4 años aproximadamente). La segunda desventaja es que no todo el día se cuenta con radiación solar, ya que durante la noche no se genera absolutamente nada o puede haber días nublados sin radiación solar. Debido a este problema puede ser que los hogares no se den abasto con la utilización de este sistema y deban acudir a otro.

El siguiente análisis FODA indica algunas fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas presentes o que podrían llegar darse al implementar de un sistema solar ya sea panel fotovoltaico o calentador térmico.

Ilustración 13: Análisis FODA de la implementación de un sistema fotovoltaico.



Tabla 2. Comparación energía eólica y energía solar.

Energías renovables	
Energía eólica	Energía solar
<ul style="list-style-type: none"> ○ Energía limpia. Por cada kWh de electricidad en lugar de carbón se evita: <ul style="list-style-type: none"> ▪ 0.60kg de CO₂ ▪ 1.33g de SO₂ (dióxido de azufre) ▪ 1.67g de NO_x (óxido de nitrógeno) ○ Es inagotable ○ Es autóctona y universal ○ No contamina ○ Reduce el tráfico marítimo y terrestre ○ Reduce la dependencia de combustibles fósiles ○ No provoca grandes movimientos de tierras ○ Corto período de construcción ○ Fácilmente reversibles ○ Se puede operar con bajas velocidades de viento ○ Mantenimiento simple y barato ○ Sirve para bombear agua ○ Las plantas eólicas evitan el efecto invernadero y la lluvia ácida ○ Los parques eólicos generan puestos de trabajo durante su diseño y construcción 	<ul style="list-style-type: none"> ○ Reduce la emisión de gases contaminantes ○ Rápido retorno de la inversión ○ Vida útil de aproximadamente 30 años o más ○ No se producen cortes eléctricos ○ Bajo costo de mantenimiento del circuito ○ Bajo riesgo de electrocución ○ Las baterías se reemplazan de 3-5 años por lo que representa del 3-5% del costo total del sistema a lo largo de su vida útil ○ Mejoramiento ambiental ○ Tecnología limpia ○ Mejoramiento de la infraestructura y fomento del empleo ○ Ingresos significativos a largo plazo ○ Reduce la dependencia del petróleo ○ Contribuye al desarrollo sostenible y sustentable del país ○ Moviliza e incrementa el tejido empresarial ○ Crea inversión en sectores económicos prioritarios ○ Diversifica los recursos energéticos

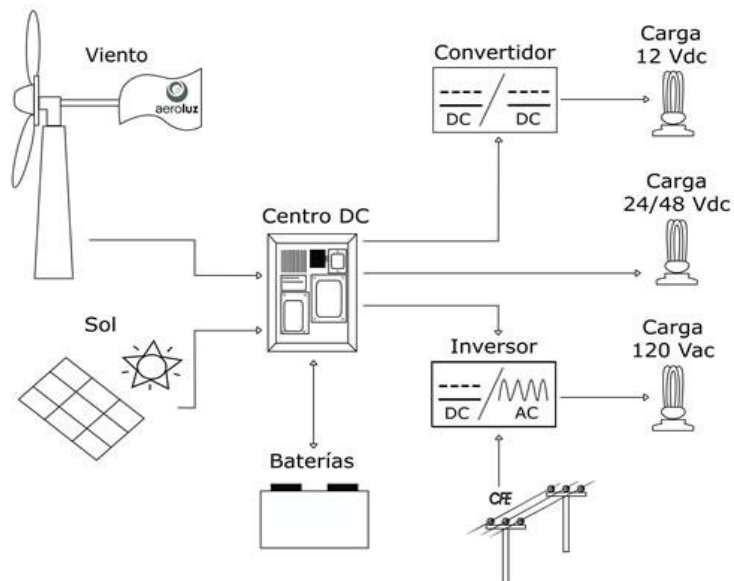
Ambas energías pueden llegar a complementarse si se crea un diseño en el cual se logren integrar. Por ejemplo la energía solar fotovoltaica suministra electricidad los días despejados con radiación solar, mientras que los aerogeneradores producen mayor energía los días fríos, ventosos y frecuentemente nublados. Por lo tanto la energía eólica se puede clasificar como una forma indirecta de la energía solar debido a que se produce como resultado de la energía cinética la cual es creada por las diferencias de temperatura y presión de la atmósfera que se originan de la radiación solar. A continuación se muestra una instalación mixta eólico-fotovoltaica y un diagrama del proceso de generación de energía de ambas fuentes renovables.

Ilustración 14. Instalación mixta eólica-fotovoltaica.



Estos diseños son conocidos como sistemas híbridos los cuales cuentan con un diseño tal que dependiendo del clima el sistema automáticamente prioriza el funcionamiento de una de las energías, ya sea la solar o la eólica. Este tipo de diseños son los que tienen mayor penetración en el mercado hoy en día.

Ilustración 15. Proceso de generación de energía proveniente del viento y del sol.



1. Paneles solares: Existen distintos tipos de paneles solares ya sea de acuerdo a la manera que generan energía eléctrica, también por el material utilizado para los semiconductores de las celdas, se pueden distinguir por la forma específica de diseño, los que son construidos específicamente para calentar líquidos, entre otras variantes.

La energía solar fotovoltaica funciona por medio de paneles fotovoltaicos que utilizan celdas fotovoltaicas para capturar la radiación y convertirla en energía eléctrica. Las celdas contienen materiales semiconductores los cuales permiten generar energía eléctrica. Existen distintos tipos de materiales semiconductores para las celdas fotovoltaicas:

- a) Silicio puro mono cristalino: contienen secciones de silicio cristalizado en una sola pieza. Tienen una vida útil de 10-30 años. Se caracteriza por su buen desempeño bajo condiciones de poca luz.
- b) Silicio puro poli cristalino: contienen secciones de silicio cristalizado estructurado por pequeños cristales mezclados. El proceso de fabricación es más simple
- c) Silicio amorfo: paneles basados en silicio que en lugar de contener una estructura cristalina son empleados específicamente para pequeños dispositivos electrónicos. Cabe resaltar que son frágiles, pero tiene buen rendimiento en condiciones de sombra.
- d) Arseniuro de Galio: paneles con materiales de mayor resistencia y eficiencia.
- e) CIGS (Cobre Indio Galio Diselenido): generan mayor inversión, son más flexibles, proceso de producción fácil y son producidos de mayores tamaños. Es el material que genera mayor rendimiento.
- f) Teluro de cadmio: rendimiento promedio (8-16%)
- g) Diseleniuro de cobre en indio: rendimiento promedio (9-17%)
- h) Tándem: utiliza una combinación de dos materiales semiconductores para aprovechar mayor espectro electromagnético. También existen diseños de combinación de 3 materiales.

Ahora se describirán los distintos tipos de paneles fotovoltaicos que funcionan en base a la estructura o forma, estos pueden ser fabricados con cualquiera de los materiales semiconductores mencionados anteriormente:

- a) Paneles con sistemas de concentración: consta de una serie de superficies reflectantes que concentran la luz sobre los paneles fotovoltaicos. Una superficie producirá más electricidad debido a que recibe mayor cantidad concentrada de fotones.
- b) Paneles de formato “teja o baldosa”: paneles de pequeño tamaño con el fin de combinar varios y cubrir grandes superficies, por lo general en techos. Son aptos para cubrir grandes demandas energéticas

- c) Paneles bifaciales: como su nombre lo dice, utiliza dos caras para captar la radiación y generar energía eléctrica. Para que este sistema funcione, debe ser colocado sobre dos superficies blancas que logren reflejar la luz hacia el reverso del panel, se crea un efecto rebote de la pared hacia el panel.

La tecnología en paneles solares fotovoltaicos ha avanzado a lo largo de los años y hoy en día se cuenta con sistemas de seguimiento solar aplicados al equipo. Estos elementos son capaces de seguir el movimiento del sol lo cual aumenta la eficiencia debido a un mayor nivel de captación de radiación. Por lo tanto también es posible clasificar los paneles fotovoltaicos en base al sistema de seguimiento solar:

- a) Colocación sobre soporte estático: el sistema más común de todos donde el soporte es fijo y se coloca a cierta inclinación para captar mayor radiación.
- b) Sistema de seguimiento solar de 1 eje: la rotación del soporte se hace por medio de un eje el cual puede ser horizontal, vertical u oblicuo. Se caracteriza por ser el sistema de seguimiento más sencillo y con menor costo.
- c) Sistema de seguimiento solar de 2 ejes: sistema capaz de captar el seguimiento total del sol. Existen tres sistemas básicos:
- d) Sistemas mecánicos: por medio de un motor y de un sistema de engranajes se realiza el seguimiento del sol. Cabe mencionar que se necesitan de mantenimientos constantes debido a la variación de la inclinación del sol anual la cual provoca ajustes para adaptar el movimiento del soporte.
- e) Mediante dispositivos de ajuste automático: como su nombre el ajuste es automático y es realizado por medio de sensores que captan cuando la radiación no incide perpendicular al panel, por lo que cambia de posición por medio de motores.
- f) Dispositivos sin motor: se logra el seguimiento solar por medio de la dilatación de gases que al evaporar cambian el equilibrio del sistema por lo que cambiar la inclinación.

Los paneles fotovoltaicos también se pueden clasificar por sus distintos usos y aplicaciones como las que se mencionan a continuación:

- a) Paneles solares pequeños
- b) Paneles solares térmicos
- c) Paneles solares termodinámicos
- d) Paneles solares termoeléctricos
- e) Paneles solares fotovoltaicos
- f) Paneles solares de 12V
- g) Paneles solares en fachadas de edificios
- h) Paneles solares para casas
- i) Paneles solares para el hogar

- j) Paneles solares para electricidad domestica
- k) Paneles solares para piscinas
- l) Paneles solares para calentar piscinas
- m) Paneles solares en granjas
- n) Paneles solares para invernaderos
- ñ) Paneles solares para agua caliente
- o) Paneles solares en duchas
- p) Paneles solares para sistemas de iluminación exterior
- q) Paneles solares para alumbrado publico
- r) Paneles solares para armar
- s) Paneles solares de uso aislado
- t) Paneles para uso industrial
- u) Paneles para bombeo de agua
- v) Paneles para señalización

Los paneles solares fotovoltaicos también se pueden clasificar por el número de células incorporadas. Mientras más células contengan un panel, será mayor el voltaje por lo que se requerirá de sistemas de regulación para disminuir el voltaje.

Otra aplicación por medio de energía solar son los colectores térmicos. La energía solar térmica funciona por medio de colectores solares, los cuales transfieren el calor capturado al líquido que fluye a través de ellos. Los colectores contienen fibra de vidrio en la parte expuesta al sol y una placa metálica en la parte inferior mientras que el líquido fluye por tubos conductores. Se dice que se crea un efecto invernadero dentro del equipo debido a que el calor del líquido es transferido a un acumulador.

Los calentadores solares pueden funcionar de dos maneras, con sistema presurizado y con sistema no presurizado. Básicamente un sistema presuriza quiere decir que funciona con la misma presión de la residencia, el calentador recibe agua fría a presión y esa misma presión es utilizada para impulsar el agua caliente de salida. Parte de las características de este sistema es que se puede mezclar agua fría y agua caliente con mayor facilidad a la hora de tomar una ducha, lavarse las manos o lavar platos ya que el agua fría y caliente trabajan a una presión uniforme y se evitan quemaduras. El sistema no presurizado por lo general es cuando se utilizan tubos al vacío para calentar agua y no se tiene control sobre las presiones de agua fría y caliente. En la siguiente tabla se describen los distintos tipos de colectores térmicos.

Tabla 3. Colectores solares.

Tipo de calentador solar	Características de funcionamiento
Calentador de agua horizontal	El tanque de agua se encuentra integrado al colector solar.
Calentador de agua vertical	El tanque de agua se encuentra separado del colector solar, ya sea adentro de la residencia o en cualquier lugar.
Calentador de agua para piscinas	Con la ayuda de una bomba recircula el agua de la piscina, manteniéndola a una temperatura promedio de 28 grados Celsius.
Calentadores de tubos al vacío	El calor se expande por los tubos hasta llegar al tanque principal por donde entra el agua fría para luego salir caliente

Los calentadores térmicos pueden utilizarse para distintas funciones, algunas se mencionan a continuación:

- a) Calentar agua para bañarse
- b) Lavar ropa en la lavadora
- c) Cocinar
- d) Lavar platos
- e) Lavadora de platos

La energía solar termoeléctrica o termo solar necesita mayor temperatura de calentamiento de un fluido por lo que utiliza diferente modalidad. Se basa en el ciclo termodinámico convencional donde el sistema logra alcanzar temperaturas por encima de los 300°C por medio de grandes espejos que dirigen la radiación directamente al fluido. Para ello existen distintos tipos de espejos:

a) Colectores cilindro parabólicos: básicamente son espejos curvos de grandes dimensiones, que forman grandes hileras que dirigen la radiación del sol a un tubo receptor el cual le transfiere el calor al fluido.

b) Colectores heliostatos: son espejos planos que están automáticamente orientados al sol por medio de centrales termo solares de torre. Los heliostatos son los encargados de dirigir

la radiación solar al receptor y el receptor se encuentra ubicado en la torre. Finalmente el fluido calentado mueve directamente una turbina.

A continuación se muestra una tabla de las empresas dedicadas a la energía solar con mayor competencia global en la actualidad.

Tabla 4. Empresas solares globales.

Empresa	País
GG	Estados Unidos
HH	Estados Unidos
II	Estados Unidos
JJ	Japón
KK	Canadá
LL	Estados Unidos
MM	China
NN	China
OO	China
PP	Estados Unidos
QQ	China
RR	Estados Unidos
SS	India

En la tabla anterior se puede observar que domina el mercado chino y estadounidense para la fabricación de paneles solares, esto se debe a que una empresa Alemana dedicada a paneles solares, TT, anuncio que las empresas solares chinas estaban haciendo dumping con la venta de sus paneles. Por lo tanto Estados Unidos creó más aranceles para la importación de paneles solares producidos en China. Es importante tomar en cuenta este acontecimiento a la hora de comprar un panel solar fotovoltaico.

2. Capacidad de paneles solares: Las siguientes tablas sirven de guía para comparar los distintos tipos de paneles solares, sus capacidades y características específicas.

Tabla 5. Paneles fotovoltaicos.

Tipo de panel	Fotovoltaico	Fotovoltaico	Fotovoltaico
Fabricante	VV	UU	JJ
Modelo	140W	245W	195W
Capacidad	140W/12V	245W/24V	195W/12V
Precio	US\$ 433.49	US\$626	US\$ 402.72

En la tabla anterior podemos observar que a pesar que el modelo VV tiene menor capacidad que el JJ, es tiene mayor precio. También podemos observar que el panel UU tiene 24 V de salida a diferencia de los otros dos que poseen 12V. El motivo de estas dos observaciones es porque los paneles contienen distinto número de celdas y el voltaje de salida va a depender de la estructura cristalina del material semiconductor utilizado.

Tabla 6. Paneles mono cristalinos.

Tipo de panel	Mono cristalinos	Mono cristalinos
Modelo	10W	30W
Capacidad	10W/12V	30W/12V
Precio	US\$ 42.70	US\$ 94.24

Mono cristalinos	Mono cristalinos	Mono cristalinos
30W	40W	90W
30W/8V	40W/12V	90W/12V
US\$ 103.07	US\$ 123.69	US\$ 250.32

En la Tabla 5 podemos observar que los dos modelos de 30W tienen distinto voltaje de salida por lo que a menor voltaje mayor será el costo debido a la estructura cristalina. También se puede comparar que a medida que sube la capacidad del panel, aunque tenga el mismo voltaje de salida, el precio sube considerablemente.

Tabla 7. Comparación tipo paneles.

Tipo de panel	Policristalinos	Policristalinos
Modelo	70W	140W
Capacidad	70W/12V	140W/12V
Precio	US\$ 176.69	US\$ 362.85

En la tabla anterior se muestran paneles policristalinos de distintas capacidades. Debido a que la estructura cristalina es diferente a los paneles de la Tabla 5, aunque tengan la misma capacidad (140W), el precio del poli cristalino tiene a ser menor.

Tabla 8. Paneles mono cristalinos de mayor capacidad.

Tipo de panel	Mono cristalinos	Mono cristalinos
Modelo	145W	180W
Capacidad	145W/12V	180W/24V
Precio	US\$403.45	US\$ 485.91

Los paneles mono cristalinos de la tabla anterior poseen mayor capacidad. Aun así cabe resaltar que el modelo de 180W tiene mayor precio que el panel fotovoltaico de la tabla 10 de 195W, a pesar que tiene menor capacidad. Es decir que el panel mono cristalino tiende a ser más caro que un panel fotovoltaico convencional.

Tabla 9. Paneles fotovoltaicos de distintas compañías.

Fabricante	WW	XX	YY	ZZ	AAA
Modelo	BS195S5	STP280	YL230	C S6P230	NU235
Potencia (W)	195	280	230	230	235
Eficiencia (%)	15,3	14,4	14,1	14,4	14,3
Peso (kg)	17	27	19,8	18,5	20
Unidades para 100kW	513	357	435	435	425
Superficie de captación para 100W (m ²)	625	692	709	696	697

La Tabla 7 tiene distintos punto que se deben tomar en cuenta. Primero se debe notar que el panel del fabricante WW, es el que mayor cantidad de unidades necesita para 100kW, pero aun así es el que necesita menos superficie de captación que el resto de modelos, esto se debe a que es el modelo que posee mayor eficiencia. Por lo tanto se puede considerar que mientras mayor eficiencia tenga un panel, será mayor el aprovechamiento de la superficie.

D. Vientos

Para hacer funcionar una turbina eólica, se necesita bastante viento en su zona. Sin embargo, al igual que el tiempo en general, los patrones de viento pueden ser impredecibles, variando de un lugar a otro, y de uno a otro momento. La velocidad del viento puede estar afectada por árboles, edificios, colinas y valles del alrededor. Una turbina eólica no debe colocarse en lugares expuestos a flujos de aire muy turbulentos.

Por esta razón, se debe mantener la turbina tan libre de obstáculos como sea posible. Incluso una leve turbulencia puede disminuir el rendimiento del aerogenerador, ya que una turbina no puede reaccionar a los cambios rápidos en la dirección del viento, y una fuerte turbulencia puede reducir la vida útil de la turbina.

El viento es una fuente de energía difusa que no puede ser ni contenida o almacenada, ni utilizarse para otra cosa en otro momento posterior. Se requiere en primer lugar una evaluación de la velocidad del

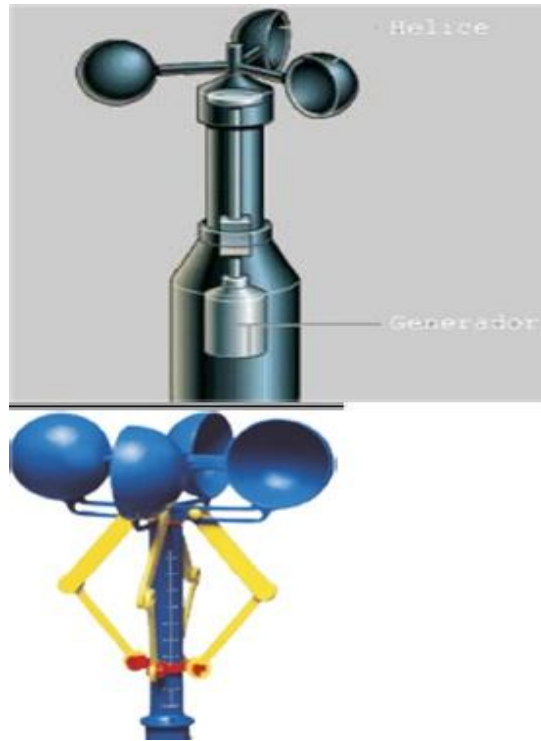
viento en un determinado emplazamiento. Hay que determinar las condiciones del viento mediante mediciones de por lo menos algunos meses de duración, y preferiblemente de un año o más, especialmente si espera usar los datos como base de comparación con las medidas tomadas en una estación cercana de medida del viento.

La instrumentación necesaria para llevar a cabo estas medidas está disponible para su compra o alquiler, y es a menudo proporcionada como una parte de la evaluación del emplazamiento que llevan a cabo los consultores o distribuidores de turbinas. Se debe recordar que la energía del viento es función del cubo de la velocidad del viento. Un 10 % de error en la estimación de la velocidad del viento puede significar un 33 % de diferencia en el cálculo de la energía aprovechable.

1. El anemómetro: El anemómetro es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y, específicamente, para medir la velocidad del viento. Así mismo es uno de los instrumentos de vuelo básico en el vuelo de aeronaves. A continuación los distintos tipos de anemómetros:

a. Anemómetro de molinete: Estos son los más utilizados por su simplicidad y suficiente exactitud para la mayor parte de las necesidades de medición así como por la relativa facilidad de permitir la medición a distancia. Hay muchos diseños de hélices pero la más común es la hélice de cazoleta, debido a que no es necesario mecanismo alguno para orientar la hélice al viento y que su construcción puede ser robusta para soportar grandes velocidades del viento. Este es un anemómetro de cazoletas muy elemental, la velocidad de rotación de la hélice, hace que la creciente fuerza centrífuga, empuje el extremo superior de las palancas hacia afuera, moviendo hacia abajo el anillo marcador de la parte inferior del mecanismo, cuando la velocidad de la hélice crece, ya través de un resorte recuperador se produzca el efecto contrario cuando disminuye. Una escala apropiada marcada en el soporte central calibrada a velocidad de viento, servirá para indicarla en todo momento. (Serna Llaguno, 2011)

Ilustración 16: Anemómetro de molinete.



Fuente: (Serna Llaguno, 2011)

b. Anemómetro de filamento caliente: Para medir los cambios repentinos de la velocidad del viento, especialmente en las turbulencias, se recurre al anemómetro de filamento caliente, que consiste en un hilo de platino o níquel calentado eléctricamente: la acción del viento tiene por efecto enfriarlo y hace variar así su resistencia; por consiguiente, la corriente que atraviesa el hilo es proporcional a la velocidad del viento. (Serna Llaguno, 2011)

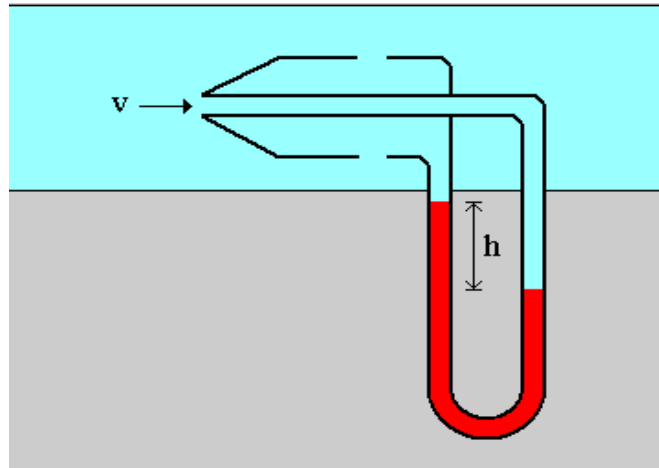
Ilustración 17: Anemómetro de filamento caliente.



Fuente: (Serna Llaguno, 2011)

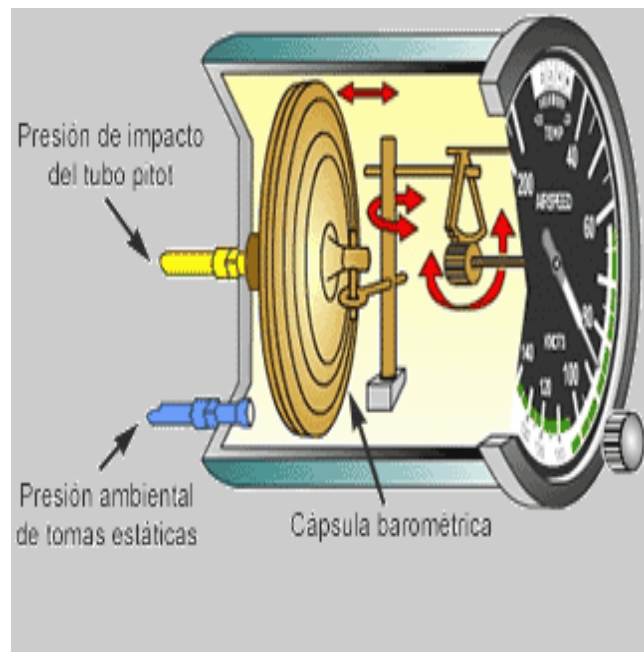
c. **Anemómetro de presión hidrodinámica:** Este es el esquema de un anemómetro del tipo de presión hidrodinámica pero con indicación de aguja y esfera. La cápsula barométrica es un bulbo elástico, al recibir la diferencia de presión desde las partes de alta y baja presión del tubo de pitot se dilata o recoge en proporción. Este movimiento es conducido y amplificado apropiadamente a través de un juego de palancas y engranajes hasta una aguja indicadora.

Ilustración 18: Funcionamiento teórico de un anemómetro de presión hidrodinámica.



Fuente: (Serna Llaguno, 2011)

Ilustración 19: Indicador de agujas y esferas.



Fuente: (Serna Llaguno, 2011)

Básicamente consiste en colocar una superficie en la punta de un péndulo de frente al viento, el empuje producido por este, levantará el péndulo más o menos de acuerdo a la velocidad. Una escala apropiada grabada en una superficie paralela al movimiento del péndulo servirá como indicador usando el propio péndulo como aguja indicadora. (Serna Llaguno, 2011)

Estos anemómetros no son muy precisos y se utilizan para obtener una información estimada de la velocidad del viento, su indicación generalmente es en números relativos a una escala establecida de antemano. (Serna Llaguno, 2011) Por ejemplo:

2 = Se nota movimiento de las hojas de los árboles

3 = Se mueven ramas más pequeñas de los árboles

4 = Se levanta polvo del suelo

Ilustración 20: Anemómetro de empuje.



Fuente: (Serna Llaguno, 2011)

2. Factores que influyen en la disponibilidad del viento: La cantidad de energía, mecánica o eléctrica, que pueda generar una turbina eólica depende mucho de las características del viento en el sitio de instalación. De hecho, la producción puede variar en un factor de dos a tres entre un sitio regular y uno excelente, de manera que la rentabilidad de un proyecto depende directamente del recurso eólico local. Por esta razón, es necesario un estudio técnico detallado de las características del viento en un sitio específico antes de avanzar en un proyecto de cualquier magnitud. (Vassaux, 2008)

El análisis requerido depende directamente de la aplicación y la escala prevista; naturalmente, un proyecto a gran escala conectado a la red requiere de un estudio más profundo que un pequeño sistema aislado. El método más exacto para conocer el potencial de producción de energía del viento, es la instalación de uno o más anemómetros, los cuales, periódicamente, generan datos de la velocidad y la dirección del viento en forma electrónica. Estos datos se analizan detalladamente en relación con las características del terreno y las mediciones de estaciones meteorológicas cercanas, con el fin de estimar la producción potencial de energía a largo plazo y durante diferentes épocas del año. Información meteorológica de sitios aledaños puede apoyar el análisis del potencial eólico; sin embargo, este tipo de información generalmente tiende a subestimar el recurso eólico. (Vassaux, 2008)

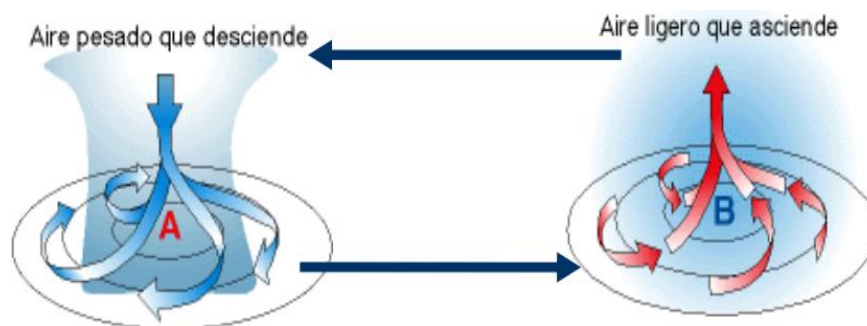
Hay tres componentes del viento que determinan la potencia disponible de un sistema de conversión de energía eólica. Se presentan a continuación:

a. Velocidad del viento: Es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia. Además, la velocidad varía directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas, árboles, edificios y otros objetos. Las turbinas eólicas requieren una velocidad de viento mínima para empezar a generar energía: para pequeñas turbinas, este es, aproximadamente, de 3,5 metros por segundo (m/s); para turbinas grandes, 6 m/s, como mínimo. (Vassaux, 2008)

b. Características del viento: Mientras que los modelos de viento globales ponen el aire en movimiento y determinan, a grandes rasgos, el recurso del viento en una región, rasgos topográficos locales, que incluyen formaciones geográficas, flora y estructuras artificiales, pueden mostrar la diferencia entre un recurso eólico utilizable y uno que no lo es. (Vassaux, 2008)

c. Densidad del aire: Temperaturas bajas producen una densidad del aire más alta. Mayor densidad significa más fluidez de las moléculas en un volumen de aire dado y más fluidez de las moléculas encima de una pala de la turbina produce un rendimiento más alto de la potencia, para una velocidad del viento dada. (Vassaux, 2008)

Ilustración 21: La densidad y el comportamiento del aire.



Fuente: (Vassaux, 2010)

E. Estado actual de la energía eólica en Guatemala

1. El viento en Guatemala. Aunque Guatemala no tiene potencial eólico en todo su territorio; si se pueden encontrar sectores donde existe un alto grado de factibilidad para el aprovechamiento de este recurso. (MEM)

Existen lugares que han sido evaluados, lográndose llevar los estudios a nivel de factibilidad. Dentro de estos estudios se encuentra el proyecto eólico Buenos Aires, con una potencia de 15 MW y una producción en promedio anual de energía de 40 GWh. Este proyecto se encuentra en el lado sur oriente del departamento de Guatemala, en la falda del volcán de Pacaya y a 35 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. (MEM)

En el documento denominado Plan de Negocios, del Proyecto Eólico El Rodeo, se contempla la instalación de un potencia de 3,900 kW y una producción anual de 11,100,672 kWh. Este proyecto se encuentra ubicado en la aldea El Rodeo del municipio de San Marcos, a 285 kilómetros de la ciudad capital de Guatemala. (MEM)

Adicionalmente, existen entidades privadas que se encuentran realizando mediciones de viento (velocidad y dirección), con el objeto de definir la capacidad del proyecto de generación eólica. Estas estaciones de medición se encuentran en Jutiapa, en Villa Canales y en San Vicente Pacaya. (MEM)

2. Proyectos eólicos en Guatemala. Existen varios incentivos para el desarrollo de proyectos eólicos en Guatemala. Entre las características principales se debe contar con tierra firme si se desea instalar en tierra o también se cuenta con la instalación en el mar. Luego se debe definir si se desea implementar un generador de eje horizontal o vertical y el número de aspas.

También tener claro el beneficio que se desea obtener, ya sea para suministro a la red o si será un sistema aislado donde se pueden incluir sistemas eólico-solares o eólicos-biodiesel, o simplemente sistema eólico. Para generar electricidad por medio de la fuerza del viento se necesita contar con las aspas del rotor, la góndola o carcasa del aerogenerador la cual incluye un buje, la caja de cambios y ejes, el generador y un sistema de control y por último la torre y cimentación.

Las entidades que promueven los proyectos de generación de energía eléctrica a través de la velocidad del viento se encuentra el Ministerio de Energía y Minas (MEM), la Alianza en Energía y Ambiente de Centroamérica (AEA), el Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, Central American Bank for Economic Integration (Cabei), Energy and Environment Partnership with Central America, entre otros. Los proyectos eólicos son de gran magnitud por lo que la energía producida es conectada a la red para ser vendida.

En Guatemala se han encontrado diez áreas con potencial eólico elevado, de las cuales se tiene planeado desarrollar distintos proyectos. Los medidores utilizados para capturar la velocidad del viento, miden cada diez minutos el comportamiento del viento, la temperatura y la radiación solar. En Villa Canales se ha detectado potencial en las fincas La Concha, La Sabana y San Antonio, en San Marcos hay potencial en las fincas Matazano, Chispán, Estalenzuela, Zacapa y El Rodeo.

Existen otras zonas con potencial como Santa Catarina Ixtahuacán en Sololá, la finca Candelaria en San Juan Alotenango, Sacatepéquez, también la finca Samororo en Mataquesuintla, Jalapa, la finca El Durazno en Jutiapa y Chacaj en Nenton, Huehuetenango. El sector privado monitorea Comapa y El Progreso en Jutiapa, la finca La Concha en Villa Canales, áreas en Amatitlán y la finca Monte María en San Juan Alotenango. El Anexo F muestra las torres de medición de viento instaladas en la República para el 2006.

a. Viento Blanco. El primer proyecto que se implementará es un parque eólico llamado “Viento Blanco” y será ubicado en San Vicente Pacaya, Escuintla; en esta área se dan velocidades de viento entre 10 y 13 m/s. Si observamos el anexo C, el mapa de relieve que muestra las velocidades del viento en Guatemala, la ubicación de este proyecto se caracteriza por tener vientos de clase 7 y 8 lo cual es lo más alto que se puede encontrar. Estará conformado por 7 aerogeneradores V90, cada uno con capacidad de 3MW. Cada torre mide aproximadamente 80 metros de altura y las aspas 45 metros de largo, el peso del aerogenerador es de 70 toneladas. La inversión de este proyecto es de US\$50 millones y tendrá un tiempo

de recuperación aproximado de 18 años. La vida útil de los aerogeneradores es de cómo mínimo 20 a 25 años.

La construcción iniciará en Junio del año 2013 para arrancar en el año 2014. El parque podría llegar a ahorrar al país 77,891 barriles de petróleo anuales y reducirá aproximadamente 33,493 toneladas de CO₂. Los generadores en funcionamiento generan en conjunto 21MW al tener 100% de eficiencia, lo que significa que este proyecto aporta 0.0027% del total potencial eólico en Guatemala. Para la construcción de este proyecto se abrirán alrededor de 400 puestos de trabajo y se mantendrán 50 para los mantenimientos anuales. Es importante mencionar que previo al arranque del proyecto, se estuvieron haciendo mediciones durante alrededor de 4-5 años en la finca donde serán instalados los generadores. Se instalaron siete torres de medición en distintos puntos de la finca de donde se fueron sacando los datos para determinar los puntos de instalación de los aerogeneradores.

b. Buenos Aires: Entre las áreas con potencial eólico en Guatemala se encuentra Santa Elena Barillas en el municipio de Villa Canales por lo que actualmente se encuentra un proyecto en desarrollo. Se le ha dado el nombre de “Buenos Aires” y contará con una capacidad de 15MW lo cual equivale a un 2% de lo que se puede llegar a generar en el área. Este proyecto es apoyado por la AEA. Por el momento el proyecto se encuentra a la venta y quedo en posesión del banco debido a demandas por falta de presupuesto.

c. Proyecto Tahal Group: La firma internacional de ingeniería y desarrollo de proyectos universales israelí, Tahal Group, tiene planeado invertir US\$60millones para el desarrollo de una planta eólica que podría llegar a generar 45MW. Este proyecto ayudara a cubrir la demanda eléctrica de aquí al 2020 en un 6,4% al año según la CNEE.

d. Telectro: Se solicitó la compra de 20 turbinas eólica a Real Logic Inc. aptas para generar 2.5 MW para el desarrollo del proyecto Telectro. La inversión de este proyecto es de aproximadamente US\$100millones, pero los resultados serán favorables para Latinoamérica según el presidente de Real Logic Inc. Michael Posner.

e. Proyecto grupo Ecomina: El grupo Ecomina tiene pensado invertir un estimado de US\$55millones en un proyecto que podría llegar a generar 62MW al Sistema Nacional Interconectado lo cual es suficiente para cubrir la demanda de energía que se genera entre 6 de la tarde y 9 de la noche. Estaría ubicado entre las aldeas Los Llanos y Santa Elena Barillas kilómetro 40 en el municipio de Villa Canales. En esta área se colocarían alrededor de 35 torres con mayor altura que la Torre del Reformador (65m). Los potenciales socios prefieren permanecer anónimos por el momento.

f. El Rodeo: Existe otro proyecto llamado “El Rodeo”, ubicado en la aldea El Rodeo, San Marcos el cual contará con un potencial eólico de 3,900kW y una producción anual de 11,100,672 kW.

g. San Antonio: En Santa Elena Barillas existe otro proyecto llamado “San Antonio”, el cual producirá 50 MW para vender la energía a distribuidores. Al tener un 100% de eficiencia este proyecto estaría aportando 0.02% del total potencial eólico que existe en Guatemala. Se les podrá proveer energía a más de 20 mil familias gracias a este parque eólico. El área se describe por contar con una velocidad de 25km/h de viento, como se puede observar en el Anexo C es un área con bastante potencial, donde 16 generadores se aprovecharan de este recurso. Cada generador tendrá una altura de 80 metros y tendrán una distancia de 800 metros de por medio.

El costo de cada generador es de US\$7,2millones, son de material de acero y las aspas de fibra de vidrio y son importados de Europa. Se tiene planeado construir una subestación y una línea de 9km para conectarse a la red nacional. Gracias a la implementación de este proyecto se crearan alrededor de 200 empleos durante la construcción y ya puesto en marcha se podrían llegar a generar ahorros de aproximadamente US\$24 millones anuales por pago de importación de derivados del petróleo.

En San Vicente Pacaya, Escuintla cerca de las faldas del volcán también se considera como un área con potencial eólico. Actualmente, entidades privadas realizan mediciones de viento para futuros proyectos en Jutiapa, Villa Canales y San Vicente Pacaya. Además existe una torre de medición eólica en Alotenango, Sacatepéquez.

Ilustración 22: Torre de medición eólica en Guatemala.



3. Proyectos de energía solar en Guatemala. Existen distintos campos tanto en Guatemala como en el interior que han sido estudiados y se ha descubierto potencial geotérmico para ser explotado. En el Anexo E se puede observar un mapa proporcionado por el INDE (Instituto Nacional de Electrificación), donde se muestra los puntos factibles en Guatemala estudiados en el 2005.

Usualmente para un proyecto geotérmico se instalan sistemas modulares donde cada módulo tiene una capacidad aproximada de 10 a 100 W aunque, por lo general se comercializan paneles con potencia entre 100 y 500W. Se obtiene corriente directa y con un inversor se puede convertir a corriente alterna. Para generar electricidad por medio de la radiación solar se necesita de un módulo fotovoltaico, un controlador de carga, baterías, inversor (opcional), cableado y distintas aplicaciones como luminarias.

En el interior de la República es común ver sistemas fotovoltaicos instalados en áreas rurales sin acceso a la red eléctrica. Estos sistemas individuales son bastante funcionales, la población ha aprendido a instalarlos y repararlos por lo que aprovechan su uso al 100%. Aunque la inversión es alta, la mayoría de estos paneles fueron brindados gratuitamente a la población específicamente a todas las aldeas alejadas de la red de electricidad.

Estos son algunos de los proyectos geotérmicos más grandes en Guatemala que se han instalado o que están en proceso de construcción:

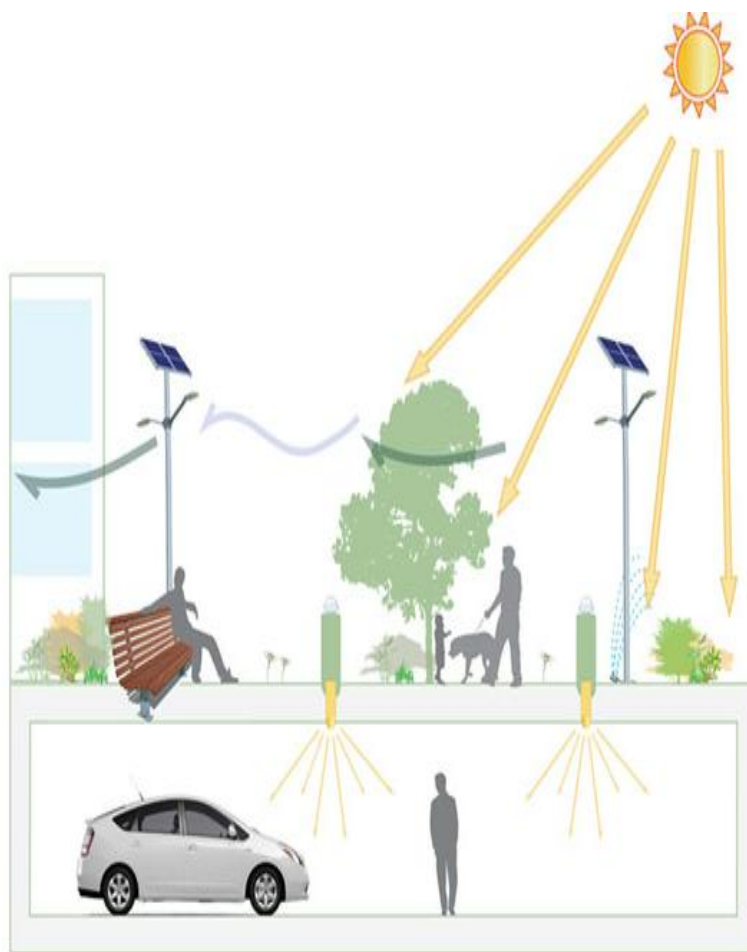
a. Proyecto en San Vicente, Pacaya: En Ortitlán, San Vicente Pacaya, se encuentra un proyecto en construcción y tendrá una capacidad de 25MW.

b. Condominio: En un condominio camino a Carretera a El Salvador fueron instalados 60 colectores solares para calentar una piscina. La producción promedio de energía es de 720 kW diarios.

c. Edificio: En zona 15 Vista Hermosa 1 fue construido el primer edificio con tecnología verde en Guatemala. Gracias a las implementaciones verde incluidas en el edificio se logran reducir costos de electricidad, agua, mantenimiento, aire acondicionado, entre otros. Se instalaron 550m² de colectores solares en los techos del edificio distribuidos en 16 circuitos para proporcionar agua caliente a los apartamentos. Aparte se tienen tanques de 52 galones con sistema suplementario eléctrico. El ahorro que proveerán los colectores solares será de aproximadamente \$90.00 mensuales.

En los jardines principales del edificio fueron instalados ductos solares los cuales captan la radiación solar durante el día para iluminar los sótanos. Para la iluminación de jardines y áreas comunes fueron instaladas lámparas exteriores fotovoltaicas que capturan la radiación solar y la energía generada es utilizada para iluminación durante la noche. La siguiente ilustración muestra el funcionamiento de las instalaciones del edificio.

Ilustración 23: Instalaciones verdes del edificio.



d. Universidad del Valle de Guatemala: En la Universidad del Valle de Guatemala se instalaron 28 paneles fotovoltaicos con el fin de generar ahorros anuales de aproximadamente Q28, 324 por medio de una generación anual de 17,527kWh. Se realizó un convenio entre la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y el Banco Interamericano de Desarrollo para la inversión de US\$25 mil para el proyecto basado en Generación Distribuida Renovable (GDR). La empresa ganadora del concurso para estar a cargo del proyecto fue Green Energyze.

e. Condado Naranjo: En Mixco, fueron instalados 4 paneles en la sala de ventas del Condado Naranjo. La temperatura promedio del área es de 23 grados Celsius y para ver el comportamiento y la energía generada al día, fueron instalados monitores en cada uno de los paneles. Al ingresar a la página web de “Enphase” se puede ubicar en el mapa global el proyecto en Guatemala y al dar

click muestra las gráficas del comportamiento de generación conforme transcurre el día. En el Anexo H se muestra el “overview” del proyecto en la página web.

f. Enphase: En la página web “Enphase” se muestran seis instalaciones más en el municipio de Guatemala, algunos privados o residenciales. Hay un proyecto de 9.93MWh de generación, otro de 11.7MWh, otro de 1.48MWh, otro de 768kWh, otro de 6.06MWh y por último uno de 478kWh.

g. Fábrica en Fraijanes: Se instalará un complejo de paneles solares en el techo de una fábrica en Fraijanes. Con este proyecto se generaran aproximadamente 5MW. La empresa Sistemas de Apoyo de Energía Eléctrica S.A, es la encargada de desarrollar el proyecto. La inversión será de US\$ 8 millones con un tiempo de recuperación aproximado de 5 años.

h. Proyecto en el interior: En el 2006 se desarrolló uno de los proyectos más significantes para el país el cual consistió en proveer paneles solares a 25 hogares rurales y a 3 edificios públicos. Gracias a estas instalaciones se produjeron ahorros anuales de US\$ 600,000 o 1,666.24kg de keroseno al año. La capacidad de cada panel es de 8.54kW diarios y beneficia a un aproximado de 156 personas en las áreas rurales. Esto generó puestos de trabajo y oportunidades para los habitantes de las comunidades debido a que luego alguno hombre y mujeres fueron capacitados para instalar y reparar estos equipos. La vida útil de los paneles es de 27 años.

i. Restaurante: Ubicado en la 14 avenida de la Calle Martí se instaló un sistema solar para el funcionamiento de aire acondicionado. Se realizó una inversión de US\$231,075 y se reflejarán los resultados con una reducción de 73,818kWh anuales que equivale a US\$ 12,557 anuales.

j. Comercios y empresas: Así como el caso de muchos comercios y empresas están implementando instalaciones para generar energía a través de la radiación del sol, tanto para ahorros de electricidad como de agua caliente, entre otras aplicaciones. Entre los comercios y empresas con equipo instalado.

k. Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI): La Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI) donó Q3 millones para la instalación de paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica utilizada para cultivar tilapias en la comunidad Buena Esperanza, de la aldea Tzapineb, Cobán, Alta Verapaz. La energía eléctrica generada es utilizada para el funcionamiento del equipo de bombeo de agua y de iluminación. Además fueron instalados calentadores solares para mantener la temperatura del agua de los tanques y contar con las condiciones óptimas para la reproducción y crecimiento de las tilapias. Existen seis tanques de 30 metros cada uno con el cual se alcanza una producción aproximada de 20 quintales de tilapia. Este proyecto ayuda a la nutrición de los hijos de madres recolectoras de basura con un 40% total de la producción de tilapias, mientras que el resto se comercializaran.

4. Producción de energía vs. consumo de energía en la ciudad de Guatemala. Para poder formar parte del Sistema Nacional Interconectado se cuenta con cinco participantes, los generadores, los transportistas (INDE), los distribuidores (EEGSA, DEORSA y DEOCSA), los comercializadores y los grandes usuarios. La siguiente ilustración muestra un aproximado de los usuarios de cada distribuidor y la demanda fija para el periodo 2012-2013. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica es la encargada de regular las actividades de transmisión y distribución. Para llevar un control de todas las transacciones de este sistema existe en ente Administrador del Mercado Mayorista. Básicamente así está conformado el mercado eléctrico nacional y para tener más clara la estructura se pueden guiar por el Anexo G que muestra el sector eléctrico guatemalteco.

Tabla 10. Demanda firme 2012-2013.

EMPRESA DE DISTRIBUCIÓN	NÚMERO DE CLIENTES*	DEMANDA** [MW]
DEOCSA	~910,000	329
DEORSA	~535,000	218
EEGSA	~982,000	567
TOTAL	~2.43 Millones de Usuarios	1,114

Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

La Dirección de Planificación y Desarrollo Energético es la Dependencia del Ministerio que tiene a su cargo el estudio, fomento, control, supervisión y fiscalización de todo lo que corresponde a fuentes de energía renovable. En 1986 ocurrió una crisis energética la cual ha llegado a afectar al país debido a la dependencia de productos petroleros importados. Por lo tanto el gobierno de la República decidió crear una nueva ley para promover el uso y aprovechamiento de las fuentes renovables de energía. Así fue como surgió el Decreto Ley 20-86, Ley de Fomento al Desarrollo de Fuentes Nuevas y Renovables de Energía, el cual declara de utilidad y necesidad pública la implantación de políticas energéticas para promover el desarrollo, promoción y uso eficiente de las fuentes nuevas y renovables de energía.

Esta ley aplica para proyectos de desarrollo y aprovechamiento de recursos naturales como la radiación solar, el viento, el agua, la biomasa y cualquier otra fuente energética sin incluir la nuclear ni la

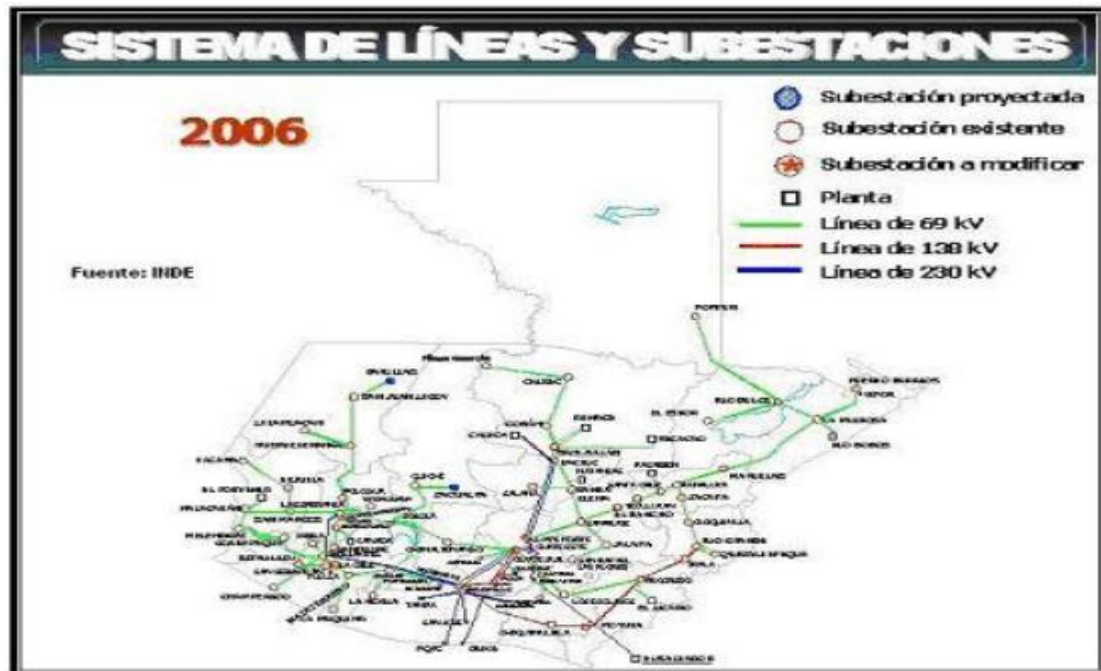
producción por hidrocarburos. Además les brinda incentivos fiscales a los titulares de proyectos de energía renovable. Los objetivos de esta ley son reducir el consumo nacional de hidrocarburos, suministrar energía a áreas rurales, mejorar el nivel de vida de la población y aprovechar, racionalmente, los recursos naturales. Asimismo se obtienen beneficios como descentralizar el suministro de energía eléctrica, beneficios económicos y mayor confiabilidad del sistema eléctrico.

En el 2008 la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) emitió la resolución No. 171-2008 denominada “Norma Técnica para la Conexión, Operación, Control y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable – NTGDR- y Usuarios Auto productores con Excedentes de Energía”. Esta normativa indica todos los requerimientos técnicos a cumplir para poder inyectar energía a la red. Por lo tanto en Guatemala es legal generar energía propia e inyectarla a la red.

En Guatemala la red nacional de energía está constituida por generadores de energía, líneas eléctricas de transmisión y distribución, subestaciones eléctricas, centros de transformación monofásicos, trifásicos, plantas de generación (térmicas, hidráulicas, solares, eólica, etc.) y llegan a nuestras casa o usuario final. Se lleva un control de la red nacional y del flujo de potencia entre cada punto por la empresa de electricidad.

Es importante tomar en cuenta que el precio de la energía varía dependiendo de la hora del día, ya que existe un precio distinto para horas pico, horas de menor demanda, entre otras. Además el precio de kWh varía según la planta generadora de energía, por ejemplo el precio de una planta hidráulica va a ser menor que el de plantas térmicas, eólicas o solares. Todo esto y el hecho que el precio del combustible varía consecuentemente se ve afectado en la industria nacional y los hogares. El Sistema Nacional Integrado (SIN) coordina la entrega de potencia de cada fuente de generación de energía, empezando por el menor precio que sería la energía generada por plantas hidráulicas. La base legal la da la Comisión Nacional de Energía Eléctrica y aunque las plantas operen con distintos precios, el precio final es ajustado a la facturación por lo que el kWh de energía es el mismo y el ajuste se realiza de forma trimestral. En la siguiente ilustración se puede observar el Sistema Nacional Integrado del año 2006.

Ilustración 24: Sistema nacional integrado de Guatemala.



Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)

En general es importante tener el conocimiento sobre lo que nos están facturando, el renglón de tarifa al que pertenecemos y de esta manera empezar a tener conciencia sobre las distintas maneras en las que podemos llegar a ahorrar energía.

El consumo promedio en un hogar se da con base en la cantidad, tiempo de uso y consumo específico de energía de los electrodomésticos. La factura eléctrica es emitida por la Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A (EEGSA), en la ciudad de Guatemala y muestra el consumo o energía en kWh mensual. Es importante conocer el consumo de los distintos aparatos eléctricos utilizados para poder reducir el consumo de energía y los costos asociados.

Cada aparato eléctrico tiene distinta potencia y el tiempo de uso puede ser de una vez por semana o incluso todos los días de la semana por lo que el consumo llega a variar considerablemente. Entre los electrodomésticos que más energía consumen se encuentra el calentador de agua, ya que no solamente cuenta con más de 1000W de potencia sino que se utiliza todos los días y en algunos casos se mantiene encendido las 24 horas del día. La plancha aunque posee la misma cantidad de Watts que el calentador, solamente es utilizada por un corto periodo de tiempo algunos días de la semana.

Lo que más consume energía son los focos incandescentes ya que tardan más tiempo en calentarse, mientras que los focos ahorradores de energía no utilizan la energía para generar calor sino que para generar luz. Aunque se requiere de mayor inversión para los focos ahorradores, los resultados se ven reflejados

inmediatamente en la factura eléctrica mensual. A continuación se muestra una tabla con los electrodomésticos de uso común en un hogar, con su respectiva potencia y el aproximado de consumo mensual de energía.

Tabla 11. Consumo de energía de diferentes aparatos.

Electrodoméstico	Potencia Aproximada (W)	Consumo Promedio Mensual (kWh)	Costo Mensual (Q)
Calentador de agua	2,400	72.00	151.10
Horno de microondas	1,520	45.60	95.70
Plancha doméstica	1,300	20.80	43.65
Horno Eléctrico	1,200	2.88	6.04
Sandwichera	800	2.40	5.04
Licuadaora	450	2.03	4.26
Lavadora	330	5.28	11.08
Secadora de ropa	270	4.32	9.07
Refrigerador doméstico	250	60.00	125.92
Monitor computadora	75	13.50	28.33
Televisor	53	12.72	26.69
CPU	50	15.00	31.48
Bombilla 50W (7 unidades)	50	52.50	110.18
Reproductor CD/DVD	14	1.68	3.53
Reproductor 5 CD	12	0.09	0.19
Radio	9	1.08	2.27
Filtro de agua	7	0.01	0.02
Total	8,790	311.89	654.54

*Se tomó en cuenta el promedio de horas al mes en las que se encuentra encendido cada aparato. El costo del kWh utilizado es el del mes de septiembre 2012. (2.0986).

Como se puede observar en la tabla 10, los electrodomésticos que generan más gasto son las bombillas, el calentador de agua, el refrigerador y el horno de microondas. En el momento en el que se piense instalar un equipo de generación de energía a base de recursos renovables, se debe tener conocimiento sobre los equipos que más se consumen en la residencia o establecimiento donde se desea hacer la instalación.

A continuación se detalla en una tabla la distribución sectorial del consumo del año 2006 de acuerdo a datos obtenidos por la Cuenta de Energía del Proyecto Cuenta con Ambiente.

Tabla 12. Distribución de la utilización de energía en el año 2006.

Sector	Consumo (GWh)	Distribución (%)
Industrial y agrícola	1,870.70	23.6
Comercio	1,777.40	22.4
Residencial	1,576.00	19.9
Servicios	986.5	12.4
Administración pública	328	4.1

En la tabla anterior, el 17.5% restante lo conforman las pérdidas, el consumo propio de las generadoras y las exportaciones. En total se dio un consumo de 7,924.67 GWh en el 2006. El sector residencial puede ser agrupado en distintas categorías que detallan el rango de consumo, dependiendo del número de hogares, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 13. Clasificación promedio del consumo de energía eléctrica.

Rango de consumo en kWh	No. de hogares
<50	936,000
50-100	476,000
100-300	603,000
>300	238,907
Total	2,253,907

Como se puede observar la mayoría de los hogares (41.53%) consume menos de 50kWh y el consumo mayor, que es arriba de 300kWh, lo conforman el menor número de hogares (10.60%). Esto se debe a que la mayoría de familias realiza un consumo básico que se puede describir como un hogar con 3 focos de 60W y un televisor.

Como se mencionó con anterioridad la producción de energía eléctrica en el 2006 fue de 7,924.67 GWh, según la Cuenta de Energía del Proyecto Cuenta con Ambiente y de acuerdo al Ministerio de Energía y Minas el 52.6% de ésta energía provino de fuentes renovables. El 78.5% provino de centrales hidroeléctricas con un total de 3,270.16GWh, lo cual representa el 41.3% de la energía total producida del país. La hidroeléctrica Chixoy representa el 63% de energías renovables y la combustión de bagazo de caña de azúcar representa el 9.5% del total de energía producida. De los 7,924.67 GWh producidos se consumieron 7,836.4 y se exportaron 88.24 a otros países de Centroamérica.

Para tener un marco de referencia de cómo es el comportamiento del consumo de energía eléctrica con los años nos podemos basar en el porcentaje de crecimiento del PIB. Existe una relación directa a través del tiempo entre el porcentaje de crecimiento del PIB y el porcentaje de consumo de energía eléctrica, tomando en cuenta las tasas de crecimiento de ambas variables. En la siguiente tabla se pueden observar a

detalle los valores de los rangos de crecimiento del 2006 al 2011 y en el Anexo D se encuentra el gráfico creado por la Comisión Nacional de Energía Eléctrica que muestra la tendencia.

Tabla 14. Comparación crecimiento PIB y crecimiento de energía.

Año	PIB	Consumo de energía
	CRECIMIENTO (%)	
2006	5.38	6.5
2007	6.1	6.3
2008	3.3	0.5
2009	0.5	0.9
2010	2.7	2.7

Guatemala es un país con potencial para generar energía eléctrica a través de fuentes renovables entre las cuales se destacan la hidrológica, biomasa, geotérmica, solar y eólica. La energía solar e hidrológica son las que En la siguiente tabla se resume el potencial de cada una de ellas en Guatemala.

Tabla 15. Producción potencial de energía renovable en Guatemala.

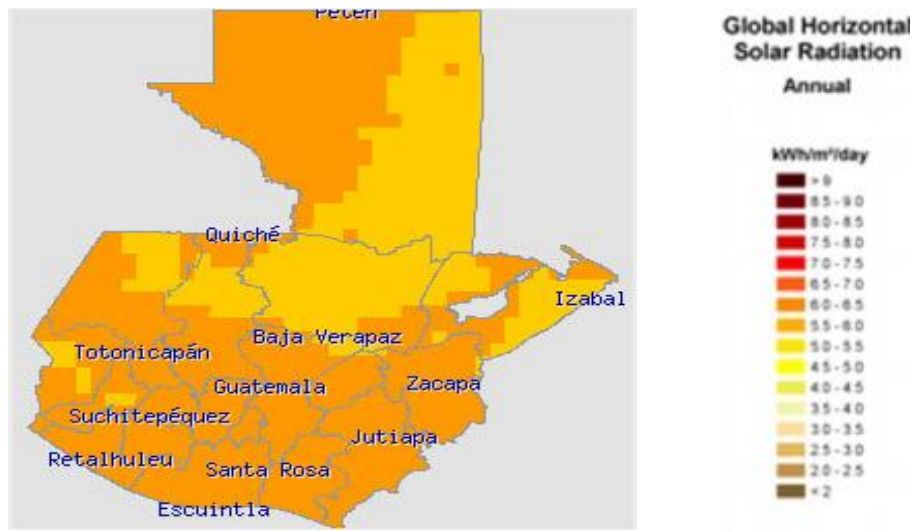
Fuente	Potencial MW	Utilizado MW	Porcentaje utilizado
Hidroeléctrico	5,000	650.3	13.01
Geotérmico	1,000	26.5	2.65
Eólico	7800	0.1	0
Biomásico	N/C	187.8	N/C

Fuente: Ministerio Energía y Minas

Para el caso de energía solar se tomó en cuenta el total de energía solar que recibe el territorio guatemalteco, que se encuentra alrededor de 5.3kWh/m²/día. De acuerdo a esta tabla podemos concluir que Guatemala es un país con mucho potencial al cual se le debe sacar provecho y de esta manera lograr reducir el costo eléctrico, incrementar la generación de divisas debido a la exportación de energía a otros países de

Centroamérica y también reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Cabe resaltar que el potencial solar es suficientemente grande y solamente se necesitaría alrededor de 0.05% de la energía para cubrir toda la demanda del país, lo cual equivale a 4 km² de superficie de paneles solares. Sin embargo esto requiere de una gran inversión por lo que es económicamente poco viable. A continuación se muestra un mapa del potencial solar de las distintas áreas de la República de Guatemala.

Ilustración 25: Radiación en la República de Guatemala.



Fuente: Ministerio de Energía y Minas

Es importante implementar energía verde en Guatemala ya que para el 2007 las termoeléctricas, que utilizan derivados del petróleo y carbón, generaban el 47.4% de la energía mientras que las hidroeléctricas un 37.6%, debido a esto es que se dan incrementos en el precio de la energía eléctrica los cuales van incrementando con el tiempo. Al aprovechar los recursos renovables del país se puede llegar a lograr estabilizar el precio de la electricidad, se ahorrarían divisas, se diversificaría la oferta energética, se pueden llegar a tener más puestos de trabajo a la hora de construir y mantener parques eólicos por ejemplo. Además afecta al ambiente debido a que se generan gases que forman el efecto invernadero y reduce la cantidad de dióxido de carbono.

F. Energía Hidráulica

Es la energía que se obtiene por la fuerza del agua cuando cae desde cierta altura, provocando el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas.

El agua proviene de la evaporación de los océanos, además de servir para otros fines tales como riego y recreo, sigue siendo uno de los energéticos más importantes, por las siguientes características:

1. Disponibilidad.
2. No es contaminante.
3. Produce trabajo a la temperatura ambiente.

Al igual que sucede con los demás recursos, tampoco éste se halla en la misma cantidad en todas las regiones de la tierra. Se tienen grandes precipitaciones pluviales en las áreas tropicales de Sudamérica, Sudáfrica y en el Sureste asiático, así como en pequeñas zonas de las regiones montañosas del oeste de Canadá, Chile, Centroamérica, Japón, Noruega, Gran Bretaña y Nueva Zelanda. Estas regiones también cuentan con las características topográficas apropiadas, pudiéndose construir grandes obras hidroeléctricas, para aprovechar dicho recursos. (Alonso, 1977)

1. Disponibilidad de recursos hidráulicos. El sol evapora de los océanos 400, 000 km³ de agua. La mayor parte del agua evaporada retorna a los mares directamente en forma de lluvia, mientras que sólo 100, 000 km³ caen como lluvia o nieve sobre la tierra firme. De esta última cantidad, 63, 000 km³ se pierden en re evaporación, quedando 37, 000 km³, que fluyen por los ríos al mar. La elevación promedio de los continentes es de 800 metros. Sirviéndonos de la relación (Alonso, 1977)

Ecuación 1. Presión

La energía sería aproximadamente de 290×10^6 terjoules (80×10^6 GWH). Sin embargo, esta energía no se utiliza por muchas razones, algunas de las cuales son: que las condiciones topográficas no resultan las más adecuadas; que los ríos transportan cantidades de agua muy diferentes según las estaciones del año y, por último, que la eficiencia, de la conversión electromecánica e hidráulica no es óptima. (Alonso, 1977)

2. Desarrollo histórico de la energía hidráulica. El uso de la energía hidráulica data del tiempo de los romanos, hace 2, 000 años. Se desarrolló lentamente por el espacio de 18 siglos, debido al inconveniente de que las instalaciones deberían situarse junto a los ríos. (Alonso, 1977)

Al evolucionar la tecnología de la transmisión eléctrica, ésta permitió el gran desarrollo de las plantas hidroeléctricas, que se inició en 1910. Desde esa fecha hubo un incremento muy grande en la instalación de plantas hidroeléctricas, principalmente en Europa, Norteamérica y Japón. (Alonso, 1977)

En 1925, la capacidad hidroeléctrica instalada era de 26, 400 MW y la generación anual de 80, 000 GWH. La energía total consumida en 1925 era de 13 millones de GWH; por consiguiente, solo el 0.6% de la energía consumida en aquel tiempo fue producida hidroeléctricamente. (Alonso, 1977)

En 1971, la generación hidroeléctrica mundial fue de 1,307, 000 GWH, que representa un incremento de 15 veces con respecto a 1925. La capacidad instalada en 1971 fue de 300, 000 MW. En la actualidad la energía hidráulica representa el 22% de la energía consumida mundialmente. (Alonso, 1977)

Las primeras grandes centrales hidroeléctricas fueron las de Niagara. Después en 1930, proliferaron por varias razones: por el gran incremento en la demanda de electricidad, la necesidad de crear empleos durante la depresión económica del 1929, y el gran desarrollo en la tecnología de ingeniería civil, para la construcción de grandes presas. (Alonso, 1977)

Después de la Segunda Guerra Mundial se construyeron muchas plantas hidroeléctricas en países, y se iniciaron en otros, como Egipto, China, Ghana, Brasil, India, Pakistán, etc. La mayoría de los países conocen su potencial hidroeléctrico y tal vez solo Sudamérica en la cuenca del Amazonas, y África necesitan hacer estudios más a fondo.

Ilustración 26. Hidroeléctrica río Danubio.



3. Potencial energía hidroeléctrica. Guatemala es un país rico en varios aspectos cuando se habla de recursos naturales. Guatemala cuenta con una gran cantidad de recursos renovables, los cuales no se han sabido aprovechar y están siendo desperdiciados. Guatemala debe aprovechar sus recursos naturales y explotarlos para poder generar la cantidad máxima de energía que se pueda por medio de recursos renovables. (Montes, 2002)

A continuación se presenta una tabla con la cantidad de energía disponible y la cantidad que se aprovecha de ésta:

Tabla 16. Cantidad de energía disponible y aprovechada en Guatemala.

Recurso	Disponible	Aprovechado
Hidroeléctrico	10.890 MW	424.6 MW
Geotérmico	700 MW	31.5 MW

Guatemala depende en un 80% de la energía eléctrica que le provee el sector público (Instituto Guatemalteco de Electrificación INDE y la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. EEGSA) que suministran alrededor de 653 MW. El otro 20% es suministrado por el sector privado que son alrededor de 170 MW. El total de energía utilizada asciende a 820 MW. En Guatemala el sector más fuertes de energía producida por fuentes renovables está generada por las centrales hidroeléctricas, con un porcentaje de capacidad instalada del 52%, seguido por las centrales termoeléctricas con un 40%. El sector eléctrico ha logrado una cobertura del 42% actualmente, siendo una de las más bajas de Latinoamérica. Los 31.5 MW de energía geotérmica generada es gracias a la planta Orzunil ubicada en Quetzaltenango. (Cid, 2006)

Si se lograra generar la energía por medio de los diferentes recursos naturales con los que cuenta Guatemala y ésta se aprovechará al máximo, posiblemente se lograra los siguientes puntos:

- Disminuir la dependencia energética del exterior.
- Reducir el costo de la energía eléctrica ya que ésta no dependería de los precios de las energías no renovables utilizadas para la generación de la misma.
- Estabilizar los precios en el mediano y largo plazo.
- Proteger al medio ambiente ya que disminuiría la cantidad de contaminantes causados por la generación de energía a base de sustancias como el carbón y el petróleo.
- Crear más fuentes de trabajo en el país. (Montes, 2002)

La generación de energía a base de componentes renovables trae consigo muchos beneficios a comparación de la energía creada por medio de componentes no renovables. Las energías renovables no producen emisiones de CO₂ y demás gases contaminantes al medio ambiente, la energía renovable no genera residuos de difícil tratamiento, son inagotables, son autóctonas, entre otros factores. (Montes, 2002)

4. Situación eléctrica actual de energía eléctrica en Guatemala. Guatemala es un país el cual cuenta con una gran extensión territorial. Existen varios lugares donde actualmente vive gente, sin embargo, están ubicados en lugares muy remotos para poder contar con energía eléctrica. Las viviendas en lugares remotos difícilmente tienen la capacidad de recibir algún tipo de electricidad, por lo que se analizará la implementación de Micro Centrales Hidroeléctricas.

Actualmente Guatemala cuenta con un aproximado de 90% de electrificación a nivel nacional según el INDE. A continuación se muestra una tabla con los índices de electrificación de los diferentes departamentos:

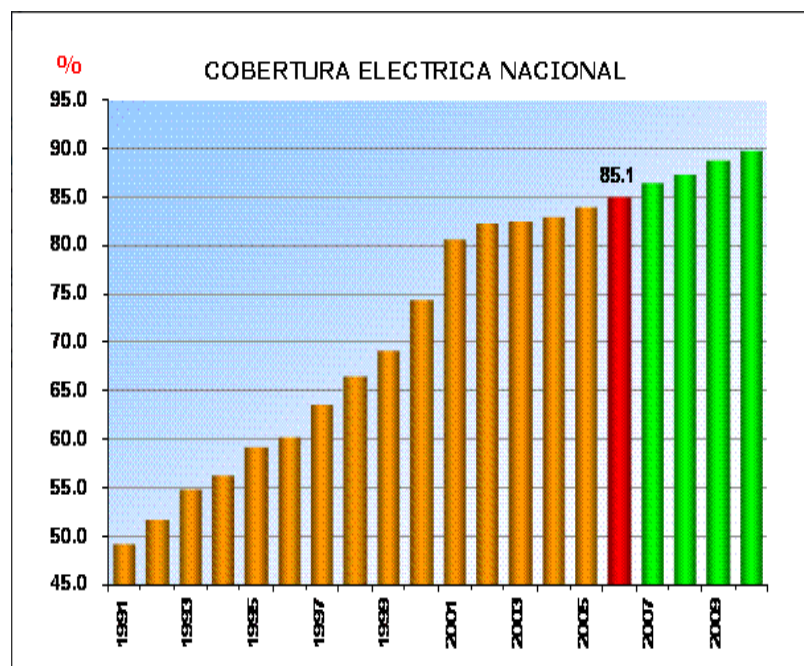
Tabla 17. Índices de electrificación en diferentes departamentos.

DEPARTAMENTO	ÍNDICE	DEPARTAMENTO	ÍNDICE
Guatemala	99.5	Jutiapa	85.2
Sacatepéquez	98.9	Zacapa	84.0
Chimaltenango	95.4	Huehuetenango	83.6
Quetzaltenango	93.2	Jalapa	82.3
El Progreso	93.1	Escuintla	82.1
Totonicapán	90.3	Chiquimula	76.7
Sololá	88.4	Izabal	71.9
San Marcos	88.1	Quiché	70.7
Santa Rosa	87.9	Baja Verapaz	68.1
Suchitepequez	87.0	Petén	52.7
Retalhuleu	87.0	Alta Verapaz	44.6

Como se puede ver en la tabla, los departamentos con mayor índice de electrificación son Guatemala y Sacatepéquez; mientras que los departamentos con menor índice de electrificación son: Petén y Alta Verapaz. Se estima que el índice de electrificación a nivel nacional es aproximadamente de 90.2%. El 9.8% restante son consideradas zonas rurales aisladas las cuales son poco probables que la red eléctrica llegue a ellas. (Chavez, 2007)

El gobierno central y el Instituto Nacional de Electrificación Nacional han trabajado a través de los años para poder aumentar el nivel de electrificación a nivel nacional, sin embargo, faltan varios años para poder cubrir el 100% del territorio nacional donde existen viviendas y comunidades. A continuación se muestra una gráfica del aumento de electrificación a nivel nacional:

Ilustración 27: Aumento de electrificación nacional.



El INDE ha trabajado en proyectos desde el año 1971. En este año se realizó el Proyecto de Electrificación Rural (PER I) que fue aproximadamente de 1971 a 1978, con una inversión de \$11.6 millones de dólares de los cuales \$7 millones fueron donados por parte del US AID y los otros \$4.6 millones fueron aportados por el gobierno guatemalteco. En este proyecto se instalaron alrededor de 780 kms. de líneas de transmisión los cuales abarcaron cinco diferentes departamentos (Alta y Baja Verapaz, Huehuetenango, Quiché y San Marcos). (Guatemala, 2000)

Posteriormente, se realizó el Proyecto de Electrificación Rural II (PER II) que abarcó los años de 1979 a 1989. La inversión esta vez fue de \$15 millones de dólares de los cuales \$8.55 millones fueron aportados por el US AID y el resto por el gobierno guatemalteco. Este proyecto fue mucho más grande, beneficiando alrededor de 18 departamentos y aproximadamente 60,000 habitantes.

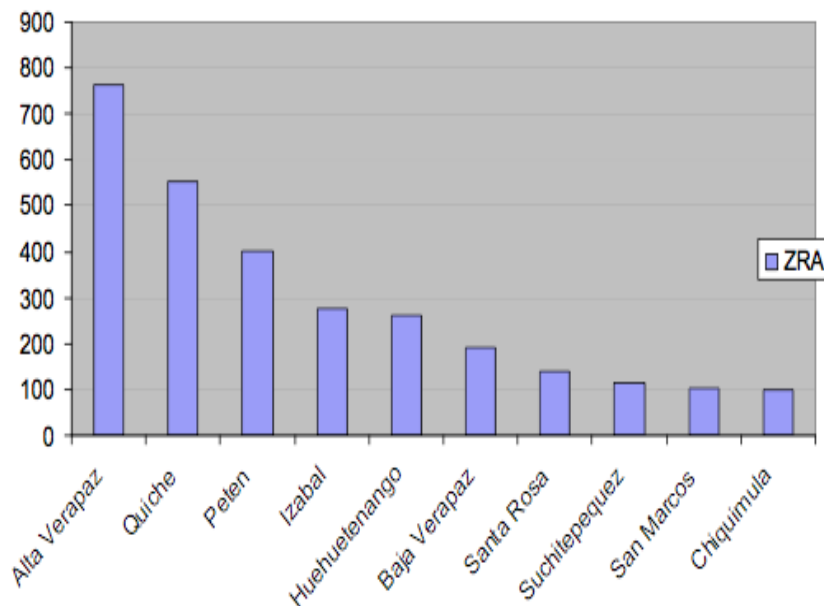
Por último se llevó a cabo el Proyecto de Electrificación Rural III (PER III), el cual duró 7 años (1989 a 1996). Este proyecto tuvo un costo de \$20.2 millones de dólares de los cuales \$8.1 millones fueron aportados por US AID y el resto fue aportado por el gobierno guatemalteco, INDE y las diferentes comunidades. El proyecto benefició alrededor de 75 mil nuevos usuarios construyendo 300 kms de líneas de distribución primaria y 1,200 kms de redes. (Guatemala, 2000)

El INDE continuó con sus proyectos vendiendo 80% de sus acciones a las empresas de distribución (DEOCSA y DEORSA) para recaudar fondos y ampliar nuevamente sus redes. El proyecto se ha ido atrasando debido a problemas sociales y económicos por lo que se aproxima que el 89.8% del territorio nacional está cubierto en el presente. Actualmente, el INDE cuenta con diferentes proyectos para ampliar su cobertura, sin embargo, se estima que la cobertura no vaya a ser mayor a 90.2% del territorio nacional. (Guatemala, 2000)

El uso de energía hidroeléctrica en Guatemala tiene un gran potencial por distintas razones:

- Guatemala es un país subdesarrollado que no cuenta con iluminación en todo su territorio, lo cual lo hace bastante complicado debido a que resulta muy costoso iluminar áreas donde las zonas rurales son poco densas. La carga por conexión y el factor de carga de cada consumidor tienden a ser pequeñas respecto a los de áreas urbanas, esto se debe a que las demandas individuales de energías son bajas ya que sus ingresos son bastante bajos.
- Guatemala es un país pobre por lo que la instalación de micro centrales hidroeléctricas es una opción factible para fomentar el ahorro a largo plazo en las diferentes comunidades en todo el territorio nacional.
- El costo de la electricidad en las pequeñas comunidades aisladas aumenta debido al aislamiento y la dificultad de alcanzar los diferentes lugares.
- Los costos de mantenimiento y operación aumentan debido al mismo aislamiento. Las compañías distribuidoras no ven rentable la instalación de electricidad en comunidades donde el consumo de energía es demasiado bajo ya que el retorno de inversión es sumamente lento y la ganancia es mínima. (Guatemala, 2000)

A continuación observaremos una gráfica según el INDE donde muestra los departamentos que cuentan con menor índice de iluminación departamental:

Ilustración 28: Departamentos con menor índice de iluminación según INDE.

Un dato bastante curioso que cabe mencionar es que la hidroeléctrica más grande a nivel nacional se encuentra en el departamento de Alta Verapaz, la cual alimenta aproximadamente a un 35% del territorio nacional con electricidad. En el punto a continuación analizaremos los diferentes caudales que podemos encontrar en el territorio guatemalteco y también podremos ver que algunos de los ríos con mayores caudales se encuentran en los departamentos con menor índice de electricidad. Por otro lado, existe la gran opción para aprovechar los diferentes ríos y sus respectivos caudales para instalar micro centrales hidroeléctricas y ayudar a las diferentes comunidades tanto a tener electricidad necesaria para realizar sus actividades como representar un ahorro notable en su gasto de consumo eléctrico para las casas que si cuentan con dicho servicio. (Guatemala, 2000)

La implementación de Micro Centrales Hidroeléctricas en estas comunidades sería de suma importancia ya que con ellas se podría abarcar todas las diferentes actividades realizadas por las comunidades. El uso de la energía generada por las micro centrales hidroeléctricas podría abarcar tanto los fines de iluminación, entretenimiento y para todos los diferentes usos productivos de las comunidades. Las hidroeléctricas están diseñadas para brindar un servicio automatizado, por lo que el costo de la mano de obra es bastante bajo que son básicamente necesarios en épocas planificadas (aproximadamente dos veces por semana en invierno y una vez por semana en verano). (Guatemala, 2000)

5. Aspectos relevantes para el precio de oportunidad de la energía.

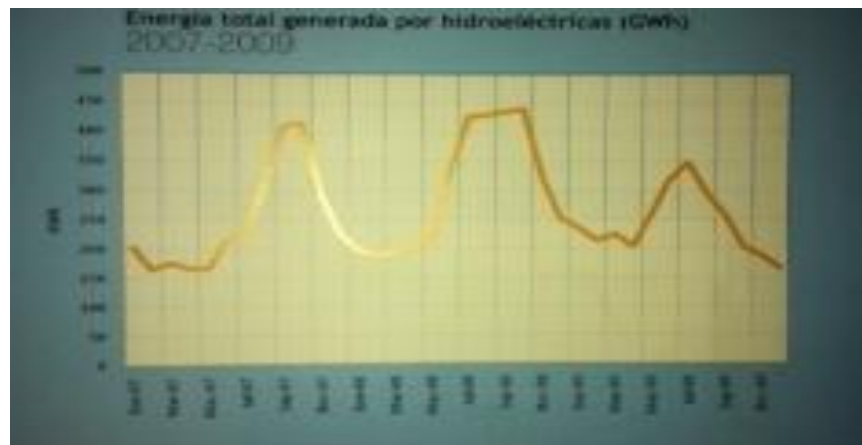
Durante el año 2009, algunos factores importantes afectaron el comportamiento del Precio de Oportunidad de la Energía (POE). Durante el 2009 se tuvo un invierno con precipitaciones pluviales muy por debajo del

promedio histórico, lo cual ocasiono una reducción en los caudales de los ríos que alimentan las centrales Hidroeléctricas.

La generación hidroeléctrica se mira afectada cuando se generan inviernos “secos”. Las siguientes graficas muestran la producción hidroeléctrica histórica desde el año 2007 hasta el 2009. (Guatemala, 2000)

La grafica corresponde a la energía generada por el conjunto de centrales hidroeléctricas.

Ilustración 29: Energía total generada por hidroeléctricas (GWh).



La gráfica siguiente corresponde a la generación de energía de cada una de las centrales hidroeléctricas.

Ilustración 30: Energía generada por hidroeléctricas



En la gráfica siguiente se puede apreciar la energía generada durante la época lluviosa y durante la época seca para las centrales hidroeléctricas. En la gráfica 33 se muestra la energía generada por la planta Chixoy, estas dos gráficas se obtuvieron con datos de los inviernos del año 2008 y 2009. (Guatemala, 2000)

Ilustración 31: Energía total generada por época.

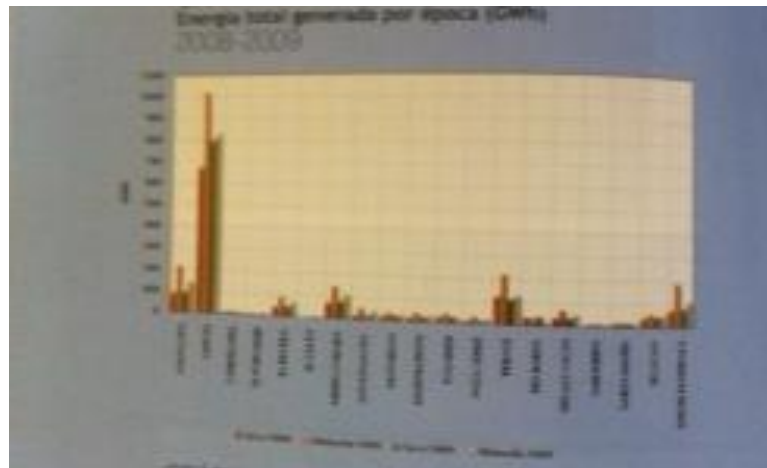
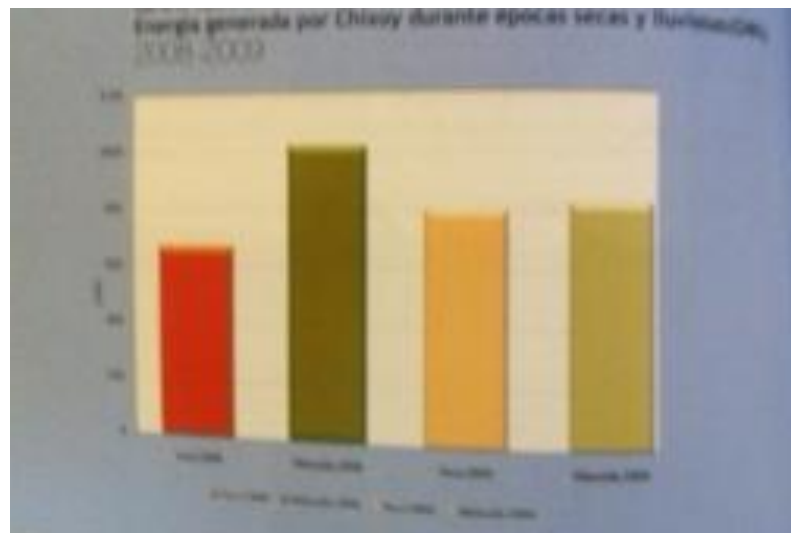


Ilustración 32: Energía generada por Chixoy.



En la gráfica siguiente se muestra los efectos del fenómeno El Niño que se vieron reflejados en la energía disponible que la Empresa de Generación de Energía Eléctrica declaró semanalmente. (Guatemala, 2000)

Hasta ahora, el análisis se ha considerado únicamente la generación hidroeléctrica, con motores de combustión interna y con turbinas de gas. Es importante mencionar que el parque generador de Guatemala se compone de diferentes tecnologías de generación, que influyen en la formación del Precio de Oportunidad de la Energía:

- Hidroeléctricas.
- Geotérmicas.
- Motores de combustión interna.
- Térmicas a base de carbón.
- Cogeneración.
- Turbinas de gas.

La demanda máxima de potencia y energía eléctrica, ha evolucionado en Guatemala desde 46 MW en 1961 hasta 1, 472.47 MW en 2009, lo que significa que en medio siglo, la evolución de la demanda eléctrica se ha multiplicado por 32.

En la gráfica 37 se presenta la demanda máxima histórica de potencia y consumos de energía que han sido registradas en el Sistema Nacional Interconectado desde el año 1961 hasta el año 2009. (Guatemalteca, 2000)

Ilustración 33: Demanda histórica de potencia y energía.



Dentro del período 1961-2009 ha habido años con estancamiento o decremento de la demanda. Los crecimientos interanuales porcentuales de demanda máxima de potencia y energía de SIN del período de 1961 a 2009, se muestra en la gráfica siguiente.

6. Correlación del producto interno bruto (PIB) con la demanda de potencia y energía:

Debido a la coincidencia en tendencia y simultaneidad que presenta en general la variable macroeconómica PIB respecto a la demanda máxima de potencia y de energía, y a la relación explícita de los efectos que

sobre estas dos últimas tiene la primera, cobra importancia la consideración del comportamiento histórico que estas variables han mostrado en los años anteriores. (Guatemala, 2000)

Ilustración 34: Porcentaje de crecimiento anual de potencia y energía.

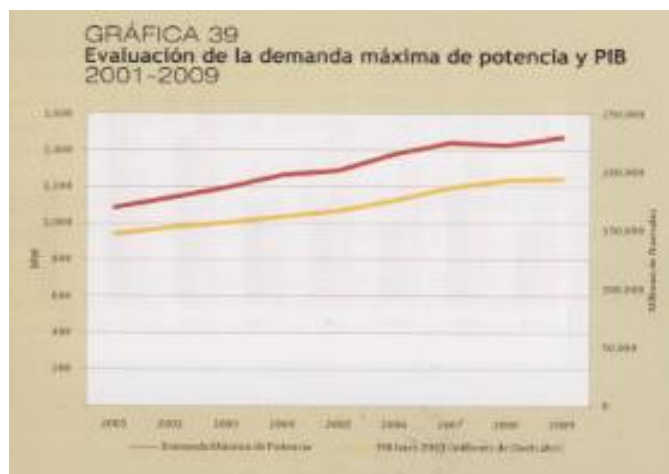
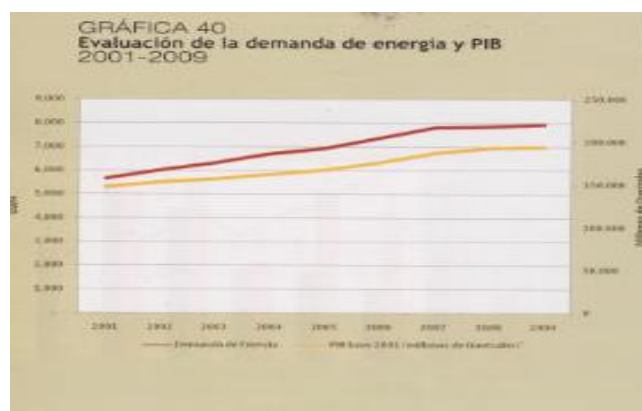


Ilustración 35: Evaluación de demanda máxima de energía y PIB.



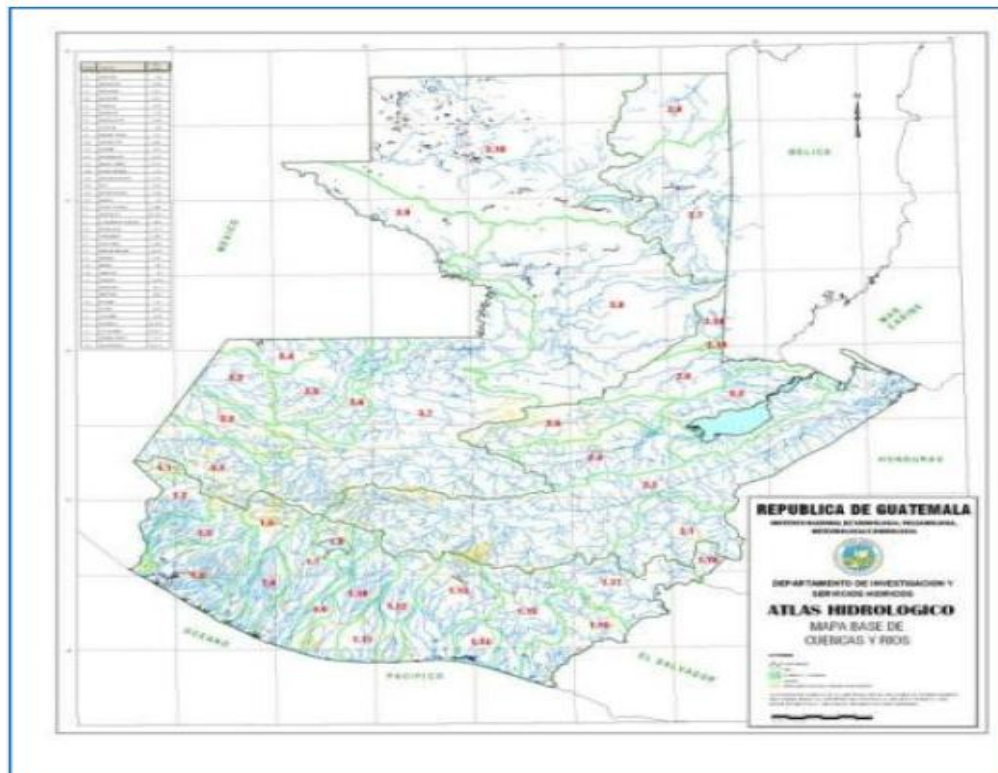
Las gráficas 33 y 34 presentan el comportamiento entre las magnitudes del PIB, la demanda máxima de potencia y la demanda de energía durante el período del 2001 al 2009, respectivamente.

La gráfica 35 muestra la tendencia del crecimiento observada entre la demanda máxima de potencia y el PIB, salvo en el año 2008 que la demanda tuvo un decremento ligado a las condiciones financieras.

Ilustración 36: Comparación de la demanda máxima de potencia y crecimiento el PIB.



Ilustración 37. Mapa de la República de Guatemala.



V. ANÁLISIS DEL RÍO

Un río es una corriente de agua concentrada, normalmente permanente, que fluye por un cauce desde los lugares altos a los bajos del relieve y vierte en el mar, en una región endorreica o en otro río. Los ríos se organizan en redes, con un río colector, que es el que alcanza el punto más bajo, y numerosos afluentes, que son ríos que desembocan en el río colector. (Santiago, 2008)

Tres son los fenómenos desde los que se puede partir para estudiar un río:

- Curso: la longitud.
- Cauce: su anchura.
- Caudal: Cuanta agua lleva en distintas estaciones del año.

A. Curso del río

El curso de un río es el camino que recorre desde su nacimiento hasta su desembocadura. Si es de corta longitud, y no tiene o tiene muy pocos afluentes, se llama arroyo o riachuelo. (Santiago, 2008)

En general los ríos dividen su curso en tres partes:

1. Alto.
2. Medio.
3. Bajo.

El curso alto va desde el nacimiento hasta el curso medio. El nacimiento de los ríos no siempre es fácil de determinar. Lo normal es que nazcan tras la reunión de varios arroyos que bajan de las laderas de las montañas más próximas. (Santiago, 2008)

El curso alto se caracteriza por que el cauce es el más estrecho de todo el curso, el caudal posee menos agua, la pendiente es mayor, por lo general las aguas circulan con rapidez y se puede encontrar pequeñas cascadas. Predominan los procesos de erosión y transporte sobre la sedimentación. En los países desarrollados muchos cursos altos están embalsados.

El curso medio se caracteriza porque el cauce se ensancha notablemente, y el caudal aumenta. Es la parte más larga del curso. La pendiente se reduce y predominan los procesos de transporte, especialmente durante las crecidas. Existe erosión y acumulación pero están supeditados a los procesos de transporte. En la mayoría de estos tramos ya se encuentran asentamientos humanos. (Santiago, 2008)

El curso bajo se caracteriza porque su cauce alcanza la anchura máxima y el caudal sus mayores valores. La pendiente es la menor del río, por lo que predominan los procesos de acumulación sobre los de transporte y erosión, de lo contrario no se podría evacuar el agua.

Entre el nacimiento y la desembocadura el río tiene a adoptar un perfil tal que queden en equilibrio los procesos de meteorización, transporte y acumulación, reduciendo la erosión al mínimo. Solo se producen fenómenos de erosión y transporte en las crecidas y cuando se provoca un aumento de la pendiente con el descenso del nivel medio del mar. (Santiago, 2008)

B. El Cauce

El cauce de un río es el lugar concreto por el que transcurre. El cauce incluye las aguas subterráneas, los ríos que circulan por el interior de las cuevas, y las de infiltración. Se distinguen cuatro elementos:

1. El canal.
2. El lecho menor.
3. El lecho mayor.
4. El lecho mayor esporádico.

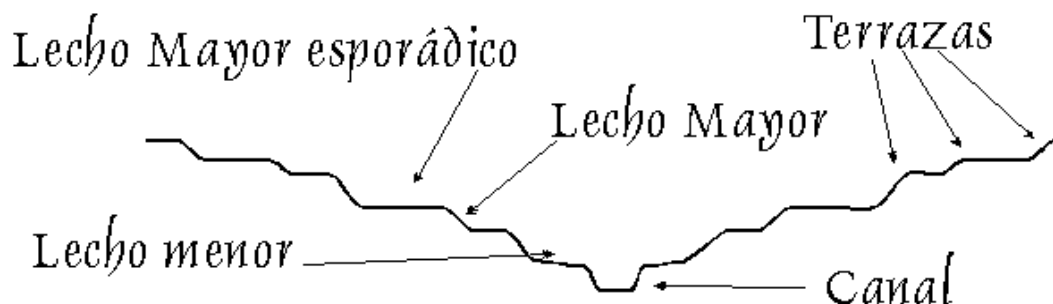
El canal es la incisión más profunda del río, la última en ser abandonada por las aguas cuando el río se seca. Tiene forma de arqueta y es la zona donde las aguas corren con mayor velocidad. (Santiago, 2008)

El lecho menor es el que cubren las aguas entre las épocas de caudal intermedio. Sus márgenes están claramente definidos. En él puede existir una alternancia de fondos hundidos y elevados. Los fondos hundidos pueden formar pozas. Los fondos altos forman umbrales. (Santiago, 2008)

El lecho mayor es el que cubren las aguas durante las épocas de máximo caudal. Esta zona se inunda todos los años, pero durante unas semanas. Aquí predominan los procesos de acumulación, y los de erosión. Esta acumulación se hace cerca de los márgenes del lecho menor, hasta el punto de que en algunos sitios puede presentar un perfil alomado y tener cierta contrapendiente con relación al resto del río.

El lecho mayor esporádico es la zona que se inunda en las grandes crecidas, las cuales se dan recurrentemente. Esta zona está colonizada por la vegetación, incluso suele estar cultivada. Sus márgenes están muy difuminados, aunque en condiciones naturales es posible determinarlos. (Santiago, 2008)

Ilustración 38. Diagrama de lechos de un río.



C. El Caudal

El Caudal de un río es la cantidad de agua que pasa por un punto determinado en tiempo concreto. Este dato se toma en las estaciones de aforo, y se expresa en litro o en metro cubico por segundo (l/seg o m³/seg). En condiciones regulares los ríos ganan caudal a medida que descienden. Pero además, a lo largo del año tienen crecidas y estiajes, es decir épocas en los que el caudal es mínimo. Cuándo y por qué se producen las crecidas y los estiajes dependen del régimen de alimentación fluvial. Básicamente existen 3 tipos de alimentación fluvial:

1. Glaciar.
2. Pluvial.
3. Nival.

También existen regímenes mixtos:

1. Nival de transición.
2. Nivopluvial.
3. Pluvionival.
4. Pluviales con más de una estación lluviosa.

Los ríos de alimentación pluvial son aquellos en los que la mayor cantidad de agua la llevan en las épocas de lluvia y la menor en la época seca. (Santiago, 2008)

Los ríos de alimentación nivel de transición son característicos de las altas montañas. Se comportan como el régimen nival, pero a diferencia de ellos tiene un segundo estiaje en verano, y un aumento en otoño, sin llegar a los valores de la primavera. (Santiago, 2008)

D. Métodos para calcular caudales

Los métodos para medir caudales pueden clasificarse en dos grandes categorías:

1. Métodos Directos.

- a. Método Área Velocidad.
- b. Dilución con Trazadores.

2. Métodos Indirectos.

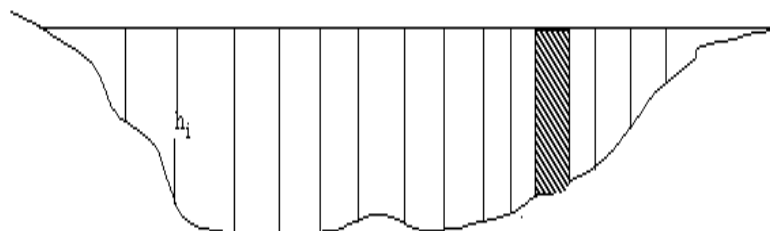
- a. Estructuras hidráulicas.
- b. Método área pendiente.

a. Método área velocidad: Este método consiste en medir en un área transversal de la corriente las velocidades de flujo con las cuales se puede obtener el caudal. El lugar elegido para realizar el aforo debe cumplir con: (Frank, 2009)

- 1) La sección transversal debe estar bien definida.
- 2) Fácil acceso.
- 3) Debe de estar en un sitio recto.
- 4) El sitio debe de estar libre de efectos de controles aguas abajo.

El sitio donde se realizara el aforo, tendrá un levantamiento topográfico completo de la sección transversal, dependiendo de sus características naturales, se realizará con equipo topográfico especializado o con una cinta métrica. La sección elegida debe estar dividida en partes iguales. (Frank, 2009)

Ilustración 39. Sección transversal en verticales.



La sección elegida debe tener las siguientes características:

1. El ancho entre las verticales no debe ser mayor a 1/15 a 1/20 del ancho total.
2. El caudal que pasa por el área seleccionada no debe ser mayor al 10% del caudal total.
3. La diferencia entre velocidades de las verticales tiene que ser menor al 20%.
4. La velocidad media es :

Ecuación 2. Velocidad Media

$$\ddot{V}_i = \frac{V_{0.2} + V_{0.6} + V_{0.8}}{3}$$

El caudal correspondiente a la respectiva área de influencia es:

Ecuación 3. Caudal

$$Q_i = \ddot{V}_i A_i$$

El caudal total:

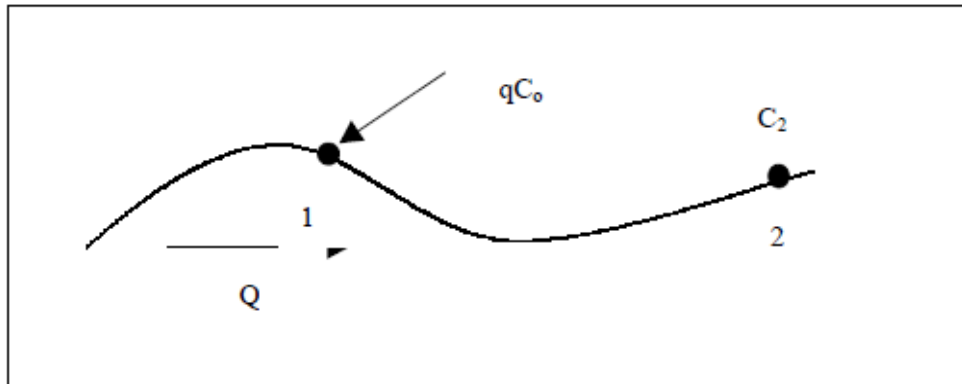
Ecuación 4. Caudal Total

$$Q_T = \sum_{i=1}^n Q_i$$

b. Dilución con trazadores: Este método se usa en aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método anterior, como corrientes muy anchas o en ríos torrenciales. (Frank, 2009)

Se inyecta un trazador con una sección dada a un caudal constante con una concentración del trazador.

Ilustración 40. Inyección de trazadores en un caudal continuo.



Si se realiza un balance de masa de trazador entre el punto 1 y el punto 2 y suponiendo que la corriente lleva una concentración de trazador de C1 se tiene:

Ecuación 5. Balance de masas

$$QC_1 + qC_0 = (Q + q)C_2$$

Despejando el caudal Q;

Ecuación 6. Caudal despejado

$$Q = \frac{q(C_2 - C_0)}{(C_1 - C_2)}$$

Es importante lo siguiente:

1. No deben de ser absorbidos por los sedimentos.
2. No deben ser tóxicos.
3. Se deben de detectar fácilmente en pequeñas concentraciones.
4. No deben ser costosos.
5. Los trazadores pueden ser:
 - a) Químicos.
 - b) Fluorescentes.
 - c) Materiales radioactivos.

Ejemplo:

Una solución de sal común con una concentración de 200 g/l fue descargada en un río con un caudal constante de 25 l/s. El río tenía inicialmente una concentración de sal de 10 ppm. Aguas abajo se midió una concentración de 45 ppm. ¿Cuál es el caudal del río?

Solución:

Se tienen los siguientes valores:

Ecuación 7

$$\begin{aligned} C_0 &= 200 \text{ g/l} \\ C_1 &= 10 \text{ ppm} = 0.01 \text{ g/l} \\ q &= 25 \text{ l/s} \\ C_2 &= 45 \text{ ppm} = 0.045 \text{ g/l} \end{aligned}$$

Aplicando el método anterior:

Ecuación 8

$$Q = \frac{25(200 - 0.045)}{(0.045 - 0.01)}$$

$$Q = 113.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

E. Caudales en Guatemala

Guatemala es un país rico en varios recursos naturales los cuales deben ser tomados en cuenta para la generación de energía hidroeléctrica. Guatemala cuenta con varios ríos que pudieran ser utilizados para la generación de electricidad debido a su gran nivel de caudal que tienen. Debido a la gran cantidad de recursos naturales con los que cuenta Guatemala, se creó el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), el cual a través del Departamento de Investigación y Servicios Hídricos, opera estaciones para mantener un monitoreo constante tanto de los ríos, como de algunos de los lagos y lagunas existentes en el territorio nacional. Si nos enfocamos en el punto de vista Hidrológico, el territorio guatemalteco se puede dividir en tres grandes vertientes, de acuerdo al punto donde desembocan finalmente todos los ríos que atraviesan y nacen en el territorio nacional. Los tipos de vertientes del territorio nacional son:

- Vertiente del Pacífico: los ríos correspondientes a esta área generalmente tienen longitudes cortas (alrededor de 110km) y se originan a una altura media de 3000 metros sobre el nivel del mar. Las

pendientes son fuertes en las partes altas de las cuencas, entre el 10% y el 20% cambiando bruscamente a pendientes mínimas en la planicie costera. (Boccanera, 1995)

- Vertiente del Atlántico o Vertiente del Mar de las Antillas: las longitudes de los ríos en esta área es mucho mayor e inclusive incluye el río más largo del país (Río Motagua con longitud de 486.5 km), sin embargo, las pendientes son más suaves y su desarrollo es menos brusco, ya que en la parte montañosa los ríos hacen su recorrido en grandes barrancas o cañones. Un factor importante es que los caudales de estas vertientes son más constantes durante todo el año. (Boccanera, 1995)
- Vertiente del Golfo de México: Los ríos de estas vertientes también poseen longitudes bastante grandes. En esta parte se encuentran los ríos más caudalosos del país como los son el Río Usumacinta, Río Chixoy y el Río la Pasión. Las crecidas son de larga duración, los cauces son relativamente estable y las pendientes son relativamente suaves.

A continuación se muestra una tabla con los ríos más populares de cada área:

Tabla 188. Ríos más populares según clasificación.

Vertiente del Pacífico	Vertiente de las Antillas	Vertiente del Golfo de México
• Coatán	• Grande de Zacapa	• Cuiclo
• Suchiate	• Motagua	• Selegua
• Naranjo	• Río Dulce	• Nentón
• Ocosito	• Polochic	• Pojom
• Samalá	• Cahabón	• Ixcán
• Sis-Icán	• Sarstún	• Xacibal
• Nahualate	• Mopán	• Salinas
• Atitlán	• Río Hondo	• Pasión
• Madre Vieja		• Usumacinta

Cada una de las vertientes de los ríos se subdivide en cuencas, las cuales son áreas tributarias de un río, es decir que es toda el área drenada por un río.

En la tabla a continuación se observa una lista de los ríos con mayor caudal y su respectiva longitud que se encuentra en el territorio guatemalteco:

Tabla 19. Caudales y longitudes de ríos.

Nombre del Río	Longitud (kms)	Punto de Control	Caudal medio en punto de control
-----------------------	-----------------------	-------------------------	---

			(m ³ /s)
Cabuz	60.80	Malacatán	21.3
Naranjo	104.55	Coatepeque	20.7
Ocosito	106.80	Caballo Blanco	30.2
Samalá	145.00	Candelaria	8.7
Icán	52.80	Bracitos	34.0
Nahualate	130.30	San Mauricio	60.8
Madre Vieja	125.50	Palmira	8.0
Coyolate	154.95	Puente Coyolate	15.6
María Linda	70.10	Guacamayas	13.1
Los Esclavos	144.80	La Sonrisa	15.8
Paz	133.80	El Jobo	23.2
Grande de Zacapa	86.55	Camotán	28.5
Motagua	486.55	Morales	208.7
Polochic	193.65	Telemán	69.3
Cahabón	195.95	Cahaboncito	164.2
Selegua	101.75	Chojil	38.0
Salinas	112.70	San Agustín Chixoy	551.0
La Pasión	353.90	El Porvenir	322.8
San Pedro	186.25	San Pedro Mactún	52.9

Como se puede ver en la tabla anterior, Guatemala cuenta con una gran variedad de ríos alrededor del territorio nacional que cuenta con un caudal bastante alto para poder ser utilizados por varios tipos de micro-centrales hidroeléctricas. El río con el menor caudal es el Madre Vieja, con un caudal alrededor de 8.0 m³/s, sin embargo, aunque éste es el río menos caudalosos de esta lista, cuenta con el caudal suficiente para poder generar la energía suficiente para cualquier vivienda con uso bajo de energía eléctrica mensual.

Este es un argumento sólido para respaldar la idea de la generación de energía en el territorio nacional por medio de los diferentes ríos, ya que Guatemala es un país que cuenta con riqueza natural y la mayoría de sus ríos pudieran ser utilizados para la generación eléctrica. Otro factor a tomar en cuenta es que los ríos se encuentran ubicados cerca de las zonas rurales, lo cual facilitaría aún más el traslado de la energía a los destinatarios finales que serían las viviendas de los habitantes de los pueblos cercanos a estas aldeas. (Boccanera, 1995)

A continuación se muestra una tabla que muestra los caudales promedio de los ríos más grandes del territorio nacional hasta los meses de septiembre y octubre del presente año. Dichos caudales están medidos en m³/s. (INDE, 2003)

Tabla 20. Caudales promedio en m³/s.

Día	Mes	Chixoy	Aguacapa	Los Esclavos	Santa María	Jurún Marinalá	El Salto	El Porvenir
19	Septiembre	71.0	14.5	23.6	13.6	10.5	2.30	2.15
20	Septiembre	64	14.4	23.4	11.5	10.0	2.29	2.14
21	Septiembre	67	14.3	23.5	11.9	10.3	2.28	2.10
22	Septiembre	63	14.0	23.0	12.0	10.0	2.28	2.10
23	Septiembre	60	13.6	23.0	10.5	9.8	2.25	2.08
24	Septiembre	58	13.5	22.3	10.3	9.5	2.25	2.08
25	Septiembre	76	13.8	22.2	11.5	9.0	2.25	2.14
26	Septiembre	74	13.5	22.0	14.5	9.1	2.25	2.11
27	Septiembre	79	14.1	22.6	10.6	9.8	2.26	2.10
28	Septiembre	91	14.0	22.4	11.0	9.9	2.29	2.11
29	Septiembre	86	14.0	22.6	10.6	9.8	2.30	2.08
30	Septiembre	76	13.4	22.0	10.0	9.6	2.24	2.08
1	Octubre	71	13.5	21.3	10.2	9.5	2.23	2.10
2	Octubre	66	13.3	21.0	10.0	9.1	2.23	2.10

F. Micro centrales hidroeléctricas

Antes de ingresar en el estudio y selección de las tecnologías y criterios de diseño a utilizar en los proyectos, es necesario:

1. Definir el compromiso entre costo y calidad del suministro eléctrico que los usuarios y la comunidad están dispuestos a aceptar y
2. Considerar la relación entre la confiabilidad y el grado de automatismo que, conforme a la organización institucional que se adopte para operar y mantener el sistema, asegure la sustentabilidad de los proyectos en el largo plazo.

En relación con los costos, la solución técnica debe reducirlos al mínimo compatible con un abastecimiento continuo, dentro de los criterios de suministro adoptado por el proyecto. Estos criterios suelen referirse al tipo de servicios desde el continuo de 24 horas, a servicios interrumpibles con solo 6 horas por día (servicio nocturno) y a los tiempos máximos de interrupciones que pueden admitirse, originados por escasez del recurso hídrico, o bien por contingencias electromecánicas o electromagnéticas. (Murguerza)

Tanto los tiempos de interrupción aceptables como las variaciones de tensión y frecuencia permitidas en estos pequeños sistemas, son menos rigurosos que para los sistemas eléctricos de alta concentración de demanda. (Murguerza)

Pretender estándares de calidad altos implicaría proyectos con tecnología sofisticada, con fuerte impacto en los costos tanto de inversión como de operación y mantenimiento.

Por otra parte los requerimientos eléctricos de la comunidad receptora de este tipo de proyecto corresponden al uso de artefactos y equipos y al desarrollo de actividades que no necesitan altos estándares de calidad de servicio. (Murguerza)

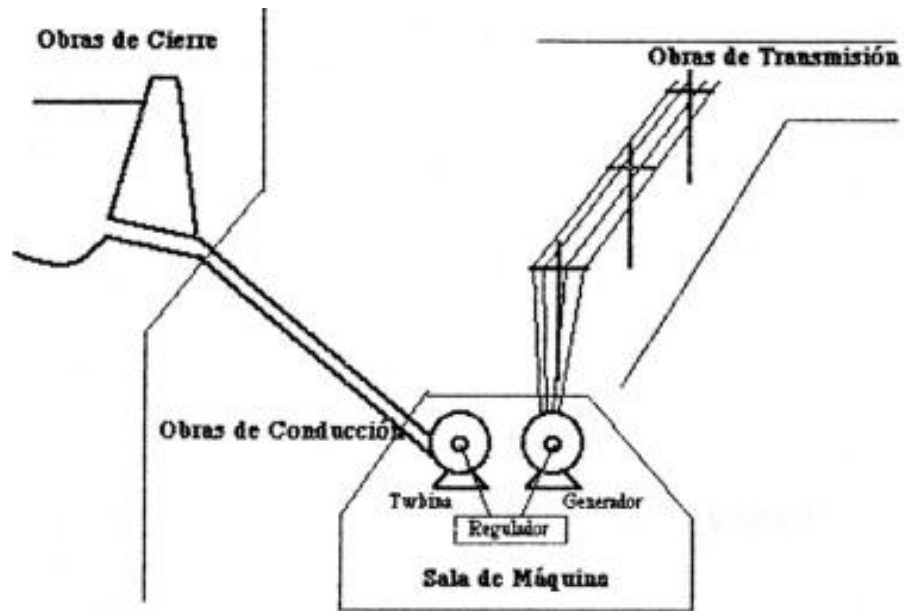
El principal salto cualitativo que percibe esta comunidad es la diferencia entre contar y no contar con electricidad. Si su evolución socioeconómica le permite acceder a equipamientos electrodomésticos o productivos sofisticados, seguramente contará también con ingresos suficientes para invertir en la mejora de calidad que requieran. (Murguerza)

En relación con la sustentabilidad, la localización de los proyectos en las áreas alejadas de los centros más desarrollados requiere de tecnologías sencillas que puedan atenderse localmente tanto en lo referido a operación, como a reparación o reposición de componentes y partes de equipos e instalaciones. (Murguerza)

No obstante la decisión final sobre criterios de diseño técnico de los proyectos dependerá de la figura institucional que se adopte para operar y mantener los sistemas.

En una Micro Central Hidroeléctrica se pueden distinguir cuatro partes componentes principales:

Ilustración 41. Cuatro partes de una MCH.



1. La obra de cierre y captación: Consistente en la construcción destinada a producir el cierre para almacenamiento de agua, o la simple elevación del tirante para su derivación hasta la micro central, o simplemente una toma para captar una parte del caudal que circula por el río o arroyo.

2. La obra de conducción o de derivación: son las instalaciones que deben transportar los caudales desde las obras de captación hasta la turbina para su aprovechamiento energético. Pueden estar constituidas por tuberías cerradas solas o combinadas con canales a cielo abierto.

3. La micro central o sala de máquinas: Está constituida por el espacio y las estructuras en que se aloja el equipamiento hidroelectromecánico, y que consiste habitualmente en una pequeña habitación, que por su ubicación próxima a los arroyos requiere ser planeada para afrontar los cambios en el nivel de restitución, provocados por las crecidas extraordinarias. (Murguerza)

La sala de máquina incluye la totalidad del equipamiento consistente en la micro turbina, su regulador de velocidad, el generador, y el tablero de comandos y control.

4. Las obras de distribución (Redes Eléctricas): Las obras de distribución permiten el transporte de la energía eléctrica hasta los usuarios y que incluyen las estaciones de transformación y las líneas de media y baja tensión mono y trifásicas. (Murguerza)

Se encargan de transportar la energía eléctrica desde la casa de maquinas hasta el usuario final. Cuando la casa de maquinas se encuentra lejos de la comunidad, es necesario la instalación de una red en medio y se utilizan transformadores. (Sanchez, 2010)

1. Características particulares de la tecnología de MCH: La utilización de MCH como tecnología de abastecimiento dentro de un programa rural de electrificación, incorpora algunos rasgos característicos que la diferencian de otros planes de construcción de obras públicas. Tales rasgos distintivos son los siguientes:

Las MCH tienen dos componentes particulares, turbinas y reguladores, que no cuentan con una oferta de mercado de alta difusión y para los que es conveniente desarrollar proveedores locales que pueden en el futuro atender reparaciones y nuevos suministros. La ingeniería utilizada en estos componentes, debe ser lo suficientemente sencilla como para permitir su construcción con las máquinas, equipos e instrumentos y con los niveles de calificación de mano de obra, con que habitualmente se cuenta en regiones rurales alejadas de los centros urbanos desarrollados. Se requiere garantizar condiciones prestablecidas de calidad en las prestaciones de tales componentes y utilizar criterios de estandarización que faciliten la rápida y sencilla reposición total o parcial de los mismos. (Murguerza)

Las obras de captación y conducción del agua hasta la sala de máquinas, si bien siguen lineamientos más convencionales, deben ser concebidas con criterios técnicos que, sin perder seguridad, reduzcan los costos de inversión y permitan tanto la integración de materiales locales como la participación de los futuros beneficiarios en su ejecución. Debe siempre recordarse que las Micro Centrales Hidroeléctricas no son centrales grandes y en consecuencia no deben aplicarse a ellas técnicas ni modalidades constructivas y contractuales de las grandes obras. (Murguerza)

Las obras de distribución, deben adecuarse a los criterios de reducción de costos con que se desarrolla el conjunto de los micro aprovechamientos, estableciendo estándares de calidad adecuados a los mismos. Para ello es necesario revisar aquellas normas técnicas que privilegian la calidad antes que el costo y que suelen utilizarse en redes rurales de regiones más desarrolladas. (Murguerza)

2. Obras de captación: La captación de agua en un río o arroyo debe considerar principios básicos asociados a la calidad del agua que se deriva a la micro central y a la seguridad de las obras que se ejecutan en el cauce natural.

La calidad del agua debe asegurarse mediante la separación de piedras, ramas u otros objetos que, de ingresar a las obras de conducción, obstruirán el flujo de agua y en caso de llegar hasta la turbina provocarán daños severos e interrupción del servicio. (Murguerza)

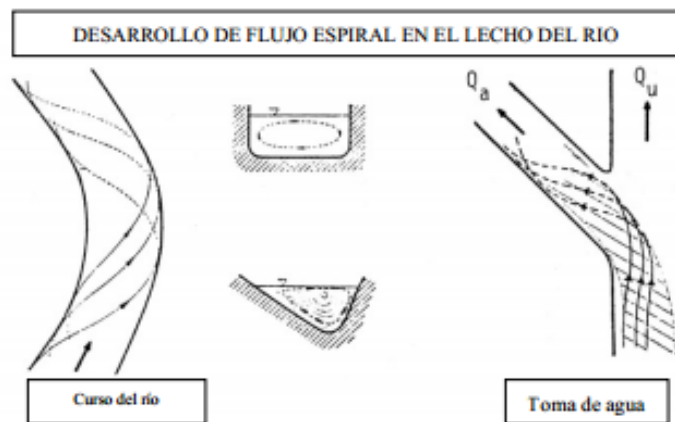
Debe también asegurarse la separación de arenas u otras partículas sólidas que por su tamaño provoquen erosión en los ductos y en la tubería, reduciendo su vida útil.

La selección del lugar para ejecutar las obras de toma de agua requiere considerar el comportamiento de la carga de sólidos en suspensión en el flujo de agua. En tramos rectos de los arroyos el

flujo es uniforme y en su parte alta contiene menor cantidad de sólidos en suspensión en el flujo de agua. (Murguerza)

En los tramos curvos, en cambio, se produce un flujo en forma de espiral, que erosiona de arriba hacia abajo la margen externa de la curva y se mueve de abajo hacia arriba a la salida del codo depositando el material en suspensión en la margen interna de la curva (ver figura).

Ilustración 42. Desarrollo de flujo espiral en el lecho de un río.



Sobre la base de este comportamiento del flujo de agua y de los sólidos en suspensión, las recomendaciones para ejecutar la toma de agua son las siguientes:

1. Si el emplazamiento elegido se encuentra en un tramo curvo del arroyo, la toma debe ejecutarse en la salida aguas abajo del codo o curva y del lado cóncavo de la misma (margen exterior). De este modo la porción de sólidos en el agua que se deriva será menor a la media del arroyo.
2. Si el emplazamiento se encuentra en un tramo recto del arroyo conviene ejecutar una toma frontal y, en este caso, la proporción de sólidos en el agua que ingresa a la toma será la misma que la media del arroyo.

La seguridad debe garantizarse cuando se realizan obras de cierre en el curso del arroyo. Además de observar especificaciones de materiales y técnicas constructivas que atiendan a la seguridad de las presas, debe prestarse especial atención a la evacuación de crecidas y a la protección de la erosión de los márgenes del entorno de la presa. (Murguerza)

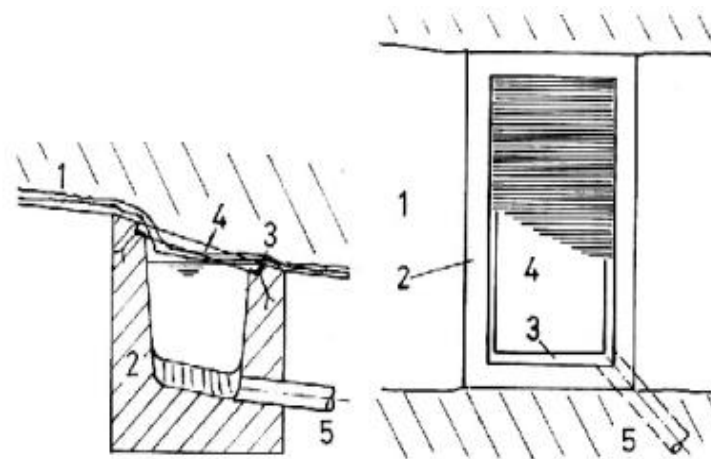
En las nacientes del arroyo o en las zonas con suelos de poca retención o con grandes pendientes, cuando hay estaciones de fuertes precipitaciones, el caudal máximo puede ser varios centenares de veces

mayor que el caudal medio. En tales situaciones, las obras de cierre deben estar previstas para soportarlo y evacuarlo. (Murguerza)

3. Toma de agua sin obra de cierre: Se realizan cuando el caudal de instalación es inferior al mínimo caudal del arroyo. Son obras muy sencillas realizadas en el curso del arroyo o sobre una de sus márgenes que permiten inundar una cámara de carga a través de una reja.

En la figura se muestra una toma del tipo tirolés para instalar en el lecho del río.

Ilustración 43. Toma del tipo tirolés.



- 1 Lecho del río.
- 2 Cámara de captación (de hormigón o de mampostería de piedra). El piso es inclinado hacia el tubo de salida.
- 3 Marco metálico anclado al borde de la cámara.
- 4 Reja de planchuelas con cierre perimetral. La separación entre planchuelas es de 6 a 12 mm. La pendiente de la reja en la dirección del flujo es de 15° como mínimo.
- 5 Tubo de descarga a la cámara de carga y desarenado.

4. Tomas de agua con obras de cierre: Cuando el caudal de instalación es menor que los mínimos caudales de la estación seca, es necesario realizar un cierre del arroyo. La ejecución de las centrales con cierre del arroyo distribuye al igual que las centrales de mayor potencia 2 grandes grupos:

- a. Centrales de pasada.
- b. Centrales de regulación.

a. Centrales “de pasada”: Este tipo de centrales que aprovecha los caudales disponibles en las corrientes, desviándolos desde los causes hasta la unidad generadora mediante sencillas instalaciones de sobre elevación de agua para su adecuada captación. Los caudales aprovechables corresponden a los de alta permanencia anual en el cauce (75 a 95% de permanencia en la Curva de Duración de Caudales), y por lo tanto son habitualmente inferiores al Caudal modulo o Medio en ese punto. (Murguerza)

Los coeficientes de "enpuntamiento" (relación del caudal de instalación/caudal de modulo) son inferiores a la unidad. Por esta razón, las obras de cierre, de pequeña significación, deben permitir el paso de importantes caudales excedentes. (Murguerza)

b. Centrales de “regulación”: Adaptadas al concepto de regulación diaria y cuyas instalaciones se dimensionan para resolver situaciones donde la potencia a proveer requiere mayores caudales que los habitualmente disponibles en el arroyo. Para este propósito requieren la conformación de un reservorio de acumulación de volúmenes líquidos para su utilización plena en los horarios de mayor consumo. (Murguerza)

Ello se logra a expensas de una obra de cierre de mayor importancia relativa importancia, que debe igualmente prever las estructuras de alivio necesarias para descargar los caudales de crecidas ordinarias y extraordinarias que superan la capacidad del reservorio o vaso.

Para la regulación del tipo diaria se necesita calcular el volumen de masa líquida en reserva, el que a su vez determina la altura de las obras de cierre, de acuerdo con la topografía del vaso del embalse. (Murguerza)

5. Materialización de las obras de cierre (tipos y cuidados constructivos)

a. Obras de cierre de pantalla con contrafuertes: Se compone de una pantalla inclinada, que oficia de cierre, ejecutada en madera dura o con placas pre moldeadas de hormigón armado, convenientemente impermeabilizadas en toda la superficie y con particular cuidado en crear estanqueidad en la juntas.

La pantalla se asienta sobre contrafuertes constituidos por placas triangulares de pared delgada ejecutadas en hormigón armado, mampostería o bien por estructuras triangulares reticuladas de madera dura. (Murguerza)

La concepción estructural del conjunto pantalla - contrafuerte constitutivos es tal que posibilita la auto estabilidad de la estructura tanto al vuelco como al desplazamiento. De tal forma se evita utilizar el

peso de la presa como elemento estabilizante, ya que se aprovecha el peso de la cuña de agua que se descarga sobre la plantilla. (Murguerza)

El dimensionado de la fundación debe adecuarse a la característica de los suelos y se ejecuta en forma corrida en toda la extensión del cierre. En los extremos la inserción de las obras de cierre en las márgenes del vaso se ejecuta mediante estribos macizos de hormigón.

El vertedero es central y se conforma por un conjunto de vasos cuyos contrafuertes y pantallas tiene una altura menos que en los laterales. La descarga del fondo para eliminación de sedimentos y vaciado para reparación puede hacerse realizando completamente las placas o maderas de uno de los vasos. (Murguerza)

La obra de toma se realiza como compacto independiente en el sitio que se juzgue necesario y consta de bloque de anclaje con la salida a tubería o a canal, la compuerta de control y la reja de protección. (Murguerza)

b. Obras de cierre de terraplén: El cuerpo principal de la presa es un terraplén construido por compactación en capas de suelos locales. La compactación debe considerar las características de las tierras disponibles y en función de las mismas se adoptaran los medios mecánicos y los procedimientos constructivos y de control necesarios para que la tierra compactada alcance los niveles de estanqueidad y de resistencia mecánica que requiere el proyecto.

Estos cierres se ejecutan preferentemente combinados con vertederos independientes de la presa, materializados con forma cilíndrica, aguas arriba del cierre. Estos vertederos operan como un embudo cuya cota superior está por debajo del nivel de coronamiento de la presa. Cuando la presa de terraplén se combina con vertederos independientes, su ejecución es continua y no presenta interfaces del terraplén con otros materiales. De esta forma se incrementa la seguridad y adicionalmente puede utilizarse el coronamiento de la presa como camino vecinal (puente entre las márgenes). (Murguerza)

Si se estiman que crecidas extraordinarias pueden superar la capacidad de evacuación, una parte del coronamiento de la presa puede ejecutarse a un nivel inferior de manera que opere como vertedero fusible. Estos vertederos fusible se ejecutan sobre una de las márgenes y en caso de que el coronamiento se use como puente, se le da forma de badén para no impedir la circulación. Si ocurriera una crecida extraordinaria, mayor que la del diseño, los daños de erosión se concentrarían en la zona del fusible y el proceso de reparación sería más rápido y económico. También puede ejecutarse el vertedero de tipo frontal macizo en uno de los laterales de la presa. Estos vertederos se ejecutan en hormigón ciclópeo de fragmentos de roca o bien con mampostería de piedra. La vinculación entre presa y vertedero esta constituida por un muro de ala de gravedad que a su vez protege al terraplén de la acción de la corriente que circula por el

vertedero. Este vertedero puede complementarse también con un vertedero fusible sobre el terraplén constituido sobre la margen opuesta. (Murguerza)

La obra de toma como en el caso anterior, se ejecuta en forma independiente de la toma. Del mismo modo se ejecutan las obras para facilitar el vaciado del embalse (descargador de fondo).

Los ductos de evacuación de vertedero independiente, de la toma y del descargador de fondo se ejecutan con tubos de hormigón que atraviesan el cuerpo del terraplén. Debe prestarse especial atención al control de la captación de la tierra alrededor de los tubos, ya que cualquier filtración, con el transcurso del tiempo se convierte en un grave daño a la presa. (Murguerza)

c. Obras de cierre de enrocado: Se materializa en forma similar a la de terraplén pero utilizando fragmentos de piedra colocados por medios mecánicos. El enrocado se coloca en capas, de manera de obtener una estructura resistente. Una solución equivalente se obtiene con el uso de gaviones, que son cestas de alambre tejido rellenas con piedras que facilitan su transporte y colocación en obra. La obra de enrocado resuelve bien los aspectos estructurales, pero es completamente permeable. (Murguerza)

Para lograr la estanqueidad, se ejecuta una pantalla impermeable sobre el talud aguas arriba del terraplén. Esta pantalla se realiza en hormigón y puede completarse con membranas que mantengan la estanqueidad aun cuando ocurran pequeños asentamientos en el cuerpo de la presa.

Si el vertedero se resuelve en forma frontal, se ejecuta sobre una de las márgenes, en hormigón o mampostería, con un muro de ala en el mismo material para la transmisión con el terraplén. Toma y descargador se resuelven en forma similar a los dos anteriores. (Murguerza)

d. Obras de cierre de gravedad: Consiste en un muro de gravedad continuo de hormigón o mampostería, el vertedero central se forma elevando los laterales del coronamiento de gravedad del muro, mediante sendas pantallas verticales que pueden ejecutarse en madera, hormigón pre moldeado o mampostería. La toma y el descargador de fondo están en este caso integrados en la obra civil del muro de gravedad con sus respectivas compuertas. (Murguerza)

6. Obras de conducción: Las obras de conducción comienzan en la toma de agua construida sobre el arroyo o el embalse y terminan en el ingreso del agua a la sala de máquinas.

En el caso más general están integradas por tres componentes que son: i) canales a cielo abierto o ductos cerrados a nivel, ii) una cámara de carga y iii) la tubería de presión.

La necesidad de reducir el importante efecto que este componente de las obras, sobre los costos totales, nos sugiere considerar las siguientes cuestiones:

Estudiar cuidadosamente la localización del cierre y de la sala de maquinas, de modo de alcanzar la máxima altura neta con el menor costo. Tal solución puede lograrse trazando canales a cielo abierto por líneas de nivel, que son de bajo costo para ubicar una cámara de carga y la tubería de presión y los lugares de fuerte pendiente, reduciendo su longitud y en consecuencia su fuente de incidencia en los costos. (Murguerza)

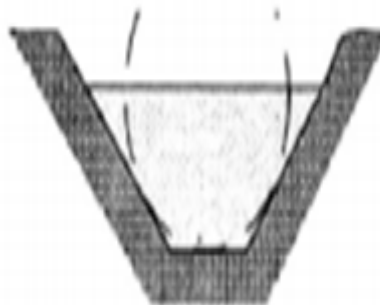
Realizar el estudio técnico económico previo de los distintos tipos de tuberías disponibles en el mercado local (acero, Fibrocemento, PVC, Plástico

Reforzado con Fibra de Vidrio, etc.) con el objeto de preseleccionar el de mayor conveniencia para la región. (Murguerza)

1. Canales: Los canales a cielo abierto constituyen una solución muy ventajosa para reducir costos de tubería. No obstante deben estar adecuadamente diseñados para evitar mayores costos de mantenimiento. (Murguerza)

El diseño del canal debe resolver un correcto escurrimiento del agua sin perder innecesariamente altura útil en el proyecto. Para ello se recomienda ejecutar el canal con una pendiente de 1/1000. Los canales se construyen con sección trapezoidal. La solución que optimiza costos, es decir que implica mínimo perímetro para igual caudal (o sección de flujo de agua) es aquella en que la base y las paredes laterales a 45° son tangentes a una circunferencia cuyo diámetro se ubica en la cota superior del agua del canal.

Ilustración 44. Canal trapezoidal.



Sección más eficiente

Desde el punto de vista constructivo si los suelos son permeables es necesario darles estanqueidad.

Ejecutada la excavación del canal, el método convencional de impermeabilizado es el recubrimiento de concreto. Si este recubrimiento se ejecuta con encofrado tradicional, el espesor necesario para el escurrimiento y compactación del hormigón alcanza a 4". (Murguerza)

Sin embargo la experiencia reciente en obras ejecutadas en Perú indican la conveniencia de utilizar el método de los bastidores. Estos bastidores se colocan primero cada 10 m. en tramos rectos (guías) y cada 5 m. en los curvos, cuidando ajustar su nivel, escuadra, alineación y aplomado. Una vez fijados los bastidores guía se colocan bastidores intermedios manteniendo la alineación, el nivel ajustado a la pendiente del canal, la escuadra con el eje del canal y el plomo. Una vez presentados los bastidores se coloca en los costados una capa de cemento de 2" de espesor (igual al marco del bastidor) que se alisa mediante reglas apoyadas entre los bastidores (2,5 m de separación). (Murguerza)

Terminados los lados se ejecuta el piso del canal, los bastidores se retiran después de 24 horas y en su lugar se ejecutan las juntas de expansión.

El curado se realiza manteniendo el canal inundado durante por lo menos diez días. Esta solución reduce en un 50% el costo de materiales y 30% en el costo de mano de obra.

En zonas con derrumbes o gran intrusión de ramas y hojas deben ejecutarse protecciones especiales con maderas o losas pre moldeadas que tapen el canal. Del mismo modo deben preverse pasos para animales por sobre el canal. También pueden ejecutarse pantallas deflectoras hacia el vertedero de la cámara de carga, para desviar el material en flotación que pueda llegar a la misma por el canal. (Murguerza)

2. Cámara de carga: Es necesario para aquietar el agua y permitir la decantación de arenas y partículas sólidas.

La cámara de carga debe tener dimensiones adecuadas, para cumplir esta función y estará constituida en hormigón o mampostería de piedra. Tiene básicamente cuatro vías de movimiento de fluido. La primera es la acometida por donde ingresa el canal o ducto que trae el agua desde la toma. La segunda es un vertedero o tubo para eliminar los excedentes de caudal que no serán turbinados. La tercera es un descargador de fondo que permitirá el vaciado y limpieza de partículas sedimentadas. La cuarta es la alimentación mediante malla de filtrado o rejas a la tubería de presión que conduce el agua a la turbina. (Murguerza)

La selección de la tubería más conveniente requiere como primer paso determinar el diámetro de la misma y la presión de trabajo que deberá soportar.

Estos parámetros y las condiciones de suministro local de materiales y tubos prefabricados y sus costos determinarán la solución más conveniente. Para una misma potencia instalada, las combinaciones caudal / altura del aprovechamiento indican si se requiere mayor diámetro (Q) y menor presión de trabajo (H) o viceversa. (Murguerza)

Conocido el caudal de instalación la sección de tubería dependerá de la velocidad máxima admisible para el agua que circula en su interior. (Murguerza)

Esta velocidad máxima a su vez depende de la pérdida de altura que pueda admitir el proyecto. Es deseable seleccionar velocidades que no introduzcan pérdidas mayores al 2% o 3%. No obstante si el recurso hídrico es abundante se debe encontrar la solución que minimice costos, atendiendo a los diámetros comerciales de plaza, aunque las pérdidas sean mayores (5%-10%).

Para un caudal de instalación determinado la velocidad que corresponde a un nivel de pérdidas prefijado depende a su vez del material (rugosidad) y del diámetro de la tubería. Para un análisis más detallado del proceso de selección se recomienda ver *Hydraulics Engeneering Manual*. (Murguerza)

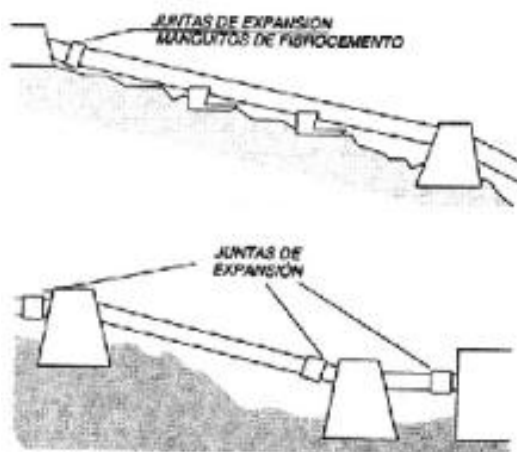
Tabla 21. Cuadro de relación entre velocidad y diámetro para un tubo de polietileno.

Tubos de Polietileno (presión nominal 10at.)				
Diámetro exterior [mm]	Diámetro interior [mm]	Velocidad del agua [m/s]	Caudal Q [l/s]	Potencia para altura Neta 100m [kW]
32	26.2	0.6	0.3	0.2
40	32.6	0.7	0.6	0.4
50	40.8	0.8	1.0	0.7
63	51.4	0.9	1.8	1.3
75	61.4	1.0	3.0	2.1
90	73.6	1.2	5.1	3.6
110	90.0	1.4	8.9	6.2
125	102.2	1.5	12.3	8.6
140	114.6	1.6	16.5	12
160	130.8	1.8	24	17
180	147.2	2.0	34	24
200	163.6	2.1	44	31
225	184.0	2.3	61	43
250	204.6	2.4	79	55

El uso de tuberías plásticas se recomienda cuando los diámetros son inferiores a 300 mm. Requieren protección a la acción de la radiación ultravioleta. Las tuberías de plástico se adaptaran muy bien a las variaciones del terreno, se colocan enterradas o apoyadas directamente sobre la superficie y cubiertas con tierra. Las tuberías de acero permiten manejar un rango muy amplio de soluciones estructurales. En

general se construyen localmente utilizando chapas, unidas con soldadura helicoidal. En el trazado de este tipo de tubería deben evitarse curvas y codos que obliguen a incrementar los bloques de apoyo y la juntas de dilatación. Los bloques de apoyo y anclaje deben ejecutarse con separaciones acorde a la topografía del terreno y el análisis estructural del tubo. (Murguerza)

Ilustración 45. Tuberías de presión.



El diseño de las tuberías de presión debe considerar eventuales sobrepresiones por golpe de ariete. Estas sobrepresiones se originan por el cambio brusco de energía cinética a potencial que se produce cuando se cierra bruscamente la circulación de agua de la tubería (cierre intempestivo del regulador de caudal de la tubería). Esta situación genera una onda de presión que viaja aguas arriba a la velocidad del sonido y que puede, en situaciones extremas, ser varias veces superior a la presión de diseño. (Murguerza)

En el caso de las micro turbinas, los dispositivos de control que evitan los cierres instantáneos mantienen la sobrepresión en valores que no superan el 50% ó 100% de la presión del diseño. La onda de sobrepresión es disipada mediante chimeneas de equilibrio o en la misma cámara de carga. (Murguerza)

7. La Micro Central Hidroeléctrica (MCH): Está constituida por una sala de dimensiones reducidas, construida en mampostería, en donde se aloja el equipamiento que realiza las conversiones de energía hidráulica a mecánica y de mecánica a eléctrica.

El producto “energía eléctrica” resultante del proceso de conversión, tiene requisitos de calidad técnica que deben ser satisfechos. Tales requisitos se expresan en valores de tensión y de frecuencia que deben ser mantenidos dentro de un rango de tolerancia admitido. (Murguerza)

Es además conocido que este producto (energía eléctrica) debe entregarse en forma instantánea al usuario o consumidor y que este varía su demanda casi en forma permanente a lo largo del tiempo. (Murguerza)

Por su parte la energía hidráulica que ingresa por la tubería de presión a la sala de máquina, lo hace en forma de energía cinética del agua y las cantidades de energía puestas en juego (oferta hidráulica) dependen del caudal y de la altura de la carga.

Esta energía cinética del agua se convierte en energía mecánica en el eje de una turbina. La energía mecánica es transferida a un generador eléctrico que, para mantener las condiciones de calidad exigidos al producto eléctrico, debe rotar a velocidad constante.

Para producir esta transferencia de energía es necesario entonces, además de la turbina y el generador, agregar dispositivos de conversión de velocidad de rotación entre el eje de la turbina y el del generador, y un sistema de regulación para adaptar la potencia hidráulica que se entrega con la potencia eléctrica que se demanda. (Murguerza)

El equipamiento electromecánico constituido por turbina, generador, conversor de velocidad y sistema de regulación, se complementa con la instalación eléctrica de salida de la sala de máquina y un tablero de control con registros de tensión, frecuencia y energía suministrada a la red. (Murguerza)

La disposición del equipamiento puede hacerse en una sola planta o en dos plantas. En este segundo caso, se trata de instalaciones donde la sala de máquinas (y el tipo de turbina utilizada) admite quedar expuesta a inundaciones durante las máximas crecidas, en este caso el equipamiento eléctrico se instala en la planta alta y la turbina (para aprovechar el máximo desnivel) queda en la planta baja. (Murguerza)

Si bien la obra civil de cierre de la sala de máquinas es muy sencilla, debe prestarse adecuada atención al pozo de descarga del agua turbinada y al dimensionamiento y ejecución de las fundaciones que aseguran la estabilidad de la sala durante las máximas crecidas.

a. Conversión hidromecánica: La masa de agua que es conducida desde la altura de carga de la central, transfiere su energía cinética a energía mecánica de rotación en la turbina. Desde la rueda hidráulica, utilizada por los romanos y los griegos para moler trigo en la antigüedad, hasta hoy, diversas máquinas han sido desarrolladas para aprovechar la energía del agua. (Murguerza)

Sin embargo, el gran impulso de la innovación tecnológica en este campo se produce con el desarrollo de las turbinas asociado al crecimiento de la demanda de electricidad del siglo XX.

Existe una variedad de diseños de turbinas cuya distinción principal es la forma en que se adaptan a la condición del caudal y altura disponibles en el aprovechamiento y al rendimiento o eficiencia con que realizan la conversión energética. (Murguerza)

El concepto de adaptación de las diferentes máquinas a las condiciones de caudal - altura esta asociado a la velocidad de rotación que consiguen alcanzar para su mejor rendimiento bajo una dada

combinación caudal – altura y al tamaño y costo de máquinas con que resuelven la transferencia de potencia puesta en juego en forma eficiente. (Murguerza)

En el campo de potencias de máquinas utilizadas desde las pequeñas hasta las grandes centrales (0,3 MW a 300 MW por máquina) las tecnologías más utilizadas son las Pelton, Francis y Kaplan. (Murguerza)

Las turbinas Pelton operan en la franja de bajos caudales y grandes caídas. En el otro extremo con grandes caudales y pequeñas caídas operan las turbinas tipo Kaplan. En tanto que en una amplia gama de combinaciones intermedias en caudal - altura de caída, operan las turbinas Francis.

A medida que aumenta el módulo de potencia de las máquinas, la sofisticación tecnológica tanto en diseño como en fabricación es creciente. Esta inversión tecnológica está orientada a conseguir los máximos rendimientos de las máquinas tanto a plena carga como a cargas parciales, así como a garantizar la máxima disponibilidad de las mismas durante su vida útil. Un sencillo ejemplo explica las razones de esta tendencia: La central de Yacyretá esta equipada con turbinas Kaplan de 150 MW de potencia, cada 1% de rendimiento de esta turbina implica $1,5 \text{ MW} \times 8760 \text{ hrs.} = 13.140 \text{ MWh/año}$ por máquina que vendidos a 25 \$/MWh y por las 20 turbinas, resulta en un total de 6.570.000 \$/año. (Murguerza)

Pero la lógica de decisión tecnológica aplicada a las centrales de mayor porte, no debe trasladarse al ámbito de las MCH.

Las turbinas para MCH, deben mantenerse dentro de rendimientos adecuados, pero mientras las turbinas de grandes centrales operan con rendimientos del orden del 95%, las que equipan MCH's lo hacen con rendimientos entre 75 al 80%. Esto obedece a dos causas principales: i) el diseño y los métodos de fabricación para las turbinas de MCH debe adaptarse a la tecno estructura de la región donde los proyectos se implantan, y ii) los costos incrementales de mejoras crecientes de la tecnología, no pueden ser absorbidos por los beneficios incrementales, en proyecto de pequeña escala y bajo nivel de difusión (no cuentan ni con economías de escala ni con economías de serie). (Murguerza)

En el campo de las potencias de las máquinas de las micro y mini centrales (1 a 300 kW), las tecnologías más difundidas son las turbinas Pelton, Michell - Banki y Hélice.

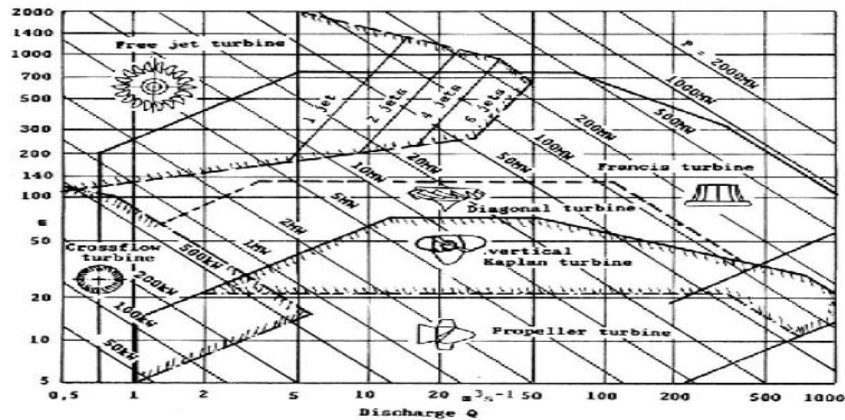
Al igual que para grandes centrales, pero construidas con tecnologías más sencillas, las turbinas Pelton cubren el rango de grandes alturas de caída (50 a 500 metros).

En el otro extremo las turbinas tipo hélice, resuelven bien el aprovechamiento de pequeños desniveles (menos de 10 metros de caída).

Cubriendo una amplia combinación de valores de caudal – altura de los aprovechamientos se ubica la turbina Michell – Banki que reúne además otras ventajas comparativas, tales como rendimiento más alto

tanto a cargas parciales como a plena carga, mayor sencillez constructiva y menor costo por unidad de potencia instalada. Estas turbinas permiten aprovechar saltos entre 3 y 80 metros de desnivel en forma muy competitiva frente a las otras tecnologías. (Murguerza)

Ilustración 46. Gráfica de las diferentes turbinas entre altura y descarga.



b. Acoplamiento y multiplicación de la velocidad: Las unidades turbogeneradoras se componen de dos equipos (turbinas y generador) cuyas velocidades de rotación son en general diferentes.

La velocidad de rotación del generador está determinada por la frecuencia eléctrica de la corriente altura (50Hz) y depende de la cantidad de polos del generador. Generadores de cuatro polos (dos pares) rotan a $NG = 1500$ r.p.m. y los de seis polos (tres pares) rotan a $NG = 1000$ r.p.m.

Por su parte la turbina tiene una velocidad de rotación NT que corresponde a la situación de rendimiento óptimo de la máquina operando en las condiciones de caudal y altura de carga de diseño. (Murguerza)

En consecuencia solo en los casos en que $NT = NG$ se realiza un acople directo entre ambas máquinas, en general será necesario utilizar un multiplicador de velocidad que permita transferir la potencia en el eje de la turbina que rota a NT , al eje del generador que rota a NG . Esa relación de multiplicación será

—

Para materializarla esa adaptación de velocidad entre los ejes de la turbina y del generador se utilizan dispositivos todos conocidos y de amplia difusión en el mercado. (Murguerza)

Los multiplicadores más utilizados en MCH son los de tipo de patea con correas planas o en V. Las correas planas tienen mejor rendimiento (98%), pero requieren mayor tensado para evitar su

deslizamiento y en consecuencia hay mayor esfuerzo sobre los ejes y rodamientos. Las correas en V requieren requiere menores tensiones de montaje pero tienen un rendimiento (95 a 97%). (Murguerza)

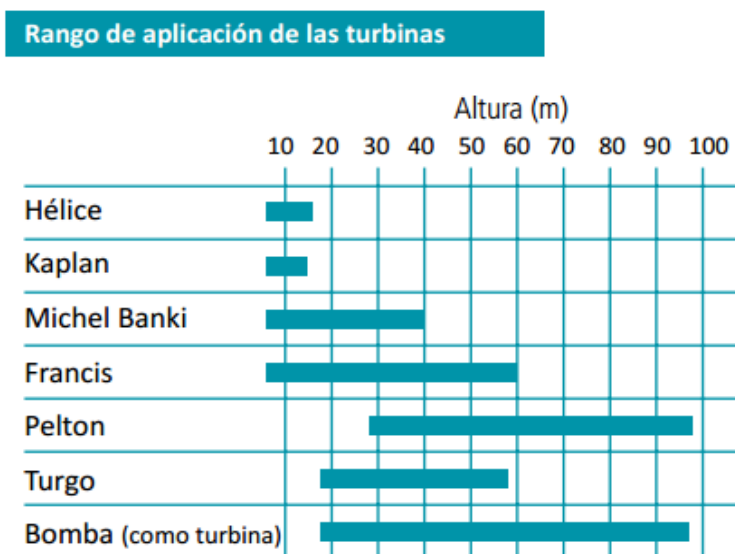
Otras alternativas como el uso de cadenas de transmisión o cajas de engranaje son menos utilizadas ya que las primeras requieren atender su ubicación y las segundas son más costosas. Los rendimientos de estos dispositivos son del orden del 98% y superiores. También se han realizado experiencias exitosas con el uso de bombas y motores óleo hidráulico que resultan de mayor costo pero resuelven bien situaciones donde se requiere versatilidad para la disposición relativa del generador respecto de la turbina. Las transmisiones con las correas o cadenas deben ser adecuadamente protegidas para la seguridad de las personas. (Murguerza)

8. Turbinas

a. **¿Qué son las turbinas?** Son máquinas que transforman la energía del agua en energía mecánica mediante un motor que gira por la fuerza del agua. (Sanchez, 2010)

b. **¿Cuántas clases de turbinas hay?** Existen varios tipos de turbinas que se instalan de acuerdo a las condiciones del caudal y la altura de la tubería de presión. (Sanchez, 2010)

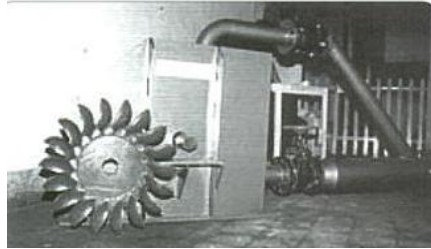
Tabla 22. Tabla relación turbinas y altura.



1) **Turbinas Pelton:** Es el tipo de turbina más popular, siendo su componente principal la rueda o rodete Pelton. Su aplicación está dada para grandes saltos o caídas y

caudales pequeños aunque es posible su aplicación con caudales medianos cuando se fabrican más de un chorro. (Briceño, 2008)

Ilustración 47. Rueda Pelton.



Es una turbina de acción que transforma la energía cinética del agua en energía mecánica. El agua proviene de la tubería de presión, se hace ingresar a un inyector o tobera, transformando la presión del agua de la tubería en energía cinética. El agua sale del inyector en forma de chorro a alta velocidad golpeando las cucharas o cangilones de la rueda Pelton haciéndola girar, de esta forma transmite toda la energía cinética en energía mecánica. (Briceño, 2008)

Ilustración 48. Rueda o Rodete.

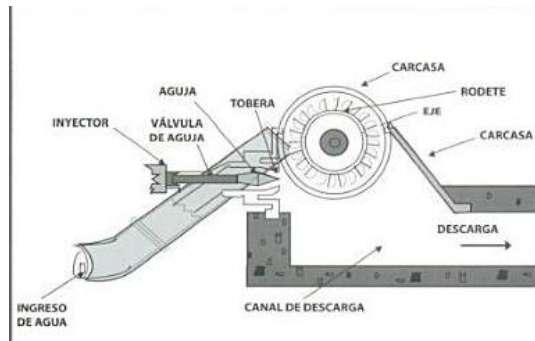


El agua, después de golpear las cucharas pasa al depósito de descarga, por debajo de la rueda, para terminar en el canal de descarga. (Briceño, 2008)

Cuando un sistema cuenta con suficiente volumen de agua, es decir no se hace necesario control del caudal y por tanto la turbina Pelton estaría funcionando continuamente y a plena carga, se puede utilizar un inyector sencillo prácticamente una tobera. (Briceño, 2008)

Sin embargo, en muchos sistemas no siempre se cuenta con suficiente volumen de agua o no se quiere que trabaje a plena carga en una máquina en particular, por tanto se debe encontrar un modo conveniente de conseguir el mejor chorro que se pueda y aquí es donde entra en juego el inyector y el agua. (Briceño, 2008)

Ilustración 49. Esquema general de una turbina Pelton.



2) **Turbinas Banki:** La turbina de flujo transversal es una máquina utilizada principalmente para sus pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Sus ventajas principales están en su sencillo diseño y su fácil construcción lo que la hace atractiva en el balance económico de un aprovechamiento a pequeña escala. No obstante esto no impide que la turbina se use en grandes instalaciones. Aunque la turbina de flujo transversal se conoce como una máquina de pequeña escala, existen actualmente máquinas de este tipo de hasta 6 MW. (Chavez, 2007)

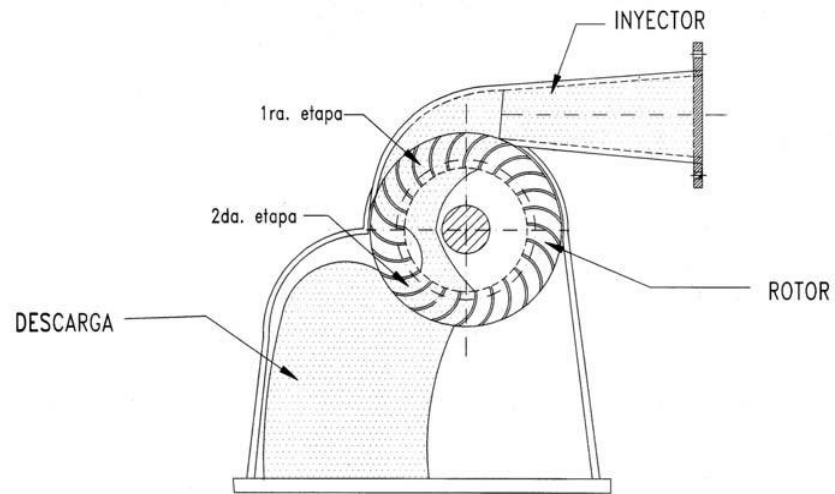
Las principales características de esta máquina son las siguientes:

- La velocidad de giro puede ser seleccionada en un amplio rango.
- El diámetro de la turbina no depende necesariamente del caudal.
- Se alcanza un aceptable nivel de rendimiento con pequeñas turbinas.
- Se puede regular el caudal y la potencia por medio de una alabe ajustable.

Principio de funcionamiento

La turbina consta de dos elementos principales: un inyector y un rotor. El agua es restituida mediante una descarga a presión atmosférica. El rotor está compuesto por dos discos paralelos a los cuales van unidos alabes curvados en forma de sector circular. (Chavez, 2007)

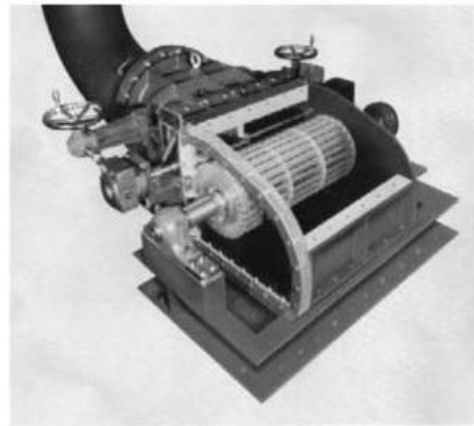
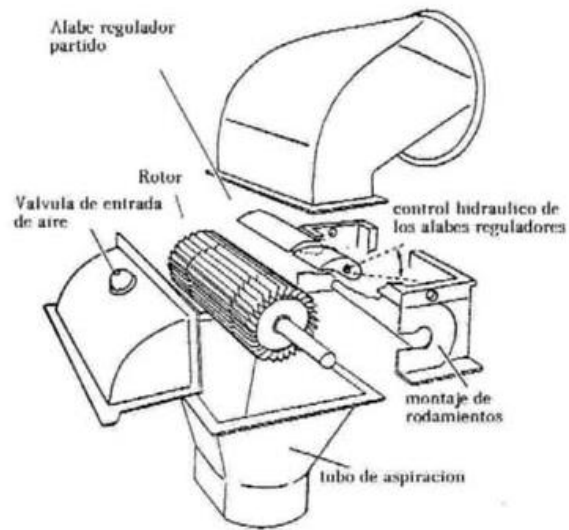
Ilustración 50. Esquema turbina Banki.



El inyector posee una sección transversal rectangular que va unida a la tubería por una transición rectangular-circular. Este inyector es el que dirige el agua hacia el rotor a través de una sección que toma una determinada cantidad de alabes del mismo, y que guía el agua para que entre al rotor con un ángulo determinado obteniendo el mayor aprovechamiento de la energía. (Chavez, 2007)

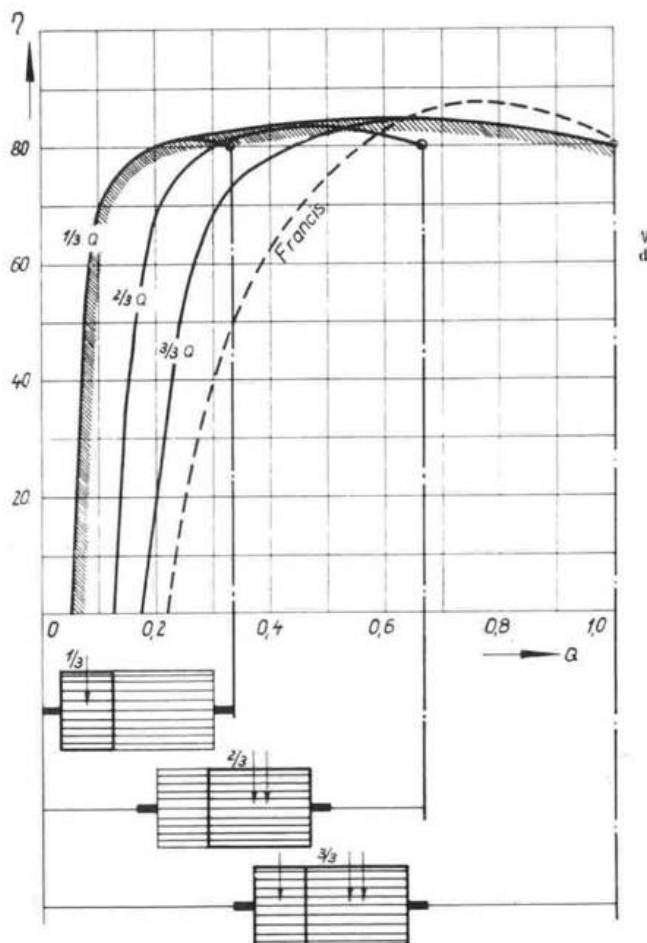
La energía del agua es transferida al rotor en dos etapas, lo que también da a esta máquina el nombre de turbina de doble efecto, y de las cuales la primera etapa entrega un promedio del 70% de la energía total transferida al rotor y la segunda alrededor del 30% restante. (Chavez, 2007)

Ilustración 51. Turbina de flujo transversal de admisión parcial.



Una característica atractiva de esta máquina es la forma aplanada de su curva de rendimiento. Esto se logra con un diseño de la turbina con admisión parcial. Por ejemplo: si se divide el rotor en tres partes iguales y la admisión del agua se puede realizar por 1/3, 2/3 o la totalidad del rodete. (Chavez, 2007)

Ilustración 52. Gráfica de la turbina de flujo transversal.



Esta clase de admisión permite obtener una curva de rendimiento como la de la gráfica en la cual se observa la comparación con la curva de rendimiento de una turbina tipo Francis. (Chavez, 2007)

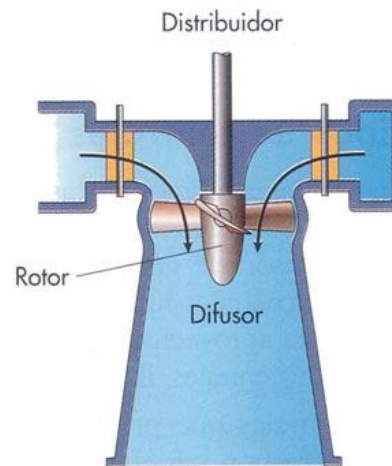
Como se mencionó anteriormente, la turbina de flujo transversal es especialmente apropiada para ríos con pequeños caudales. Estos generalmente llevan durante varios meses muy poca agua, se considerará el caudal total que será utilizado para usos productivos. De la curva característica de rendimiento de cada turbina depende este tiempo se sigue produciendo energía eléctrica. (Chavez, 2007)

3) Turbinas Kaplan: Es una turbina de eje vertical que se usa en caídas medias y bajas. Su nombre se debe al ingeniero austriaco Víctor Kaplan (1876-1934). Las palas del rotor están dispuestas de manera que el agua circula entre ellas. La presión del agua hace que, al salir en un determinado ángulo, la reacción a la fuerza del agua haga girar el rotor. (Exatecno, 2005)

Ilustración 53. Rotor de una turbina Kaplan.

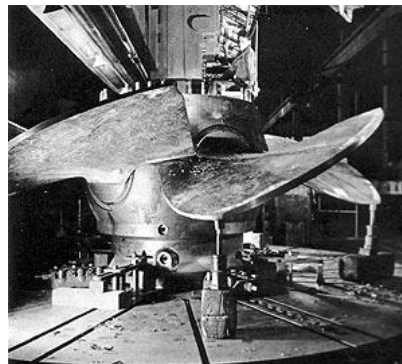


Ilustración 54. Diagrama de funcionamiento de una turbina Kaplan.



Un distribuidor suministra agua a presión desde los lados de la turbina. El agua al salir empuja las palas y su presión hace girar el rotor. La siguiente imagen, vemos una rueda de una turbina hidráulica de la central de Salto Grande en Brasil, con una caída de 10m. Su potencia es de 18,300 kW y la velocidad de giro es de unas 128 rpm (Exatecno, 2005)

Ilustración 55. Turbina Kaplan.



4) **Turbina Francis:** También conocidas como turbinas de sobrepresión, de admisión total, turbinas radial-axial o como turbinas de reacción. El campo de aplicación es muy extenso, pueden emplearse en saltos a distintas alturas dentro de una amplia gama de caudales. (Sanabria, 2005)

Las turbinas Francis son de muy buen rendimiento, pero solamente entre determinadas descargas, entre el 60% y el 100% del caudal máximo. Esta es una de las razones por la que en una central hidroeléctrica se disponen varias unidades, a objeto de que ninguna trabaje, individualmente, por debajo de los valores de la descarga total. (Sanabria, 2005)

Al igual que las turbinas Pelton, las turbinas Francis pueden ser instaladas con el eje en posición horizontal o en posición vertical. Siendo la posición vertical del eje la más generalizada por estar ampliamente experimentada, especialmente en el caso de unidades de gran potencia. (Sanabria, 2005)

Ilustración 56. Turbina Francis.



5) **Generadores:** esta máquina recibe el giro de la turbina y transforma la energía mecánica del eje de la turbina en energía eléctrica. Existen varios tipos de generadores:

- Generador síncrono.
- Generador de inducción.
- Generador de imanes.
- Alternador automotriz.

6) Generador síncrono: El generador sincrónico trifásico o alternador es la máquina que se utiliza en las centrales eléctricas o bien como sistema autónomo de generación. Es una máquina compuesta por dos partes:

- a) Un estator, constituido por un paquete de chapas magnéticas conformando un cilindro con una serie de ranuras longitudinales, sobre las cuales están colocados conductores, conectados entre sí, de forma tal de crear un conjunto de bobinas. (Electrica, 2008)
- b) Una parte móvil, ubicada entre el estator y que consiste en un electroimán alimentado por corriente continua. (Electrica, 2008)

Ilustración 57. Generador síncrono.



7) Generador de inducción: Llamado también motor como generador. Se utiliza para pequeñas potencias, hasta de 12 kW. Una alternativa interesante por sus bajos costos. (Sanchez, 2010)

Ilustración 58. Generador de inducción.



8) **Generador de imanes permanentes:** Se utiliza en sistemas pequeños (menos de 1 kW).

Ilustración 59. Generador de imanes.



9) **Alternador automotriz:** alternativa para la electrificación rural, especialmente para cargar baterías. (Sanchez, 2010)

Ilustración 60. Generador automotriz.



10) **Reguladores y tableros de control:** Se encargan de mantener constante el voltaje de trabajo. Evitan las subidas y bajadas de voltaje que puedan dañar a los artefactos o equipos de los usuarios. (Sanchez, 2010)

- a) Pueden ser de velocidad o carga.
- b) Los más utilizados en MCH son los reguladores electrónicos.
- c) En el tablero se encuentran los instrumentos de control y protección: voltímetro, amperímetro, medidor de frecuencia y medidor de potencia y energía.

VI. ANÁLISIS TÉCNICO HIDROELÉCTRICO

A continuación se analizarán diferentes aspectos de importancia para la instalación de una micro central hidroeléctrica. Las micro centrales tienen una gran ventaja la cual es que tienen un bajo costo de instalación, mantenimiento y operación. Las micro centrales hidroeléctricas pueden ser instaladas en casi cualquier parte debido a su reducido tamaño. Por aspectos económicos, se analizarán micro centrales que sean capaces de generar máximo 2 MW de potencia. Estas micro centrales son relativamente pequeñas y como se mencionó anteriormente, una de las grandes ventajas son sus bajos costos de mantenimiento, operación e instalación.

A. Requerimientos de equipo

Las micro centrales hidroeléctricas son compuestas por varias partes como se mencionó anteriormente. Las micro centrales hidroeléctricas están compuestas generalmente por una turbina, un rodete, un estator, una tobera y ciertas partes que son utilizadas para la instalación de la misma. Las micro centrales hidroeléctricas son instalados cerca de pequeños ríos, los cuales son capaces de generar la electricidad suficiente para sustentar las casas o comunidades. En algunas ocasiones cuando las micro centrales producen más energía de la que se va a utilizar, se instalan baterías de almacenamiento las cuales guardan la electricidad para ser consumida en un futuro. Para este caso no se tomará en cuenta dicha batería ya que se asume que toda la energías que producirá la micro central será utilizada para el funcionamiento de las casas o las comunidades donde se instalen los equipos. (Gomez, 2012)

B. Capacidad máxima de generación de energía

Para el presente trabajo se realizaron estudios de diferentes micro centrales hidroeléctricas, sin embargo, se concluyó que la generación máxima será de 2 MW ya que ésta fue de la cual se consiguió los datos de instalación y mantenimiento. Dichas micro centrales trabajan por medio de una turbina tipo Mitchell Banki las cuales son consideradas como la mejor opción en Guatemala debido a la caída promedio que se tienen en los ríos a nivel nacional y en los diferentes puntos donde tentativamente se pueden utilizar las mismas.

Si tomamos en cuenta la generación de 2 MW, se puede decir que es suficiente para generar electricidad para una pequeña comunidad guatemalteca, ya que según el estudio realizado y los datos

recopilados, una casa de bajos recursos consume realmente una baja cantidad de electricidad al mes ya que no utilizan tantos equipos electrónicos. Tomando en cuenta que dicho estudio es realizado para pequeñas comunidades y personas con escasos recursos, una micro central de 2 MW es más que suficiente. Otro factor que se tomó en cuenta para escoger la cantidad de energía por generarse en las micro centrales hidroeléctricas fue la inversión que se debe hacer dependiendo de la capacidad. Si se instala una micro mayor a 2 MW de capacidad, los costos tanto de instalación como de inversión aumentarían demasiado para la sociedad en la que se pretende manejar dicho proyecto. Se evaluaron diferentes escenarios y se escogió la micro central de 2 MW como se mencionó en gran parte por la sociedad guatemalteca. (Gomez, 2012)

C. Requerimiento mínimo de espacio para instalación

Las micro centrales hidroeléctricas tienen la gran ventaja que no utilizan un gran espacio. Las micro centrales hidroeléctricas capaces de generar entre 1 MW y 5 MW utilizan un espacio aproximado de 5 metros cuadrados los cuales no requieren de mayor instalación. Se recomienda que el lugar donde se instale dicha micro central esté lo más cerca posible de los ríos para utilizar la menor cantidad de transporte eléctrico necesario. Entre más cerca se encuentre de los ríos, menos será el costo de instalación y almacenamiento de la energía. Un requerimiento que es de suma importancia es instalar una "bodega" la cuál servirá para proteger la micro central de cualquier daño ambiental que pueda sufrir. Las bodegas por lo general son construidas de block para protegerlas de cualquier daño que puedan sufrir. Además al construir una bodega, aumentará el ciclo de vida de la micro central al evitar que se moje por la lluvia, se llene de arena o tierra (esto puede causar oxidación en ciertas partes metálicas), sufra cualquier daño de diferentes riesgos que pueda sufrir a su alrededor. (Gomez, 2012)

D. Mano de obra necesaria

La mano de obra necesaria de la micro central hidroeléctrica es relativamente baja. Básicamente la mano de obra es tomada en cuenta para la instalación de la misma, las cuales deben ser instaladas por personas que conozcan el funcionamiento de la misma. Las micro centrales son fáciles de utilizar, ya que los proveedores únicamente cobran la instalación de la micro central y del cableado eléctrico que va a distribuir la energía generada. Otro factor a tomar en cuenta es la mano de obra necesaria para construir la bodega donde se almacenará la micro central. Dichos costos pueden ser alrededor de \$500 a \$1000. Este costo de la mano de obra dependerá del proveedor y lo complejo que sea la construcción de la misma. En algunos casos cuando los ríos sean cuenten con un bajo caudal, se necesitará construir un canal que direcciona el agua del río hacia un mismo punto para que la micro central pueda generar la cantidad de energía necesaria. Dichos casos son especiales los cuales no serán tomados en cuenta para esta trabajo de investigación. (Gomez, 2012)

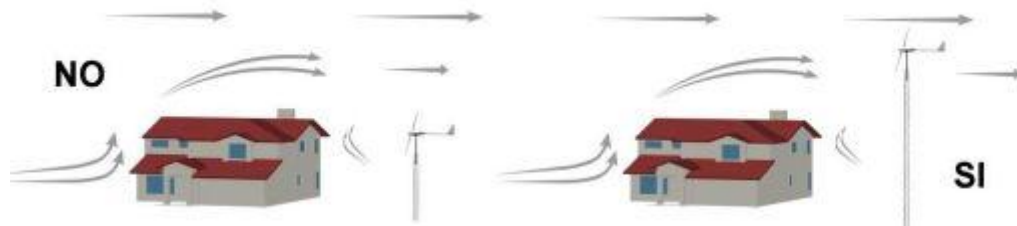
VII. ANÁLISIS TÉCNICO AEROGENERADORES

A. Descripción del sitio de instalación

Para definir la instalación del aerogenerador es muy importante tomar en cuenta que estos no deben de tener obstáculos cercanos que puedan evitar o desviar el viento, por lo que se debe tomar en cuenta el entorno al punto de interés.

Debido a esto, la mayoría de aerogeneradores son instalados mediante torres para reducir vibraciones, a su vez la torre brinda la ventaja de ser instalada a una mayor altura lo que produce un mejor aprovechamiento del recurso para la generación de energía eléctrica.

Ilustración 61. Localización adecuada para instalación de un aerogenerador.



<<<http://bornay.com/eolica/es/aerogeneradores/4>>>. Accedido: 15 de Septiembre de 2012.

La Ilustración 7 muestra el flujo de viento y la correcta instalación del aerogenerador, si este se coloca en una posición dentro de la cual se va a ver afectado por el hogar o algún obstáculo, entonces el recurso no será aprovechado en su mayoría y se consideraría una desventaja la instalación.

Es importante considerar que para el presente trabajo se estudiará un perfil de usuario con acceso y uso de la conexión eléctrica nacional, por lo que si se deseara

instalar el aerogenerador en un lugar remoto sin acceso a la ya mencionada conexión, los procesos de instalación variarían.

Los hogares que obtienen energía eléctrica por parte de las distribuidoras mayoristas requieren instalar el aerogenerador conjunto con la torre, cableado eléctrico y un inversor para poder dar uso de la electricidad en el hogar. La función que toma entonces el sistema instalado es hacer que el contador eléctrico instalado en los hogares, gire en dirección contraria cuando el mismo esté funcionando y de esta manera ahorrar energía que en su lugar se estaría utilizando en la casa. Es importante mencionar que estos contadores se obtienen por medio de la Empresa Eléctrica de Guatemala (EEGSA) y no tiene ningún costo adicional obtener su instalación.

Ahora bien, si el hogar no está conectado a los distribuidores de energía entonces requiere la instalación de un regulador, batería o un banco de baterías dependiendo del sistema, cableado eléctrico y un inversor. En ambos casos se coloca la torre así como los cables tensores como medida de seguridad.

En el Capítulo IV se describió de forma breve el funcionamiento y elementos importantes de un aerogenerador, a continuación se precederá a dar una explicación más detallada a considerar para la instalación del mismo.

1. Torre. La torre forma una parte elemental en la instalación del aerogenerador, ya que la misma le brindará la estabilidad y altura necesaria para obtener la potencia del viento. Si la torre se encuentra colocada en un lugar que inadecuado o si la misma no está instalada de firmemente, se pueden generar daños al sistema y al aerogenerador.

Las torres son instaladas generalmente sobre el suelo con una base sólida para evitar vibraciones, en la mayoría de casos, en aerogeneradores pequeños se instalan cables tensores para ayudar a la estructura a evitar movimientos bruscos que produzcan daños.

Un aspecto muy importante es tomar en cuenta que el aerogenerador luego de estar instalado en la torre, debe tener la libertad de girar en cualquier dirección, a 360 grados, sin topar con ningún objeto para evitar algún deterioro.

2. Baterías. Debido a que el consumo no se comporta igual que la generación de energía eléctrica, se utilizan baterías diseñadas para almacenar la energía acumulada proveniente de los aerogeneradores. De esta manera, se busca el tener suministro disponible para su utilización posterior.

Dependiendo del tipo de sistema que se tenga instalado o la capacidad del mismo, se interpretan las necesidades y se decide el tipo de batería(s) a instalar para el funcionamiento. El tipo de baterías que se utiliza regularmente para los sistemas eólicos son de plomo ácido, estas, están presentes en la mayoría de vehículos y tanto el funcionamiento como el diseño varía dependiendo de las necesidades. Por ejemplo, un

vehículo requiere que la batería brinde una gran cantidad de energía al momento de intentar arrancar el automóvil, funcionalidad contraria para un sistema eólico, ya que en este se busca junto al almacenaje de energía, una descarga lenta de la misma.

A este tipo de batería se le conoce como de ciclo profundo ya que permiten la carga y descarga de energía en varias ocasiones sin que la misma sufra algún daño.

3. Regulador: Mediante este se busca normalizar la energía producida para evitar picos que generen daños en la batería o el sistema instalado. Por lo tanto, se consideran indispensables en cualquier sistema eólico.

4. Inversor de corriente: El inversor se ocupa principalmente de tomar toda la corriente proveniente del sistema eólico, que se presenta en forma directa y convertirla en corriente alterna. Se considera necesario ya que de esta forma se distribuye la corriente y se utilizan los artefactos instalados en el hogar.

5. Cableado eléctrico: El cableado eléctrico es de suma importancia para la instalación ya que este innegablemente permite la conexión de todo el sistema. Al ser un elemento indispensable para el buen funcionamiento, se debe cuidar el utilizar el indicado para soportar condiciones extremas y minimizar desgastes.

La altura del sistema determinará el tipo de cable a utilizar, en el caso de hogares, si estos van a ser instalados sobre el techo de la vivienda el tipo de cable que se debe utilizar es el 14 AWG (1.63 mm de diámetro), y si el mismo fuese instalado sobre una torre se debe utilizar un cable 12 AWG (2.05 mm de diámetro).

6. Cables tensores: La estabilidad del aerogenerador es muy importante para la eficiencia del mismo, para la seguridad del sistema y evitar cualquier tipo de accidente que se pueda provocar a los alrededores. La torre donde es instalado el aerogenerador brinda estabilidad, pero las ráfagas de viento que tienen demasiada fuerza pueden provocar algún problema, por lo que los cables tensores funcionan como medida de prevención y aseguramiento de calidad de la instalación.

B. Emisiones de ruido

Debido a que el presente trabajo de graduación se estudia la instalación de los aerogeneradores para la ciudad de Guatemala, se debe tomar en cuenta que no se pueden producir altos decibeles de sonido ya que existen personas en lugares cercanos. Por ello, en las especificaciones de cada aerogenerador se debe de analizar si cumple o no con los requisitos de tolerancia para los usuarios expuestos.

C. Medición de viento

Las mediciones de viento utilizadas para el análisis son proporcionadas por SWERA (Solar and Wind Resource Assessment), esta es una herramienta desarrollada para conocer información acerca de algunas localizaciones alrededor del mundo y sus especificaciones tanto eólicas como solares. El Ministerio de Energía y Minas de Guatemala posee esta herramienta como la principal fuente de información para reconocimiento de datos.

Tabla 23. Velocidad promedio en la ciudad de Guatemala a 50 metros de altura.

Mes	m/s
Enero	5.62
Febrero	5.27
Marzo	4.86
Abril	4.49
Mayo	3.94
Junio	3.77
Julio	4.21
Agosto	4.03
Septiembre	3.52
Octubre	4.42
Noviembre	4.82
Diciembre	5.36

D. Especificaciones de los equipos a considerar

En el presente trabajo de graduación se utilizaron tres diferentes aerogeneradores para compararlos y determinar cuál de ellos es el más conveniente. Para la identificación de los aerogeneradores se utilizará el siguiente detalle:

Aerogenerador A (1.8 KW)

Aerogenerador B (1 KW)

Aerogenerador C (0.16 KW)

A continuación se dará una descripción de cada uno de ellos que incluye los aspectos más relevantes así como curvas de potencia que indican lo estos generan según estudios realizados por el fabricante.

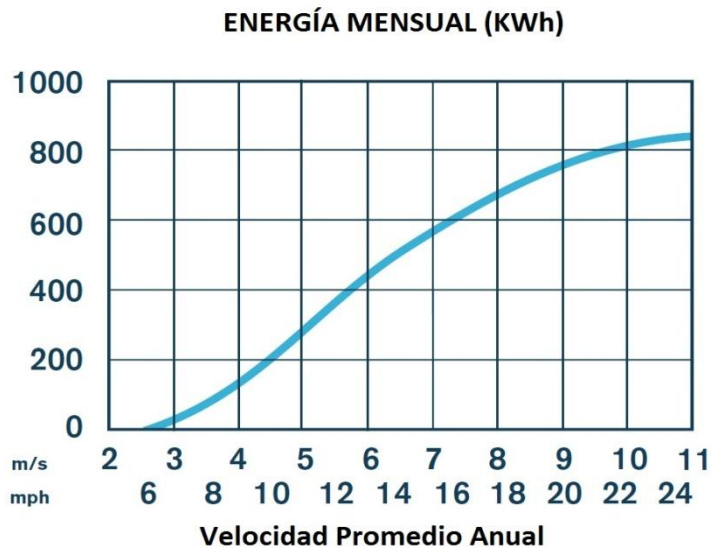
En las siguientes tablas se encontrarán las especificaciones técnicas que tienen datos como: material del que se hacen las aspas, la velocidad para que arranque el sistema, el peso del equipo, área de barrido que indica la zona del aerogenerador que aprovecha el viento a través de sus aspas y otros aspectos importantes de cada uno de los aerogeneradores.

1. Aerogenerador A

Tabla 24. Especificaciones técnicas aerogenerador A.

Especificaciones técnicas	
Material de aspas	Fibra de vidrio reforzada
Velocidad de arranque	3.0 m/s
Peso	170 lbs
Área de barrido	10.87 m ²
Diametro del rotor	3.72 m
Número de aspas	3
Dimensiones	1.02 x 0.56 x 0.69 m
Dirección de rotación	Contra las agujas del reloj
Poder nominal	1.8 kW
Nivel de ruido	45 Decibeles
Mantenimiento	Cada 20 años

Ilustración 62. Curva de potencia aerogenerador A.

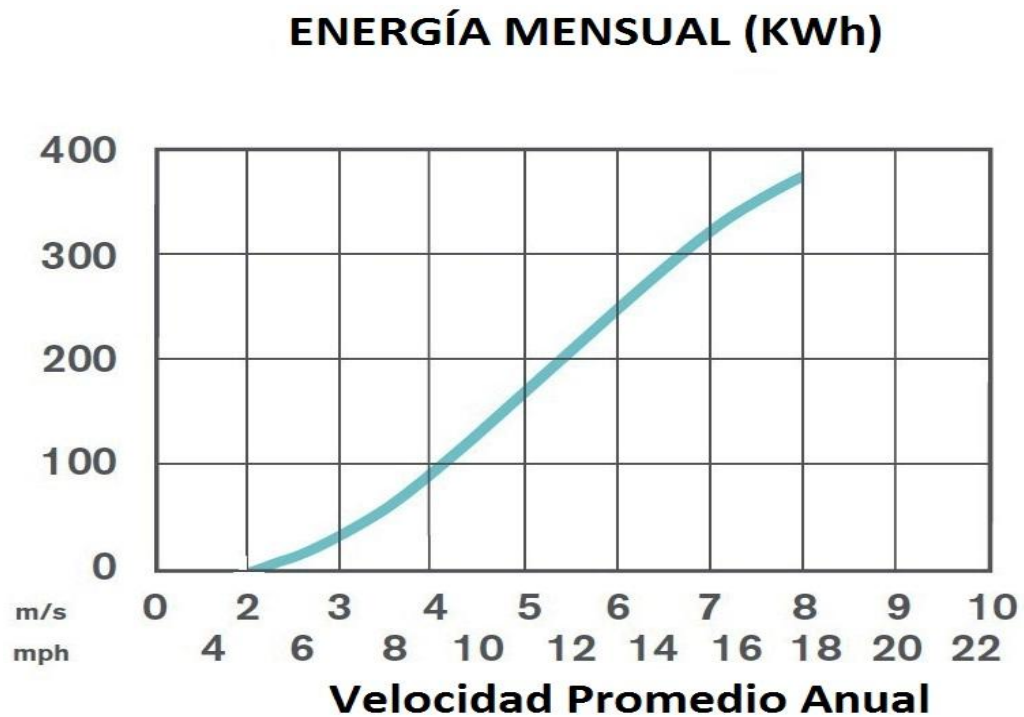


2. Aerogenerador B

Tabla 25. Especificaciones técnicas aerogenerador B.

Especificaciones técnicas	
Material	Fibra de vidrio moldeada
Velocidad de arranque	3.1 m/s
Peso	87 lbs
Área de barrido	7.43 m ²
Diametro del rotor	2.7 m
Número de aspas	3
Dimensiones	1.295 x 0.508 x 0.33 m
Dirección de rotación	Contra las agujas del reloj
Poder nominal	1 kW
Nivel de ruido	40 Decibeles
Mantenimiento	Cada 5 y 7 años

Ilustración 63: Curva de potencia aerogenerador B.



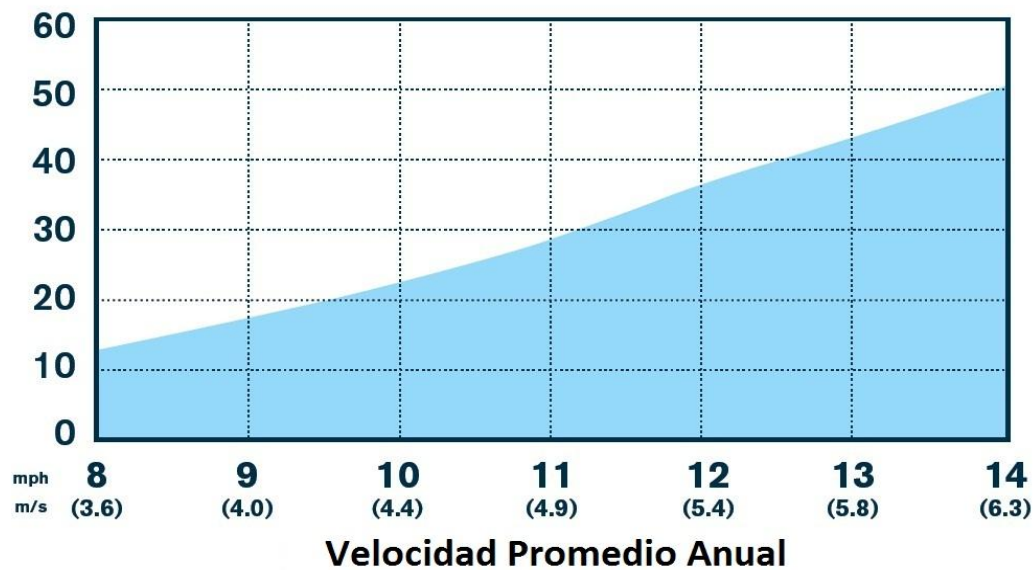
3. Aerogenerador C

Tabla 26. Especificaciones técnicas aerogenerador C.

Especificaciones técnicas	
Material	Fibra de vidrio moldeada
Velocidad de arranque	3.13 m/s
Peso	17 lbs
Área de barrido	1.07 m ²
Diametro del rotor	1.17 m
Número de aspas	3
Dimensiones	0.686 x 0.318 x 0.229 m
Dirección de rotación	Contra las agujas del reloj
Poder nominal	0.16 kW
Nivel de ruido	38 Decibeles
Mantenimiento	Cada 5 y 7 años

Ilustración 64: Curva de potencia aerogenerador C.

ENERGÍA MENSUAL (KWh)



E. Emisiones de CO₂

Según la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) las actividades que provocan emisiones de gases de efecto invernadero están clasificadas en: actividades del sector energético, actividades del sector industrial, uso de disolventes y otros productos, agricultura y desechos.

Bajo esta afirmación, es fácil resaltar el “consumo eléctrico” entre los principales causantes de estos daños nocivos al ambiente, porque a pesar del desarrollo de energías renovables, la generación de electricidad se sigue produciendo mayoritariamente mediante la quema de combustibles fósiles que emiten CO₂ y otros gases de efecto invernadero. Debido a esto, cuanto menor sea nuestro consumo eléctrico, menos contaminaremos.

Es entonces cuando la adopción de sistemas eólicos para producir energía se convierte en opciones atractivas para los usuarios que buscan reducir su huella en el mundo ya que los mismos no generan ningún efecto nocivo al ambiente.

F. Perfil de usuario

Se procedió a seleccionar un perfil de usuario bajo el cual se realizará el análisis, detallando los artículos y la energía mensual consumida por este hogar.

La razón principal por la que se utilizó este perfil de usuario es que el mismo envuelve la mayoría de opciones en artefactos que pueden estar instalados en un hogar adaptado a la Ciudad de Guatemala, lo cual, brinda un panorama mucho más detallado sobre el consumo eléctrico.

La Tabla 19 muestra detalladamente la potencia eléctrica de cada uno de estos artefactos, cantidad instalados en el hogar, el número de horas que estos operan al día, energía en Wh así como su equivalente en kWh al día y por último la energía consumida en kWh al mes.

Tabla 27. Perfil de usuario.

Electrodomésticos						
Plancha	1100	1	0,71	785,71	0,79	23,57
Televisor	150	1	8	1200	1,2	36
Teatro en casa	180	1	0,29	51,43	0,05	1,54
DVD	150	1	0,29	42,86	0,04	1,29
Consola de videojuegos	90	1	2	180	0,18	5,4
Laptop	20	2	6	240	0,24	7,2
Secador de pelo	2000	1	0,33	666,67	0,67	20
Ventilador	130	1	1	130	0,13	3,9
Lavado de ropa						
Lavadora automática	1200	1	1	1200	1,2	36
Secadora de ropa	5000	1	1	5000	5	150
Termoducha						
Lorenzetti	1000	4	0	10	0,01	0,3
9 pies, dos puertas	290	1	9	2610	2,61	78,3
Electrodomésticos de cocina						
Horno microondas	1500	1	0,17	250	0,25	7,5
Olla arocera	800	1	0,42	333,33	0,33333	9,9999
Olla de cocimiento lento	300	1	1	300	0,3	9
Hornito	1200	1	0,33	400	0,4	12
Coffee maker	1100	1	1	1100	1,1	33
Licuadaora	350	1	0,25	87,5	0,0875	2,625
Pica todo	160	1	0,25	40	0,04	1,2
Batidora	170	1	0,25	42,5	0,0425	1,275
Estufa	1500	1	1,5	2250	2,25	67,5
Luz						
Bombilla	20	4	3	240	0,24	7,2
Bombilla	100	15	3	4500	4,5	135
Total energía eléctrica (KWh)						649,8

VIII. DISEÑO DE UN SISTEMA EÓLICO PARA BOMBLEAR AGUA POTABLE

Para realizar exitosamente un sistema de bombeo de agua eólico es necesario tomar ciertas consideraciones: El análisis inicia con el lugar donde se localizará el proyecto, los pozos de agua que se utilizaran y sus características, la definición del proyecto como tal, las demandas de agua, etc. El presente estudio define y lista los pasos a realizar.

A. Situar el lugar del proyecto

Se tiene que definir el lugar apropiado del proyecto ya que este va a definir su factibilidad. No solo se determinará la cantidad de viento sino que también definirá las leyes y el marco legal bajo las cuales hay que regirse. Si se ignora este factor puede ser que el proyecto no sea rentable al final de cuentas.

Se debe realizar una visita para medir la topografía del lugar y así tomar en cuenta el factor de la turbulencia que delimita la producción de energía.

Al determinar el sitio del proyecto va a definir la disponibilidad del viento. Esta información se extrae del lugar donde se ubicará el proyecto. El pozo de agua depende de la geografía y del terreno del lugar. Desde el estudio de los sitios recomendados para perforar hasta la determinación de los acuíferos, es un tema muy amplio. Se asumirá que todas las investigaciones preliminares se llevaron a cabo y que se perforó el pozo. Sin embargo, es de trascendencia para el estudio; y es el nivel dinámico del pozo. Esta variable se tomará en cuenta más adelante pero pertenece a las características del lugar.

En este caso el estudio se realizara dentro de la ciudad de Guatemala. No se delimitara un lugar preciso para realizar un estudio más global. Será de gran utilidad el promedio de la velocidad de viento de la ciudad capital.

B. Investigación de mediciones de viento

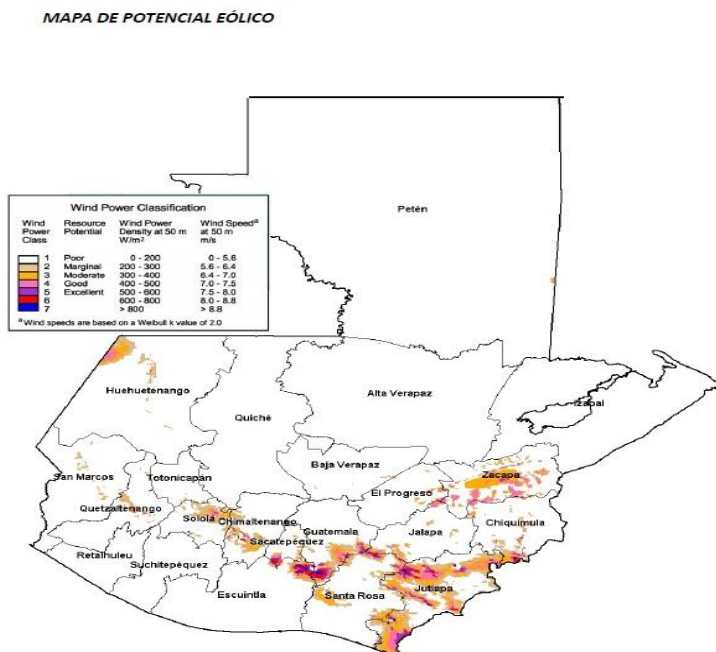
Todos los pasos que se mencionarán son de total importancia. Pero el estudio de viento definirá si el proyecto tendrá éxito. Es fundamental que las fuentes informáticas de las cuales se obtengan los datos de

viento sean los más confiables posibles. En este caso, para determinar las velocidades de viento en el país se cuenta con dos opciones: el primero es SWERA, un programa satelital respaldado por la NASA. Este toma datos de viento alrededor del mundo y su utilización está disponible para cualquier usuario sin ningún costo. La segunda es obtener las velocidades de viento de los estudios realizados por el Ministerio de Energía y Minas (MEM). Los resultados del estudio fueron listados en el capítulo VII.

En Guatemala, todo el tema de energía renovable está empezando a desarrollarse. Es por eso que los datos del estudio del MEM de vientos está un poco sesgado; es decir, para determinar con certeza la energía que se puede producir en un lugar en particular se tiene que realizar un promedio de mediciones constantes durante un año como mínimo. Los anemómetros instalados a 30 metros del suelo por el MEM, no reportan datos constantes por lo tanto los promedios de este estudio podrían estar erróneos. Otra limitante del estudio es que no hay mediciones en la ciudad de Guatemala, la torre de medición más cercana estuvo en Villa Canales.

Gracias al programa geoespacial se pudo determinar un dato más confiable del viento. En la Figura 12 se muestra el mapa de Guatemala con sus diferentes mediciones de viento a 50 metros de altura. Así mismo, el programa brinda una tabla con mediciones mensuales en el sitio. La tabla # 9 muestra los datos mensuales de velocidad de viento en la ciudad Guatemala. Para fines del estudio se tomara el promedio de estas lecturas el cual es de **4.53 m/s**.

Ilustración 65. Mapa potencial eólico de Guatemala.



C. Definir el proyecto

1. ¿A qué se le proporcionará agua potable? Para hacer de este proyecto más general, el estudio se realizará para edificios de 3, 4, 8, 10 y 15 niveles. Los cuales son los edificios más comunes en la ciudad de Guatemala. Cada edificio tiene cuatro apartamentos y la altura de cada nivel es de tres metros. Esta altura determinara, en parte, la potencia de la bomba sumergible la cual se calcula más adelante. El tanque de almacenamiento estará ubicado en la parte más alta del edificio para que, por gravedad, distribuya el agua a todo el complejo.

Tabla 28. Niveles de edificio vs demanda de agua.

No. Niveles	No. de apartamentos	No. Personas	Cantidad de agua a bombear
15	60	315	13314.31
13	52	273	11539.07
10	40	210	8876.21
8	32	168	7100.97
4	20	105	4438.10
3	12	63	2662.86

Como se dijo anteriormente, la adición de niveles no solo aumenta la altura sino que hay que tomar en cuenta el aumento de apartamentos, por consiguiente el número de habitantes incrementa lo que, a su vez, aumenta el volumen de agua a bombear. La Tabla # 10 muestra como estos factores cambian proporcionalmente con los niveles del edificio.

Por otra parte, en el proyecto se aumenta el tamaño de tuberías y del tanque, aumentando costos. Esto no limita al proyecto, al contrario, mientras más grande mejor, pero es importante tomarlo en cuenta y preverlo para no incurrir en problemas de planificación.

El nivel dinámico del pozo, nivel de agua subterránea durante el bombeo de agua, es una característica trascendental del proyecto y depende del terreno. Como se ha dicho, mientras más general sea el análisis presente mejor se podrá sintetizar el resultado. Se realizarán los cálculos con diferentes niveles dinámicos, desde 400 ft hasta 700 ft.

2. ¿Cuál es la demanda de agua del proyecto? La cantidad de agua que se necesita depende de la cantidad de personas que residan en el edificio. Se asumirá que los residentes del edificio pertenecen a la clase alta, esto es con fines de tomar condiciones críticas para la demanda de agua. Para conocer cuántos litros de agua se tienen que bombear, se utilizó al manual RAS 2000 el cual es utilizado en Colombia para el cálculo de plantas de tratamiento.

Tabla 29. Contribución de aguas residuales por persona.

Contribución de aguas residuales por persona			
Predio	Unidades	Contribución de aguas residuales (C) y lodo fresco	
		Lf (L/día)	
Ocupantes permanentes		C	Lf
Residencia			
Clase alta	persona	160	1
Clase media	persona	130	1
Clase baja	persona	100	1
Hotel (excepto lavandería y cocina)	persona	100	1
Alojamiento provisional	persona	80	1
Ocupantes temporales			
Fábrica en general	persona	70	0.30
Oficinal temporales	persona	50	0.20
Edificios públicos o comerciales	persona	50	0.20
Escuelas	persona	50	0.20
Bares	persona	6	0.10
Restaurantes	comida	25	0.01
Cines, teatros o locales de corta permanencia	local	2	0.02
Baños públicos	tasa sanitaria	480	4.0

Fuente: Tabla E.7.1 RAS 2000

En la Tabla 29 se muestra la columna “Contribución de aguas residuales (C)” la cual proporciona el promedio de consumo de agua por persona dependiendo del status económico o tipo establecimiento/residencia.

Esta cifra incluye, uso de sanitarios, duchas, lavamanos, inodoros, pila, riego y todo tipo de artefactos que generan agua negra, por lo tanto es la cantidad de agua potable que se consume.

3. Estimación del tamaño de la bomba: Los sistemas eólicos utilizan bombas para elevar el agua subterránea hasta un tanque de almacenamiento. Para estimar el tamaño de la bomba se deben considerar varios factores. (Encino; Mercke, 2004)

- La cantidad diaria de agua que se necesita (160 l/día por persona).
- La capacidad del bombeo, o el número de galones por hora que la bomba debe ser capaz de elevar.
- La cantidad de caballos de fuerza requerida para elevar esa cantidad de agua.

Para calcular las necesidades de bombeo, se calcula primero cuánta agua se utilizará diariamente y desde qué distancia se debe elevar el agua subterránea (la profundidad del pozo). Para estimar los requerimientos totales de agua por día, se multiplicó el número de personas por la cantidad de agua que consume cada una por día. La cantidad de personas que viven en un apartamento promedio es de 5.25 personas. Entonces:

$$(160 \text{ l/ día}) * (5.25 \text{ personas}) = 840 \text{ l/d cada apartamento}$$

$$(840 \text{ l/día}) / (3.7854) = 221.90 \text{ gal/día}$$

$$\text{No. Apartamentos} * (\text{consumo diario por apartamento}) = 12 * 221.90 = 2662.86 \text{ galones/día}$$

Se utiliza la relación: 1 galón = 3.7854 litros

Son 2662.86 galones al día que un edificio de 3 niveles consume diariamente.

Nota: Para la estimación de la bomba se utilizará un edificio de 3 niveles y un nivel dinámico de 400 ft.

a. Capacidad de bombeo: Después, se prosigue al cálculo del número de galones por hora que la bomba debe ser capaz de elevar, que es la capacidad de bombeo. Ya que el viento no sopla todo el día, es sumamente recomendable que se asuma un promedio de 6 horas al día disponibles para recolectar energía eólica. (Encino; Mercke, 2004)

Para estimar la capacidad de bombeo, se divide el número de galones necesarios al día por el número de horas disponibles para recolectar energía.

$$\text{Capacidad de bombeo} = 2662.86 \text{ galones/día} \div 6 \text{ horas} = 443.81 \text{ galones/hora.}$$

b. Cálculo de la potencia necesaria: Luego se calcula la cantidad de caballos de fuerza que la bomba debe tener. Para calcular los caballos de fuerza necesarios, se convierte primero la capacidad de bombeo de galones por hora a galones por minuto. (Encino; Mercke, 2004)

$$(443.81 \text{ galones/hr}) \div 60 \text{ min} = 7.40 \text{ GPM}$$

Para calcular la cantidad de caballos de fuerza necesarios, se multiplica la capacidad de bombeo por la elevación, la cual es la distancia que debe elevarse el agua. En este caso, la altura final estará compuesta de tres elementos: altura del edificio, profundidad dinámica del pozo y la pérdida de carga por fricción (hf). Esta última, se traduce en una altura a superar. Se tomara un 8 % de la altura del edificio para generalizarlo. (Encino; Mercke, 2004)

Después de realizar la multiplicación mencionada, se divide el resultado por 3960. Como se ve en la formula. (Encino; Mercke, 2004)

Ecuación 9: Potencia

$$\text{HP} = Q \times H / 3,960$$

En donde:

HP = Caballos de fuerza

Q = capacidad de bombeo, en galones por minuto (GPM)

H = elevación, en pies

Los factores son:

$$Q = 7.40 \text{ GPM}$$

$$H \text{ total} = (h \text{ edificio}) + (hf) + (h \text{ nivel dinámico}) = 29.52 \text{ ft} + 1.47 \text{ ft} + 400\text{ft} = 430.99 \text{ ft}$$

Entonces;

$$\text{Caballos de fuerza} = 7.40 \text{ GPM} \times 430.99 \text{ pies} / 3,960 = 0.81 \text{ HP}$$

c. Convertir caballos de fuerza a voltios: Los caballos de fuerza calculados arriba describen el trabajo mecánico necesario para elevar cierto volumen de agua por la unidad de tiempo desde el nivel del agua de bombeo hasta el tanque de almacenamiento. Se puede convertir esta medida de caballos de fuerza a voltios de electricidad multiplicándolos por 746. (Encino; Mercke, 2004)

$$\text{Voltios} = 0.81 \text{ HP} \times 746 \text{ voltios} = 600.57 \text{ voltios}$$

Se tomó la relación: 1 HP = 746 Voltios

Después, se necesita ajustar los voltios para tomar en consideración la pérdida de electricidad en el cable y los controles durante la distribución, y al convertir la electricidad a los movimientos mecánicos de la bomba. (Encino; Mercke, 2004)

La tasa promedio de la eficiencia de estas bombas es cerca del 60 por ciento. Para ajustar esta cifra, compensando por tal ineficiencia, debemos calcular de nuevo la cantidad de energía, dividiendo el número de voltios por 0.60. (Encino; Mercke, 2004)

$$\text{Voltios necesarios} = 600.57 \text{ divididos entre } 0.60 = 1000.95 \text{ V}$$

Para que el proyecto tuviera un poco más de alcance se decidió realizar los mismos cálculos que se efectuaron anteriormente con la variación del nivel dinámico del pozo y la altura del edificio.

Para realizarlo de una forma más ordenada y siguiendo ciertos parámetros, se construyeron 4 tablas. Cada una de estas tiene un valor definido de nivel dinámico del pozo, empezando por 400 ft y terminando con 700 ft. Así mismo, estas muestran los cálculos para edificios desde 3 niveles hasta 15.

A continuación las tablas:

Tabla 30. 400 ft. de nivel freático del pozo.

Niveles de edificio	No. de apartamentos	Caudal requerido (gal/día)	Capacidad de bombeo (gal/hr)	GPM	Altura de Edificio (ft)	Hf (ft)	Altura total (ft)	Potencia de bomba (HP)	Voltios	voltios reales (60%)	kWh (mensuales)
15	60	13314.31	2219.05	36.98	147.6	7.38	554.98	5.18	3866.67	6444.45	1160.001329
13	52	11539.07	1923.18	32.05	127.92	6.396	534.316	4.32	3226.34	5377.23	967.9020878
10	40	8876.21	1479.37	24.66	98.4	4.92	503.32	3.13	2337.83	3896.38	701.34884
8	32	7100.97	1183.49	19.72	78.72	3.936	482.656	2.40	1793.48	2989.13	538.0437507
4	20	4438.10	739.68	12.33	39.36	1.968	441.328	1.37	1024.94	1708.24	307.4831925
3	12	2662.86	443.81	7.40	29.52	1.476	430.996	0.81	600.57	1000.95	180.1707927

Tabla 31. 500 ft. de nivel freático del pozo.

niveles de edificio	No. de apartament	Caudal requerido (gal/día)	Capacidad de bombeo (gal/hr)	GPM	Altura de Edificio (ft)	Hf (m)	Altura total (ft)	Potencia de bomba (HP)	Voltios	voltios reales (60%)	kWh (mensuales)
15	60	13314.31	2219.05	36.98	147.6	7.38	654.98	6.12	4563.39	7605.66	1369.0181
13	52	11539.07	1923.18	32.05	127.92	6.396	634.316	5.13	3830.17	6383.61	1149.05
10	40	8876.21	1479.37	24.66	98.4	4.92	603.32	3.76	2802.31	4670.52	840.69336
8	32	7100.97	1183.49	19.72	78.72	3.936	582.656	2.90	2165.06	3608.44	649.51937
4	20	4438.10	739.68	12.33	39.36	1.968	541.328	1.69	1257.18	2095.31	377.15545
3	12	2662.86	443.81	7.40	29.52	1.476	530.996	0.99	739.91	1233.19	221.97415

Tabla 32. 600 ft. de nivel freático del pozo.

niveles de edificio	No. de apartamento	Caudal requerido (gal/día)	Capacidad de bombeo	GPM	Altura de Edificio (ft)	Hf (m)	Altura total (ft)	Potencia de bomba (HP)	Voltios	voltios reales (60%)	kWh (mensuales)
15	60	13314.31	2219.05	36.98	147.6	7.38	754.98	7.05	5260.12	8766.86	1578.0349
13	52	11539.07	1923.18	32.05	127.92	6.396	734.316	5.94	4433.99	7389.99	1330.1978
10	40	8876.21	1479.37	24.66	98.4	4.92	703.32	4.38	3266.79	5444.65	980.03788
8	32	7100.97	1183.49	19.72	78.72	3.936	682.656	3.40	2536.65	4227.75	760.99498
4	20	4438.10	739.68	12.33	39.36	1.968	641.328	2.00	1489.43	2482.38	446.82771
3	12	2662.86	443.81	7.40	29.52	1.476	630.996	1.18	879.26	1465.43	263.7775

Tabla 33. 700 ft. de nivel freático del pozo.

niveles de edificio	No. de apartament	Caudal requerido (gal/día)	Capacidad de bombeo	GPM	Altura de Edificio (ft)	Hf (m)	Altura total (ft)	Potencia de bomba (HP)	Voltios	voltios reales (60%)	kWh (mensuales)
15	60	13314.31	2219.05	36.98	147.6	7.38	854.98	7.99	5956.84	9928.06	1787.0517
13	52	11539.07	1923.18	32.05	127.92	6.396	834.316	6.75	5037.82	8396.37	1511.3457
10	40	8876.21	1479.37	24.66	98.4	4.92	803.32	5.00	3731.27	6218.79	1119.3824
8	32	7100.97	1183.49	19.72	78.72	3.936	782.656	3.90	2908.24	4847.06	872.4706
4	20	4438.10	739.68	12.33	39.36	1.968	741.328	2.31	1721.67	2869.44	516.49997
3	12	2662.86	443.81	7.40	29.52	1.476	730.996	1.37	1018.60	1697.67	305.58086

D. Aerogeneradores candidatos

Definir los aerogeneradores se puede realizar de dos maneras. La primera es diseñar exclusivamente una turbina que satisfaga las necesidades del proyecto. Esto significa que se tendrá que fabricar un modelo específico. Este tipo de pedidos no hacen a que el proyecto en particular tenga éxito en el lado financiero.

La segunda opción es seleccionar un aerogenerador típico. La industria de mini aerogeneradores ofrece una variedad de productos que se adecuan a la necesidad de cada proyecto relativamente pequeño.

Antes del análisis económico se tiene que tomar en cuenta que a pesar de que se supera la velocidad de arranque no se llega a la velocidad nominal que requiere la turbina. Esto, a pesar que no es un punto a favor para un sistema eólico, no es catastrófico. Simplemente se tendrá que evaluar si conviene utilizar un solo aerogenerador y producir menos energía o bien utilizar uno más grande que satisfaga las necesidades del proyecto. En la ficha técnica que cada turbina se muestra su curva de potencia y de producción, la cual definirá cuanta energía es capaz de suministrar la máquina con la velocidad con la que contamos, en este caso de 4.53m/s.

Además de las características del viento, la potencia del aerogenerador depende también de sus características de funcionamiento. Las pérdidas mecánicas en la transmisión y la eficiencia eléctrica del generador reducen su potencia real.

Otra variable importante a considerar es el lugar donde se instalara. Las medidas de viento para nuestro caso son de 40m a 50m sobre el nivel del terreno por lo que se tendrá que tener en cuenta esta altura cuando se defina el sitio final donde se instalara el aerogenerador. En este caso el aerogenerador se situara en el techo del edificio; y si esta altura del edificio no es suficiente en algunos escenarios analizados se tendrá que instalar en torres de acero que levanten la turbina la cantidad requerida. Otra posibilidad sería aprovechar la geografía del lugar, aprovechar un cerro cercano que se eleve lo suficiente.

Se define el coeficiente de potencia de un aerogenerador como la fracción de potencia contenida en el viento incidente que es realmente capturada por el aerogenerador. Es una medida de la eficiencia de la máquina. (Mur, 2004)

Ecuación 10: Potencia real

$Pd=1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot Cp$, donde:

Pd: potencia disponible (HP)

ρ : densidad del viento (kg/m³)

A: área expuesta al viento incidente (m²)

V: velocidad del viento incidente (m/s)

El valor del coeficiente de potencia nunca puede alcanzar el 100% respecto a la potencia incidente. El valor máximo fue determinado por Betz, en el año 1927 a partir de la aplicación de la ecuación de cantidad de movimiento.(Mur, 2004)

Para definir el lugar donde se instalara el aerogenerador se debe tener en cuenta que mientras más alto respecto al terreno se instale, mejores resultados de viento se tendrán. La ventaja del estudio es que se trabaja con edificios.

Se investigó de algunos aerogeneradores disponibles en el mercado que se adapten a las necesidades del proyecto, a continuación el listado de algunas de las turbinas disponibles en el mercado con sus respectivas fichas técnicas:

1. Aerogenerador D: Precio Puesto en Guatemala (+ 50% del precio): Q 171,159.00

Tabla 34. Especificaciones técnicas aerogenerador D.

Especificaciones técnicas

Número de hélices	3
Diámetro	4 mts
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Contrario a las agujas del reloj
Sistemas de control	1) Regulador electrónico 2) Pasivo por inclinación

Continuación Tabla 34. Especificaciones técnicas aerogenerador D.

Especificaciones eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	6000 W
Voltaje	48, 150 v
RPM	@ 600
Regulador	48v 150 Amp. 120v. Conexión a red

Velocidad de viento

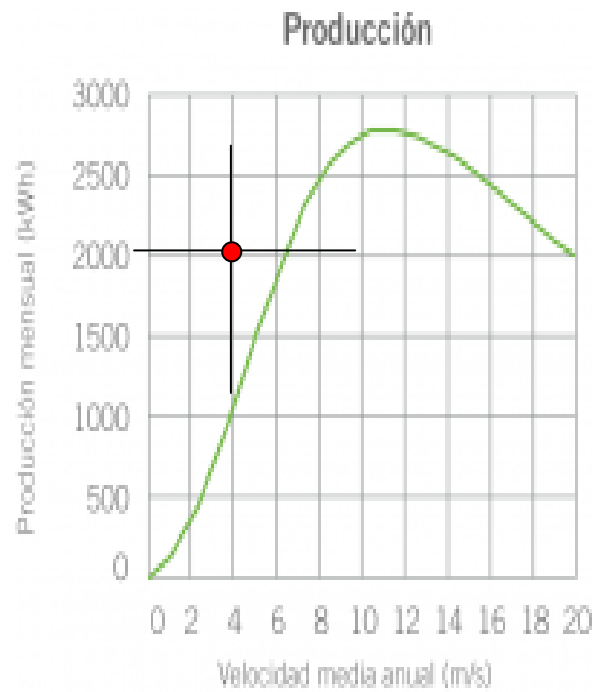
Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s

Especificaciones físicas

Peso aerogenerador	107 kg
Peso regulador	18 kg
Embalaje Dimensiones – peso	120 x 80 x 80 cm - 149 Kg 260 x 40 x 15 cm - 22 Kg
Garantía	3 años

Ilustración 66: Curva de potencia aerogenerador D.



Ilustración 67: Curva de producción aerogenerador D.

Utilizando la fórmula $P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$ y las conversiones necesarias, se tiene una producción de **1487.07 kW/h** con viento promedio anual de 4.53 m/s.

2. Aerogenerador E: Precio Puesto en Guatemala (+ 50% del precio): Q 90,398.70

Tabla 35. Especificaciones técnicas aerogenerador E.

Especificaciones técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	4 mts
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Contrario a las agujas del reloj
Sistemas de control	1) Regulador electrónico 2) Pasivo por inclinación

Continuación Tabla 35. Especificaciones técnicas aerogenerador E

Especificaciones eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes		
Imanes	Neodimio		
Potencia nominal	3000 W		
Voltaje	24, 48, 120 v		
RPM	@ 500		
Regulador	24v	150	Amp.
	48v	75	Amp.
	120v. Conexión a red		

Velocidad de viento

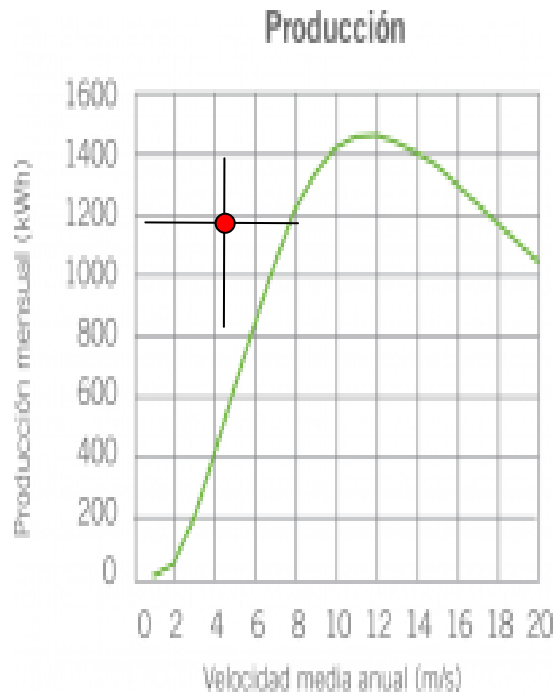
Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s

Especificaciones físicas

Peso aerogenerador	93 kg
Peso regulador	14 kg
Embalaje Dimensiones – peso	120 x 80 x 80 cm - 135 Kg 220 x 40 x 15 cm - 19 Kg
Garantía	3 años

Ilustración 68. Curva de potencia aerogenerador E.



Ilustración 69. Curva de producción aerogenerador E.

Utilizando la fórmula $P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$ y las conversiones necesarias, se tiene una producción de 615 kWh/año con viento promedio anual de 4.53 m/s.

3. Aerogenerador F: Precio Puesto en Guatemala (+ 50% del precio): Q 50,833.65

Tabla 36. Especificaciones técnicas aerogenerador F.

Especificaciones técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	2,86 mts
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Contrario a las agujas del reloj
Sistemas de control	1) Regulador electrónico 2) Pasivo por inclinación

Continuación Tabla 36. Especificaciones técnicas aerogenerador F

Especificaciones eléctricas

Alternador	Trifásico de imanes permanentes
Imanes	Neodimio
Potencia nominal	1500 W
Voltaje	24, 48, 120 v
RPM	@ 700
Regulador	24v 80 Amp. 48v 40 Amp. 120v. Conexión a red

Velocidad de viento

Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	12 m/s
Para frenado automático	14 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s

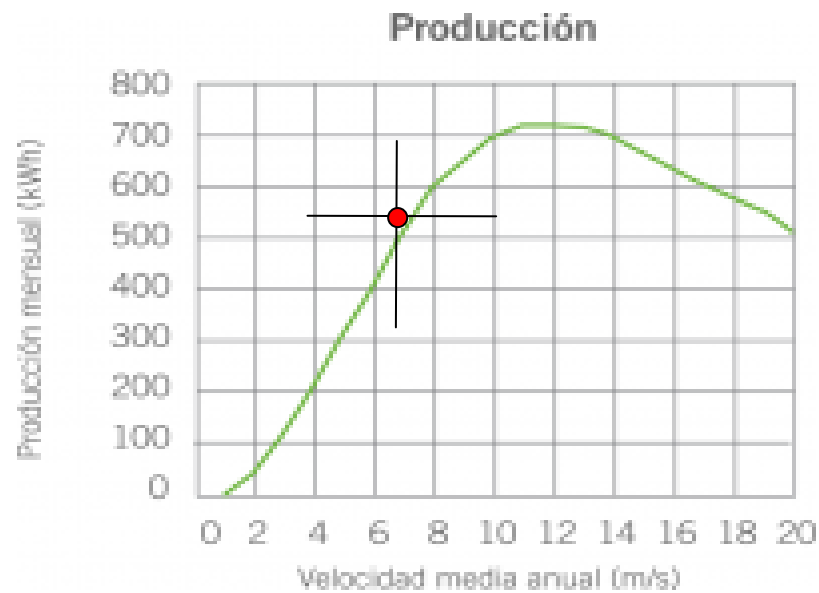
Especificaciones físicas

Peso aerogenerador	41 kg
Peso regulador	8 kg
Embalaje Dimensiones – peso	50 x 77 x 57 cm - 57 Kg 153 x 27 x 7 cm - 6,8 Kg
Garantía	3 años

Ilustración 70: Curva de potencia aerogenerador F.



Ilustración 71. Curva de producción aerogenerador F



Utilizando la fórmula $P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$ y las conversiones necesarias, se tiene una producción de **291.20 kW/h** con viento promedio anual de 4.53 m/s.

4. Aerogenerador G: Precio Puesto en Guatemala (+ 50% del precio): Q 45,843.00

Tabla 37. Especificaciones técnicas aerogenerador G.

Especificaciones técnicas

Número de hélices	2
Diámetro	2 mts
Material	Fibra de vidrio / carbono
Dirección de rotación	Contrario a las agujas del reloj
Sistemas de control	1) Regulador electrónico 2) Pasivo por inclinación

Continuación Tabla 37. Especificaciones técnicas aerogenerador G**Especificaciones eléctricas**

Alternador	Trifásico de imanes permanentes		
Imanes	Ferrita		
Potencia nominal	600 W		
Voltaje	12, 24, 48 v		
RPM	@ 1000		
Regulador	12v 24v 48v 15 Amp.	30	60Amp. Amp.

Velocidad de viento

Para arranque	3,5 m/s
Para potencia nominal	11 m/s
Para frenado automático	13 m/s
Máxima velocidad de viento	60 m/s

Especificaciones físicas

Peso aerogenerador	38 kg
Peso regulador	7 kg
Embalaje Dimensiones – peso	50 x 77 x 57 cm - 55 Kg 104 x 27 x 7 cm - 4,7 Kg
Garantía	3 años

Ilustración 72. Curva de potencia aerogenerador G.

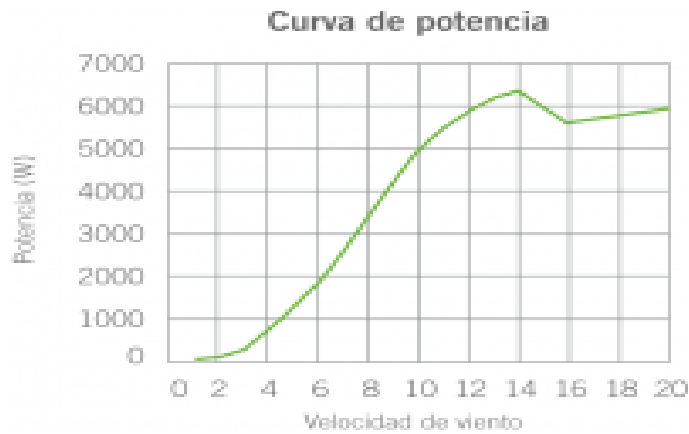
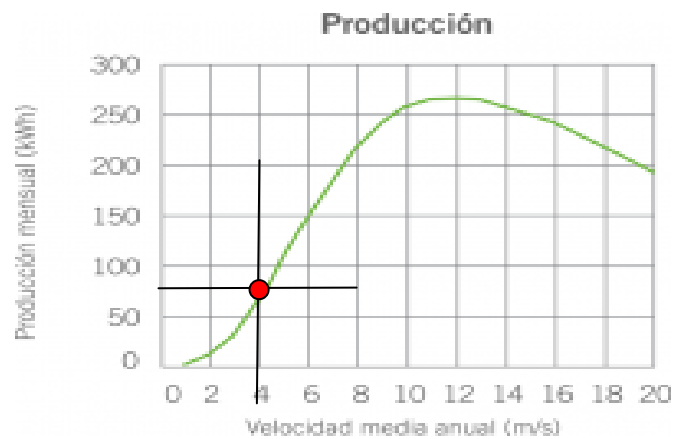


Ilustración 73: Curva de producción aerogenerador G.



Utilizando la fórmula $P_d = 1/2 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p$ y las conversiones necesarias, se tiene una producción de **108.20 kW/h** con viento promedio anual de 4.53 m/s.

Definir el aerogenerador ideal para cada sistema depende directamente de los resultados del análisis financiero y del viento disponible. Se trata de ajustar un poco la potencia y el costo de los aerogeneradores para conseguir resultados exitosos.

IX. ANÁLISIS FINANCIERO

Para desarrollar el análisis financiero a detalle, primero se describirá el comportamiento de la energía eléctrica en Guatemala con el fin de entender el funcionamiento de la misma un hogar. Luego, se muestra el procedimiento a través del cual se determinan las tarifas de energía en nuestro país, y finalmente bajo el perfil de usuario antes descrito en el capítulo VI se analizará el consumo energético por hogar.

A. Tarifas

Las tarifas en Guatemala se determinan a través de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), la Administración del Mercado Mayorista (AMM) y las autoridades del país. Cada tres meses las tarifas se ven modificadas principalmente por cambios en precios de combustibles a nivel mundial.

La AMM se encarga de determinar quién va a vender, en qué momento y la cantidad de energía para todos los generadores mayoristas que existen en el país, con el fin de satisfacer toda la demanda nacional.

Aun algunas de las generadoras logren tener precios de electricidad más bajos que otras, al consumidor final no se le cobra dependiendo la proveniencia de la energía sino sobre la tarifa establecida para el hogar durante tres meses. Luego de estos tres meses, se reajusta y cambia dependiendo de los factores mencionados anteriormente.

Entre las distintas tarifas que existen se encuentra la tarifa social y la tarifa de baja tensión, estas son determinadas si la potencia consumida es igual o menor a 300 kWh o mayor a 300 kWh respectivamente.

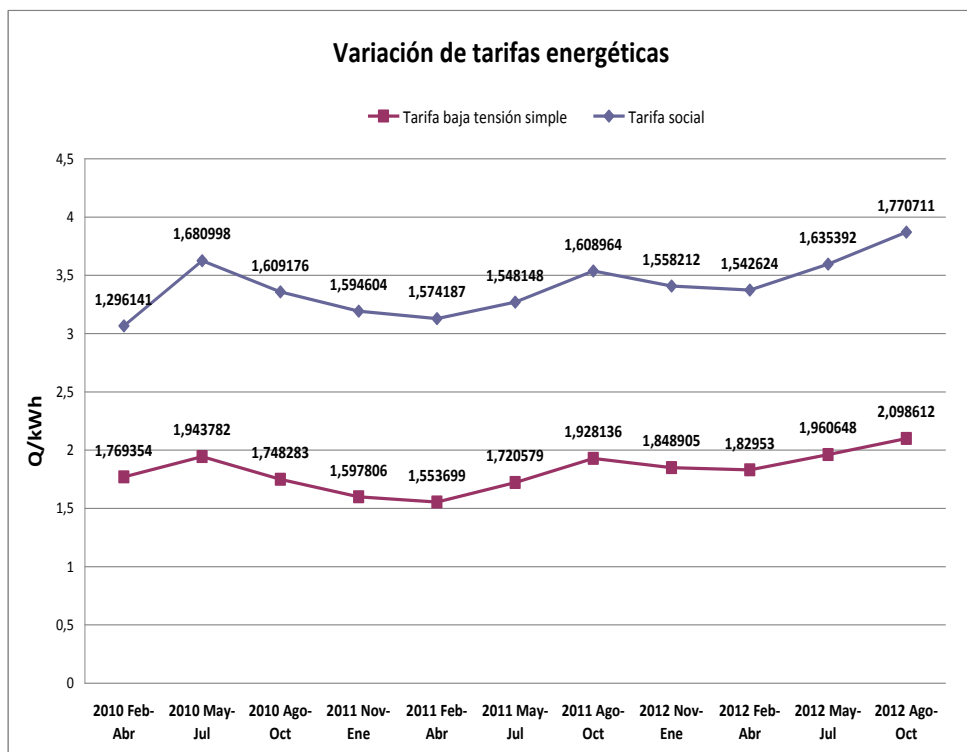
Adicionalmente, dentro de la tarifa social se encuentran las escalas a las que aplica el ajuste solidario del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), el ajuste reduce una parte del costo de la factura. Los rangos en los que aplica el ajuste solidario son:

- 0 a 50 kWh
- 51 a 100 kWh
- 101 a 300 kWh

La tarifa de baja tensión se cobra sin ningún tipo de descuento sobre lo consumido por el cliente, lo que representa una desventaja para cualquier usuario que sobrepasa de una tarifa a otra.

La siguiente Ilustración 74 muestra las tarifas registradas en los últimos dos años en Guatemala, así como el período al que corresponden.

Ilustración 74: Tendencia de tarifas energéticas en Guatemala.



B. Facturación

Las tarifas mencionadas dan un parámetro que indica dentro de que rango puede estar ubicado el hogar o perfil de usuario que se está analizando, para este caso en particular, se puede determinar el uso de la tarifa de baja tensión simple para la facturación ya que su consumo energético es de aproximadamente 650 kWh al mes.

Del mismo modo, debido a que el usuario consume en esta tarifa, tiene ciertas limitaciones las cuales representan que no se aplique el ajuste solidario que provee el INDE. A continuación se coloca el detalle de cargos que se incluirían en la factura del usuario, como fue mencionado anteriormente las tarifas solamente tienen vigencia durante tres meses, la utilizada para el siguiente ejemplo es la correspondiente a los meses de agosto – octubre del año 2012.

Tabla 38. Detalle de cargos en factura eléctrica sin ajuste solidario.

Detalle de cargos	Precios	Consumo kWh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario (Sin IVA)	Q 9.12		Q 9.12
Costo de energía kWh	Q 2.10	650	Q 1,364.10
Ajuste solidario INDE	No aplica	0	Q -
Total cargo			Q 1,373.22
Total IVA (12%)			Q 164.79
Tasa Municipal (13%)			Q 178.52
Total a pagar			Q 1,716.52

A continuación se presenta una tabla que demuestra cómo se factura mensualmente si el consumo del hogar está por debajo de 300 kWh, esto significa que se aplica la tarifa solidaria y ajuste solidario por parte del INDE.

Tabla 39. Detalle de cargos en factura eléctrica con ajuste solidario.

Detalle de cargos	Precios	Consumo kWh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario (Sin IVA)	Q 9.12		Q 9.12
Costo de energía kWh	Q 1.56	272	Q 424.42
Ajuste solidario INDE	-0.22	100	Q (22.07)
Total cargo			Q 411.47
Total IVA (12%)			Q 49.38
Tasa Municipal (13%)			Q 53.49
Total a pagar			Q 514.34

C. Cálculo de generación de potencia por aerogenerador para hogares

Los datos presentados en las siguientes tablas muestran, por cada uno de los meses, la potencia disponible dependiendo del tipo de aerogenerador y de las especificaciones de cada uno de ellos. También, se indica cuantos son los watts aprovechables por cada artefacto.

Como fue mencionado por la ley de Betz no es posible el rendimiento al 100%, afirma que la eficiencia máxima que se puede llegar a aprovechar es 59.25%. Por ello, para los siguientes casos se asumió un coeficiente de potencia equivalente a 45%.

Siguiendo esta idea, la ecuación 1 utilizada para el cálculo de esta potencia fue mencionada en el capítulo IV para indicar los kWh generados al mes por cada uno de los aerogeneradores, de esta manera, se busca determinar el ahorro que va a tener el mismo al indicar su funcionamiento en las condiciones de la Ciudad de nuestro país.

La densidad del aire en la Ciudad de Guatemala que se tomó para los cálculos de todos los aerogeneradores fue de 1.2081 kg/m^3 . Luego, cada uno de los datos toma referencia a las especificaciones de cada aerogenerador.

Como un ejemplo del cálculo de potencia, se procederá a detallar el mismo en el mes de enero para el aerogenerador A, con los datos correspondientes para la Ciudad de Guatemala.

$$\rho: 1.2081 \text{ kg/m}^3$$

$$A: 10.87 \text{ m}^2$$

$$V: 5.62 \text{ m/s a 50 metros de altura}$$

$$C_p: 45\%$$

La Ecuación 1 se completa de la siguiente manera:

— — — — —

Los 1,165.50 Watts indican la cantidad de potencia disponible, al multiplicarla por el coeficiente de potencia obtendremos la cantidad de energía aprovechable.

Luego de obtener la cantidad de energía aprovechable, se calcula lo que produciría al mes el aerogenerador. De la siguiente manera:

—————

De esta manera, son obtenidos los datos detallados en la Tabla 9, este solamente es el ejemplo para el primer mes con el aerogenerador A. Cada uno de los siguientes aerogeneradores varía sus resultados dependiendo de las velocidades del mes, así como de las especificaciones de cada uno de ellos.

Para hacer una comparación ordenada de los aerogeneradores escogidos, se colocarán en orden descendente según la capacidad de los mismos para generar potencia, esto brindará una mejor visión para compararlos debido a la diferencia en sus respectivas características.

Es importante mencionar que cada uno de los aerogeneradores va a tener un comportamiento distinto ya que como fue mencionado anteriormente, tienen distintas condiciones que hacen que aproveche el flujo de viento acoplado a su forma de operar.

Tabla 40. Generación eléctrica al mes aerogenerador A.

Mes	Velocidad promedio mensual (m/s)	Potencia disponible en el viento (Watts)	Watts aprovechables por el aerogenerador	kWh generados al mes
Enero	5.62	1165.50	524.47	378.00
Febrero	5.27	961.02	432.46	312.00
Marzo	4.86	753.72	339.17	245.00
Abril	4.49	594.35	267.46	193.00
Mayo	3.94	401.60	180.72	131.00
Junio	3.77	351.82	158.32	114.00
Julio	4.21	489.95	220.48	159.00
Agosto	4.03	429.75	193.39	140.00
Septiembre	3.52	286.37	128.87	93.00
Octubre	4.42	566.98	255.14	184.00
Noviembre	4.82	735.26	330.87	239.00
Diciembre	5.36	1011.11	455.00	328.00

Tabla 41. Generación eléctrica al mes aerogenerador B.

Mes	Velocidad promedio mensual (m/s)	Potencia disponible en el viento (Watts)	Watts aprovechables por el aerogenerador	kWh generados al mes
Enero	5.62	796.90	358.60	259.00
Febrero	5.27	657.09	295.69	213.00
Marzo	4.86	515.35	231.91	167.00
Abril	4.49	406.38	182.87	132.00
Mayo	3.94	274.59	123.56	89.00
Junio	3.77	240.56	108.25	78.00
Julio	4.21	335.00	150.75	109.00
Agosto	4.03	293.84	132.23	96.00
Septiembre	3.52	195.80	88.11	64.00
Octubre	4.42	387.67	174.45	126.00
Noviembre	4.82	502.73	226.23	163.00
Diciembre	5.36	691.33	311.10	224.00

Tabla 42. Generación eléctrica al mes aerogenerador C.

Mes	Velocidad promedio mensual (m/s)	Potencia disponible en el viento (Watts)	Watts aprovechables por el aerogenerador	kWh generados al mes
Enero	5.62	114.73	51.63	38.00
Febrero	5.27	94.60	42.57	31.00
Marzo	4.86	74.19	33.39	25.00
Abril	4.49	58.51	26.33	19.00
Mayo	3.94	39.53	17.79	13.00
Junio	3.77	34.63	15.58	12.00
Julio	4.21	48.23	21.70	16.00
Agosto	4.03	42.30	19.04	14.00
Septiembre	3.52	28.19	12.69	10.00
Octubre	4.42	55.81	25.12	19.00
Noviembre	4.82	72.38	32.57	24.00
Diciembre	5.36	99.53	44.79	33.00

A partir de los datos obtenidos anteriormente se realizará la comparación de estos contra el consumo de la casa o perfil de usuario seleccionado con el fin de determinar el la reducción en el consumo de energía de la misma, luego se analizarán los ahorros totales de la misma.

D. Ahorro con propuesta por aerogenerador para hogares

El hogar que se utilizará detallado en el perfil de usuario, consume 650 kWh al mes, por lo que la energía que se encuentra en la Tabla35 es la diferencia entre lo que se paga actualmente, lo que genera el aerogenerador en el caso especificado y lo que se tendría que pagar al mes ya con el aerogenerador instalado-

Aerogenerador A

Tabla 43. Consumo con aerogenerador A instalado.

Mes	Consumo actual de energía eléctrica	Generación con propuesta	Consumo de energía con aerogenerador instalado
Enero	650 kWh	378 kWh	272 kWh
Febrero	650 kWh	312 kWh	338 kWh
Marzo	650 kWh	245 kWh	405 kWh
Abril	650 kWh	193 kWh	457 kWh
Mayo	650 kWh	131 kWh	519 kWh
Junio	650 kWh	114 kWh	536 kWh
Julio	650 kWh	159 kWh	491 kWh
Agosto	650 kWh	140 kWh	510 kWh
Septiembre	650 kWh	93 kWh	557 kWh
Octubre	650 kWh	184 kWh	466 kWh
Noviembre	650 kWh	239 kWh	411 kWh
Diciembre	650 kWh	328 kWh	322 kWh

Aerogenerador B

Tabla 44. Consumo con aerogenerador B instalado.

Mes	Consumo actual de energía eléctrica		Generación con propuesta		Consumo de energía con aerogenerador instalado	
Enero	650	kWh	259	kWh	391	kWh
Febrero	650	kWh	213	kWh	437	kWh
Marzo	650	kWh	167	kWh	483	kWh
Abril	650	kWh	132	kWh	518	kWh
Mayo	650	kWh	89	kWh	561	kWh
Junio	650	kWh	78	kWh	572	kWh
Julio	650	kWh	109	kWh	541	kWh
Agosto	650	kWh	96	kWh	554	kWh
Septiembre	650	kWh	64	kWh	586	kWh
Octubre	650	kWh	126	kWh	524	kWh
Noviembre	650	kWh	163	kWh	487	kWh
Diciembre	650	kWh	224	kWh	426	kWh

Aerogenerador C

Tabla 45. Consumo con aerogenerador C instalado.

Mes	Consumo actual de energía eléctrica		Generación con propuesta		Consumo de energía con aerogenerador instalado	
Enero	650	kWh	38	kWh	612	kWh
Febrero	650	kWh	31	kWh	619	kWh
Marzo	650	kWh	25	kWh	625	kWh
Abril	650	kWh	19	kWh	631	kWh
Mayo	650	kWh	13	kWh	637	kWh
Junio	650	kWh	12	kWh	638	kWh
Julio	650	kWh	16	kWh	634	kWh
Agosto	650	kWh	14	kWh	636	kWh
Septiembre	650	kWh	10	kWh	640	kWh
Octubre	650	kWh	19	kWh	631	kWh
Noviembre	650	kWh	24	kWh	626	kWh
Diciembre	650	kWh	33	kWh	617	kWh

Luego de presentar lo que consumiría a fin de mes cada uno de los aerogeneradores, se puede observar cuál sería la diferencia entre el costo que se paga actualmente y lo que se debería de atribuir a fin de mes con la propuesta instalada.

En la siguiente tabla se observa cada uno de los meses pertenecientes al año junto con el consumo de energía a pagar en el mes, se muestra el monto a pagar en el escenario actual con un consumo de 650 kWh y en el propuesto con la adopción del aerogenerador. En la parte inferior de la tabla se puede ver el costo total anual con actual y con la propuesta instalada. Por último, se muestra el porcentaje ahorrado al año conjunto con el dato numérico.

Aerogenerador A

Tabla 46. Ahorro con propuesta aerogenerador A.

Febrero	Costo	Q	1.83
	Casa 1	200 mts	
	Consumo		339
Cargo Fijo Por Usuario			
	Costo Primeros 103 KWh	Q	1.83
	Ajuste Solidario INDE	Q	-
	Costo de Energía KWh restantes	Q	-
Total Cargo			
Total IVA (12%)			
	Tasa Municipal		13%
Total a Pagar			

Aerogenerador B

Tabla 47. Ahorro con propuesta aerogenerador B.

Mes	Energía	Costo actual	Costo con propuesta
Enero	391 kWh	Q 1,513.64	Q 915.05
Febrero	437 kWh	Q 1,497.89	Q 1,010.78
Marzo	483 kWh	Q 1,497.89	Q 1,115.98
Abril	518 kWh	Q 1,497.89	Q 1,196.02
Mayo	561 kWh	Q 1,604.43	Q 1,386.30
Junio	572 kWh	Q 1,604.43	Q 1,413.26
Julio	541 kWh	Q 1,604.43	Q 1,337.29
Agosto	554 kWh	Q 1,716.52	Q 1,464.69
Septiembre	586 kWh	Q 1,716.52	Q 1,548.63
Octubre	524 kWh	Q 1,716.52	Q 1,385.99
Noviembre	487 kWh	Q 1,513.64	Q 1,136.92
Diciembre	426 kWh	Q 1,513.64	Q 995.94
Total		Q 18,997.43	Q 14,906.86
Ahorro total		21.53%	Q 4,090.57

Aerogenerador C

Tabla 48. Ahorro con propuesta aerogenerador C.

Mes	Energía	Costo actual	Costo con propuesta
Enero	612 kWh	Q 1,513.64	Q 1,425.81
Febrero	619 kWh	Q 1,497.89	Q 1,427.00
Marzo	625 kWh	Q 1,497.89	Q 1,440.72
Abril	631 kWh	Q 1,497.89	Q 1,454.44
Mayo	637 kWh	Q 1,604.43	Q 1,572.57
Junio	638 kWh	Q 1,604.43	Q 1,575.02
Julio	634 kWh	Q 1,604.43	Q 1,565.21
Agosto	636 kWh	Q 1,716.52	Q 1,679.80
Septiembre	640 kWh	Q 1,716.52	Q 1,690.29
Octubre	631 kWh	Q 1,716.52	Q 1,666.68
Noviembre	626 kWh	Q 1,513.64	Q 1,458.17
Diciembre	617 kWh	Q 1,513.64	Q 1,437.37
Total		Q 18,997.43	Q 18,393.07
Ahorro total		3.18%	Q 604.36

Después de analizar cada uno de los aerogeneradores y su respectivo ahorro con respecto a los kWh consumidos por el hogar y sus características, sería muy sencillo tomar una decisión basada en estos resultados para instalar un sistema en casa, sin embargo, la inversión inicial representa un dato importante que determinará la efectividad que tenga el sistema al pasar los años.

E. Ahorro en emisiones de CO₂ aerogeneradores para hogares

Los aerogeneradores eólicos no emiten ningún tipo de efecto nocivo al ambiente, debido a esto, el integrar uno de estos artefactos en los hogares conlleva el reducir en gran medida la emisión de contaminantes a la atmósfera.

Según La Comisión Europea al generar 650 kWh se emiten 422.37 Kg CO₂ contaminantes al ambiente. Es decir, el perfil de usuario seleccionado para el presente trabajo emite Kg CO₂ proporcionales a recorrer 3,016.93 Km en un carro impulsado por gasolina o su equivalente 2,639.81Km en un carro diesel.

En la siguiente tabla se muestran los kWh promedio generados de forma mensual según cada uno de los modelos seleccionados para el análisis, es importante notar que cada kWh producido por un aerogenerador conllevará una reducción en Kg CO₂ emitidos por un hogar que utiliza el servicio de la Empresa Eléctrica para obtención de la energía.

Tabla 49. Aerogeneradores - comparación ahorro kg CO₂.

Aerogenerador	Promedio (KWh/mes)	Kg CO ₂ / mes	Km (carro de Gasolina)	Km (carro de diesel)
A	209.67	134.21	958.65	838.81
B	143.03	156.92	1120.88	980.77
C	21.16	0.52	3.75	3.28

Para tener una idea de la reducción en emisiones nocivas que produce el incorporar aerogeneradores en los hogares, se tomó como base datos obtenidos de la Comisión Europea para establecer una relación en la emisión de Kg CO₂ producidos por vehículos bajo cierto recorrido en kilometraje con los Kg CO₂ sin emitir por cada modelo de aerogenerador bajo el perfil de usuario seleccionado con la adopción del mismo. Estos datos se encuentran en la tabla 41.

El aerogenerador A hasta este momento se veía como el aerogenerador que más beneficio podría brindar en términos de generación de potencia, sin embargo, como fue mostrado anteriormente en la tabla de emisiones de CO₂ el aerogenerador B evita más contaminación que el aerogenerador A, por lo que hay que tomarlo en cuenta al tomar una decisión sobre cuál de estos es el más conveniente.

F. Flujo de efectivo por aerogenerador para hogares

A continuación se muestra la inversión inicial estimada para cada uno de los aerogeneradores bajo estudio. Es importante tomar en cuenta que este valor total de la inversión será un factor determinante en la establecer el período de recuperación de la inversión.

Aerogenerador A

Tabla 50. Inversión inicial aerogenerador A.

Inversión Inicial	
Costo unidad	
	Costo unidad (puesto en Guatemala) Q 96,741.06
	Costo de torre (puesto en Guatemala) Q 9,660.22
	<u>Total</u> Q 106,401.28
Costo de instalación	
	Mano de obra Q 6,360.04
	Materiales Q 1,122.36
	<u>Total</u> Q 7,482.40
	TOTAL INVERSIÓN Q 113,883.68

Aerogenerador B

Tabla 51. Inversión inicial aerogenerador B.

Inversión Inicial		
Costo unidad		
	Costo unidad (puesto en Guatemala)	Q 32,565.97
	Costo de torre (puesto en Guatemala)	Q 9,660.22
	Total	Q 42,226.18
Costo de instalación	Mano de obra	Q 2,063.23
	Materiales	Q 364.09
	Total	Q 2,427.32
	TOTAL INVERSIÓN	Q 44,653.50

Aerogenerador C

Tabla 52. Inversión inicial aerogenerador C.

Inversión Inicial		
Costo unidad		
	Costo unidad (puesto en Guatemala)	Q 8,574.87
	Costo de torre (puesto en Guatemala)	Q 9,660.22
	Total	Q 18,235.08
Costo de instalación	Mano de obra	Q 569.22
	Materiales	Q 100.46
	Total	Q 669.67
	TOTAL INVERSIÓN	Q 18,904.76

A continuación se presenta el flujo de efectivo de los tres aerogeneradores seleccionados, a partir de esto se pretende establecer el periodo de recuperación de la inversión y obtención de ganancias. En estos flujos, la columna referente a ahorro, indica los datos finales obtenidos en las Tablas 38, 39 y 40 según sus respectivos aerogeneradores.

Un aspecto importante es que cada uno de los aerogeneradores requiere un costo de mantenimiento, como fue indicado en sus especificaciones técnicas, por lo que dentro del flujo de efectivo está colocado este valor.

Aerogenerador A

Tabla 53. Flujo de efectivo aerogenerador A.

AÑO	INVERSIÓN INICIAL	AHORRO	MANTENIMIENTO	FLUJO DE EFECTIVO
1	Q (113,883.68)	Q 6,095.81		Q (107,787.87)
2	Q (107,787.87)	Q 6,095.81		Q (101,692.06)
3	Q (101,692.06)	Q 6,095.81		Q (95,596.25)
4	Q (95,596.25)	Q 6,095.81		Q (89,500.44)
5	Q (89,500.44)	Q 6,095.81		Q (83,404.63)
6	Q (83,404.63)	Q 6,095.81		Q (77,308.82)
7	Q (77,308.82)	Q 6,095.81		Q (71,213.01)
8	Q (71,213.01)	Q 6,095.81		Q (65,117.20)
9	Q (65,117.20)	Q 6,095.81		Q (59,021.39)
10	Q (59,021.39)	Q 6,095.81		Q (52,925.58)
11	Q (52,925.58)	Q 6,095.81		Q (46,829.77)
12	Q (46,829.77)	Q 6,095.81		Q (40,733.96)
13	Q (40,733.96)	Q 6,095.81		Q (34,638.15)
14	Q (34,638.15)	Q 6,095.81		Q (28,542.34)
15	Q (28,542.34)	Q 6,095.81		Q (22,446.53)
16	Q (22,446.53)	Q 6,095.81		Q (16,350.72)
17	Q (16,350.72)	Q 6,095.81		Q (10,254.91)
18	Q (10,254.91)	Q 6,095.81		Q (4,159.10)
19	Q (4,159.10)	Q 6,095.81		Q 1,936.71
20	Q 1,936.71	Q 6,095.81	Q (9,721.28)	Q (1,688.76)
21	Q (1,688.76)	Q 6,095.81		Q 4,407.05
22	Q 4,407.05	Q 6,095.81		Q 10,502.86
23	Q 10,502.86	Q 6,095.81		Q 16,598.67
24	Q 16,598.67	Q 6,095.81		Q 22,694.48
25	Q 22,694.48	Q 6,095.81		Q 28,790.29

Con este flujo de efectivo podemos notar que la recuperación de la inversión para el aerogenerador A se da en el año veintiuno, es decir, a partir de este año se empiezan a obtener ganancias vrs la inversión efectuada.

Aerogenerador B

Tabla 54. Flujo de efectivo aerogenerador B.

AÑO	INVERSIÓN INICIAL	AHORRO	MANTENIMIENTO	FLUJO DE EFECTIVO
1	Q (44,653.50)	Q 4,090.57		Q (40,562.94)
2	Q (40,562.94)	Q 4,090.57		Q (36,472.37)
3	Q (36,472.37)	Q 4,090.57		Q (32,381.80)
4	Q (32,381.80)	Q 4,090.57		Q (28,291.23)
5	Q (28,291.23)	Q 4,090.57	Q (2,106.37)	Q (26,307.03)
6	Q (26,307.03)	Q 4,090.57		Q (22,216.46)
7	Q (22,216.46)	Q 4,090.57	Q (1,196.91)	Q (19,322.80)
8	Q (19,322.80)	Q 4,090.57		Q (15,232.23)
9	Q (15,232.23)	Q 4,090.57		Q (11,141.66)
10	Q (11,141.66)	Q 4,090.57	Q (2,106.37)	Q (9,157.46)
11	Q (9,157.46)	Q 4,090.57		Q (5,066.89)
12	Q (5,066.89)	Q 4,090.57		Q (976.32)
13	Q (976.32)	Q 4,090.57		Q 3,114.25
14	Q 3,114.25	Q 4,090.57	Q (1,196.91)	Q 6,007.91
15	Q 6,007.91	Q 4,090.57	Q (2,106.37)	Q 7,992.11
16	Q 7,992.11	Q 4,090.57		Q 12,082.68
17	Q 12,082.68	Q 4,090.57		Q 16,173.25
18	Q 16,173.25	Q 4,090.57		Q 20,263.82
19	Q 20,263.82	Q 4,090.57		Q 24,354.39
20	Q 24,354.39	Q 4,090.57	Q (2,106.37)	Q 26,338.59
21	Q 26,338.59	Q 4,090.57	Q (1,196.91)	Q 29,232.25
22	Q 29,232.25	Q 4,090.57		Q 33,322.82
23	Q 33,322.82	Q 4,090.57		Q 37,413.39
24	Q 37,413.39	Q 4,090.57		Q 41,503.96
25	Q 41,503.96	Q 4,090.57	Q (2,106.37)	Q 43,488.16

Después de las proyecciones realizadas para el Aerogenerador B, es importante notar que este a pesar de no ser el que tenga mayor rendimiento en generaciones de potencia, logra recuperar la inversión antes que el aerogenerador A, en el año trece.

Aerogenerador C

Tabla 55. Flujo de efectivo aerogenerador C.

AÑO	INVERSIÓN INICIAL	AHORRO	MANTENIMIENTO	FLUJO DE EFECTIVO
1	Q (18,904.76)	Q 604.36		Q (18,300.40)
2	Q (18,300.40)	Q 604.36		Q (17,696.04)
3	Q (17,696.04)	Q 604.36		Q (17,091.68)
4	Q (17,091.68)	Q 604.36		Q (16,487.32)
5	Q (16,487.32)	Q 604.36	Q (1,196.91)	Q (17,079.87)
6	Q (17,079.87)	Q 604.36		Q (16,475.51)
7	Q (16,475.51)	Q 604.36	Q (1,603.50)	Q (17,474.65)
8	Q (17,474.65)	Q 604.36		Q (16,870.29)
9	Q (16,870.29)	Q 604.36		Q (16,265.93)
10	Q (16,265.93)	Q 604.36	Q (1,196.91)	Q (16,858.48)
11	Q (16,858.48)	Q 604.36		Q (16,254.12)
12	Q (16,254.12)	Q 604.36		Q (15,649.76)
13	Q (15,649.76)	Q 604.36		Q (15,045.40)
14	Q (15,045.40)	Q 604.36	Q (1,603.50)	Q (16,044.54)
15	Q (16,044.54)	Q 604.36	Q (1,196.91)	Q (16,637.09)
16	Q (16,637.09)	Q 604.36		Q (16,032.73)
17	Q (16,032.73)	Q 604.36		Q (15,428.37)
18	Q (15,428.37)	Q 604.36		Q (14,824.01)
19	Q (14,824.01)	Q 604.36		Q (14,219.65)
20	Q (14,219.65)	Q 604.36	Q (1,196.91)	Q (14,812.20)
21	Q (14,812.20)	Q 604.36	Q (1,603.50)	Q (15,811.34)
22	Q (15,811.34)	Q 604.36		Q (15,206.98)
23	Q (15,206.98)	Q 604.36		Q (14,602.62)
24	Q (14,602.62)	Q 604.36		Q (13,998.26)
25	Q (13,998.26)	Q 604.36	Q (1,196.91)	Q (14,590.81)

Debido al poco tamaño y a la poca generación de electricidad que tiene el aerogenerador C, se puede notar que la inversión no se recupera y es recurrente, ya que la generación a través de los años junto con los costos de mantenimiento hace que no se logre obtener una recuperación.

La Tasa Interna de Retorno (TIR) calculada para los aerogeneradores se presentará en la siguiente tabla, es importante mencionar que el cálculo para el caso C, fue descartado debido al poco ahorro que el mismo representa.

Tabla 56. Tasa Interna de Retorno Aerogeneradores.

Aerogenerador	TIR
A	1.89%
B	6.29%

La tasa interna de retorno comparada con la tasa mínima aceptada de rendimiento (TMAR) nos indicará la viabilidad que tendrá un proyecto para su inversión.

La TMAR se calcula a través del interés brindado por el Banco de Guatemala (BANGUAT), el cual es equivalente al 5%, y el valor estimado de la inflación, el cual es 3.35%. La ecuación relaciona estos dos datos para obtener el valor final de la TMAR.

Ecuación 11. Cálculo de TMAR

La comparación entre la TIR y la TMAR obtenido en cualquiera de los dos casos nos indica que la segunda es mayor, en todos los casos para buscar la rentabilidad o la viabilidad de un proyecto. Si la TIR es mayor a la TMAR, se indica que sería un proyecto atractivo para cualquier inversionista.

G. Escenarios para bombeo de agua

Para conocer la factibilidad económica del estudio y para que sea de más alcance, se evaluarán 3 escenarios. Con el fin de obtener mejores resultados con algunos límites de factibilidad. Se escogerán las condiciones límites, o sea, el sistema que necesite menos energía y el que necesite más energía. Estos escenarios difieren por el total de niveles y el nivel dinámico de su pozo.

Para el siguiente análisis se trabaja con los flujos de efectivo que el sistema tendrá cada año. Así se definirá el tiempo de recuperación de la inversión. Básicamente se tienen dos categorías que participan en dicho flujo. Las positivas y las negativas, o sea, los ingresos o ahorros y los pagos e inversiones respectivamente.

Luego se podrá finalmente definir que aerogenerador es el conveniente para cada escenario. En algunos casos puede darse la necesidad de contar con un par de turbinas o tomar la decisión de instalar uno más grande.

Un aspecto importante es que se utiliza un sistema conectado a la red de distribución, o sean conectados a un contador. Este contador es independiente y solo se mide la energía utilizada por la bomba de agua.

1. Escenario A: Escenario tomado de la Tabla 22 a continuación:

Tabla 57. kWh para un edificio de 3 niveles con nivel dinámico del pozo de 400 ft.

Niveles de edificio	No. de apartamentos	kWh (mensuales)
3	12	180.1707927

El valor que interesa de la tabla 57 es el consumo energético que es de 180.18 kWh. Se debe conocer el costo monetario de esta cifra para el flujo de efectivo. Para esto se utilizó una hoja de cálculo que provee el CNEE en su página oficial de internet. Para este caso, el costo total por el consumo de 180.18 kWh lo muestra la figura 15.

Ilustración 75. Factura mensual de energía para un consumo de 180 kWh.

Distribuidora

Consumo Energía (Kwh)

Tasa municipal Porcentual

Fecha lectura actual
9 October 2012

Fecha lectura anterior
9 September 2012

Detalle de cargos	Precios	Consumo Kwh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario	9.12494		9.12
Costo de energia primeros 100kwh	1.770711	100 kwh	177.07
Ajuste solidario INDE	-0.220711	100 kwh	-22.07
Costo de energia kwh restantes	1.770711	80 kwh	141.66
Total Cargo			305.78
Total IVA			36.69
Tasa municipal			0.00
TOTAL A PAGAR			342.47

Fuente: CNEE

Como se observa, la cuota mensual que se debe pagar es de **Q342.47** y la tarifa impuesta es la “Tarifa Social”, por lo tanto el ajuste solidario INDE aplica. Para el flujo de efectivo se necesitan datos anuales, por eso la tabla 50 muestra la cuota anual eléctrica que consume la bomba de agua.

Tabla 58: Tarifa Eléctrica Escenario A (Sin aerogenerador).

Cuota Eléctrica Mensual	Q342.47
Cuota Eléctrica Anual	Q4,109.64

Como siguiente paso, se debe analizar que aerogenerador satisface las necesidades del sistema. Se necesita un aerogenerador que produzca los 180.18 kWh para resultados óptimos. Esta característica la cumple el “Aerogenerador F” de la lista que se proporcionó capítulos atrás. La tabla 51 lista una serie de datos económicos del aerogenerador propuesto.

Como se logra apreciar en la tabla 51, la energía que se produce sobrepasa la energía que se requiere. Esta diferencia de energía es de 111.02 kWh, la cual como se ha dicho anteriormente no se puede almacenar. Por lo tanto esta energía se podrá aprovechar para la utilización de otros aparatos o bien se pierde. Esta diferencia se puede evitar solamente eligiendo un aerogenerador menor pero en la lista propuesta de aerogeneradores el que le sigue no alcanza la energía requerida.

Tabla 59: Datos aerogenerador para Escenario A.

Aerogenerador	C	
Valor Aerogenerador	Q 50,833.65	
Mantenimiento anual	Q508.34	
Instalación	Q 2,541.68	
Energía producida	291.2	KWh
Energía consumible	180.18	KWh
Valor monetario Energía utilizada mensual	Q342.47	

Se puede proseguir con el análisis de flujo. El flujo de efectivo para este caso se muestra en la tabla 53. Se hizo para un tiempo de 10 años, para otros casos este puede variar ya que depende de que tan rápido se recupere la inversión.

Una vez hecho el análisis se puede observar que hay resultados muy favorables para este escenario.

En lo que se refiere a la recuperación de la inversión, el aerogenerador se paga en el transcurso del 15vo año. A partir del final del año 15 el aerogenerador, no es que el aerogenerador genere ganancias, sino que significa un ahorro de toda la energía utilizada desde el quinceavo año en adelante; es decir, se ahorra un total de Q3,601.30 anuales. Es importante mencionar que en promedio la vida de estas turbinas es de aproximadamente 20 años. Por lo que este escenario no resulta factible económicamente.

Otra solución para este escenario, aunque no es la óptima, es instalar dos aerogeneradores pero de menor tamaño (aerogenerador G). Se realizó el análisis pero los resultados no son tan favorables, ya que al comprar dos aerogeneradores G se dobla la inversión inicial. En la tabla 52 se muestra la inversión y los valores que se duplican si elige utilizar dos turbinas.

Tabla 60: Datos aerogenerador para Escenario C
(2 aparatos).

Aerogenerador	D (X2)
Valor Aerogenerador	Q 91,686.00
Mantenimiento anual	Q 916.86
Instalación	Q 4,584.30

En la ilustración 14 se muestra como la tarifa eléctrica varía conforme el tiempo. El análisis financiero no toma en cuenta este cambio en el costo de la energía eléctrica. Sin embargo, esta cifra en los últimos dos años ha variado de tal forma que no significa cambios drásticos en los resultados del estudio. Es por eso que no se tomó en cuenta este cambio pero sí se advierte.

2. Escenario B. Escenario tomado de la Tabla 23 a continuación:

Este escenario analiza un caso donde las condiciones son intermedias. De este caso en adelante se reducirá algunas explicaciones las cuales se hicieron en el escenario anterior. No obstante, se discutirán los resultados de la misma forma.

Las variables de este caso se muestran en la tabla 54, en la cual se observa que se necesita suplir una energía de 840.70kWh.

Tabla 62. KWh para un edificio de 10 niveles con nivel dinámico del pozo de 500 ft

Niveles de edificio	No. de apartamentos	kWh (mensuales)
10	40	840.69

Para el cálculo de la factura mensual para este escenario se vuelve a utilizar la hoja de cálculo que proporciona el CNEE. La figura 16 muestra los detalles del costo de energía eléctrica mensual sin la instalación de aerogeneradores.

Debido a que la demanda de energía es considerablemente más alta que el escenario pasado, para producirla se tiene 2 opciones. La primera opción es instalar 3 aerogeneradores C y la segunda es la de utilizar un aerogenerador B y un aerogenerador C. La segunda opción es la más conveniente no solo porque la inversión es menor sino que la instalación y el mantenimiento también.

Con esta combinación se logra generar un monto total de 906.20 KWh Se produce más energía de la que se requiere al igual que el Escenario A. Para el analisis de cash flow es necesario conocer algunos costos de los aerogeneradores B y C. La tabla # 26 lista dichos valores.

Ilustración 76. Factura mensual de energía para un consumo de 840 kWh.

Distribuidora ▼

Consumo Energía (Kwh)

Tasa municipal Porcentual

Fecha lectura actual
9 October 2012

Fecha lectura anterior
9 September 2012

Detalle de cargos	Precios	Consumo Kwh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario	9.12494		9.12
Costo de energía kwh	2.098612	840 kwh	1,762.83
Ajuste solidario INDE	No Aplica	0 kwh	0.00
Total Consumo kwh		840 kwh	0.00
Total Cargo			1,771.95
Total IVA			212.63
Tasa municipal			0.00
TOTAL A PAGAR			1,984.58

Fuente: CNEE

Tabla 63. Datos aerogeneradores (1 aerogenerador F y 1 aerogenerador)

Aerogenerador	F Y E	
Valor Aerogenerador	Q 141,232.35	
Mantenimiento anual	Q 1,412.32	
Instalación	Q 7,061.62	
Energía producida	906.2	KWh
Energía consumible	840.69	KWh
Valor monetario Energía utilizada mensual	Q1,984.58	

La Tabla 56 muestra los detalles del analisis de flujo de efectivo durante los proximos 7 años.

Tabla 64: CASH FLOW ESCENARIO B.

	años									
	0	1	2	3	4	5	6	7	totales	
Energía eléctrica utilizable generada por	Q -	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 23,814.96	Q 166,704.72
Mantenimiento		-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q1,412.32	-Q9,886.26
Turbina	-Q141,232.35	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -	-Q141,232.35
Instalación	-Q7,061.62									-Q7,061.62
total	-Q148,293.97	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q 22,402.64	Q8,524.49
Balance		Q (125,891.33)	Q (103,488.69)	Q (81,086.06)	Q (58,683.42)	Q (36,280.79)	Q (13,878.15)	Q 8,524.49		

Después de estudiar la Tabla 56 se puede concluir que el escenario tiene resultados muy atractivos y mejores que el Escenario A". Como era de esperar las cantidades en todos los renglones incrementan considerablemente. Los costos que dependen del aerogenerador en sí se incrementaron . Asi mismo, la cantidad de energía cubierta por estos se incrementó.

Para este caso los resultados han sido muy buenos. Se logra un ahorro anual de Q22,873.41 y se logra recuperar la inversión inicial en 7 años.

3. Escenario C. Escenario tomado de la tabla 25 a continuación:

En este caso particular se determinará la factibilidad del sistema que requiere de más energía.

En la Tabla 57 se listan algunas características y se observa que la energía necesaria para suplir el edificio es de 1787.05 kWh.

Tabla 65. kWh para un edificio de 15 niveles con nivel dinámico del pozo de 700 ft.

Niveles de edificio	No. de apartamentos	kWh (mensuales)
15	60	1787.05

Se realizará una combinación de aerogeneradores como se hizo en el escenario B. No serán los mismos por razones obvias. Por la demanda alta de energía se necesita un aerogenerador D y otro aerogenerador F. La potencia que se logra con estos dos aparatos con los vientos actuales se obtiene que la energía total es de **1778 kWh**, su costo monetario se muestra en la ilustración 17.

Aun así no se alcanza la energía total que demanda el sistema, pero se llega casi a la totalidad. La diferencia (dif) es de 9.051 kW/h; un valor casi insignificativo pero que entra en el cálculo. La figura # 18 muestra el costo del diferencial energético.

Ilustración 77. Monto de ahorro energético que cubre los aerogeneradores.

Distribuidora

Consumo Energía (Kwh)

Tasa municipal Porcentual

Fecha lectura actual

Fecha lectura anterior

Detalle de cargos	Precios	Consumo Kwh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario	9.12494		9.12
Costo de energía kwh	2.098612	1778 kwh	3,731.33
Ajuste solidario INDE	No Aplica	0 kwh	0.00
Total Consumo kwh		1778 kwh	0.00
Total Cargo			3,740.45
Total IVA			448.85
Tasa municipal			0.00
TOTAL A PAGAR			4,189.30

Ilustración 78. Monto de ahorro energético que no logran cubrir los aerogeneradores

Distribuidora

Consumo Energía (Kwh)

Tasa municipal Porcentual

Fecha lectura actual

Fecha lectura anterior

Detalle de cargos	Precios	Consumo Kwh	Importe Q.
Cargo fijo por usuario	9.12494		9.12
Costo de energía kwh	1.770711	10 kwh	17.71
Ajuste solidario INDE	-1.270711	10 kwh	-12.71
Total Consumo kwh		10 kwh	0.00
Total Cargo			14.12
Total IVA			1.69
Tasa municipal			0.00
TOTAL A PAGAR			15.82

Tabla 66. Cash flow escenario C.

		0	1	2	3	4	5
Anualidades	Energía eléctrica utilizable generada	Q -	Q 50,271.60	Q 50,271.60	Q 50,271.60	Q 50,271.60	Q 50,271.60
	Dif		(Q189.84)	(Q189.84)	(Q189.84)	(Q189.84)	(Q189.84)
	Mantenimiento	Q -	-Q2,219.93	-Q2,219.93	-Q2,219.93	-Q2,219.93	-Q2,219.93
	Turbina	-Q221,992.65	Q -	Q -	Q -	Q -	Q -
	Instalacion	-Q11,099.63					
		-Q233,092.28	Q 47,861.83	Q 47,861.83	Q 47,861.83	Q 47,861.83	Q 47,861.83
TOTAL	Balance		Q(185,230.45)	Q(137,368.62)	Q (89,506.78)	Q (41,644.95)	Q 6,216.89

En la la Tabla 66 se pueden observar muy buenos resultados. Lo mas importante es que la inversion se logra recuperar y para finales del quinto año se logra recuperar la inversion, también se determina que el ahorro anual es de Q 47,861.83. Esta cifra es la cantidad en valor monetario que cubre los dos aerogeneradores instalados. Este escenario es el más atractivo.

H. Escenarios con energía solar

Es difícil tomar una decisión sobre realizar una inversión para la construcción e implementación de una energía verde. A pesar de contar con la tecnología y los recursos necesarios para obtener resultados garantizados, siempre llegan a surgir dudas o inquietudes. Es por eso que se desea guiar y aconsejar a aquella persona que decida iniciar un nuevo proyecto sin importar la magnitud del mismo.

Es aconsejable que se tenga una idea concreta de lo que se desea obtener, por lo tanto no está demás crear el perfil del proyecto para detallar si vale la pena tanto económicamente como técnicamente. Luego se procede a realizar un análisis de prefactibilidad para evaluar las distintas opciones que existen y de esa manera determinar la viabilidad y rentabilidad. En el estudio de factibilidad se analiza el mercado, la rentabilidad económico-financiera y la conveniencia socio ambiental. Es importante analizar el impacto ambiental de la construcción del proyecto y seguir los acuerdos gubernativos. Por último se define el diseño que tendrá el proyecto y en base a este diseño se realiza el cierre financiero para poder proceder a la construcción del proyecto.

Como parte de los requisitos para poder implementar un sistema de generación de energía a través de recursos renovables se deben seguir las normativas emitidas por la ley. En el Anexo A se detallan dichas normativas y en el Anexo B se detallan las entidades a las que se debe dirigir toda persona interesada en implementar un proyecto de generación de energía renovable para gestionar y

promocionar el proyecto. Además existen formularios para los usuarios auto productores que se deben completar para registro de la Empresa Eléctrica de Guatemala, dicho formulario se encuentra en el Anexo I. El proceso para la autorización de usuarios con excedentes de energía se muestra en el Anexo J y en el Anexo K se muestra una guía para toda persona interesada en ser un usuario auto productor con excedente de energía.

Para la implementación de un proyecto eólico grande se deben tomar en cuenta los aspectos económicos. Entre ellos el costo de generación (US\$/kWh) que se encuentra aproximadamente entre 0,1360-0,2270, así como la Inversión Inicial que se encuentra aproximadamente entre 2,000-2,500 (US\$/kW). El tiempo estimado del desarrollo del proyecto es de 18 a 24 meses de pre inversión, 12 a 18 meses de entrega de los equipos y un año de construcción.

Además las especificaciones han cambiado, antes se requería que las torres de medición estuvieran entre 30 y 50 metros de altura, ahora se pide que sean instaladas a una altura de 50 a 80 metros. Mientras más altura más estable el comportamiento del viento debido a que hay menos probabilidades de presencia de obstáculos por el tipo de terreno o variaciones de elevación. Por lo general a la altura en la que se encuentren las torres de medición, es la altura a la que se instalaran los aerogeneradores.

Para la implementación de un proyecto solar grande se deben tomar en cuenta los aspectos económicos. Entre ellos el costo de generación (US\$/kW), el costo de las baterías que llegar a ser el más alto y que a pesar de eso tiene la menor vida útil, entre 2 y 3 años. La inversión inicial (US\$/W) puede llegar a ser superior a US\$10. El tiempo estimado del desarrollo del proyecto es de 1 a 6 meses de pre inversión, incluyendo el diseño, luego la instalación tarda aproximadamente un mes si se cuenta con equipo en existencia.

Para cualquier proyecto de magnitud grande o pequeña, se debe tomar en cuenta que cada generador ya sea eólico o solar va a requerir de cierta velocidad de viento o cierta radiación solar para obtener la máxima producción de energía. Si se desea un buen rendimiento se deben tener los recursos necesarios disponibles. Aunque se detalle el máximo de generación de un equipo cuando esté funcionando al 100%, lo más probable es que funcione a un porcentaje menor la mayor parte del tiempo debido a la fluctuación del viento o radiación solar en caso de una turbina o un equipo solar.

Por ejemplo el viento en Guatemala es relativamente fluctuante por lo que un generador eólico puede estar la mayor parte del tiempo con un rendimiento del 40% y únicamente durante ciertas épocas del año llega a generar su máxima capacidad. Estos datos se pueden definir por medio de un estudio de velocidades del viento de un área específica. Estos datos son registrados por las torres de medición y se deben recopilar y estudiar como mínimo de 3 a 5 años, previo al arranque del proyecto. En cuanto a la radiación solar se debe tomar en cuenta que solo se recibe durante 5 horas al día por lo que se generará energía durante 150 horas al mes, sin tomar en cuenta imprevistos como días nublados o lluviosos.

Además de la inversión del equipo también se debe tomar en cuenta que muchas empresas cobran aparte por la instalación y en caso que no tengan equipo en existencia pueden llegar a cobrar por materiales y flete. En caso de una turbina eólica por ejemplo puede llegar a cobrar por aparte la torre donde ira instalado el aerogenerador.

Para analizar la rentabilidad de instalar un sistema fotovoltaico, eólico o un calentador térmico en una residencia se tomó como base el consumo de energía eléctrica real de un hogar que utiliza el servicio de la Empresa Eléctrica de Guatemala. Los datos de consumo se tomaron desde el año 2008 debido a que desde ese año se reside en ese hogar. A continuación se muestran los datos proporcionados por EEGSA.

Tabla 67. Consumo energía eléctrica escenario D.

Año	Mes	Consumo de energía eléctrica (kWh)
2008	Junio	385
	Julio	448
	Agosto	385
	Septiembre	362
	Octubre	392
	Noviembre	395
	Diciembre	434
2009	Enero	419
	Febrero	399
	Marzo	524
	Abril	447
	Mayo	443
	Junio	517
	Julio	449
	Agosto	443
	Septiembre	411
	Octubre	434
	Noviembre	382
	Diciembre	449

Continuación Tabla 67. Consumo energía eléctrica escenario D.

Año	Mes	Consumo de energía eléctrica (kWh)
2010	Enero	324
	Febrero	375
	Marzo	408
	Abril	352
	Mayo	316
	Junio	343
	Julio	327
	Agosto	344
	Septiembre	354
	Octubre	371
	Noviembre	368
	Diciembre	290
2011	Enero	262
	Febrero	309
	Marzo	393
	Abril	380
	Mayo	343
	Junio	338
	Julio	336
	Agosto	371
	Septiembre	311
	Octubre	316
	Noviembre	337
	Diciembre	361
2012	Enero	299
	Febrero	345
	Marzo	366
	Abril	325
	Mayo	314
	Junio	300
	Julio	237
	Agosto	354
	Septiembre	351

El cargo por energía (Q/kWh) cobrado por EEGSA va cambiando trimestralmente y según la Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE), los trimestres son clasificados de la siguiente manera: Agosto-octubre, noviembre-enero, febrero-abril y mayo-julio. Por lo tanto para realizar los cálculos se promediaron los datos de consumo de energía eléctrica, de la tabla anterior, por trimestres del año 2008 al 2012 y son los que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 68. Promedio trimestral consumo energía

Trimestre	Promedio total consumo de energía eléctrica (kWh)
I (febrero-abril)	308.2
II (mayo-julio)	367.5
III (agosto-octubre)	370.1
IV (noviembre-enero)	288

Para poder realizar los pronósticos del costo del kWh, se solicitó a la CNEE los datos históricos del cargo por consumidor (Q/usuario-mes), el cargo por energía (Q/kWh) y la tasa municipal (%) los cuales son los costos incurridos en la factura eléctrica. La CNEE proporciono los datos históricos de estas variables desde el tercer trimestre del año 2002 hasta el tercer trimestre de este año para poder medir el comportamiento que se ha dado en los últimos 10 años. Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 69. Datos históricos CNEE

PERÍODO DE APLICACIÓN	Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	Cargo por Energía (Q/kWh)	Tasa municipal hasta 31 mayo 2009	Tasa municipal 1 Junio 2009 a la fecha
Ago-Oct 02	7.24735	1.41297	10%	13%
Nov 02-Ene 03	7.24735	1.25909		
Feb-Abr 03	7.38164	1.30280		
May-Jul 03	7.38164	1.42467		
Ago-Oct 03	7.38197	1.34704		
Nov03- Ene04	7.38200	1.34799		
Feb - Abr 04	7.38200	1.41711		
May - Jul 04	7.38200	1.48867		
Ago - Oct 04	7.98327	1.39434		
Nov 04 - Ene05	7.98327	1.42284		
Feb-Abr 05	8.07728	1.42267		
May-Jul 05	8.07728	1.42889		
Ago-Oct 05	8.23234	1.68641		
Nov 05-Ene06	8.23230	1.43260		
Feb-Abr 06	8.40603	1.43258		
May-Jul 06	8.40603	1.43177		
Ago-Oct 06	8.61070	1.43840		
Nov 06 - Ene 07	8.61070	1.43990		
Feb-Abr 07	8.70116	1.44379		
May-Jul 07	8.70116	1.37116		
Ago-Oct 07	8.92600	1.39902		
Nov 07 - Ene 08	8.92600	1.42862		
Feb-Abr 08	9.20240	1.43799		
May-Jul 08	9.20240	1.64029		
Ago-Oct 08	8.19385	1.68165		
Nov 08 - Ene09	8.19385	1.54981		
Feb-Abr 09	8.37442	1.33530		
May-Jul 09	8.37442	1.23500		
Ago-Oct 09	8.45360	1.37838		
Nov 09 - Ene10	8.45360	1.46378		
Feb-Abr 10	8.57522	1.76935		

Continuación Tabla 69. Datos históricos CNEE

PERÍODO DE APLICACIÓN	Cargo por Consumidor (Q/usuario-mes)	Cargo por Energía (Q/kWh)
May-Jul 10	8.57522	1.94378
Ago-Oct 10	8.62801	1.74828
Nov 10 - Ene11	8.62801	1.59781
Feb-Abr 11	8.73934	1.57419
May-Jul 11	8.73934	1.72058
Ago-Oct 11	8.88934	1.92814
Nov 11 - Ene12	8.88934	1.84891
Feb-Abr 12	9.01736	1.82953
May-Jul 12	9.01736	1.96065
Ago-Oct 12	9.12494	2.09861

Al igual que con el consumo de energía del hogar, también se promediaron los datos de la tabla anterior trimestralmente, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 70. Cargos factura eléctrica promediados

Trimestre	Promedio total consumo de energía eléctrica (kWh)	Promedio cargo por energía (Q/kWh)	Promedio cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	Promedio tasa municipal
I (febrero-abril)	308.2	1.49653	7.623348	11%
II (mayo-julio)	367.5	1.564546	8.385683	11%
III (agosto-octubre)	370.1	1.592113	8.333761	11%
Trimestre	Promedio total consumo de energía eléctrica (kWh)	Promedio cargo por energía (Q/kWh)	Promedio cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	Promedio tasa municipal
IV (noviembre-enero)	288	1.479135	8.254642	11%

El siguiente paso fue obtener el cargo sin IVA, luego el cargo con IVA y finalmente se llegó a un costo trimestral (Q) promedio. Los datos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 71. Costo promedio trimestral

Trimestre	Promedio total consumo de energía eléctrica (kWh)	Promedio cargo por energía (Q/kWh)	Promedio cargo por consumidor (Q/usuario-mes)	Promedio tasa municipal	Cargo sin IVA	Cargo con IVA (Q/kWh)	Costo promedio trimestral (Q)
I (febrero-abril)	308.2	1.49653	7.623348	11%	Q468.85	56.26	576.69
II (mayo-julio)	367.5	1.564546	8.385683	11%	Q.583.36	70.00	717.53
III (agosto-octubre)	370.1	1.592113	8.333761	11%	Q597.57	71.71	735.02
IV (noviembre-enero)	288	1.479135	8.254642	11%	Q434.25	52.11	534.12

Por el otro lado para el calentador solar se tomaron en cuenta otros factores con el fin de determinar la cantidad específica de agua utilizada para esta residencia. En la siguiente tabla se muestran los detalles del consumo de agua caliente.

Tabla 72. Especificaciones consumo de agua caliente

Consumo calentador solar	
Consumo de agua al día (Litros)	273
Consumo mensual de tanque de gas para agua caliente	Q277.02
Cantidad de duchas	4
Duración de ducha	10
Litros diarios de agua caliente para ducharse	223
Litros de agua caliente para lavar ropa	50

Continuación Tabla 72. Especificaciones consumo de agua caliente

Consumo calentador solar	
Potencia calentador de gas (W)	2400
Consumo de gas mensual (kWh)	132
Minutos en calentar agua	30
Minutos en bañera	40
Minutos de lavar ropa	40
Horas diarias de uso de calentador de gas	1.83
Precio del kWh	Q2.0986

La tabla anterior señala que el uso de agua caliente en la residencia es por medio de un calentador de gas de 2400W de potencia. Se utiliza agua caliente, tanto para duchas como para lavar ropa, por lo tanto se muestra la cantidad de duchas y el tiempo aproximado por ducha así como el tiempo de la lavadora de ropa.

Tomando en cuenta que el consumo aproximado de energía es de 330kWh y el consumo de agua caliente es de aproximadamente 270 litros, se analizó que tan rentable es invertir en los sistemas mencionados en la sección anterior por ser los más económicos en el mercado hoy en día. Para el análisis se tomaron en cuenta el panel fotovoltaico, el calentador solar, el panel fotovoltaico y el calentador solar como conjunto y por último el aerogenerador. Todos fueron seleccionados debido a que resultaron ser los sistemas más económicos a diferencia del aerogenerador que proporciona el mismo beneficio que el panel fotovoltaico pero a un mayor costo inicial.

Para el análisis se tomó en cuenta una TMAR de 2.3%, esto se debe a que este proyecto va dedicado a los usuarios guatemaltecos que pueden decidir entre invertir su dinero en el banco a una determinada tasa de retorno o pueden elegir invertir en la implementación de cualquiera de estos proyectos. Por lo tanto se tomó la tasa de retorno de una cuenta de ahorro de un banco y la inflación acumulada en Guatemala desde el año 2010 hasta la fecha, obtenida por medio del Banco de Guatemala. Ambos datos fueron utilizados para calcular la TMAR utilizada en el proyecto. La información proporcionada por el Banco de Guatemala de la inflación se muestra a continuación.

Tabla 73. **Inflación en Guatemala 2010-2012**

Año	Inflación
2010	1.43
	1.96
	2.61
	2.9
	3.02
	3.19
	3.33
	3.42
	3.46
	3.57
	3.72
	3.86
2011	4.9
	5.07
	5.04
	5.22
	5.46
	5.62
	5.83
	6.05
2011	6.19
	6.23
	6.22
	6.22
2012	5.44
	5.3
	5.05
	4.85
	4.66
	4.46
	4.22
	4.03

Se obtuvo una inflación promedio de 4.45% anual y trimestral de 1.11%. La tasa de retorno trimestral de la cuenta de ahorro obtenida por el banco fue de 3.5%, por lo tanto al sumar ambas tasas trimestrales se obtiene una TMAR de 2.3%. Los costos incurridos por implementar estos proyectos incluyen el mantenimiento anual de cada uno de los equipos que es de Q500.00, por lo tanto trimestralmente se fueron descontando Q125.00 por equipo. Luego se tomó en cuenta la eficiencia del

equipo para determinar el beneficio trimestral real, utilizando datos climáticos proporcionados por el INSIVUMEH.

Para el caso del panel fotovoltaico y el calentador solar se utilizaron los días lluviosos anuales desde 1990 hasta el año 2011. De esta manera se pueden tomar los días lluviosos como días sin radiación y así poder determinar la eficiencia del equipo trimestral. Luego para el caso del aerogenerador utilizaron las velocidades de viento (km/h) anuales desde 1990 hasta el año 2011 y en base a la producción máxima del aerogenerador se logró determinar la eficiencia trimestral. A continuación se muestra la tabla de días lluviosos en la ciudad de Guatemala, obtenida por medio del INSIVUMEH.

Con los datos de los dos cuadros anteriores se logró obtener el porcentaje de días lluviosos por trimestre y posteriormente se calculó la eficiencia del equipo tomando en cuenta producción durante los días sin lluvia. Estos datos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 76. Eficiencia de acuerdo a días lluviosos trimestrales

Trimestre	Promedio de días	Promedio de días lluviosos	Porcentaje de días lluviosos
I	29.74	2.73	9.17%
II	30.67	17.36	56.62%
III	30.67	18.15	59.19%
IV	30.67	3.45	11.26%

En el cuadro anterior se puede observar que el segundo trimestre (mayo-julio) y el tercer trimestre (agosto-octubre) son los que cuentan con más días lluviosos. El 56.62% del total de días del segundo trimestre llueve y el 59.19% del total de días del tercer trimestre llueve. Por lo tanto se pueden esperar eficiencias de 43.38% y 40.81% de parte del sistema solar para el segundo y tercer trimestre respectivamente. Por el otro lado para el primer trimestre (febrero-abril) y el cuarto trimestre (noviembre-enero), cuentan con menos días lluviosos. El 9.17% del total de días del primer trimestre llueve y 11.26% del total de días del cuarto trimestre llueve. Se puede esperar una eficiencia de 90.83% y 88.74% para el primer trimestre y cuarto trimestre respectivamente, de parte del sistema solar a instalar.

Para el caso del aerogenerador se obtuvo una tabla de promedios mensuales y anuales de velocidad del viento (km/hora) de parte del INSIVUMEH, desde 1990 hasta el 2011. Al tener el promedio de velocidad de viento trimestral en la ciudad de Guatemala se puede utilizar como base la producción máxima del aerogenerador que se desea instalar para obtener la eficiencia real del equipo. La tabla con el promedio de velocidades de viento se muestra a continuación:

En el cuadro anterior podemos observar que la velocidad del viento varía bastante y no mantiene consistencia conforme los años. Esto crea dificultad para predecir el comportamiento del viento conforme los años y afecta el cálculo del retorno de inversión a la hora de instalar un sistema eólico. Se puede observar que en el año 2005 y 2006 la velocidad aumenta considerablemente si se compara con los años anteriores ya que en el 2005 ocurrió el desastre natural de la tormenta Stan y a finales del 2009 y principios del 2010 también aumenta debido a la tormenta tropical Agatha. Con estos datos se obtuvo la velocidad promedio por trimestre y de acuerdo a la velocidad definida por el sistema para generar una máxima producción se obtuvo la eficiencia. Estos datos muestran en la siguiente tabla:

Tabla 78. Eficiencia de acuerdo a la velocidad del viento

Trimestre	promedio del viento	velocidad máxima aerogenerador	Eficiencia sistema
I	7.79	43	18%
II	7.22		17%
III	6.99		16%
IV	9.09		21%

En el cuadro anterior se puede observar que el trimestre con mayor velocidad promedio es el cuarto con 9.09km/h, luego el primer y segundo trimestre con 7.79km/h y 7.22km/h respectivamente y por último el tercer trimestre con una velocidad de viento promedio de 6.99km/h. Debido a que el aerogenerador que se desea instalar genera la capacidad máxima al contar con 43km/h de velocidad del viento, se logró determinar la eficiencia del sistema con las velocidades de viento de la ciudad de Guatemala.

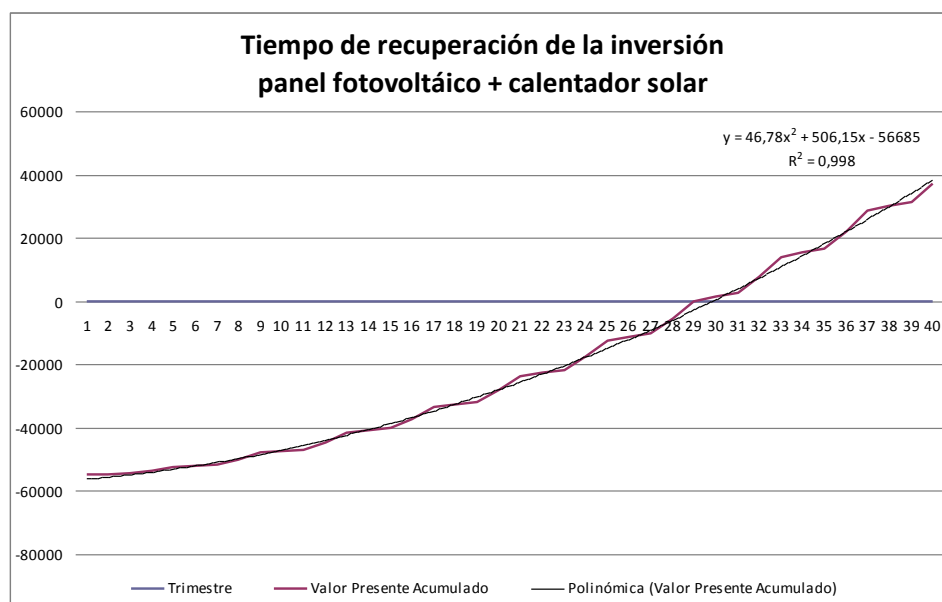
Luego de haber determinado los sistemas que se desean implementar, la inversión de cada uno, la tasa mínima atractiva de retorno, la eficiencia y los costos anuales, se realizó una proyección de 10 años para obtener el tiempo de recuperación de la inversión y el valor presente neto de cada proyecto, esta información se resume en la siguiente tabla.

Tabla 79. Evaluación de proyectos

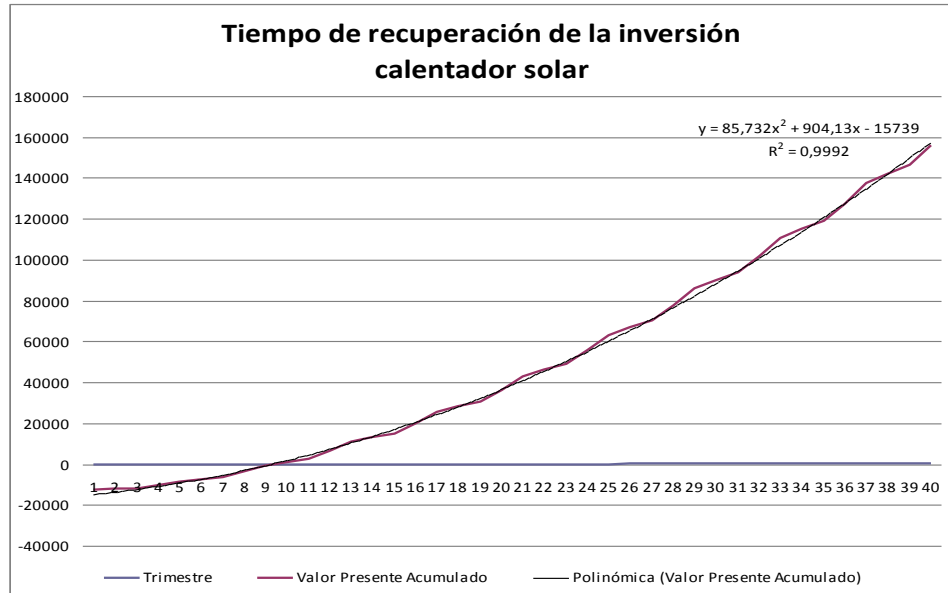
Sistema	Inversión Inicial	TMAR	Valor presente neto	Periodo de recuperación (trimestres)
Panel fotovoltaico + calentador solar	Q55,114.68	2.30%	(Q51,143.61)	28
Panel fotovoltaico	Q42,114.68	2.30%	(Q5,778.80)	9
Calentador solar	Q13,000.00	2.30%	(Q34,877.47)	18
Aerogenerador	Q66,810.83	2.30%	(Q61,913.57)	38

Como se puede observar el periodo de recuperación máximo es de 16 trimestres es decir de cuatro años y el periodo de recuperación menor es de 3 trimestres. El valor presente neto más grande pertenece al proyecto de implementación de un calentador solar y es el proyecto que logra recuperar la inversión más rápido que los demás. El valor presente neto más bajo lo representa el aerogenerador y además posee el periodo de recuperación más largo. Es importante destacar que el sistema conformado por la implementación de un panel fotovoltaico y un calentador y el sistema del aerogenerador, poseen valor presente neto negativo lo cual indica que hoy el valor del dinero disminuirá en esa cantidad. A continuación se muestran las gráficas que reflejan el comportamiento del valor presente neto a mediano plazo para cada proyecto.

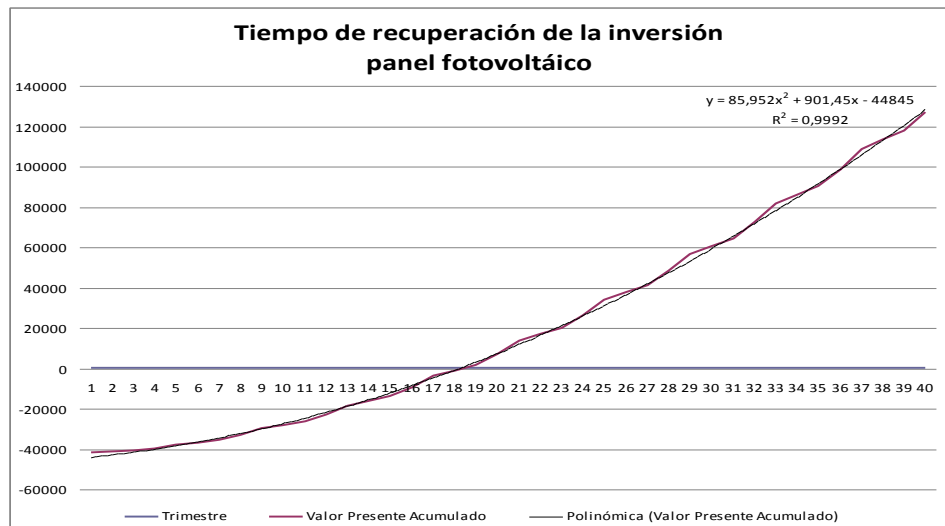
Ilustración 79. Periodo de recuperación proyecto panel fotovoltaico y calentador solar



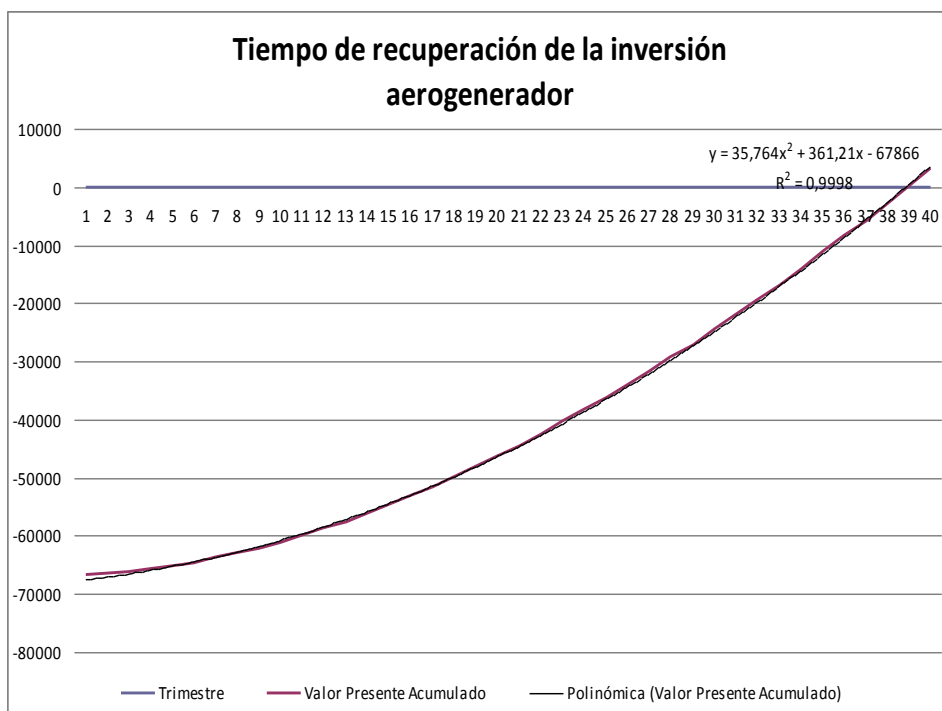
La tabla anterior muestra el comportamiento del valor presente neto desde que se realizó la inversión hasta los próximos diez años o 40 trimestres. En el trimestre 28 el valor del dinero se vuelve positivo y continuo aumentando exponencialmente. El valor de R^2 es bastante cercano a uno por lo que la mayor parte de los datos se pueden determinar por medio de la ecuación.

Ilustración 80: Periodo de recuperación proyecto calentador solar

En este caso el periodo de recuperación es relativamente corto ya que para el noveno trimestre el valor de dinero se vuelve positivo y continuo incrementando exponencialmente. De igual manera el R^2 es bastante alto y a mediano plazo la inversión es bastante confiable.

Ilustración 81: Periodo de recuperación proyecto panel fotovoltaico

Al instalar un panel fotovoltaico se refleja un periodo de recuperación de 18 trimestres y además el valor del dinero va incrementando exponencialmente tomando en cuenta que se tiene un R^2 bastante confiable.

Ilustración 82: Periodo de recuperación proyecto aerogenerador

La gráfica anterior muestra que el tiempo de recuperación del proyecto del aerogenerador es de 38 trimestres y desde ese punto va aumentando el valor presente considerablemente.

Los casos mencionados fueron proyectados de tal manera que cada uno de los equipos reflejara una eficiencia real, tomando en cuenta el historial climático de la ciudad de Guatemala incluyendo los desastres naturales. Sin embargo siempre existen variaciones por lo que es necesario proyectar estas variaciones por medio de un análisis de sensibilidad. Existe la probabilidad que llegue a variar la eficiencia del equipo debido a cambios climáticos, también puede variar el costo del kWh y por último el consumo de energía eléctrica del hogar.

Al analizar los distintos sistemas es recomendable que el usuario opte inicialmente por la instalación de un calentador solar, en el caso que se consuma agua caliente a diario y esto se vea reflejado considerablemente en la factura eléctrica. Aunque haya días nublados, este tipo de sistemas cuentan con equipo auxiliar eléctrico para calentar agua. Luego de disminuir el consumo de kWh mensual por medio de un calentador solar, se puede proceder a la instalación de paneles fotovoltaicos para obtener mayores beneficios y ayudar al medio ambiente. Este tipo de instalaciones ya son una realidad en Guatemala y muchos hogares, industrias, edificios y empresas invierten en estos sistemas para disminuir la factura eléctrica.

Con los análisis anteriormente mencionados se puede tener una idea de las distintas maneras que pueden llegar a variar los resultados luego de implementar uno de estos sistemas. Factores como el

consumo mensual total, el costo del kWh y la eficiencia de los sistemas no los podemos controlar. Sin embargo podemos tener una idea de cómo nos pueden llegar a afectar tanto de una manera positiva como negativa. No está demás mencionar que los beneficios obtenidos se darán tanto para ahorro propio como para ayudar a preservar el medio ambiente disminuyendo la generación de CO₂ a la atmosfera.

I. Escenarios con hidroeléctricas

1. Factores y suposiciones. En el presente análisis financiero se realizaron diferentes escenarios dependiendo del consumo de kwh de cada casa. Se realizó de esta manera para poder calcular cuántas casas promedio pueden ser utilizadas en una micro central hidroeléctrica de 2 MW. Se escogió una micro central de 2 MW ya que se realizó una cotización con una empresa peruana con sede en Guatemala la cual brindó distintos datos para poder desarrollar el estudio. Se tomaron distintas tasas de inflación en los escenarios para ver de una manera más clara la recuperación de la inversión.

Existen diferentes puntos que son de suma importancia que se deben tomar en cuenta que posiblemente no se conozcan. El Ministerio de Energía y Minas se encuentra promoviendo el uso de energías renovables, por lo que cuentan con una serie de incentivos que se listan a continuación:

- Las Municipalidades, el Instituto Nacional de Electrificación - INDE-, Empresas Mixtas, y las personas individuales y jurídicas que realicen proyectos de energía con recursos energéticos renovables gozarán de los siguientes incentivos:

a. Exención de derechos arancelarios para las importaciones, incluyendo el Impuesto al Valor Agregado (IVA), cargas y derechos consulares sobre la importación de maquinaria y equipo, utilizados exclusivamente para la generación de energía en el área donde se ubiquen los proyectos de energía renovable. Previamente a la importación de la maquinaria y equipo que sean necesarios para desarrollar los proyectos de energía renovable, en cada caso las personas individuales y jurídicas que los realicen deberán solicitar la aplicación de la exención a la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT), quien se encargará de calificar y autorizar la importación. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva durante el período de preinversión y el período de construcción, el cual no excederá de diez años. (Guatemala, 1985)

b. Exención del pago del Impuesto Sobre la Renta (ISR). Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez años. Esta exención únicamente se

otorga a las personas individuales y jurídicas que desarrollen directamente los proyectos y solamente por la parte que corresponda a dicho proyecto, ya que la exención no aplica a las demás actividades que realicen.

c. Exención del Impuesto a las Empresas Mercantiles y Agropecuarias- IEMA-. Este incentivo tendrá vigencia exclusiva a partir de la FIE, por un período de diez años.

Para aprovechar los incentivos indicados en los literales anteriores, el interesado deberá presentar al órgano competente la siguiente información:

- La solicitud deberá ser dirigida al Ministerio de Energía y Minas. Durante los períodos de preinversión y de construcción podrán presentarse ampliaciones a la misma, siguiendo el mismo procedimiento. (Guatemala, 1985)

- La documentación general del proyecto donde se indique claramente el cronograma de realización del período de preinversión, del período de construcción y del período de operación.

- Declaración que ha cumplido con lo consignado en la Ley General de Electricidad, en lo que sea aplicable.

- Listado total o parcial de los materiales, equipos y otros asociados a estos períodos, y el tipo del o los incentivos solicitados, especificando el período a que corresponden. El órgano competente estudiará la solicitud; si es necesario, solicitará ampliación de la información y extenderá una certificación que acredite que se desarrolla un proyecto de fuentes renovables de energía y la lista de los insumos, totales o parciales, que efectivamente serán sujetos de exoneración, en los casos que proceda. (Guatemala, 1985)

El interesado presentará dicha certificación a la Superintendencia de Administración Tributaria (SAT) para que la citada dependencia emita la resolución de exención en un plazo no mayor de treinta días, contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud. La SAT otorgará las exenciones con base en la resolución del órgano competente. Si la solicitud no fuera resuelta y notificada dentro del plazo fijado, la misma se tendrá por resuelta favorablemente.

Tomando en cuenta los puntos anteriormente descritos, se procedió a los otros factores que se tomaron en cuenta para realizar dicho análisis. Se tomó una residencia de aproximadamente 50 metros cuadrados, una de 70 metros cuadrados y una residencia de 100 metros cuadrados. Para dicho análisis se utilizará únicamente bombillas incandescentes de 70 Watts las cuales son las más comunes en nuestra sociedad. (Guatemala, 1985)

Para el presente estudio, se tomaron como referencia los precios otorgados por el INDE. De los precios otorgados por el INDE, se tomó como base el precio establecido por la empresa eléctrica de Guatemala.

Ilustración 83: Tarifas de Energía en Guatemala



Se analizarán cuatro diferentes escenarios los cuales en los primeros tres variarán el consumo promedio de una casa y en el último variará el total de casas que utilizarán la micro central. El primer escenario cuenta con las siguientes especificaciones (valores aproximados):

- Cuenta con seis bombillas de 70 W cada una.
- Equipos electrónicos (microondas, secadora de pelo, cargadores diversos, refrigeradora, plancha, televisor, licuadora, ventiladores). Si se obtiene un promedio de los equipos descritos anteriormente, se cuenta con un consumo promedio de 62.81 kWh semanales por casa.

El cuadro con los detalles se encuentra a continuación:

Tabla 80: Detalles de energía consumida I, Escenario I

<u>Equipo</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Energía utilizada (W)</u>	<u>Total</u>
Salidas de Luz	6	70	420
Microondas	1	650	650
Secadora de pelo	0	400	0
Cargadores	1	15	15
Refrigeradora	1	195	195
Plancha	1	800	800
Televisor	1	50	50
Licuada	1	200	200
Ventiladores	1	60	60
Ducha eléctrica	1	2500	2500

Tabla 81. Detalles de energía consumida II, Escenario I

<u>Horas de uso diarias</u>	<u>Total W/día</u>	<u>Días de uso semanales</u>	<u>Consumo total semanal</u>
6	2520	7	17640
0.2	130	6	780
0.1	0	2	0
2	30	5	150
24	4680	7	32760
1.5	1200	2	2400
2	100	5	500
0.1	20	3	60
3	180	4	720
0.4	1000	7	7000

Con los datos calculados anteriormente, se obtiene un consumo total por casa (Valores en Watts):

Tabla 82. Consumo total por casa en kilowatts, Escenario I

Consumo Total semanal	62.01
Consumo Total mensual	248.04

Los costos totales mensuales y anuales de una casa con las especificaciones anteriormente calculadas con la tarifa social la cual en este caso es Q1.61 (considerando que es un consumo menor a 300kWh) son:

Tabla 83. Costos mensuales y anuales por casa, Escenario I

Pago Mensual	GTQ399.34
Pago Anual	GTQ4,792.13

Con los datos anteriores, una micro central podría abastecer de manera plena a ocho casas.

Ahora analizaremos el segundo escenario. Ésta cuenta con las siguientes especificaciones (valores aproximados):

- Cuenta con 11 bombillas de 70 W cada una.
- Equipos electrónicos (microondas, secadora de pelo, cargadores diversos, refrigeradora, plancha, televisor, licuadora, ventiladores, aspiradora, ducha eléctrica y lavadora). Si se obtiene un promedio de los equipos descritos anteriormente, se cuenta con un consumo promedio de 83,750 W semanales por casa para un total de 335 kWh mensuales.

A continuación se muestran los cuadros con los detalles:

Tabla 84. Detalles de energía consumida I, Escenario II

Equipo	Cantidad	Energía utilizada (W)	Total
Salidas de luz	11	70	770
Microondas	1	650	650
Secadora de pelo	1	400	400
Cargadores	2	15	30
Refrigeradora	1	195	195
Plancha	1	800	800
Televisor	2	50	100
Licuadora	1	200	200
Ventiladores	3	60	180
Aspiradora	1	500	500
Ducha eléctrica	1	2500	2500
Lavadora	1	500	500

Tabla 85. Detalles de energía consumida II, Escenario II

<u>Horas de uso diarias</u>	<u>Total W/día</u>	<u>Días de uso semanales</u>	<u>Consumo total semanal</u>
6	4620	7	32340
0.2	130	6	780
0.2	80	2	160
3	90	6	540
24	4680	7	32760
1	800	2	1600
3	300	5	1500
0.2	40	3	120
5	900	4	3600
1	500	1	500
0.25	625	7	4375
0.3	150	2	300

Con los datos calculados anteriormente, se obtiene un consumo total por casa (Valores en kilowatts):

Tabla 86. Consumo total por casa en kilowatts, Escenario II

Consumo Total semanal	78.58
Consumo Total mensual	314.30

Los costos totales mensuales y anuales de una casa con las especificaciones anteriormente calculadas con la tarifa no social la cual en este caso es Q1.93 (considerando que es un consumo mayor a 300kWh) son:

Tabla 87. Costos mensuales y anuales por casa, Escenario II

Pago Mensual	GTQ606.60
Pago Anual	GTQ7,279.19

Con los datos anteriores, una micro central podría abastecer de manera plena a seis casas.

Ahora analizaremos los costos del tercer escenario. Ésta cuenta con las siguientes especificaciones (valores aproximados):

- Cuenta con 17 bombillas de 70 W cada una.
- Equipos electrónicos (microondas, secadora de pelo, cargadores diversos, refrigeradora, plancha, televisor, licuadora, ventiladores, aspiradora, ducha eléctrica y lavadora). Si se obtiene un promedio de los equipos descritos anteriormente, se cuenta con un consumo promedio de 103,995 W semanales por casa para un total de 415.98 kWh mensuales.

A continuación se muestran los cuadros con los detalles:

Tabla 88. Detalles de energía consumida I, Escenario III

Equipo	Cantidad	Energía utilizada (W)	Total
Salidas de luz	17	70	1190
Microondas	1	650	650
Secadora de pelo	2	400	800
Cargadores	3	15	45
Refrigeradora	1	195	195
Plancha	1	800	800
Televisor	3	50	150
Licuadora	1	200	200
Ventiladores	6	60	360
Aspiradora	1	500	500
Ducha eléctrica	2	2500	5000
Lavadora	1	500	500

Tabla 89. Detalle de energía consumida II, Escenario III

Horas de uso diarias	Total W/día	Días de uso semanales	Consumo total semanal
6	7140	7	49980
0.2	130	6	780
0.15	120	2	240
3	135	5	675
24	4680	7	32760
1	800	2	1600
3	450	5	2250
0.1	20	3	60
5	1800	4	7200
1	500	2	1000
0.2	1000	7	7000
0.45	225	2	450

Con los datos calculados anteriormente, se obtiene un consumo total por casa (Valores en kilowatts):

Tabla 90. Consumo total por casa en kilowatts, Escenario III

Consumo total semanal	104
Consumo total mensual	416

Los costos totales mensuales y anuales de una casa con las especificaciones anteriormente calculadas con la tarifa social la cual en este caso es Q1.93 (considerando que es un consumo menor a 300kWh) son:

Tabla 91. Costos mensuales y anuales por casa, Escenario III

Pago mensual	GTQ802.84
Pago anual	GTQ9,634.10

Con los datos anteriores, una micro central podría abastecer de manera plena a cinco casas.

Por último analizaremos el cuarto escenario. Éste cuenta con las mismas especificaciones que el escenario anterior, sin embargo, variará el número de casas que harán uso de la micro central hidroeléctrica. El escenario anterior será utilizado por 10 casas ya que el objetivo de ese escenario es reducir a la mitad lo que las familias le pagarán a la empresa eléctrica. En este escenario se tendrá un

costo de inversión más elevado ya que serán menos casas las involucradas pero el pago mensual a la empresa eléctrica se verá disminuido drásticamente.

2. Costo de inversión. Los costos de inversión de una Micro Central Hidroeléctrica pueden variar según las instalaciones que debería llevar dicho equipo. Para el presente caso como se mencionó anteriormente, no se contará con instalaciones de baterías de almacenamiento debido a que se espera que la capacidad máxima de generación de la micro central va a ser consumida en su totalidad para aprovecharla al máximo. Otra gran ventaja como se mencionó en el punto anterior es que no se cuentan con impuestos para la instalación ni para la importación de dichas micro centrales. Ésta es una de las mayores ventajas ya que las personas que invierten en estas fuentes de energías renovables pequeñas ahorran una gran cantidad de dinero anual y su recuperación a la inversión inicial es mucho más baja. Además se obviará la instalación de canales para incrementar el caudal ya que se tomará en cuenta que dichas micro centrales se instalarán en ríos que cuenten con la caída y el caudal suficiente para poder generar la energía deseada. En el presente trabajo se estudiaron los diferentes caudales promedio con los que cuentan los diferentes ríos alrededor de Guatemala y el menor de dicha tabla es aproximadamente 8.0 m³/s. El caudal promedio que se desea para poder generar dicha energía es aproximadamente entre 8.0 m³/s y 13.5 m³/s para poder generar la energía deseada. Se establece dicho rango ya que la micro central cuenta con un inyector el cual puede regular el caudal para poder alcanzar el valor necesario.

A continuación se presenta un tabla con los costos fijos iniciales que se deben considerar para la instalación de una micro central hidroeléctrica:

Tabla 92: Costos de inversión en dólares

Tabla en \$	
Costos fijos	
Micro central	12,953
Repuestos	85
Construcción de la caseta	1019
Instalación de cables	3520
Total	\$17,577

Los costos listados anteriormente representan los costos de inversión en el primer año de vida de la micro central. Debemos tomar en cuenta que la útil de una micro central dependerá del mantenimiento y cuidado que se le de a la misma, sin embargo, dicha vida útil se encuentra entre 20 – 25 años. Con una tasa promedio de Q7.85 por \$1, se obtienen los siguientes valores:

Tabla 93. Costos de inversión en quetzales

Tabla en Q	
Costos fijos	
Micro central	101,681
Repuestos	667
Construcción de la caseta	7,999
Instalación de cables	27,632
Total	GTQ137,979

3. Criterios para evaluar proyectos con micro centrales hidroeléctricas. Existen varios criterios para evaluar la rentabilidad de la instalación de una micro central hidroeléctrica. Entre los criterios más importantes se pueden mencionar los siguientes:

- Criterio del caudal mínimo requerido. Este es uno de los más importantes y es uno de los primeros a considerar en la evaluación de rentabilidad. Si el río con el cual se considera instalar la micro central hidroeléctrica no cuenta con el caudal mínimo necesario, posiblemente ni debería ser tomado en cuenta este proyecto ya que muchas veces la instalación de tuberías especiales o canales para direccionar la corriente en una dirección puede tener un costo demasiado elevado y se salga de las manos el presupuesto inicial. Otro factor que influye con respecto al caudal son las variaciones del mismo dependiendo de la temporada. En muchos lugares los caudales se reducen en el verano ya que es época seca y aumentan en una gran cantidad en verano que puede ser peligroso y acortar el tiempo de vida de la micro central. Además del caudal mínimo, se requiere seleccionar un tramo uniforme, sin piedras grandes, ni troncos de árboles, de tal manera que el agua fluya libremente, sin turbulencias ni impedimentos. Se debe realizar un análisis suficientemente detallado evaluando los criterios que se mencionaron anteriormente ya que éstos influyen a la hora de tomar la decisión si se instala o no una micro central hidroeléctrica. (Fromm, 2009)
- Un factor importante que se debe tomar en cuenta que muchas personas lo obvian es la operación y mantenimiento del sistema. El personal responsable de la operación y mantenimiento de la micro

central desempeña un papel importante para asegurar el funcionamiento adecuado y prolongar la vida útil del sistema. Aunque el proyecto haya sido bien diseñado y el equipo instalado sea de buena calidad, este puede no operar confiablemente si no es correctamente manejado; por lo tanto los operadores seleccionados para realizar estas tareas deben hacerlo con buena actitud, aptitud, integridad y compromiso con su comunidad. Se debe diseñar un plan de capacitación a largo plazo que sea efectivo y consistente, en el que participen los encargados de operar el sistema en la comunidad. (Fromm, 2009)

- Se debe tener bien presente la aceptación de la comunidad en la instalación de micro centrales hidroeléctricas. Una vez abordados los aspectos técnicos para la factibilidad de una micro central, es importante que la comunidad tome la decisión si acepta la implementación del sistema para el abastecimiento de energía eléctrica a nivel micro.
- La elaboración de un presupuesto permitirá definir el costo de la obra, tipo de materiales y equipo a utilizar y si estos se encuentran disponibles en el mercado nacional. Con esto la comunidad podrá realizar las gestiones necesarias para la obtención de recursos económicos para la instalación de la micro central hidroeléctrica. (Fromm, 2009)

4. Costos de operación. Las gran ventaja de las micro centrales hidroeléctricas son sus bajos costos de operación durante su ciclo de vida. Entre los costos de operación se puede mencionar los siguientes:

Tabla 94: Costo de operación

Costos variables	Dólares	Quetzales
Repuestos anuales	130	1020.5
Mantenimiento anual (mano de obra)	3960	31086
Total Anual	4090	32106.5

Los costos de una micro central tipo Mitchell Banki son relativamente bajos. Debemos tomar en cuenta que los costos variables, como su nombre lo indica, pueden variar dependiendo del uso que tenga la micro central y qué tan necesario sea realizar dichos cambios a las partes de la micro central. Dichos repuestos necesitan ser cambiados aproximadamente una vez al año. Entre los repuestos anuales se encuentran:

- Cambio de cojinetes dependiendo de su desgaste anual.
- Cambio anual de grasa.
- Limpieza de los filtros y la pantalla de la micro central.

Además se deben agregar los costos que influyen en el mantenimiento mensual, los cuales dependen del costo de mantener un operario revisando semanalmente la maquinaria y su correcto funcionamiento.

5. Análisis financiero de las micro centrales hidroeléctricas: Para el presente análisis financiero se realizaron tres diferentes escenarios. En base a los cálculos de la energía promedio que utiliza cada casa se calculó que una micro central podía abastecer a ocho casas plenamente. Este proyecto es para lograr reducir el consumo a pequeñas comunidades y de la misma manera lograr disminuir la inversión por casa para que el proyecto sea más rentable para cada familia. En este caso en vez de abastecer plenamente a ocho casas se distribuirá a dieciséis casas. Los costos de operación y mantenimiento se mencionaron anteriormente. Se tomó en cuenta los siguientes factores para el análisis:

Tabla 95: Suposiciones para análisis financiero

Porcentaje de utilización	95%
Costo kWh (Tarifa Social)	Q 1.61
Costo kWh (Tarifa no social)	Q 1.93
Inflación	2%

Para el primer escenario se analizó el valor presente neto que a continuación se describe:

Tabla 96. Valor presente neto, Escenario I

	Pago anual sin Micro Central Hidroeléctrica	Pago anual con Micro Central Hidroeléctrica	Ahorro
Consumo mensual	248,040	129,290	
Consumo en kWh mensual	248.04	129.29	
Importe mensual	GTQ399.34	GTQ208.16	
Importe anual	GTQ4,792.13	GTQ2,497.88	
Repuestos anuales	75	63.78	
Mantenimiento anual	0	1942.88	
Total	GTQ75.00	GTQ2,006.66	
TMAR	0.0%	5%	
Año 0	(4792.13)	(13064.53)	
Año 1	(4962.98)	(4554.50)	
Año 2	(5135.73)	(4605.45)	
Año 3	(5235.45)	(4657.43)	
Año 4	(5337.16)	(4710.44)	
Año 5	(5440.90)	(4764.52)	
Año 6	(5546.72)	(4819.68)	
Año 7	(5654.65)	(4875.94)	1832.86
Año 8	(5764.75)	(4933.32)	4258.54

Continuación: Tabla 96. Valor presente neto. Escenario I

Año 9	(5877.04)	(4991.86)	6917.79
Año 10	(5991.58)	(5051.56)	9808.15
VPN	(GTQ59,739.10)	(GTQ49,930.95)	

En la tabla anterior, se puede observar que según el valor presente neto es más rentable utilizar una micro central hidroeléctrica en vez de no invertir en ella. Se utilizó una TMAR de 5% en el caso donde se invierte para la micro central hidroeléctrica. Se tomaron en cuenta los diferentes factores involucrados en cada caso para calcular de forma correcta sus diferentes costos de operación, mantenimiento e inversión. En la tabla a continuación se puede observar que en un plazo de 10 años no es rentable la opción con la micro central hidroeléctrica ya que se puede ver que la TIR es negativa, por lo que nos indica que no es un proyecto rentable en un lapso de 10 años. A continuación los resultados:

Tabla 97. Flujo incremental, Escenario I

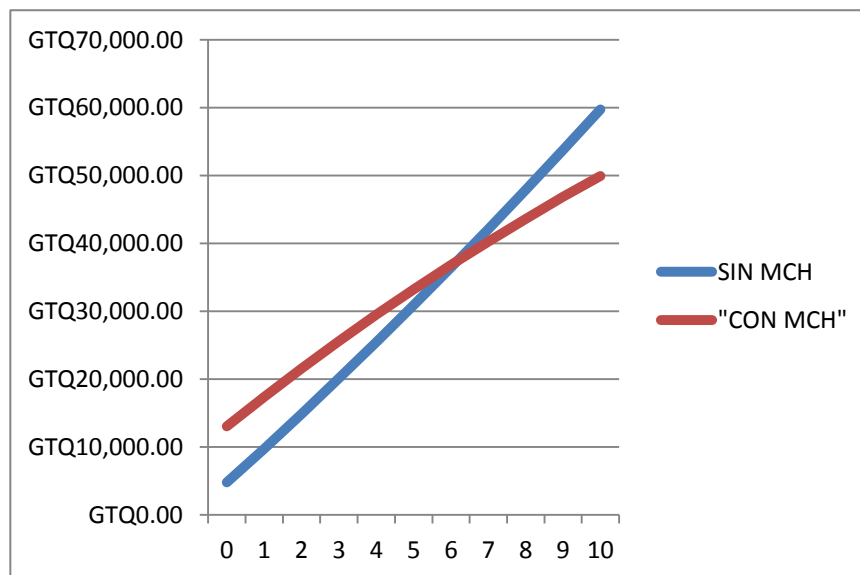
FLUJO INCREMENTAL (MCH VS. NO MCH)
(8272.39)
408.48
530.28
578.02
626.71
676.38
727.04
778.72
831.42
885.18
940.02
-3%

Podemos ver que la tasa interna de retorno es menor a la tasa mínima que habíamos establecido (en este caso inclusive es negativa) al inicio del análisis que era de 5% lo cual indica que el proyecto es no rentable.

Tabla 98. Ahorros proyectados a diez años, Escenario I

AÑO			AHORRO
0	GTQ4,792.13	GTQ13,064.53	
1	GTQ9,755.11	GTQ17,402.14	
2	GTQ14,890.84	GTQ21,579.42	
3	GTQ20,126.29	GTQ25,602.69	
4	GTQ25,463.45	GTQ29,477.98	
5	GTQ30,904.35	GTQ33,211.11	
6	GTQ36,451.07	GTQ36,807.63	
7	GTQ42,105.73	GTQ40,272.86	GTQ1,832.86
8	GTQ47,870.47	GTQ43,611.93	GTQ4,258.54
9	GTQ53,747.52	GTQ46,829.73	GTQ6,917.79
10	GTQ59,739.10	GTQ49,930.95	GTQ9,808.15

En la tabla anterior se puede observar como al principio se requiere de un mayor esfuerzo al invertir una fuerte cantidad de dinero para las familias de este nivel social, sin embargo, con el tiempo se van nivelando los costos hasta que en el año 7 se recupera la inversión y comienza el ahorro.

Ilustración 84: Recuperación de la Inversión, Escenario I

En la gráfica anterior se puede observar el año en el cual se recupera la inversión inicialmente realizada y el ahorro anual que se tiene después que se logra pagar el proyecto.

Ahora analizaremos el segundo escenario. Utilizaremos el mismo criterio que en el primer escenario; se abastecerá a doce casas en vez de seis para poder distribuir la inversión inicial en más

familias y poder realizar un proyecto más cómodo para ellas. En este escenario se obtuvo los siguientes resultados en el cálculo del valor presente:

Tabla 99. Valor Presente Neto, Escenario II

	Pago anual sin Micro Central Hidroeléctrica	Pago anual con Micro Central Hidroeléctrica	Aho rro
Consumo mensual	314,300	155,967	
Consumo en kWh mensual	314.3	155.9666667	
Importe mensual	GTQ606.60	GTQ301.02	
Importe anual	GTQ7,279.19	GTQ3,612.19	
Repuestos anuales	125	85.04	
Mantenimiento anual	0	2590.50	
Total	GTQ125.00	GTQ2,675.54	
TMAR	0.0%	5%	
Año 0	(7279.19)	(17701.05)	
Año 1	(7424.77)	(6359.97)	
Año 2	(7573.27)	(6433.66)	
Año 3	(7724.73)	(6508.82)	
Año 4	(7879.23)	(6585.49)	
Año 5	(8036.81)	(6663.69)	62.6 7
Año 6	(8197.55)	(6743.45)	3228 .15
Año 7	(8361.50)	(6824.81)	6739 .39
Año 8	(8528.73)	(6907.80)	1059 2.65
Año 9	(8699.30)	(6992.44)	1478 4.56
Año 10	(8873.29)	(7078.78)	1931 2.09
VPN	(GTQ88,578.37)	(GTQ69,266.27)	

Como se puede observar en este escenario, el valor presente de un proyecto con una micro central hidroeléctrica también es menos negativo después de diez años que un escenario sin una micro central hidroeléctrica. La Tasa Interna de Retorno fue calculada de la misma manera que en el primer escenario y se obtuvo los siguientes resultados:

Tabla 100. Flujo incremental, Escenario II

FLUJO INCREMENTAL (MCH VS. NO MCH)	
	(10421.86)
	1064.80
	1139.61
	1215.91
	1293.74
	1373.12
	1454.10
	1536.69
	1620.93
	1706.86
	1794.51
	6%

En este caso podemos ver que la TIR es mayor que la TMAR establecida al principio del proyecto por lo cual es totalmente recomendable realizar la inversión en el proyecto.

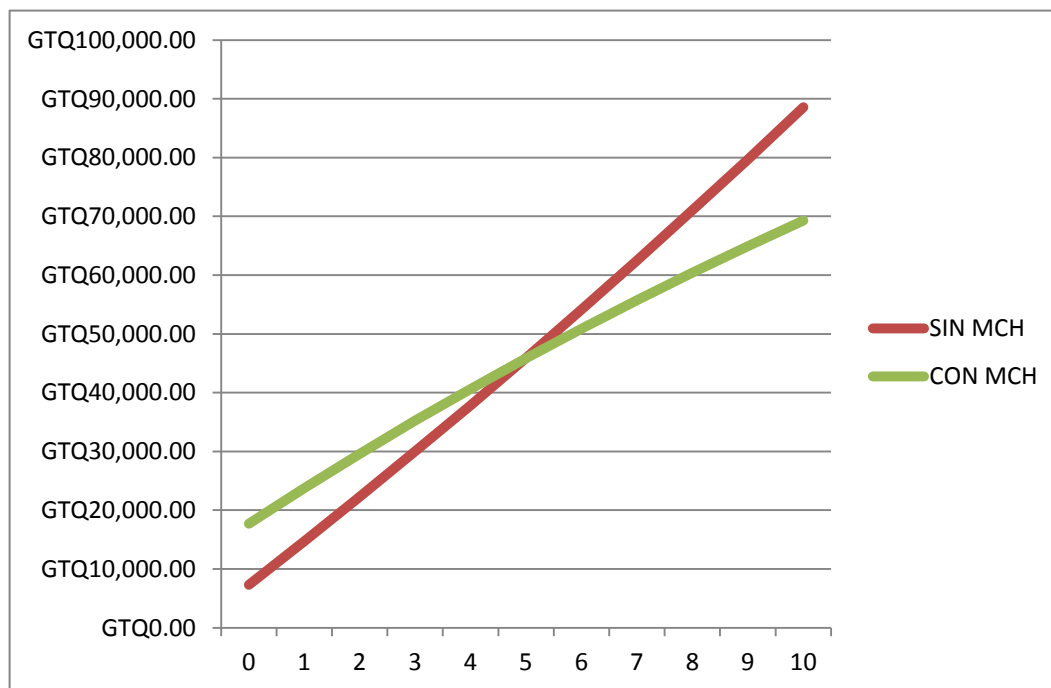
Para este proyecto el ahorro se comienza a dar a partir del año cinco, los cuales con el tiempo van aumentando como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 101. Ahorros proyectados a diez años, Escenario II

AÑO			AHORRO
0	GTQ7,279.19	GTQ17,701.05	
1	GTQ14,703.96	GTQ23,758.16	
2	GTQ22,277.23	GTQ29,593.69	
3	GTQ30,001.96	GTQ35,216.25	
4	GTQ37,881.19	GTQ40,634.15	
5	GTQ45,918.00	GTQ45,855.33	GTQ62.67
6	GTQ54,115.55	GTQ50,887.39	GTQ3,228.15
7	GTQ62,477.05	GTQ55,737.66	GTQ6,739.39
8	GTQ71,005.77	GTQ60,413.13	GTQ10,592.65
9	GTQ79,705.08	GTQ64,920.52	GTQ14,784.56
10	GTQ88,578.37	GTQ69,266.27	GTQ19,312.09

Se puede observar gráficamente el punto donde se intersectan ambas líneas. Este punto es donde se termina de pagar la inversión realizada en el año 0 y posteriormente comienza el ahorro.

Tabla 102. Recuperación de la Inversión, Escenario II



Ahora se observará el cálculo del valor presente neto en el tercer escenario. Para este escenario nuevamente se consideró distribuir la energía que genera la micro central en varias casas. En vez de distribuirla en únicamente cinco casas, se distribuirá en diez casas para disminuir la inversión de cada familia.

Tabla 103. Valor Presente Neto, Escenario III

	Pago anual sin Micro Central Hidroeléctrica	Pago anual con Micro Central Hidroeléctrica	Ahorro
Consumo mensual	415,980	218,390	
Consumo en kWh mensual	415.98	218.3895	
Importe mensual	GTQ802.84	GTQ421.49	
Importe anual	GTQ9,634.10	GTQ5,057.90	
Repuestos anuales	200	106.13	
Mantenimiento anual	0	3232.79	
Total	GTQ200.00	GTQ3,338.92	
TMAR	0.0%	5%	

Continuación Tabla 103. Valor presente neto, Escenario III			
Año 0	(9634.10)	(22639.95)	
Año 1	(10026.78)	(8497.97)	
Año 2	(10223.31)	(8601.16)	
Año 3	(10423.78)	(8706.40)	
Año 4	(10628.26)	(8813.75)	
Año 5	(10836.82)	(8923.25)	GTQ1,738.45
Año 6	(11049.56)	(9034.93)	GTQ6,046.00
Año 7	(11266.55)	(9148.85)	GTQ10,810.63
Año 8	(11487.88)	(9265.05)	GTQ16,027.56
Año 9	(11713.64)	(9383.58)	GTQ21,692.46
Año 10	(11943.91)	(9504.47)	GTQ27,801.45
VPN	(GTQ119,234.58)	(GTQ91,696.90)	

Por segunda vez podemos observar que el valor presente neto es menos negativo cuando se compara un proyecto con una micro central hidroeléctrica y uno que no tiene micro central hidroeléctrica. La Tasa Interna de Retorno fue calculada de la misma manera que en los dos escenarios anteriores y se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 104. Flujo incremental, Escenario III

FLUJO INCREMENTAL (MCH VS. NO MCH)
(13005.85)
1528.80
1622.16
1717.38
1814.51
1913.57
2014.62
2117.70
2222.83
2330.06
2439.44
8%

Como se puede ver en la tabla, la TIR es mayor a la TMAR establecida al principio del proyecto, es decir, el proyecto es rentable y se recomienda invertir en el mismo ya que su retorno va a ser mayor al esperado.

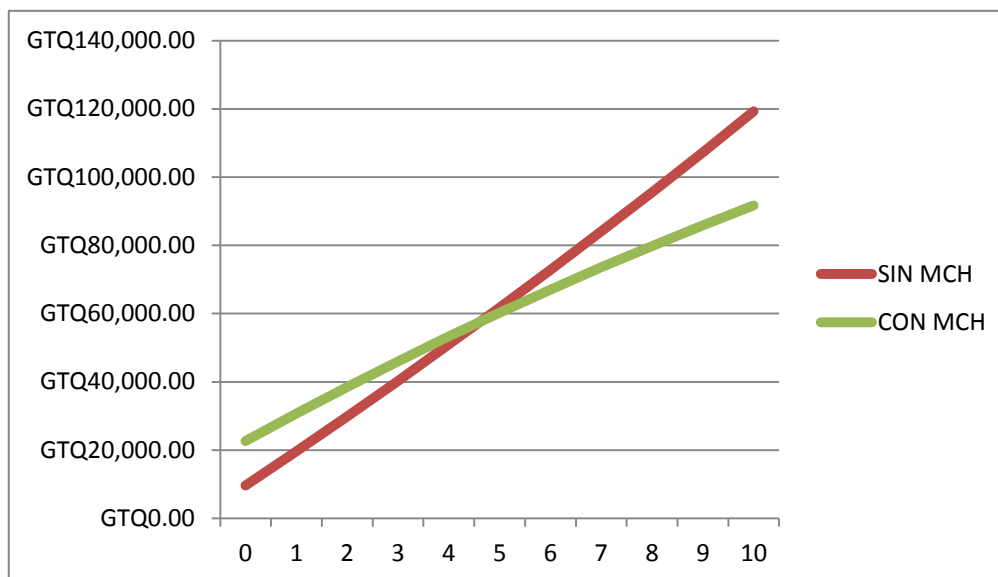
La inversión se recupera en el quinto año y posteriormente se cuenta con ahorros significativos en los años siguientes como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 105. Ahorros proyectados a diez años, Escenario III

AÑO			AHORRO
0	GTQ9,634.10	GTQ22,639.95	
1	GTQ19,660.88	GTQ30,733.26	
2	GTQ29,884.19	GTQ38,534.76	
3	GTQ40,307.97	GTQ46,055.68	
4	GTQ50,936.23	GTQ53,306.77	
5	GTQ61,773.05	GTQ60,298.37	GTQ1,474.68
6	GTQ72,822.61	GTQ67,040.37	GTQ5,782.23
7	GTQ84,089.15	GTQ73,542.29	GTQ10,546.86
8	GTQ95,577.03	GTQ79,813.25	GTQ15,763.79
9	GTQ107,290.67	GTQ85,861.98	GTQ21,428.69
10	GTQ119,234.58	GTQ91,696.90	GTQ27,537.68

La inversión como se puede observar en la gráfica siguiente se recupera cuando las líneas se intersecta; en este caso es en el quinto año.

Ilustración 85. Recuperación de la Inversión, Escenario III



Por último se analizará el cuarto escenario. En este escenario no se distribuirá la energía en más casas. Se distribuirá la energía dentro de las cinco casas que la micro central puede abastecer, claramente se necesitará una inversión mayor por parte de cada familia ya que los costos de inversión aumentan notablemente, sin embargo, el pago anual a la empresa eléctrica disminuirá drásticamente y a continuación se analizará si el proyecto es rentable o no bajo las condiciones previamente establecidas. A continuación se presenta la tabla del cálculo del valor presente neto:

Tabla 106. Valor Presente Neto, Escenario IV

	Pago anual sin Micro Central Hidroeléctrica	Pago anual con Micro Central Hidroeléctrica	Ahorro
Consumo mensual	415,980	35,980	
Consumo en kWh mensual	415.98	35.98	
Importe mensual	GTQ802.84	GTQ69.44	
Importe anual	GTQ9,634.10	GTQ833.30	
Repuestos anuales	200	204.10	
Mantenimiento anual	0	6217.20	
Total	GTQ200.00	GTQ6,421.30	
TMAR	0.0%	5%	
Año 0	(9634.10)	(34646.56)	
Año 1	(9826.78)	(7271.26)	
Año 2	(10023.31)	(7288.26)	
Año 3	(10223.78)	(7305.60)	
Año 4	(10428.26)	(7323.29)	
Año 5	(10636.82)	(7341.33)	
Año 6	(10849.56)	(7359.73)	GTQ367.84
Año 7	(11066.55)	(7378.50)	GTQ6,190.63
Año 8	(11287.88)	(7397.64)	GTQ12,471.50
Año 9	(11513.64)	(7417.17)	GTQ19,203.97
Año 10	(11743.91)	(7437.08)	GTQ26,382.15
VPN	(GTQ117,234.58)	(GTQ91,359.71)	

Nuevamente se puede observar que el valor presente neto es menos negativo cuando se compara un proyecto con una micro central hidroeléctrica comparado con uno que no tiene micro central hidroeléctrica. La Tasa Interna de Retorno fue calculada de la misma manera que en los dos escenarios anteriores y se obtuvo el siguiente resultado:

Tabla 107. Flujo incremental, Escenario IV

FLUJO INCREMENTAL (MCH VS. NO MCH)
(25012.46)
2555.52
2735.05
2918.18
3104.97
3295.49
3489.83
3688.05
3890.24
4096.47
4306.83
6%

Como se puede ver en la tabla, la tasa interna de retorno es mayor a la tasa mínima establecida al principio del proyecto, es decir, el proyecto es rentable y se recomienda invertir en el mismo ya que su retorno va a ser mayor al mínimo.

La inversión se recupera en el séptimo año y posteriormente se cuenta con ahorros significativos en los años siguientes como se puede observar en la tabla siguiente.

Tabla 108. Ahorros proyectados a diez años, Escenario IV

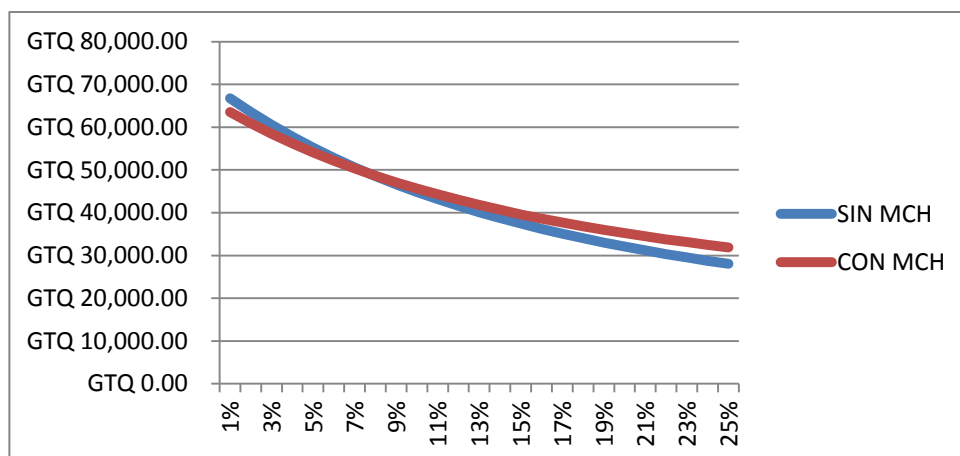
AÑO			AHORRO
0	GTQ9,634.10	GTQ34,646.56	
1	GTQ19,460.88	GTQ41,571.57	
2	GTQ29,484.19	GTQ48,182.24	
3	GTQ39,707.97	GTQ54,493.09	
4	GTQ50,136.23	GTQ60,517.98	
5	GTQ60,773.05	GTQ66,270.10	
6	GTQ71,622.61	GTQ71,762.04	
7	GTQ82,689.15	GTQ77,005.80	GTQ5,683.35
8	GTQ93,977.03	GTQ82,012.81	GTQ11,964.22
9	GTQ105,490.67	GTQ86,793.99	GTQ18,696.69
10	GTQ117,234.58	GTQ91,359.71	GTQ25,874.87

La inversión como se puede observar en la gráfica siguiente se recupera cuando las líneas se intersecta; en este caso es en el quinto año.

Luego de analizar cada escenario debemos tomar en cuenta que cada proyecto cuenta con su tasa mínima atractiva de retorno (TMAR) y esto puede hacer que varíen los resultados y la rentabilidad de cada proyecto. La TMAR puede variar dependiendo el proyecto o la persona. A continuación se presenta un análisis de sensibilidad dependiendo de la TMAR en cada escenario.

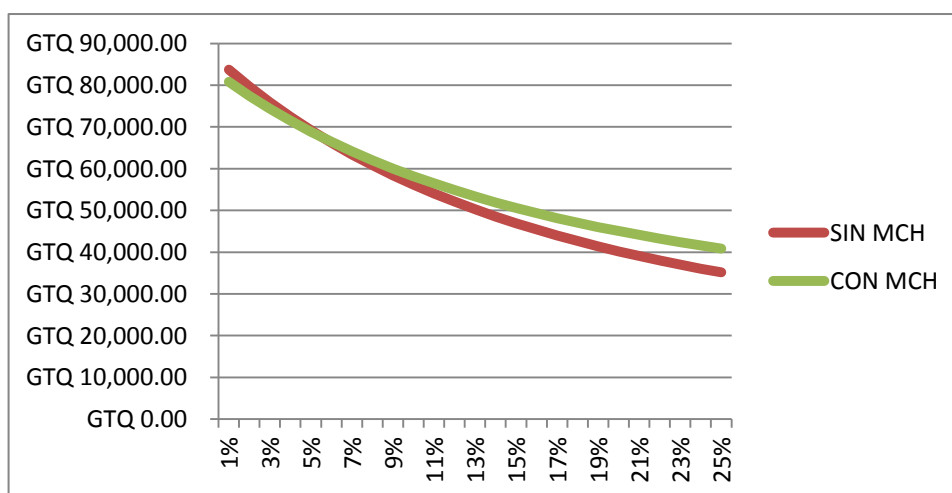
- Primer escenario

Ilustración 86. Análisis de Sensibilidad, Escenario I



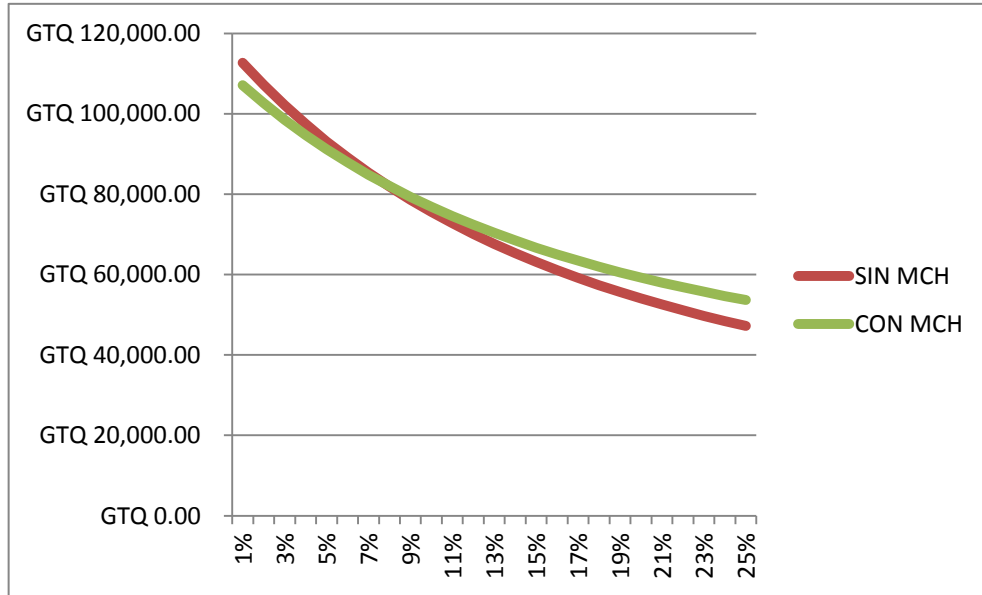
- Segundo escenario:

Ilustración 87. Análisis de Sensibilidad, Escenario II



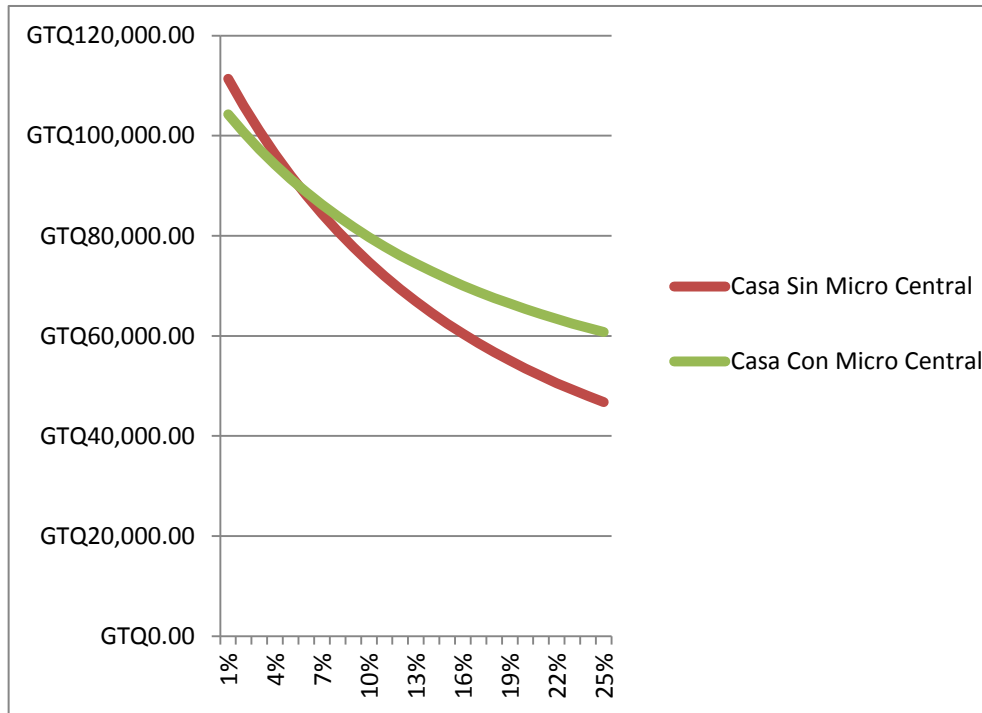
- Tercer escenario:

Ilustración 88. Análisis de Sensibilidad, Escenario III



- Cuarto escenario:

Ilustración 89. Análisis de Sensibilidad, Escenario IV



6. Discusión del análisis financiero. En el análisis financiero se realizaron cuatro diferentes escenarios en los cuáles variaron los consumos promedio por casa y en el último se variaron las casas que utilizarán la micro central hidroeléctrica. Se analizaron casas de relativamente bajo consumo, consumo medio y consumo alto para una sociedad media baja en el territorio nacional. Se debe tomar en cuenta que si se busca personas para invertir en este tipo de proyectos deben tener cierto nivel económico de forma que tengan los recursos suficientes.

Como se puede ver en tres de los cuatro escenarios, es más rentable invertir en una micro central hidroeléctrica para subsidiar a un número de casas de modo que se reduzca la cantidad mensual a pagar de electricidad. En el primer escenario no se obtuvo los resultados esperados debido a que el ahorro mensual era muy poco en el período de diez años, por lo que la tasa interna de retorno era muy baja. Lamentablemente vivimos en un país donde las personas se resisten mucho al cambio y buscan siempre lo más económico a corto plazo. Es complicado convencer a las personas que hoy inviertan una posible fuerte cantidad de dinero para ellos ya que prefieren utilizarlo para otras cosas, pensando siempre ahorrar hoy y dejar a un lado el futuro. También depende mucho la decisión de las personas si invierten o no en base al criterio de costo de oportunidad que cada uno tenga. Claramente se puede observar que es más rentable instalar una micro central hidroeléctrica ya que la inversión se recupera en un muy corto tiempo ya que por lo general las inversiones de este tipo se recuperan en un plazo de diez a quince años, a diferencia de este proyecto que su año más lejano de recuperación se observó en el segundo escenario el cual se recupera en el sexto año.

Se debe tomar en cuenta un factor bastante importante en este proyecto el cual es la ayuda por parte del Ministerio de Energía y Minas (MEM) de Guatemala ya que apoyan plenamente los proyectos de energías renovables, ya que no les cobran impuestos de importación ni operación durante los primeros diez años. Las energías renovables son una potencia para el futuro y se debe comenzar a tomar en cuenta utilizar e instalar sistemas en diferentes comunidades ya que la energía eventualmente va a subir de precio y para muchas personas será bastante difícil pagar los precios.

Las micro centrales hidroeléctricas así como cualquier proyecto de energía renovable es considerado un proyecto a largo plazo. Los frutos se observarán después de varios años con ahorros significativos por familia. Este tipo de proyectos logrará aumentar el estilo de vida de las familias ya que se ahorrarán una cantidad significativa con el tiempo y eventualmente poder invertir en otras necesidades que tengan.

Se debe tomar en cuenta que cada proyecto, dependiendo de la rentabilidad y el riesgo del mismo cuenta con una TMAR, la cual puede hacer que cambien los resultados. Debido a esta variabilidad, se realizó un análisis de sensibilidad donde se observan las diferentes posibles tasas desde 1% hasta 25% y se graficaron de modo en que se pueda observar en qué porcentaje varían los

resultados. Como se mencionó anteriormente, el Ministerio de Energía y Minas proporciono un período de diez años donde no se pagan impuestos de importación, instalación y uso para los proyectos relacionados con energías renovables menores a diez MW, por lo que estos costos fueron excluidos del análisis y es un punto muy importante ya que los impuestos pueden elevar bastante el costo del proyecto. Se debe tomar en cuenta que no se utilizó valor de rescate ya que éstos equipos se deprecian en un período de diez años y la vida útil de dicho equipo es el doble. Además al obtener el presente del valor de rescate, se obtenía una cantidad muy baja la cual no afectaba los resultados finales, por lo que se tomó como cero. Dicha valor era bajo debido a que el equipo después de cierta cantidad de tiempo puede venderse únicamente como chatarra, ya que dichas piezas no pueden ser utilizadas en diferentes proyectos. Además el proyecto de micro centrales hidroeléctricas como se mencionó anteriormente no es popular en Guatemala, por lo que no existen tantas empresas interesadas en comprar el equipo, únicamente empresas que compran chatarra y alguna otra empresa interesada en ciertas piezas de la micro central hidroeléctrica.

También se debe tomar en cuenta que si se aplica una micro central para una pequeña comunidad, la inversión por familia será menor que si es para un grupo menor a cinco familias. Al aplicar el proyecto para una pequeña comunidad, la inversión disminuye y se vuelve más rentable y accesible para las familias que serán involucradas en la implementación del mismo. Se debe aprovechar la ayuda que se está teniendo por parte del gobierno para impulsar los proyectos de energías renovables y lo que hoy es algo que se plantea como una idea, volverlo realidad para poder comenzar a ver los cambios en las familias y comunidades guatemaltecas.

7. Ventajas y desventajas de las micro centrales hidroeléctricas

Ventajas:

- Una de las mayores ventajas es que las micro centrales hidroeléctricas funcionan por medio de energías renovables, las cuales en Guatemala contamos en gran abundancia.
- No requieren de combustible ni uso de energías no renovables para su funcionamiento.
- Reducen la contaminación del medio ambiente y no contaminan para nada el agua de los ríos donde se instalan las mismas.
- Los costos de mantenimiento y operación son realmente bajos ya que no requieren de mayores cambios durante el año.
- El tiempo de vida útil de estos equipos pueden llegar a ser sumamente largos si se cuenta con el uso y cuidado necesario.
- Pueden ser utilizadas por una comunidad pequeña, no solo para una familia.

- Impulsa el desarrollo social y la mejora de vida de las personas en las comunidades guatemaltecas.

Desventajas:

- Los costos de instalación pueden ser elevados en caso que las micro centrales sean instaladas lejos de las comunidades que van a realizar uso de la misma.
- Se requiere de personal capacitado y experimentado para la instalación de la misma ya que no cualquier persona puede realizar las instalaciones de la micro central.
- La eficiencia y generación de electricidad pueden variar durante las diferentes épocas del año ya que los caudales pueden disminuir.
- Debido a que los caudales no son constantes, en ciertos proyectos es necesario realizar instalaciones adicionales para asegurarse el caudal constante durante todo el año.

X. Guía para la elaboración de una micro central hidroeléctrica

Las energías renovables como la solar, eólica e hidráulica a pequeña escala han demostrado ser apropiadas para las condiciones de las poblaciones rurales, pues son un recurso natural local, y no requieren una inversión para combustible. (Sanchez, 2010)

1. Ventajas de las Micro Centrales Hidroeléctricas
 - a) No necesitan combustible. Utilizan la fuerza del agua, que es un recurso inagotable.
 - b) No contaminan el medio ambiente porque no producen gases ni humo en su funcionamiento.
 - c) Normalmente es un trabajo continuo.
 - d) Permiten el funcionamiento de otros equipos y maquinas.
2. Los efectos negativos de las MCH son mínimos

Clasificación de Micro Centrales Hidroeléctricas

1. Pico centrales hidroeléctricas: hasta 5 kW
2. Micro centrales hidroeléctricas: de 5 a 100 kW
3. Mini centrales hidroeléctricas: de 100 a 1000 kW

Cómo gestionar un proyecto con MCH

- a) Buscar apoyo en instituciones especializadas como organismos de cooperación, municipalidades. Es necesario tener la información siguiente:
- b) Localizar en un mapa la comunidad donde se colocara la MCH y acceso más fácil desde la ciudad.
- c) Identificar a las autoridades de esa comunidad y número de viviendas.
- d) Identificar las necesidades de electricidad en la comunidad.
- e) Identificar que otros recursos naturales que se pueden usar como fuente de energía como el Sol o el viento.
- f) Organizar un comité que se dedique al tema de electrificación.
- g) Tomar las decisiones adecuadas con respecto al tema. (Sanchez, 2010)

Demanda energética

Realizar el estudio energético correspondiente a la zona donde se instalara la MCH, que consistirá en:

1. Número de casa con electricidad
2. Número de alumbrados públicos
3. Cantidad de personas a beneficiar

Estudio del río

Realizar el estudio de las características naturales del río. El río se conforma por tres partes:

1. El Recorrido
2. El Cauce
3. El Caudal

Caudal

Realizar los estudios topográficos de la sección del río que se tomara en cuenta para la instalación de la MCH.

Utilizar el método que mejor corresponda por las características. Estos son:

1. Método área velocidad.
2. Método dilución con trazadores.

Seleccionar turbina

Al obtener la demanda energética y las características principales del río, entiéndase caudal y altura, se seleccionara la turbina ideal para esa Micro Central Hidroeléctrica.

Turbinas a utilizar:

1. Turbina Pelton.
2. Turbina Kaplan.
3. Turbina Francis.
4. Turbina tipo Hélice.

Construcción obras civiles

1. Casa de máquinas. (3x3)
2. Canal trapezoidal.
3. Canales para tuberías.
4. Cimentación

Al tener el diseño adecuado para la construcción de la casa de máquinas que albergara las turbinas y aspas donde pasara el agua que generará la energía eléctrica y el diseño transversal para el canal donde se conducirá el agua hacia la casa de máquinas, según sea la necesidad del caudal, procedemos a la construcción de dichos elementos.

El material a utilizar es el siguiente:

1. Cemento
2. Arena de río cernida
3. Grava No. 6
4. Block
5. Agua
6. Varillas de acero

Precio estimado de construcción para la casa de máquinas es de Q18,500.00 repartido de la siguiente forma:

- 60% costo de materiales.
- 25% mano de obra.
- 5% utilidad.

Precio estimado de construcción para el canal es de Q5,850.00 repartido de la siguiente forma:

- 70% costo de material.
- 20% mano de obra.
- 5% costos e imprevistos.
- 5% utilidad.

Los valores pueden variar dependiendo de la necesidad del diseño para la construcción de la MCH, tomando en consideración fundamental, el área donde se realizará la cimentación, ya que se tiene diversos tipos de suelos como accesibilidad a los mismos. Para esto, será necesario realizar un estudio de viabilidad para evitar que el proyecto tenga sobrecostos.

XI. CONCLUSIONES

1. Entre las ventajas principales de los aerogeneradores se pueden mencionar su habilidad a trabajar a distintas intensidades de viento, el poco espacio que ocupan y la versatilidad de trabajar en cualquier dirección posible del recurso. Y la principal desventaja de los aerogeneradores es que dependen de un recurso muy variable como es el viento, por lo que la inconsistencia es algo que se debe tomar en cuenta para determinar el grado de generación mensual.
2. El aerogenerador más conveniente para suministrarle energía a una vivienda en la ciudad de Guatemala es el B (1 KW) con un periodo de recuperación de la inversión de 14 años y un ahorro promedio mensual de emisiones contaminantes en 156.92 kg CO₂.
3. Para el análisis de bombeo de agua en edificios el escenario A fue el de menor rentabilidad ya que se recupera la inversión en 15 años con una demanda energética de 180.17 kW/h. El escenario B en 7 años con una demanda energética de 840.69 kW/h y el escenario C en 5 años con una demanda energética de 1778 kW/h.
4. En la ciudad de Guatemala, según los estudios obtenidos en SWERA y en las diferentes instituciones gubernamentales, en especial el Ministerio de Energía y Minas; existe un potencial de viento (4.53 m/s aproximadamente) suficiente para poner a funcionar la mayoría de micro turbinas eólicas hoy en día. Las velocidades de viento no son excelentes pero si suficientes para poder aprovecharla, más aun en el interior del país donde se obtienen mejores condiciones eólicas.
5. Se logra observar de los resultados obtenidos que mientras más energía exija el proyecto eólico, este será más factible financieramente. El ahorro energético que proporciona el aerogenerador representa más que el costo en el aumento de la inversión del mismo.
6. Los aerogeneradores en la ciudad de Guatemala siempre tendrán una eficacia mucho menor a la que fueron fabricados, potencia nominal; por lo tanto se deben seleccionar turbinas más grandes para que la generación no sea tan pobre.
7. Ya que existen velocidades de viento relativamente bajas en la ciudad de Guatemala, el éxito del proyecto eólicos dentro del país depende de la aplicación que se le dé, como es el caso de bombeo de agua; evaluar cuanto potencial de energía eólica se tiene específicamente en el lugar y administrar de forma eficiente la energía producida.

8. El diseño de un sistema eólico para bombear agua consta de 6 pasos, los cuales son: Situar el lugar del proyecto, Investigar del viento en la ciudad de Guatemala, Definición del proyecto y propósito del aerogenerador, Estimación tamaño de la bomba, Definir lista de aerogeneradores candidatos y el Análisis financiero.
9. Se requiere de una mayor inversión y mayor tiempo de recuperación de la inversión para la implementación de un sistema eólico que para un sistema a base de energía solar.
10. La inversión más económica requerida para instalar un sistema fotovoltaico con capacidad de 300kwh mensuales es de Q42, 114.68. Si se instala hoy en día se obtiene un valor presente neto de (34,877.47) y un periodo de recuperación de la inversión de 18 trimestres al tomar en cuenta que el consumo de energía eléctrica.
11. La generación mediante energías alternas renovables, se presenta de una forma mucho más accesible y efectiva a corto plazo, para aliviar el consumo de energía por un crecimiento poblacional, así como la utilización de combustibles fósiles.
12. La utilización de MCH mejorará la calidad de energía, reducirá pérdidas y mejorará la confiabilidad.
13. Las energías renovables tales como la solar, eólica, hidroeléctricas, biomasa y geotérmica han sido vistas como soluciones viables, de manera alcanzable, ya que el nivel de la vida humana y los problemas del ambiente mejoraran en un gran porcentaje.
14. Las MCH por sus bajos costos y altos resultados de energía han sido seleccionadas para estudios en países donde se vive la extrema pobreza, para la mejora de la vida social y que los afectados puedan utilizar este beneficio.
15. La instalación de micro centrales hidroeléctricas en Guatemala y a nivel mundial es fundamental para reducir el impacto ambiental y lograr ahorros a largo plazo.
16. Guatemala cuenta con diecinueve ríos importantes con el caudal suficiente para poder ser utilizados en proyectos de micro centrales hidroeléctricas y de esta forma beneficiar a muchas comunidades y familias guatemaltecas
17. Las micro centrales hidroeléctricas con turbina tipo Mitchell Banki son las que mejor aplican para los diferentes proyectos ya que es la turbina que necesita el menor caudal para producir cantidades suficientes de energía.

18. Los proyectos de energías renovables están siendo fuertemente impulsados a nivel mundial para poco a poco reducir el consumo de energía generada por medio de fuentes no renovables, las cuales han dañado al medio ambiente a través de los años.
19. Una micro central hidroeléctrica de dos mega watts es suficiente para abastecer el consumo promedio de una familia en una comunidad de bajos recursos en Guatemala.
20. Las energías renovables son el futuro de las comunidades ya que eventualmente la electricidad subirá de precio y esta es una de las opciones más rentables para poder disminuir el gasto mensual de electricidad.
21. En el primer escenario se puede observar que el proyecto no es rentable en un período de diez años al obtener un TIR menor a la TMAR establecida aunque se logre un ahorro significativo de Q9,808.15 después de diez años; luego en el segundo escenario se observa un ahorro de Q19,312.09 después de diez años; en el tercer escenario se observa un ahorro de Q27,801.45 después de diez años; por último en el cuarto escenario a pesar que la inversión es mucho mayor, se obtiene un ahorro de Q25,874.87 después de diez años.
22. Dicho proyecto es rentable en tres de los cuatro diferentes escenarios ya que la TIR es mayor a la TMAR establecida. A continuación podemos ver la TIR en cada escenario:

	Escenario I	Escenario II	Escenario III	Escenario IV
TIR	-3%	6%	8%	6%

El escenario más rentable es el tercer escenario, donde se puede observar además un mayor ahorro después de diez años (Q27,801.45). También se puede observar que en el cuarto escenario, a pesar que la inversión inicial es mucho mayor, luego de un período de diez años se logra un ahorro de Q27,537 y conforme pasen los años, el ahorro será mucho mayor ya que la micro central reduce notablemente el pago que se la continuará haciendo a la empresa eléctrica y el ahorro será exponencialmente.

XII. RECOMENDACIONES

- Basado en los resultados positivos del estudio, es de considerar seriamente el aprovechamiento de la energía eólica en Guatemala. Incentivar a las instituciones responsables a adquirir este compromiso para que el país tenga las posibilidades de generar energía eólica, no solo para ayudar al medio ambiente sino que también para ayudar al progreso del país.
- Para obtener mejores pronósticos al implementar un aerogenerador en una residencia es recomendable realizar mediciones de la velocidad del viento en el área donde se desea instalar. También medir el kWh/m²/ día en el área donde se desee instalar el sistema solar.
- Se recomienda que los aerogeneradores estén libres de cualquier obstáculo y que estén instalados de manera estable para evitar cualquier tipo de daño así como obtener el mejor rendimiento posible
- La energía eólica no solo ayuda a proteger el medio ambiente pero puede ser útil en lugares donde la energía eléctrica no pueda llegar o simplemente no se da a basto. En Guatemala existen lugares donde no se tiene este recurso eléctrico. Se recomienda considerar como alternativa el uso de energía eólica para proyectos sociales. Ya sea para bombear agua o para abasteceros de luz o cualquier otra aplicación.
- Se recomienda efectuar los mantenimientos respectivos al sistema instalado, ya que de no efectuarse los mismos, no se garantizaría la generación de electricidad esperada mensual.
- Mejorar los equipos y las redes eléctricas que existen en Guatemala, para que la interconexión a la red mediante las tecnologías de la generación distribuida sea una norma aceptada.
- Investigar las características y los estudios hidrológicos del río para poder realizar las MCH de una manera que no afecten su medio ambiente que lo rodea.
- Llegar a un acuerdo con las organizaciones para poder construir MCH en los ríos más importantes de Guatemala, para la instalación de estas y así poder distribuirle energía a la mayoría de la población.

- Se recomienda tomar en cuenta varios factores antes de comenzar la construcción e instalación de la micro central hidroeléctrica. Entre los factores a tomar en cuenta se debe seleccionar el sitio adecuado, medir y monitorear los caudales en diferentes tiempos, tener el equipo y los materiales disponibles, condiciones de la demanda en la comunidad, administración y capacitación para su uso.
- Es aconsejable realizar estudios del nivel de caudal en varias épocas del año debido a que el mismo puede variar mucho por el calentamiento global. Los caudales pueden variar dependiendo la época y se debe tomar como referencia el caudal mínimo y realizar algún tipo de construcción si es necesario forzar el caudal para que sea mayor.
- Hay que tomar en cuenta que la capacidad de las micro centrales hidroeléctricas debe estructurarse en directa relación con el potencial uso de la misma.
- Es de sumo beneficio el capacitar de la manera más completa y formal al personal que estará encargado del mantenimiento de la micro central para poder alargar el tiempo de vida del equipo.

XIII. BIBLIOGRAFÍA

- Aldana Wong, Ana Lucía. 2010. *Diseño comparativo para la selección de un sistema de regeneración de energía eléctrica y térmica para un hotel*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 87 págs.
- Alonso, V. Z. (1977). *Energía Hidroeléctrica*. Mexico: Limusa.
- Altaf López, James Allan. 2003. *Análisis de factibilidad entre producir colectores para calentamiento de agua por medio de energía solar o importarlos para su comercialización*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 74 págs.
- Antezana Nuñez, Juan Cristóbal (2004) “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical” Documento disponible en Línea en : <http://www.uv.es/~navasqui/OtrosAerogeneradores/Aerogen-vertical.pdf>
- Asociación Mundial de Energía Eólica. 2012. *Reporte mundial de mini eólica 2012*. Alemania, 17 págs.
- Asociación Mundial de Energía Eólica. 2011. *Reporte anual de la energía eólica en el mundo 2010*. Alemania, 23 págs.
- Bolaños, Roma Ma. *Monitorean 16 áreas para energía eólica*. Prensa Libre. 2011. http://www.prensalibre.com/economia/Monitorean-areas-energia-eolica_0_553744622.html

- Boccanera, D. R. (1995). UCN. Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de www.fainweb.uncoma.edu.ar
- Bornay. Mini eólica. <<<http://bornay.com/eolica/es/minieolica/8>>>. Accedido: 15 de Septiembre de 2012.
- Briceño, E. (2008). Manual de Capacitacion en Operacion y Mantenimiento de Pequeñas Centrales Hidroelectricas. Lima: Luis Andrade.
- Chavez, J. (2007). Turbina Michell - Banki. Lima: Miraflores.
- Cid, L. C. (2006). Propuesta para el control de mantenimiento preventivo y correctivo, mediante el uso de un paquete de computacion, en la planta geotermica ORZUNIL 1. Guatemala: USAC.
- Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE) [http://www.cnee.gob.gt/Guatemala 2012](http://www.cnee.gob.gt/Guatemala%2012)
- *Definición de Energía*. Wordpress. <http://definicion.de/energia/>
- Electrica. (2008). Maquina Sincronica. Buenos Aires: UTN.
- Enciso, Juan, Mecke, Michael. (2004) “Using Renewable Energy to Pump Water” Texas Water Resource Institute. Texas, EEUU.
- *Energías Renovables en Guatemala*. OAS. Ministerio de Energía y Minas. Guatemala http://www.oas.org/dsd/reep/reuniones/uruguay/presentations/mem_guatemala.pdf
- *Energía solar térmica*. Soli clima. http://www.soliclina.com/energia_solar.htm
- Estados Unidos. 2002. Departamento de energía Estados Unidos. *Sistemas eólicos pequeños para generación de electricidad*. Estados Unidos. 26 págs.
- Exatecno. (2005). Recuperado el 16 de Julio de 2012, de <http://www.exatecno.net/ampliacion/energia/TurbinaKaplan.htm>

- Frank. (25 de Septiembre de 2009). Analisis de Caudales. Recuperado el Agosto de 2012, de <http://www.ingenieroambiental.com/4018/hidrologia%20-%20caudales%282%29%282%29.pdf>
- Fromm, R. (Abril de 2009). Guia metodologica para el establecimiento de micro centrales hidroelectricas en areas rurales. Recuperado el 10 de Agosto de 2012, de www.fhia.org.hn
- Gipe, Paul. 1993. *Wind Power for Home & Business: Renewable Energy for the 1990s and Beyond*. 1ª Edición. Estados Unidos. 413 págs.
- Gomez, J. L. (20 de Abril de 2012). Funcionalidad y Especificaciones de la Micro Central Hidroelectrica. (A. Lopez, Entrevistador)
- González Díaz, Edgar Renato. 2002. *Análisis técnico económico para la instalación de un aerogenerador en sector residencial*. Tesis Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 47 págs.
- Guatemalteca, E. E. (2000). EEGSA. Recuperado el 5 de Agosto de 2012, de www.eegsa.com
- Guatemala, G. d. (1985). Ministerio de Energia y Minas. Recuperado el 14 de Julio de 2012, de www.mem.gob.gt
- INDE. (2003). INDE. Recuperado el 12 de Agosto de 2012, de www.inde.gob.gt
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), 2006. Perfil Ambiental de Guatemala: tendencias y reflexiones sobre la gestión ambiental. Guatemala, 250 págs.
- Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente (IARNA), Universidad Rafael Landívar (URL) y Asociación Instituto de Incidencia Ambiental (IIA), 2009. *Perfil Ambiental de Guatemala 2008-2009: las señales ambientales críticas y su relación con el desarrollo*. Guatemala, 320 págs.

- López Hoens, Carlos Roberto y Hesler Eduardo Acevedo Guerra. **Tesis Guía para la instalación y operación de los sistemas solar y sistemas eólico del parque tecnológico**, Tesis Ingeniería Mecánica Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003.
- *Metodología para la elaboración de los balances de energía*. 2004. Sien. 75 págs.
- Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía “**ENERGIA EOLICA EN GUATEMALA**” Disponible en línea en : www.mem.gob.gt
- Montes. (2002). Deposito de documentos de la FAO. Recuperado el 15 de Julio de 2012, de www.fao.org
- M. R. Vegaban, S. Karekezi. **Energy for rural development**, 1era Edición. Suecia: Editorial ZedBooks, 1992.
- Murguerza, D. (s.f.). Micro Centrales Hidroelectricas . Argentina: Fisica.
- Mur, Joaquín. 2001. *Curso de energía eólica*. Zaragoza. 107 páginas.
- Ola García, José Luis “ Tarifa Eléctrica y Facturación en Guatemala” Disponible en línea en: http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_10_MEC02.pdf
- Sanabria, I. C. (2005). Turbinas Francis. Asuncion.
- Sanchez, T. (2010). Micro Centrales Hidroelectricas. Lima: Mario Cossio.
- Santiago. (22 de febrero de 2008). La guía. Recuperado el 26 de Octubre de 2012, de <http://geografia.laguia2000.com/hidrografia/el-estudio-de-los-rios-el-caudal>
- Serna Llaguno, Fernando (2011) “Medición e Instrumentación: Anemómetro” Universidad Nacional Autónoma de México. Documento disponible en Línea en : <http://es.scribd.com/doc/62141455/AnemometroTrabajo>

- Serna Llaguno, Fernando (2011) “Medición e Instrumentación: Anemómetro” Universidad Nacional Autónoma de México. Documento disponible en Línea en : <http://es.scribd.com/doc/62141455/AnemometroTrabajo>
- Sosa, Hugo. 2003. *Los aerogeneradores y la factibilidad de realización de un proyecto de energía eólica en Guatemala*. Tesis Universidad Francisco Marroquín. Guatemala. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Informática y Ciencias de la Computación.
- Swera Wind. <http://www.windenergy.com/products>. Accedido: 15 de Septiembre 2012.
- Vassaux Castro, Luis P. (2008) “Estudio Técnico de Factibilidad de Generación de Energía Eléctrica Por Medio de Aerogeneradores en el Municipio de Puerto Barrios” Guatemala. Biblioteca Usac. Disponible en línea en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_0442_M.pdf
- Walter Hulshorst (2009) “Manual Práctico de evaluación de una instalación eólica a pequeña escala”, 20 páginas. Documento disponible en línea en : [http:// www.leonardo-energy.org/espanol](http://www.leonardo-energy.org/espanol)
- Windenergy. Products. <<<http://www.windenergy.com/products>>>. Accedido: 15 de Septiembre 2012.

XIV. GLOSARIO

Aerogenerador: Aparato que transforma la energía eólica en energía eléctrica mediante rotores de palas.

Anticiclón: Perturbación atmosférica que consiste en un área de altas presiones y circulación de viento en sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte, e inversamente en el sur. Suele originar tiempo despejado.

Atmósfera: Capa de aire que rodea la Tierra.

Corriente Alterna: Corriente eléctrica que invierte periódicamente el sentido de su movimiento con una determinada frecuencia.

Corriente Continua: corriente eléctrica que fluye siempre en el mismo sentido.

Decibel: Unidad para medir la intensidad de un sonido.

Densidad: Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m^3).

Electricidad: Propiedad fundamental de la materia que se manifiesta por la atracción o repulsión entre sus partes, originada por la existencia de electrones, con carga negativa, o protones, con carga positiva. **Energía Eléctrica:** Energía producida cuando se altera el equilibrio o la misma fuerza entre varios electrones y protones de los átomos.

Energía mecánica: Energía que tiene un objeto debido a su energía almacenada en su posición.

Energía solar: Energía que viaja desde el Sol hasta la tierra en forma de rayos.

Fotovoltaico: Pertenece o relativo a la generación de fuerza electromotriz por la acción de la luz.

Geografía: Ciencia que trata de la descripción de la Tierra.

Kilovatio Hora: Unidad de trabajo o energía equivalente a la energía producida o consumida por una potencia de un kilovatio durante una hora.

Kilovatio: Unidad de potencia equivalente a 1000 voltios

Megavatio: Medida de potencia eléctrica que equivale a un millón (10^6) de vatios.

Radiación: Energía ondulatoria o partículas materiales que se propagan a través del espacio.

Recursos Naturales: Bienes materiales que proporciona la naturaleza sin alteración por parte del ser humano; que son valiosos para contribuir al bienestar y desarrollo de los mismos.

Recursos No Renovables: Son aquellos que existen en cantidades fijas o bien que su tasa de regeneración es menor a la tasa de explotación.

Recursos Renovables: Son aquellos recursos naturales cuya existencia no se agota por la utilización de los mismos.

Vatio: Unidad de potencia eléctrica del Sistema Internacional, que equivale a un julio por segundo.

XV. ANEXOS

A. Normativa relacionada con la generación de energía renovable

Ley General de Electricidad; Decreto 93,96	La ley fundamental en materia de electricidad. Establece que tanto la generación como la transmisión, distribución y comercialización de electricidad son libres. Establece además que son libres los precios por la prestación del servicio de electricidad, con la excepción de los servicios de transporte y distribución, los cuales están sujetos a autorización.
Reglamento de la Ley General de Electricidad; Acuerdo Gubernativo No. 256-97 y sus Reformas	Reglamenta la Ley General de Electricidad (Decreto 93-96)
Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable; Decreto 52-03	Tiene por objeto promover el desarrollo de proyectos de energía renovable y establecer los incentivos fiscales, económicos y administrativos para lograr ese objeto.
Reglamento a la Ley de Incentivos para el Desarrollo de Proyectos de Energía Renovable, Decreto 211-2005	Reglamenta la Ley General de Electricidad (Decreto 52-02)
Reglamento del Administrador del Mercado Mayorista; Acuerdo Gubernativo 299-98	Define los principios generales del Mercado Mayorista, así como la organización, funciones, obligaciones y mecanismos de financiamiento del Administrador del Mercado mayorista
Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, Decreto Número 68-86	De interés para la generación eléctrica, legisla los temas relacionados al mantenimiento de la cantidad del agua para el uso humano y otras actividades, los temas relacionados a sistema líticos y edáficos, y los temas relacionados con la conservación y protección de los sistemas bióticos.
Norma Técnica para la Conexión y Comercialización de la Generación Distribuida Renovable, Resolución CNEE 171-2008	Establece las disposiciones que deben cumplir los Generadores Distribuidos Renovables (GDR) y los Distribuidores para la conexión, operación, control y comercialización de energía eléctrica producida con fuentes renovables.

Fuente: Empresa PAMPAGRASS, S. A.

B. Organizaciones relevantes para el sector de energía renovable en Guatemala

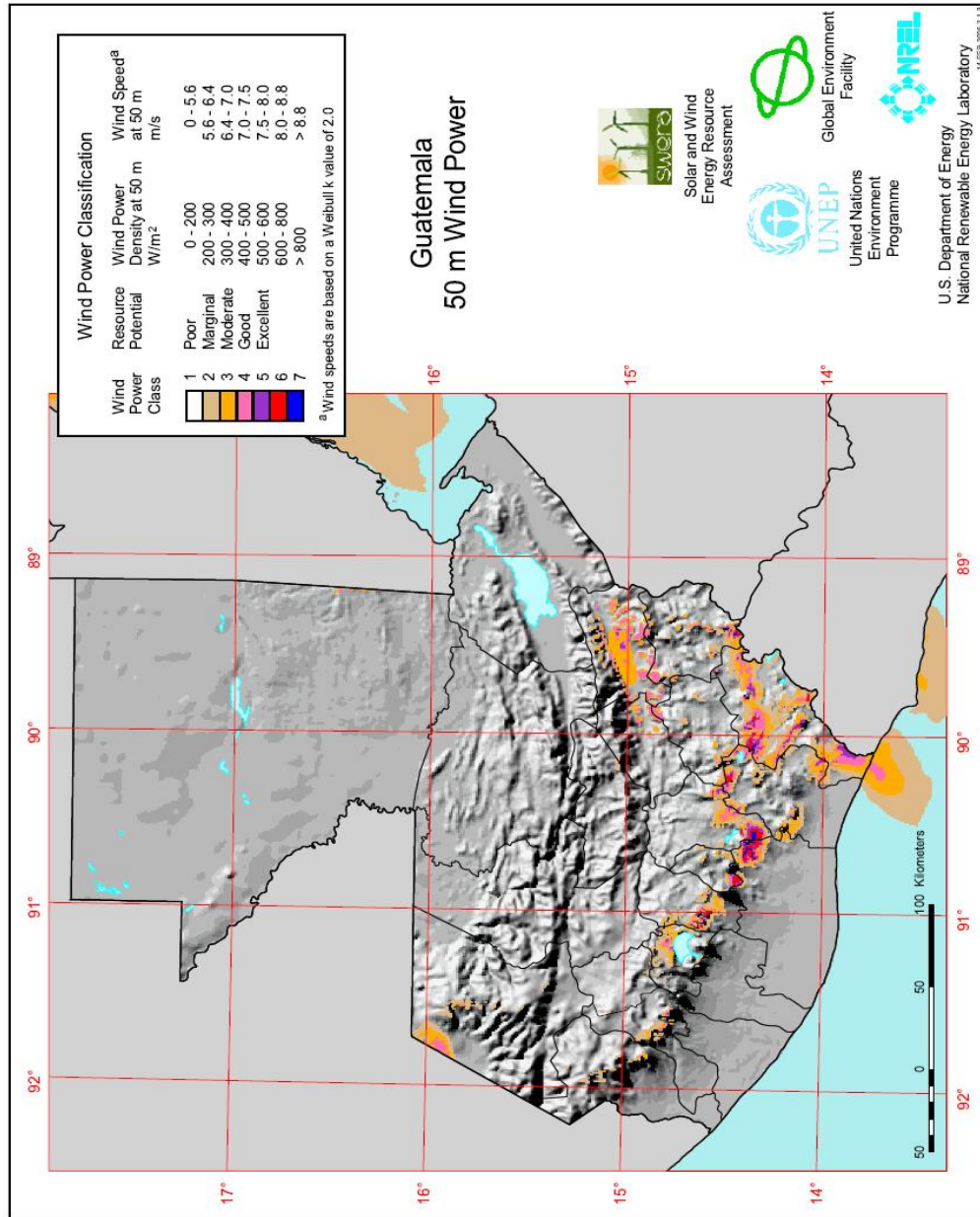
Institución	Funciones	Teléfono	Dirección Electrónica
Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN)	El MARN es la entidad del sector público especializada en material ambiental y de bienes y servicios naturales.	(502) 2423-0500	http://www.marn.gob.gt
Ministerio de Energía y Minas (MEM)	Es el órgano rector del Estado responsable de formular y coordinar las políticas, planes de Estado, programas indicativos relativos al sector eléctrico y aplicar la normativa relativa al sector energético.	(502) 2419-6464	http://www.mem.gob.gt
Dirección General de Energía (DEL MEM)	Es la dependencia del MEM que tiene bajo su responsabilidad el estudio, fomento, control, supervisión, vigilancia técnica y fiscalización del uso técnico de la energía.	(502) 2419-6363	http://www.mem.gob.gt
Comisión Nacional de Energía Eléctrica (CNEE)	Organismo técnico del MEM, con independencia funcional encargado de formular, implantar y fiscalizar el marco regulatorio y normativo del subsector eléctrico.	(502) 2321-8000	http://www.cnee.gob.gt
Instituto Nacional de Electrificación (INDE)	Empresa Eléctrica Estatal que participa en el Mercado Nacional y Regional de Energía Eléctrica.	(502) 2422-1800	http://www.siget.gob.sv
Instituto Nacional de Fomento Municipal (INFOM)	Apoya a las Municipalidades para llevar a cabo la gestión de financiamiento de estudios de factibilidad para pequeñas centrales hidroeléctricas	(502) 2422-6900	http://www.infom.gob.gt
Administrador del Mercado Mayorista (AMM)	Es una identidad privada sin fines de lucro, que coordina las transacciones entre participantes del Mercado Mayorista de Electricidad, asegurando la competencia en un mercado libre.	(502) 2382-9100	http://www.amm.org.gt
Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A. (EEGSA)	Presta servicio de distribución eléctrica en el área central del país.	(502) 2420-4000	http://www.eegsa.com

Continuación: Organizaciones relevantes para el sector de energía renovable en Guatemala

Institución	Funciones	Teléfono	Dirección Electrónica
Banco Centroamericano de Integración Económica (BCIE)	Banco multilateral, con fuerte presencia en el sector eléctrico.	(502) 2410-5300	http://www.bcie.org
Asociación de Generadores de Energía Renovable (AGER)	Representa a un grupo de generadores privados así como a las instituciones, empresas y profesionales dedicados al desarrollo de energías limpias.	(502) 2380-9000	http://www.ager.org.gt
Asociación Nacional de Generadores (ANG)	Está compuesta por tres "Asambleas": la de los Generadores Térmicos, la de los Generadores Renovables y la de los Cogeneradores.	(502) 2233-4955	http://www.anguate.org
Cámara de Industria de Guatemala	Acompaña, defiende y promueve al sector industrial, para aumentar los avances y la competitividad de las industrias ya consolidadas y de las que se encuentran en desarrollo.	(502) 2380-9000	http://www.industriagate.com

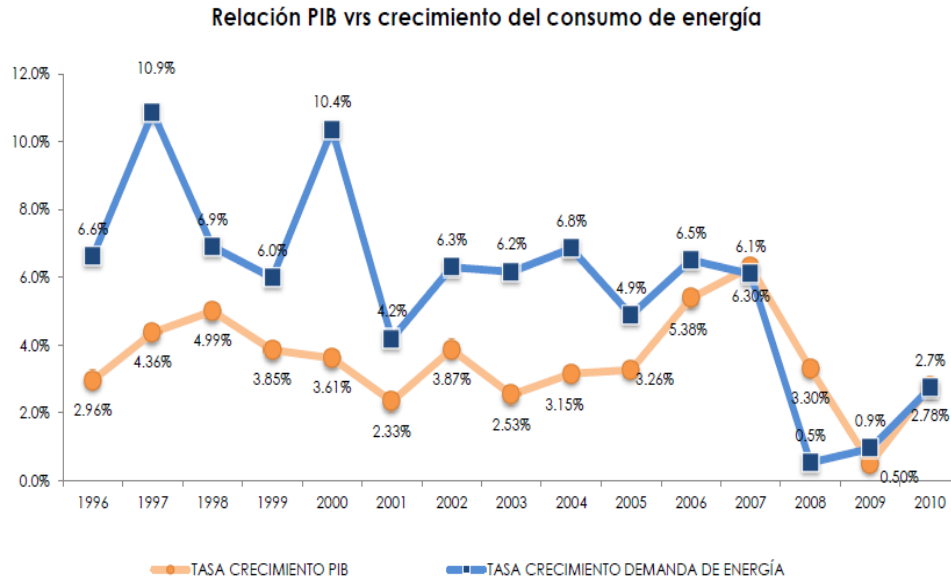
Fuente: Empresa PAMPAGRASS, S. A.

C. Mapa de relieve que muestra la velocidad del viento en Guatemala



Fuente: National Renewable Energy Laboratory

D. Crecimiento del PIB vs crecimiento de consumo de energía



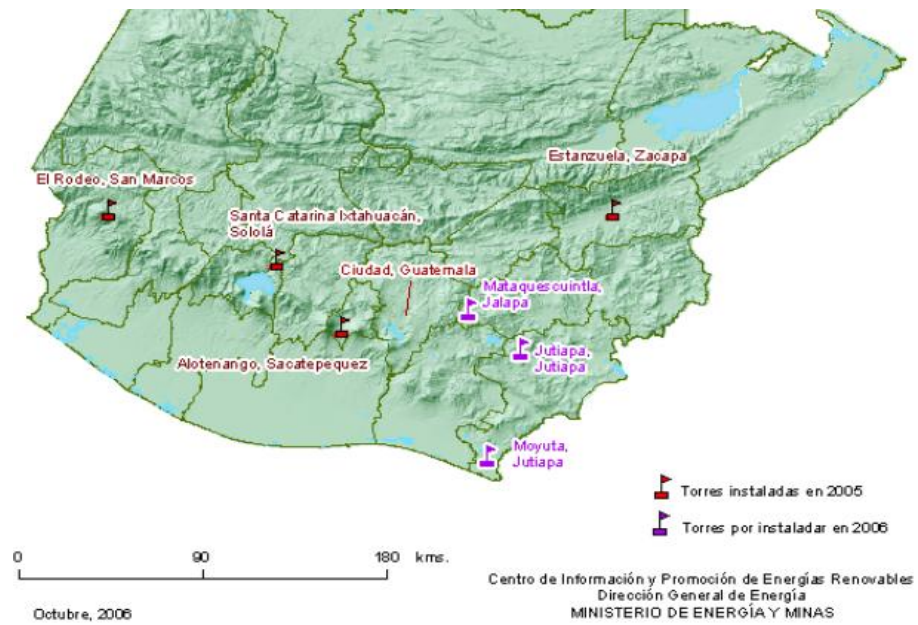
Fuente: Comisión Nacional de Energía Eléctrica

E. Potencial Geotérmico en Guatemala 2005



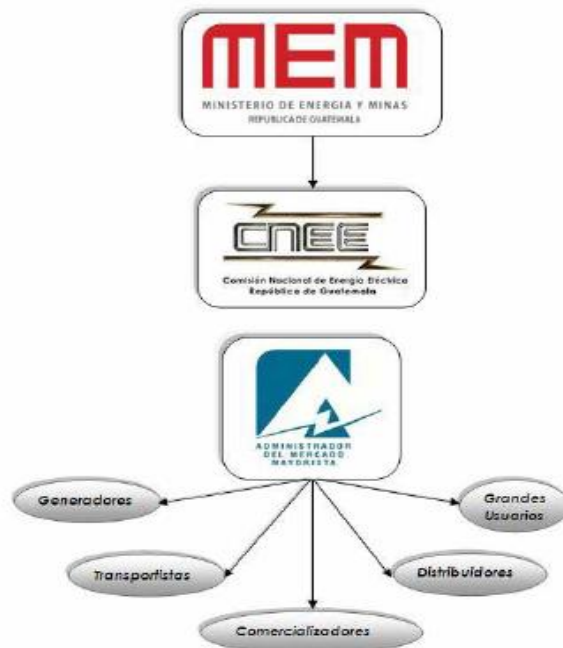
Fuente Instituto Nacional de Electrificación (INDE)

F. Mapa de torres de medición en Guatemala para el 2006

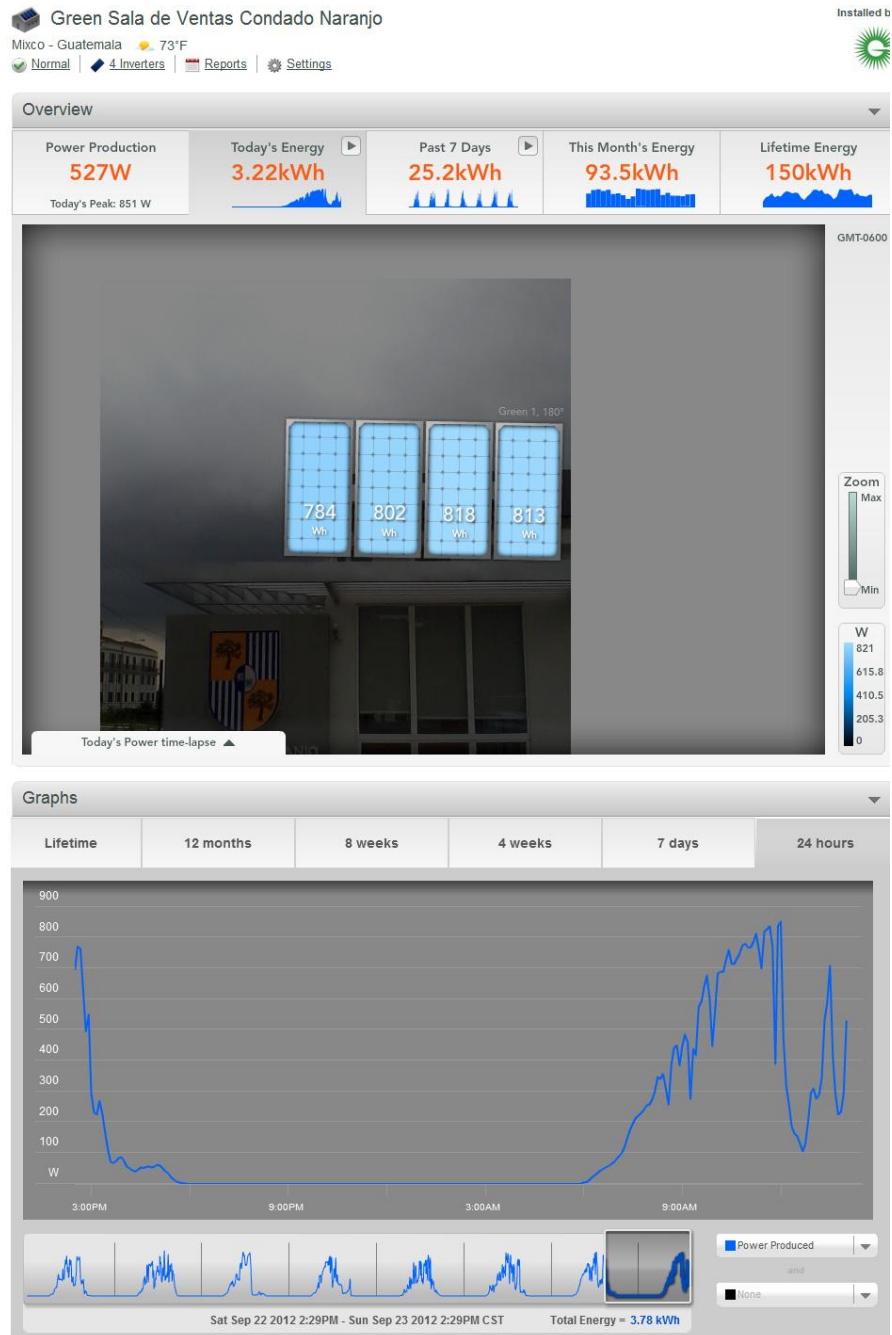


Fuente Ministerio de Energía y Minas


G. Estructura del mercado eléctrico nacional



H. Overview Proyecto Condado Naranjo, website Enphase

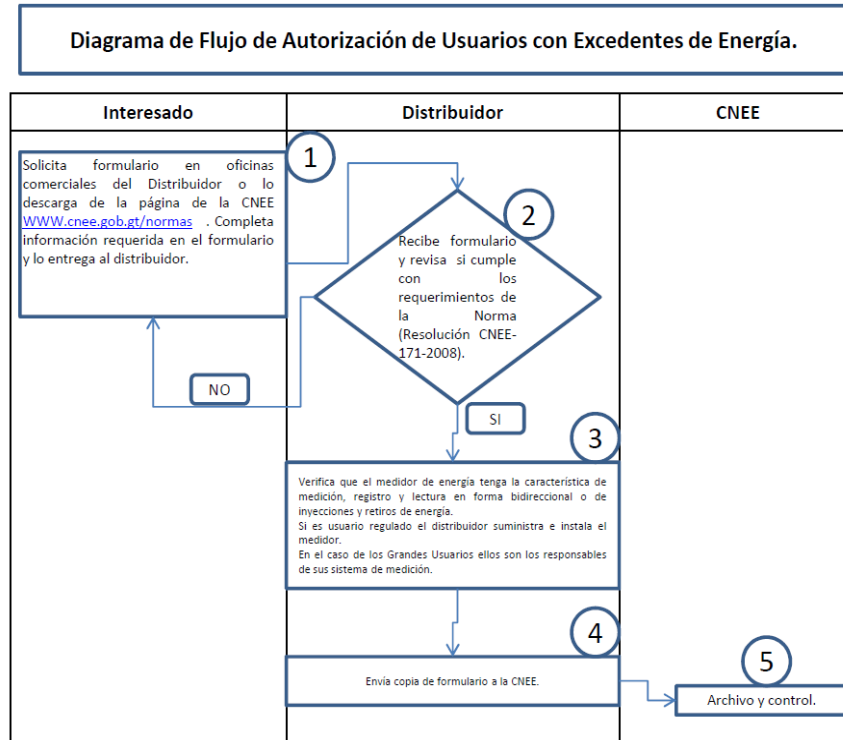


I. Formulario para usuarios auto productores con excedentes de energía

 Empresa Eléctrica <i>de Guatemala</i>	Departamento de Atención al Cliente	
Firma del solicitante: _____		
FORMULARIO PARA QUE LOS USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA LE INFORMEN AL DISTRIBUIDOR SOBRE LAS INSTALACIONES DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE DENTRO DE SUS INSTALACIONES DE CONSUMO		
1. Datos generales del usuario:		
Nombre del usuario o representante legal: _____		
Razón social de la empresa o entidad: _____		
Dirección: _____		
Municipio: _____	Departamento: _____	
Teléfono: _____	Fax: _____	
Correo electrónico: _____		
Número de identificación del usuario ante el distribuidor: _____		
2. Datos generales del proyecto:		
2.1 Fuente de energía renovable: (marque la (s) que corresponda (n):		
<input type="checkbox"/> Hidráulica	<input type="checkbox"/> Eólica	<input type="checkbox"/> Biomasa
<input type="checkbox"/> Solar	<input type="checkbox"/> Geotérmica	<input type="checkbox"/> Otra _____
2.2 Especificaciones técnicas:		
Número de unidades generadoras: _____	Potencia total instalada: _____ kW	
2.3 Medios de protección, control y desconexión automática <input type="checkbox"/> Sí		
Favor describir las características: _____		

Manifiesto que NO deseo participar como vendedor de energía eléctrica y atentamente solicito el suministro e instalación del medidor bidireccional respectivo. (En el caso de usuarios regulados, el suministro e instalación del medidor respectivo lo cubrirá el distribuidor; mientras que los grandes usuarios son responsables de su sistema de medición).		
Lugar y fecha: _____		
Firma del usuario: _____		
Distribución gratuita	Formulario autorizado por CNEE según Resolución CNEE No. 171-2008	


J. Diagrama de flujo de autorización de usuarios con excedentes de energía



El tiempo máximo para resolver debiera ser de 28 días hábiles, el equivalente aproximado a 1 mes y medio.

Sugerencias y/o comentarios favor enviarlos a la CNEE: cnee@cnee.gob.gt.

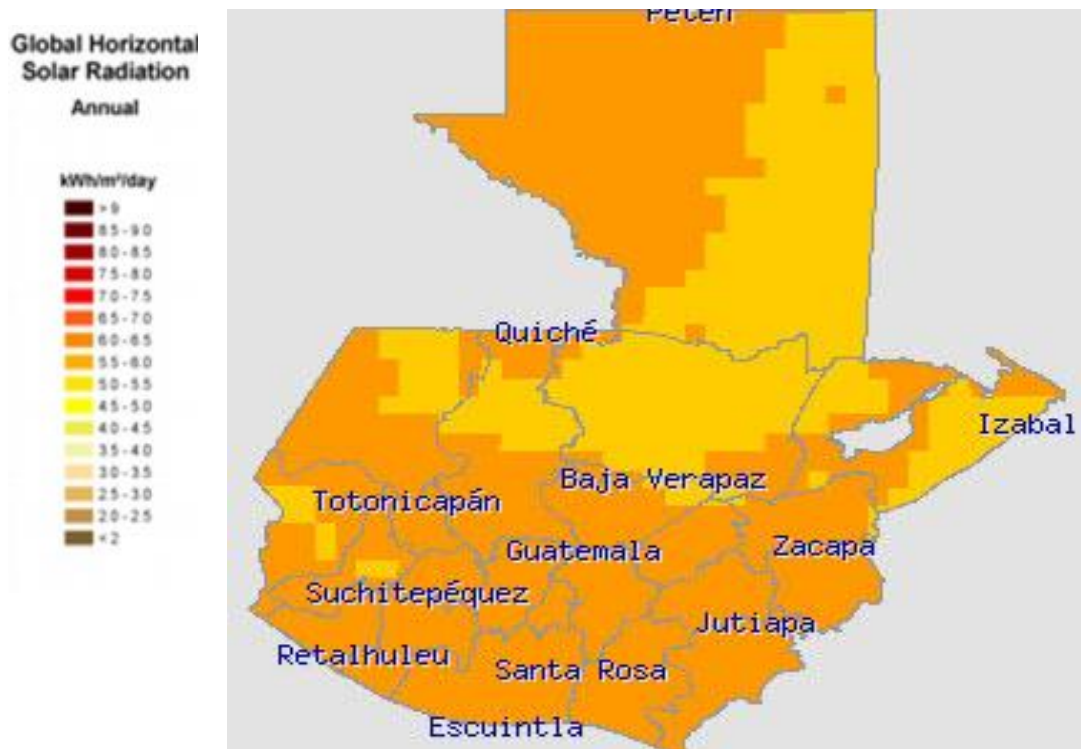
K. Guía para usuarios auto productor con excedentes de energía

	COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEPARTAMENTO DE NORMAS Y ESTUDIOS ELÉCTRICOS
GUÍA PARA EL INTERESADO	
USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA (Resolución CNEE 171-2008)	
Formulario para que los usuarios autoprodutores con excedentes de energía le informen al Distribuidor sobre las instalaciones de generación distribuida renovable dentro de sus instalaciones de consumo	El formulario para Usuarios Autoprodutores con Excedentes de Energía se puede obtener de 2 formas <ol style="list-style-type: none"> 1. En las oficinas comerciales del Distribuidor de Energía Eléctrica. 2. Descargarlo de la página web de la CNEE www.cnee.gob.gt/Normas <ul style="list-style-type: none"> • Seleccione Autoprodutor/Formulario EEGSA si su proyecto está en el área de distribución de Empresa Eléctrica de Guatemala S.A. (departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla), • Seleccione Autoprodutor/Formulario DEOCSA si su proyecto está en el área de distribución de Distribuidora de Electricidad de Occidente S.A. –DEOCSA- (departamentos de Huehuetenango, Quiché, Quetzaltenango, San Marcos, Totonicapán, Retalhuleu, Suchitepéquez, Sololá, Chimaltenango). • Seleccione Autoprodutor/Formulario DEORSA si su proyecto está en el área de distribución de Distribuidora de Electricidad de Oriente S.A. –DEORSA- (departamentos de Petén, Alta Verapaz, Baja Verapaz, Izabal, Chiquimula, Zacapa, Jalapa, Jutiapa, Santa Rosa, El Progreso).
Información del formulario	El formulario está compuesto de 2 ítems. <ol style="list-style-type: none"> 1. Datos Generales del usuario 2. Datos generales del proyecto
1. Datos generales del usuario:	
Nombre del usuario o representante legal:	Si es persona individual indicar el nombre completo del propietario, si es persona jurídica indicar el nombre completo del representante legal.
Razón social de la entidad:	Si es persona individual indicar el nombre del propietario, si es persona jurídica indicar el nombre de la entidad.
Dirección:	Indicar la dirección del propietario ó representante legal, para recibir notificaciones incluyendo el Municipio y Departamento.
Municipio: Departamento:	
Teléfono:	Indicar un número telefónico para contactar al interesado.
Fax:	Indicar un número de Fax para contactar al interesado.
Correo Electrónico:	Indicar la dirección de un correo electrónico para contactar al interesado.
Número de identificación del usuario ante el Distribuidor	Si es usuario de EEGSA, coloque aquí el número de CORRELATIVO que aparece en su factura por servicios de electricidad. Si es usuario de DEORSA ó DEOCSA, coloque aquí el número de NIS que aparece en su factura por servicios de electricidad.

Continuación Guía para usuarios auto productor con excedentes de energía

2. Datos generales del proyecto	
2.1 Fuente de energía renovable (marque las que correspondan)	<input type="checkbox"/> Hidráulica <input type="checkbox"/> Eólica <input type="checkbox"/> Biomasa <input type="checkbox"/> Solar <input type="checkbox"/> Geotérmica <input type="checkbox"/> Otra _____ Marcar con una equis <input checked="" type="checkbox"/> dentro del cuadro que corresponda a la(s) tecnología(s) de energía renovable de su proyecto. Si es una fuente de energía renovable diferente a las indicadas, amplie información en donde dice "Otra _____"
2.2 Especificaciones técnicas	
Número de unidades Generadoras:	Indicar el número total de unidades generadoras que conforman su proyecto.
Potencia total instalada:	Indique la suma total en kilovatios (kW) de las unidades generadoras que conforman su proyecto.
2.3 Medios de protección, control y desconexión automática.	La Resolución CNEE 171-2008 que emite LA NORMA TECNICA PARA LA CONEXIÓN, OPERACIÓN, CONTROL Y COMERCIALIZACIÓN DE LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA RENOVABLE –NTGDR- Y USUARIOS AUTOPRODUCTORES CON EXCEDENTES DE ENERGÍA, establece en el artículo 35 que se deberán instalar los medios de protección, control y desconexión automática apropiados que garanticen que no podrán inyectar energía eléctrica al sistema de distribución ante fallas de éste o cuando el voltaje de la red de distribución se encuentre fuera de las tolerancias establecidas en las NTSD, por consiguiente se debe marcar una "X" en el cuadro que dice Si, y a continuación se debe describir las características de los medios de protección, control y desconexión.
Lugar y Fecha:	Lugar y fecha de la presentación del formulario ante el Distribuidor.
Firma del solicitante:	Firma del propietario del proyecto o del Representante Legal, según corresponda.

L. Mapa solar de Guatemala



M. Ley de la tarifa social para el suministro de energía eléctrica

ARTÍCULO 1.- Tarifa social. Con la finalidad de favorecer al usuario regulado del servicio de distribución final, más afectado por el incremento de los costos en la producción de la energía eléctrica, se autoriza la creación de una tarifa especial con carácter social, la que será denominada **Tarifa Social** para el Suministro de Energía Eléctrica, dirigida a usuarios con consumos de **hasta 300 kilovatios hora-Kwh**.(cnee.com.gob.gt)

ARTÍCULO 2.- Emisión de normas. La Comisión Nacional de Energía Eléctrica deberá emitir y determinar las normas, metodología, procedimientos y fuente energética necesarios para la implementación de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica. Cualquier otro aspecto se regirá por la Ley General de Electricidad y sus reglamentos. (cnee.com.gob.gt)

ARTÍCULO 3.- Autorización. Las empresas distribuidoras deberán realizar licitación abierta para la adquisición de potencia y energía eléctrica, previa autorización de la Comisión Nacional de Energía Eléctrica, cuyo destino sea abastecer a los consumidores de la Tarifa Social para el Suministro de Energía Eléctrica, conforme los términos de referencia que elaborará dicha Comisión. (cnee.com.gob.gt)

N. Visita a mini central hidroeléctrica



Ñ. Ríos que alimentan la mini central



O. Funcionamiento de la turbina



P. Micro central Mitchell Banki



Q. Ensamblaje de la micro central tipo Mitchell Banki

