



TÍTULO

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR-EÓLICO
PARA CONSUMO DE AGUA EN CABAÑAS ECOTURÍSTICAS
EN LA PITAYA, VERACRUZ, MÉXICO**

AUTORA

Ana María Cerdán Cabrea

**Director
Curso**

Esta edición electrónica ha sido realizada en 2011

Isidoro Lillo Bravo

IX Maestría en Energías Renovables: Arquitectura y Urbanismo. La Ciudad Sostenible.

ISBN

978-84-694-5072-7

©

Ana María Cerdán Cabrera

©

Para esta edición, la Universidad Internacional de Andalucía



Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciador (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
 - **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
 - **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
-
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
 - *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
 - *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DE ANDALUCÍA

IX MÁSTER PROPIO UNIVERSITARIO EN ENERGÍAS
RENOVABLES: ARQUITECTURA Y URBANISMO.
LA CIUDAD SOSTENIBLE

TESIS

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO
SOLAR – EÓLICO PARA CONSUMO DE AGUA
EN CABAÑAS ECOTURÍSTICAS
EN LA PITAYA, VER.**

ANA MARÍA CERDÁN CABRERA

DICIEMBRE 2010

ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
INTRODUCCIÓN.....	8
1. PRIMER CAPÍTULO. MARCO CONTEXTUAL DEL PROYECTO ...	12
1.1. LOCALIZACIÓN.....	12
1.2. MEDIO FÍSICO.....	15
1.2.1. Clima.....	15
1.2.2. Flora.....	16
1.2.3. Fauna.....	18
1.2.4. Características del Suelo	18
1.2.5. Hidrografía	19
1.2.6. Medio Ambiente.....	21
1.3. PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO	24
1.3.1. Población	24
1.3.2. Vivienda	25
1.3.3. Educación	27
1.4. ACTIVIDAD ECONÓMICA.....	28
1.4.1. Agricultura.....	28
1.4.2. Ganadería.....	28
1.4.3. Industria	29
1.4.4. Comercio y servicios.....	29
1.5. MARCO HISTÓRICO	30
1.5.1. Escudo.....	30
1.5.2. Reseña histórica	31
1.6. ATRACTIVOS CULTURALES Y TURÍSTICOS.....	43
1.7. PROYECTO ECOTURÍSTICO PIXQUIAC	48
2. SEGUNDO CAPÍTULO. LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	54
2.1. LOS BENEFICIOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	56

2.2.	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	61
2.2.1.	TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	63
2.2.2.	EL RECURSO SOLAR	64
2.2.3.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA	68
2.2.4.	LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MEXICO.....	69
2.3.	ENERGÍA EÓLICA.....	70
2.3.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS AEROGENERADORES	72
2.3.2.	EL RECURSO EÓLICO	77
2.3.3.	SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	78
2.3.4.	LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO	80
2.4.	SISTEMAS HÍBRIDOS.....	81
2.4.1.	SISTEMAS HÍBRIDOS EN MÉXICO	81
2.5.	MARCO LEGAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....	82
2.5.1.	MARCO LEGAL EN MÉXICO.....	85
3.	TERCER CAPÍTULO. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO	90
3.1.	CÁLCULO DEL GASTO DE BOMBEO	90
3.2.	CÁLCULO DE LA CARGA DINÁMICA TOTAL	95
3.3.	POTENCIAL ENERGÉTICO RENOVABLE DEL SITIO	97
3.4.	SISTEMA DE BOMBEO MONOVALENTE SOLAR	98
3.4.1.	ENERGÍA REQUERIDA PARA EL BOMBEO.....	98
3.4.2.	HORAS SOLARES PICO	100
3.4.3.	POTENCIA DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO	101
3.5.	SISTEMA DE BOMBEO MONOVALENTE EÓLICO.....	106
3.5.1.	COEFICIENTE DE POTENCIA DE AEROGENERADORES....	107
3.5.2.	CALCULO DE LOS AEROGENERADORES A INSTALAR.....	109
3.6.	SISTEMA HÍBRIDO SOLAR - EÓLICO.....	112
	CONCLUSIONES.....	114

ANEXO 1. TABLA DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN PARA TUBERÍAS PLÁSTICAS	116
ANEXO II. IRRADIANCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO PARA XALAPA, VER.	117
ANEXO III. POTENCIA EOLICA TEORICAMENTE GENERABLE (W).....	119
ANEXO IV. CURVAS DE POTENCIA Y EFICIENCIAS DE ALGUNOS AEROGENERADORES	119
ANEXO V. ENERGÍA PRODUCIBLE CON UNA EFICIENCIA DEL 40% (Wh)	121
BIBLIOGRAFIA.....	122

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Ubicación de la zona conurbada Xalapa.....	13
Ilustración 2. El clima en Xalapa	16
Ilustración 3. Vegetación típica de la región.....	17
Ilustración 4. La araucaria,	17
Ilustración 5. Topografía xalapeña	18
Ilustración 6. Los Lagos del Dique	20
Ilustración 7. Xallitic.....	20
Ilustración 8. Vegetación de bosque mesófilo.....	21
Ilustración 9. Áreas verdes de la ciudad	22
Ilustración 10. Planta de tratamiento de aguas.....	23
Ilustración 11. Zona comercial.....	24
Ilustración 12. Universidad Veracruzana	27
Ilustración 13. Escudo de armas	31
Ilustración 14. Iglesia de San José	33
Ilustración 15. Plaza de Armas de Coatepec	35
Ilustración 16. Colegio Preparatorio de Xalapa	37
Ilustración 17. Mercado Alcalde y García	38
Ilustración 18. La Industrial Xalapeña	39

Ilustración 19. Escuela Normal del Estado	40
Ilustración 20. Estadio xalapeño	41
Ilustración 21. Cerro del Macuiltépetl	42
Ilustración 22. Catedral de Xalapa	43
Ilustración 23. Museo de Antropología.....	45
Ilustración 24. Jardín Botánico	47
Ilustración 25. Cabaña muestra.....	51
Ilustración 26. Afluente del río Pixquiac	52
Ilustración 27. Proyección de la evolución de las energías renovables	55
Ilustración 28. Participación de las energías renovables y no renovables.....	57
Ilustración 29. Escenario de evolución de la producción mundial de hidrocarburos	59
Ilustración 30. El efecto fotovoltaico	62
Ilustración 31. Tipos de celdas fotovoltaicas.....	63
Ilustración 32. Mapa de energía solar global para México	66
Ilustración 33. Mapa de energía solar directa para México	67
Ilustración 34. Mapa de energía solar difusa para México	67
Ilustración 35. Evolución de la producción fotovoltaica en el mundo.....	68
Ilustración 36. Densidad del aire	72
Ilustración 37. Aerogenerador de eje horizontal	73
Ilustración 38. Aerogenerador Savonius.....	73
Ilustración 39. Aerogenerador Windside.....	74
Ilustración 40. Aerogenerador	74
Ilustración 41. Aerogenerador Giromill.....	75
Ilustración 42. Panemona.....	75
Ilustración 43. Aerogeneradores según su aplicación	76
Ilustración 44. Evolución de las instalaciones eólicas en el mundo	79
Ilustración 45. Diagrama de recorrido de la tubería	95
Ilustración 46. Diagrama de un sistema de bombeo fotovoltaico	105
Ilustración 47. Eficiencias de aeroturbinas ^{XXVI}	108
Ilustración 48. Diagrama de un sistema de bombeo eólico	111

Ilustración 49. Diagrama de un sistema de bombeo solar – eólico 113

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comunidades de la Zona Conurbada Xalapa	15
Tabla 2. Usos de suelo en la Zona Conurbada Xalapa	19
Tabla 3. Tipos de vivienda en la Zona Conurbada	26
Tabla 4. Productos agrícolas de Xalapa	28
Tabla 5. Distribución de la actividad económica en Xalapa	30
Tabla 6. Sitios arqueológicos de la Zona Conurbada	33
Tabla 7. Ocupación hotelera en Veracruz	91
Tabla 8. Consumo de agua mensual para huéspedes	92
Tabla 9. Precipitación diaria en la Zona Conurbada Xalapa	92
Tabla 10. Consumo de agua para riego	93
Tabla 11. Consumo total de agua por mes	94
Tabla 12. Energía diaria requerida para el bombeo	100
Tabla 13. Promedio de radiación diaria mensual en HSP	101
Tabla 14. Potencia fotovoltaica a instalar	102
Tabla 15. velocidad del viento promedio mensual	106
Tabla 16. Eficiencia de aerogeneradores domésticos	109
Tabla 17. Energía diaria producible por un aerogenerador	110
Tabla 18. Cantidad de aerogeneradores a instalar	111

INTRODUCCIÓN

Uno de los parámetros para medir la calidad de vida de una sociedad son los servicios con los que cuentan sus pobladores. Dos de los principales servicios son el agua potable y la luz eléctrica. A pesar de la importancia de estos servicios muchas personas a nivel mundial no cuentan con alguno de ellos y en ocasiones con ninguno de los dos. Esta problemática es más notoria en los países en desarrollo y se complica cuando la orografía del país es abrupta. Ambas condiciones se presentan en el caso de la República Mexicana, por lo que al año 2005 el 2.46% de su población no contaba con energía eléctrica, el 12.12% no tenía acceso a las red pública de distribución de agua y el 1.68% carecía de ambos servicios.¹

El agua es un recurso necesario para el desarrollo y para la vida del hombre. Desgraciadamente hay muchos lugares en el mundo donde el acceso al vital líquido es complicado, en ocasiones debido a la falta del mismo pero en otros casos debido a la dificultad para trasladarlo del lugar en que se encuentra (lagos, ríos, pozos o redes de distribución) a las zonas donde se necesita. En este último caso, los habitantes de estos lugares se ven obligados a ir a la fuente de agua y acarrear el agua hasta sus hogares, tarea que la mayoría de las veces se realiza a pie.

Una solución al problema del traslado de agua son los sistemas de bombeo pero para que las bombas realicen este trabajo requieren energía. Si al lugar llegan las redes de distribución de energía eléctrica, el sistema de bombeo puede ser instalado sin mayores complicaciones. Sin embargo, en el caso de los lugares que además de falta de suministro de agua carecen de electricidad las opciones se ven más limitadas.

La energía eléctrica, a diferencia del agua, no representa una necesidad vital para los seres humanos pero mediante ella podemos solucionar una infinidad de problemas que definen nuestra calidad y estilo de vida. Los habitantes de las ciudades, en su mayoría, no tienen conciencia de cuán dependientes son las actividades que realizan diariamente de la disponibilidad de energía eléctrica. A pesar de esto, la electricidad es un servicio con el que muchas personas, sobre todo las que habitan en pequeñas comunidades alejadas de las redes de distribución, no cuentan aún.

El suministro de energía eléctrica a lugares alejados es un problema que gobiernos de varios países, entre ellos el de México, han tenido que enfrentar. Llevar las redes de distribución a lugares difícilmente accesibles para satisfacer las necesidades de pequeñas poblaciones no resulta económicamente viable.

Las energías renovables son una opción para el abastecimiento energético, con la misma calidad que las fuentes "convencionales" pero además presentan una serie de ventajas sobre éstas:

- Son inagotables, a diferencia de los combustibles fósiles cuyas reservas se irán agotando.
- Se encuentran descentralizadas. En cualquier parte del planeta se puede aprovechar la energía radiante del sol, además en algunos lugares la energía eólica es aprovechable para generación, o cuentan con suficiente biomasa para autoabastecerse de electricidad, si hay ríos cercanos se puede utilizar la energía hidráulica, etc. se debe analizar la situación específica de cada sitio pero siempre habrá por lo menos un tipo de energía renovable aprovechable.
- No generan emisiones de CO₂. Lo cual es muy relevante considerando la situación del cambio climático y sus devastadores efectos que actualmente enfrentamos a nivel mundial.

- Son económicas. Aunque la inversión inicial necesaria para la instalación de los sistemas de energías renovables suele ser alta, el mantenimiento que éstos requieren es poco y al ser alimentados por fenómenos naturales los costos por consumo son nulos.

En este trabajo trataremos un caso de la problemática enfrentada en los sitios donde los servicios de electrificación y agua potable no se encuentran disponibles.

En la congregación de la Pitahaya en el municipio de Coatepec, Veracruz, se cuenta con un terreno que planea utilizarse para construir cabañas con fines ecoturísticos. La propiedad no cuenta con suministro de agua ni de luz eléctrica. En las cercanías corre un arroyo del cuál puede extraerse agua mediante un sistema de bombeo, pero no se puede instalar una bomba eléctrica para realizar este trabajo debido a la falta del servicio de luz.

La solución planteada a esta problemática consiste en el diseño de un sistema de bombeo que funcione mediante energías solar y eólica con el cual se pueda trasladar del arroyo a la propiedad un volumen de agua suficiente para satisfacer las necesidades de los huéspedes así como las necesidades de riego de las áreas verdes.

1. PRIMER CAPÍTULO. MARCO CONTEXTUAL DEL PROYECTO

El objetivo de este trabajo es analizar las alternativas de solución para suministrar agua a un terreno donde se planean construir unas cabañas que serán utilizadas con propósitos ecoturísticos. El terreno se encuentra localizado en la colonia la Pitahaya, de la congregación Zoncuantla perteneciente al municipio de Coatepec, Ver.

Aunque la Congregación Zoncuantla pertenece políticamente al municipio de Coatepec, geográficamente se localiza muy cerca de Xalapa y pertenece a la zona conurbada de esta ciudad. Debido a esta razón, en el presente capítulo analizaremos las características geográficas, climáticas, económicas y sociales de Xalapa y su zona conurbada con el propósito de conocer mejor el lugar donde se planea desarrollar el proyecto.

1.1. LOCALIZACIÓN

El municipio de Xalapa se encuentra ubicado en la zona norte, en las coordenadas 19°32' latitud norte y 96°55' longitud oeste a una altura de 1,460 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Banderilla, Jilotepec y Naolinco, al este con Actopan y Zapata, al sur con Coatepec y al oeste con Tlalnahuacán. Su distancia aproximada de la ciudad de México por carretera es de 350 Km.¹¹

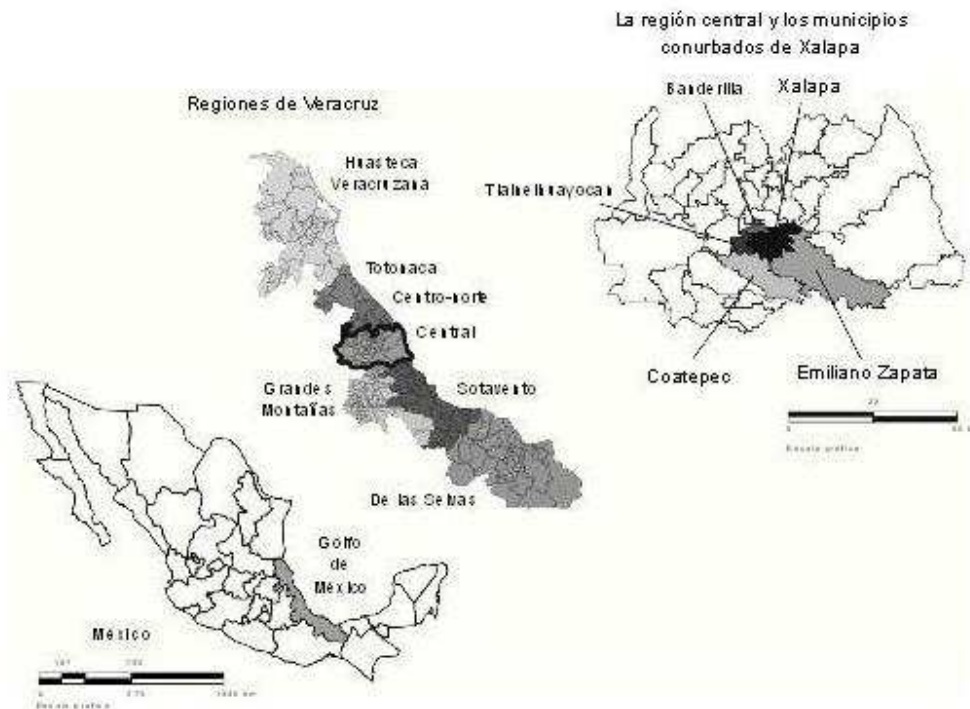


Ilustración 1. Ubicación de la zona conurbada Xalapa

Xalapa es una localidad caracterizada por la problemática típica latinoamericana de crecimiento urbano descontrolado y anárquico producto de la explosión demográfica y de la crítica relación campo – ciudad. Su crecimiento se ha caracterizado por avanzar sobre áreas del ecumene y absorber poblados a su paso. Por su jerarquía, despliega un dominio urbano en el que se inscriben localidades próximas con las cuales establece relaciones de interdependencia y conforma la conurbación.

El municipio de Xalapa tiene una superficie de 118.45 km² cifra que representa un 0.16% total del Estado^{II}, pero si consideramos toda la zona conurbada de Xalapa, que incluye localidades de los municipios de Coatepec (entre ellas la Congregación Zoncuantla), Banderilla, Tlalnelhuayocan y Emiliano Zapata la superficie total es de 413.1 km².^{III} A continuación una breve descripción de cómo se conforma la Zona Conurbada de Xalapa.

La primacía de la ciudad de Xalapa la convierte en centro del sistema y punto de referencia para localizar los asentamientos que gravitan en torno a ella. Se ubican, alrededor de Xalapa, cinco conjuntos de asentamientos:

- **Subsistema rural:** ubicado al noreste de la ciudad, formado por los poblados de Chiltoyac, El Tronconal y El Castillo.
- **Subsistema lineal:** ubicado al sudeste, se desarrolla a orilla de la carretera hacia Veracruz y enlaza las localidades de Las Trancas, El Lencero, Dos Ríos y Miradores del Mar.
- **Subsistema de ex haciendas:** ubicado al sur y llamado así por sus antecedentes históricos, se localiza en una zona intermedia entre Xalapa y Coatepec e incluye los asentamientos de La Laguna, Pacho Viejo, Pacho Nuevo, El Chico, La Estanzuela, Alborada y Bella Esperanza.
- **Subsistema ecológico:** se encuentra inscrito dentro del corredor Xalapa – Coatepec, lo conforman fraccionamientos y colonias que se ubican al oeste de la carretera antigua entre las dos ciudades, se caracteriza por una baja densidad de población y su ocupación está restringida a normas de preservación ecológica.
- **Subsistema rural – indígena:** localizado al oeste, en el municipio de Tlalnelhuayocan y formado por las comunidades de Tlalnelhuayocan, Otilpan, Xolostla, San Antonio Hidalgo y Guadalupe Victoria.

Un subsistema urbano se inicia con las ciudades de Banderilla y Xalapa que ya se encuentran totalmente unidas y se continúa con Coatepec mediante un corredor que los une.

La tabla 1 enlista todas las localidades consideradas dentro de la zona conurbada de Xalapa:

Municipio	Localidades	
Xalapa	- Xalapa Enríquez	- Chiltoyac
	- El Castillo	- El Tabachín

	- Col. Seis de Enero	- Las Trancas
	- San Antonio Paso del Toro	- El Tronconal
Coatepec	- La Pitaya	- El Deseo
	- El Arenal	- El Grande
	- Briones	- La Herradura
	- Coatepec	- Laguna
	- Consolapa	- Las Lomas
	- Cuahutemoc	- La Orduña
Banderilla	- Banderilla	- Xaltepec
Emiliano Zapata	- Alborada	- Paso de Ladrillo
	- El Chico	- Miradores del Mar
	- La Estanzuela	- Dos Rios
	- Paso Nuevo	- Roma
	- Marco Antonio Muñoz (Nacastle)	
Tlalnahuayocan	- Tlalnahuayocan	- San Antonio Hidalgo
	- Guadalupe Victoria	- Colonia Olmeca
	- Otilpan	- Xolostla

Tabla 1. Comunidades de la Zona Conurbada Xalapa^{III}

1.2. MEDIO FÍSICO

1.2.1. CLIMA

La zona conurbada presenta similitud en cuanto a sus características climáticas debido a su altitud sin embargo entre una zona y otra existen algunas variantes.

En los municipios de Xalapa y Tlalnahuayocan, el clima es templado húmedo regular con una temperatura promedio de 18 °C y lluvias abundantes en verano y principios de otoño, su precipitación pluvial media anual es de 1,509 mm.



Ilustración 2. El clima en Xalapa

En el municipio de Coatepec el clima es templado regular con una temperatura media anual de 19.2 °C, su precipitación media anual es de 1,926 mm con lluvias fuertes en verano y principios de otoño.

Banderilla, por tener mayor altitud, presenta un clima frío húmedo con temperatura media anual de 11 °C. Por el contrario, el área del municipio de Emiliano Zapata perteneciente a la zona conurbada tiene una menor altitud y presenta un clima cálido húmedo con temperatura media anual de 19 °C. En estos dos municipios la precipitación media anual similar a la de Xalapa aunque en Emiliano Zapata se presenta un periodo prolongado de sequía.

1.2.2. FLORA

La flora corresponde al bosque mesófilo de montaña o bosque caducifolio. Este tipo de vegetación se desarrolla entre los 1250 y los 1450 m.s.n.m. donde el clima característico es el templado húmedo y los suelos son de tipo andosol en regiones de relieve accidentado.



Ilustración 3. Vegetación típica de la región

La vegetación es abundante, existe ilite, liquidámbar, magnolia, pino, araucaria, encino, olmo, capulín, cedro blanco, haya, aguacate, chalahuite, eucalipto, ciprés, higuera, araucaria y jacaranda. Frutas como durazno, limón, naranja, berenjena, guayaba, plátano, níspero, chirimoya. Entre las especies alimenticias: café, maíz, hortaliza, frijol, calabaza, chayote; plantas medicinales: manzanilla, ruda, higuera, sauco, gordolobo, yerbabuena y la famosa raíz de Xalapa.



Ilustración 4. La araucaria, el árbol representativo

La araucaria es el árbol representativo de la ciudad de Xalapa, en la zona del centro histórico se pueden observar varias de imponente tamaño y en junio de 2008 se erigió, en el cruce de unas de las principales avenidas de la ciudad, una escultura del

artista Sebastián representando una araucaria formada con las letras X (de Xalapa) y V (de Veracruz). La escultura tiene 32 metros de altura y pesa 130 toneladas.^{IV}

1.2.3. FAUNA

Existe una gran variedad de animales silvestres, en los montes aledaños a la población, entre los que se encuentran zorrillo, tlacuache, conejo, ardilla, tuza, armadillo, tejón y mapache.

1.2.4. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El área en la que se localiza la zona conurbada corresponde a dos grandes zonas fisiográficas: las faldas altas del Cofre de Perote con pendiente general hacia el sureste fuerte (15%) y las faldas bajas con pendiente general suave (3%). Además se distinguen dos provincias geológicas: la volcánica y la sedimentaria.

En la zona conurbada predomina la roca ígnea extrusiva básica producto de antiguas erupciones volcánicas. En menor proporción se observa la presencia de roca caliza y arenisca.



Ilustración 5. Topografía xalapeña

La topografía es muy irregular pero sin accidentes drásticos. Presenta elevaciones caracterizadas por sistemas de lomeríos y pequeños valles. La altitud de la región oscila entre los 940 m.s.n.m. registrados en zonas del municipio de Emiliano Zapata y los 1640 m.s.n.m. en algunas áreas del municipio de San Andrés Tlalnahuayocan.^{III}

Xalapa está asentada en tres unidades ambientales: la sierra forestal fría, la zona de sierra mesófila y la zona de transición. El elemento común es lo accidentado de sus paisajes y la principal problemática es el agua, tanto en su acopio como en su conducción y consumo.

El uso del suelo en la zona conurbada esta distribuido de la forma siguiente:

Uso de suelo	%
Habitacional	32.72
Comercial y servicios	10.39
Industrial	0.75
Agropecuario	7.08
Áreas verdes	16.23
Baldío	13.05
Otros (cuerpos de agua, iglesias, vialidades, zonas federales, etc.)	19.78

Tabla 2. Usos de suelo en la Zona Conurbada Xalapa^{III}

1.2.5. HIDROGRAFÍA

Al municipio de Xalapa lo riegan arroyos como Chiltoyac, Ánimas y Tlalmecapan; además de los Ríos Sedeño, Carneros, Sordo, Santiago, Zapotillo, Castillo y Coapexpan. Cuenta con 3 lagos artificiales: el del Dique, el del Castillo y el de las Ánimas y uno natural en la Colonia 6 de enero.



Ilustración 6. Los Lagos del Dique

En la ciudad de Xalapa se localizan varios manantiales que provienen de los mantos acuíferos y se alimentan de los sistemas filtrados del Macuiltepetl, entre ellos se encuentran: los Encinos, los Tecajetes 1 y 2, Techacapa, Barragán, la Playa, Clavijero, Xallitic, Madero, Tatahuicapan, Infiernillo, la Calavera entre otros. La permanencia de estos manantiales depende en buena medida de la conservación de la cubierta vegetal del cerro del Macuiltepetl y en muchos casos se ha relegado su conservación a pesar de que representan un importante recurso ambiental.



Ilustración 7. Xallitic

Actualmente, el servicio de agua potable de la ciudad de Xalapa abastece el 81% de la demanda real, esto se debe a que por norma no se le da cobertura a los asentamientos irregulares. El agua distribuida se obtiene de diversas fuentes^{III}:

- La principal fuente de abastecimiento de agua para la ciudad proviene del acueducto Huitzilapan que se alimenta por manantiales pertenecientes al estado de Puebla y entrega 1590 L/seg;

- Los manantiales del Cofre de Perote proporcionan entre 120 y 180 L/seg dependiendo de la época;
- La línea Xocoyolapan alimenta los tanques de almacenamiento Loma Sol y Loma Sol 2 que brindan agua a siete colonias;
- La toma que se hace del alto y medio Pixquiac proporciona 80 L/seg;
- De los manantiales de Agua Santa se extraen 30 L/seg;
- De la Laguna del Castillo se bombean 60 L/seg

A pesar de contar con numerosas cuencas hidrológicas el acelerado crecimiento de la población ha generado un grave problema de dotación de agua, la cual es literalmente usurpada de comunidades cada vez más alejadas de la zona conurbada, encareciendo el servicio y afectando a los ecosistemas de los alrededores. Un ejemplo de esto es la futura instalación de una bomba que extraiga del río Pixquiac 1500 L/seg para lo cual se requerirá también la construcción de una nueva línea de agua potable.

1.2.6. MEDIO AMBIENTE

La región en que se localiza la zona conurbada de Xalapa alberga áreas con una exuberante vegetación, rica en especies de plantas propias del bosque mesófilo



Ilustración 8. Vegetación de bosque mesófilo

entre otros ecosistemas. Alguna vez el bosque mesófilo cubrió cerca del 1% del total del territorio nacional; se trata de uno de los ecosistemas más amenazados a nivel mundial debido a la pérdida de humedad atmosférica.

En el estado de Veracruz se conserva sólo 10% del total de la superficie que algún día estuvo

ocupado por el bosque mesófilo y la mayor concentración de este ecosistema se encuentra en la región que ocupa la mancha de la zona conurbada de Xalapa.

El bosque mesófilo proporciona a la región alta captación de agua de lluvia y neblina, la conservación de los suelos que no se encuentran bien consolidados y con topografía escarpada (que representan la mayoría en la zona conurbada) y la captura del CO₂ emitido por la ciudad, sin mencionar que este ecosistema alberga unas 3 mil especies de las cuales alrededor del 30% son endémicas^{III}.

El municipio de Xalapa cuenta con cerca de 500 hectáreas de áreas verdes, sin embargo las áreas naturales protegidas son escasas si se toma en cuenta el número de habitantes y las dimensiones de la mancha urbana.



Ilustración 9. Áreas verdes de la ciudad

El crecimiento acelerado de la mancha urbana ha sido la principal causa de la pérdida de vegetación y la contaminación de ríos y mantos acuíferos. La extracción incontrolada de arena para construcción en algunas partes de la zona conurbada tuvo como consecuencia la pérdida de una superficie elevada de suelos aptos para la conservación.

El crecimiento demográfico del municipio ha propiciado un incremento en el parque vehicular, a principios del milenio estaban registrados 66,931 vehículos en la zona urbana de Xalapa^{III}, lo que ocasiona fuertes problemas de saturación y emisión de contaminantes al medio ambiente.



Ilustración 10. Planta de tratamiento

de aguas

Por otro lado está el problema del tratamiento de las aguas residuales de la ciudad. Puede describirse como una situación generalizada de la zona conurbada la contaminación de las aguas subterráneas y de los mantos acuíferos por descargas de aguas sanitarias no controladas.

Xalapa y su conurbación cuentan 27 plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad de 254.3 L/seg, esto representa el 31% del volumen de agua consumido lo que significa que dos terceras partes del agua utilizada son vertidas en las cuencas hídricas de la región sin tratamiento previo, provocando su contaminación.^{III}

Todos los factores arriba mencionados han generado un cambio en el clima de la ciudad, generando una isla de calor, el aumento de la temperatura en los últimos veinte años, una disminución en la intensidad de las precipitaciones y la presencia de lluvia ácida. Se sabe que los tres problemas ambientales importantes que enfrenta la ciudad de Xalapa y su zona conurbada son la carencia de agua potable, el manejo inadecuado de desechos sólidos y la contaminación de los cuerpos de agua.

1.3. PERFIL SOCIODEMOGRÁFICO

1.3.1. POBLACIÓN

De acuerdo a los resultados que presenta el II Censo de Población y Vivienda del 2005, el municipio de Xalapa cuenta con un total de 413,136 habitantes.^{II}

En el año 2000, la zona conurbada de Xalapa tenía 536,623 habitantes, correspondiente al 7.29% de la población del estado de Veracruz, de los cuales el 47% eran hombres y el 53% mujeres.

La distribución de edades se conforma por un 29.25% de niños entre los 0 y 14 años, los jóvenes entre los 15 y 24 años corresponden al 20.36%, la considerada como población económicamente activa (entre los 25 y 64 años) constituye un 44.07% y los mayores de 65 años representan el 6.31% de la población.^V

La actividad económica preponderante en la zona conurbada es el sector terciario (comercio y servicios), ya que el 27% de la población total trabaja en este sector, mientras que al sector secundario



Ilustración 11. Zona comercial

(industrias) se dedica el 8% de la población y al sector primario (agricultura, ganadería, etc.) le corresponde el 5%. Esta distribución se explica fácilmente

debido a que Xalapa es el centro integrador de la actividad política y cultural del estado de Veracruz.

En la zona conurbada de Xalapa, aproximadamente desde la década de 1950, el crecimiento demográfico ha sido desmedido. A este fenómeno ha contribuido en primer lugar la alta migración registrada desde las comunidades cercanas, ocupando también un importante lugar la llegada de nuevos habitantes que proceden de las diferentes regiones de la entidad; en último término se registra la migración de personas desde la Ciudad de México en búsqueda de mejor calidad de vida.

En síntesis, la localidad ha representado un polo especial de atracción en razón del clima relativamente benigno y del reducido número de habitantes. Ahora esta situación tiende a revertirse y esto se demuestra en la disminución de la tasa de crecimiento: mientras que en la década de los 70 fue de 4.69%, la década pasada alcanzó sólo el 2.81% ^{III}

Las estimaciones de crecimiento demográfico de la zona señalan una cifra cercana al millón de habitantes para el año 2016; puede considerarse esta cifra como un umbral o punto de no retorno, a partir del cual la viabilidad y desarrollo sustentable de la zona se hace cada vez más difícil.

1.3.2. VIVIENDA

Segun datos del INEGI, en el 2000, se encontraron edificadas en la zona conurbada de Xalapa 126,277 viviendas, con un promedio de ocupantes por vivienda de 3.83. Este promedio marca un importante problema de hacinamiento poblacional ya que el 31% de la población habita en viviendas de uno o dos cuartos.^V

Los materiales utilizados principalmente para la construcción son el cemento, el tabique, el ladrillo y la madera^{II} aunque 9,444 viviendas son precarias y están fabricadas con materiales de desecho y perecederos.

El 32.72% de la superficie urbana está destinado al uso habitacional. La tabla 3 muestra la distribución de viviendas en la zona conurbada de acuerdo a la clasificación normativa para el análisis de la vivienda.

Tipo de vivienda	Características	% de suelo urbano
Residencial	Lotes de más de 200m ² , gran área de construcción y acabados de alta calidad	2.20
Media	Lotes entre 160 y 200 m ² , materiales permanentes y acabados de buena calidad	7.49
Popular	Lotes menores a los anteriores, materiales permanentes, edificaciones modernas o de producción vernácula	16.94
Interés social	Construidas por el Estado siguiendo las normativas oficiales en cuanto a materiales, modelos y distribución de espacios	1.52
Precaria	Superficie mínima de construcción, materiales perecederos y de desecho en muros y/o techos	1.68

Tabla 3. Tipos de vivienda en la Zona Conurbada.^{III}

Dentro de la zona conurbada el 72% de la población es propietaria de su vivienda mientras que el 19% habita en inmuebles rentados. Sin embargo, en la ciudad de Xalapa sólo el 20.51% de la población tiene vivienda propia^{III}, esta marcada diferencia se explica debido a la población eventual que acude convocada por la administración pública y el sector educativo.

1.3.3. EDUCACIÓN

La educación básica es impartida por 152 planteles de preescolar, 192 de primaria, 67 de secundaria. Además cuenta con 44 instituciones que brindan el bachillerato, así como 1 centro de enseñanza técnica y profesional medio como es CONALEP. "

Es importante señalar que esta municipalidad se asientan numerosas instituciones públicas y privadas que ofrecen enseñanza superior de las cuales la principal es la Universidad Veracruzana que en su campus Xalapa ofrece 57 licenciaturas.



Ilustración 12. Universidad Veracruzana

Se estima necesaria la creación de centros de capacitación para el trabajo que permitan contrarrestar el déficit de calificación de la planta laboral de la región. La principal aspiración de quienes emigran a la zona metropolitana es el mejoramiento de su calidad de vida: contar con un empleo bien remunerado que les permita tener una vivienda digna y acceder a los satisfactores que se supone ofrezca una ciudad media. Sin embargo, quienes llegan de las zonas rurales no cuentan con la capacitación necesaria para ser contratados en las industrias y

comercios de la ciudad, generando así frustración, desempleo y empobrecimiento de la población.

1.4. ACTIVIDAD ECONÓMICA

1.4.1. AGRICULTURA

En el municipio se utilizan para agricultura 3,457.363 hectáreas. Los principales productos agrícolas del municipio y la superficie que aproximada de hectáreas que se les dedican son los siguientes:

Producto	Hectáreas
Maíz	160
Caña de azúcar	1,162
Naranja	80
Chile verde	10
Café	1,808

Tabla 4. Productos agrícolas de Xalapa^{II}

Existen también 546 unidades de producción rural con actividad forestal, de las que 15 se dedican a productos maderables

1.4.2. GANADERÍA

Se cuenta con una superficie de 4,500 hectáreas dedicadas a la ganadería, en donde se ubican 868 unidades de producción rural con actividad de cría y explotación de animales^{II}.

Cuenta con 1,000 cabezas de ganado bovino de doble propósito, además la cría de ganado porcino, ovino, equino y caprino. Las granjas avícolas y apícolas tienen cierta importancia en la región

1.4.3. INDUSTRIA

En el municipio destacan las industrias de beneficios de café, maquiladoras de ropa y elaboración de agua purificada. Existen 113 micro, 43 pequeñas, 4 medianas empresas.¹¹

Es necesario reformular el papel de la industria como uno de los motores para el desarrollo de la zona, en virtud de la poca existencia de plantas industriales en la región. Sin embargo no se debe permitir la instalación de giros industriales contaminantes debido a la cercanía de estas plantas con las zonas de uso habitacional. Se considera el establecimiento de más plantas agroindustriales, como los beneficios de café, para el procesamiento de éste y los demás productos de la región.

1.4.4. COMERCIO Y SERVICIOS

Dentro del estado, la ciudad más importante en el sector comercial es Xalapa, tanto por las compras que realiza el sector gobierno como por su tradicional vocación comercial y de servicios.

Cuenta con 1,444 comercios entre mueblerías, almacenes de venta de material para la construcción, zapaterías, ferreterías, venta de ropa, librerías, ocho franquicias y aproximadamente veinte establecimientos comerciales tradicionales.

Además, en el municipio se brindan servicios de 75 hoteles, 223 restaurantes, 25 agencias de viaje y 5 arrendadoras.

La distribución de la actividad económica del municipio se muestra en la tabla 5 a continuación:

Actividad	%
Sector primario (agricultura, ganadería, caza y pesca)	4.2
Sector secundario (minería, extracción de petróleo y gas natural, industria manufacturera, electricidad, agua y construcción)	19.0
Sector terciario (comercio, transporte y comunicaciones, servicios financieros, de administración pública y defensa, comunales y sociales, profesionales y técnicos, restaurantes, hoteles, personal de mantenimiento y otros)	70.0
No especificado	6.8

Tabla 5. Distribución de la actividad económica en Xalapa.

Como podrá observarse en la zona conurbada se reporta un índice muy alto de trabajadores excedentes inscritos en el sector terciario que contrasta con un significativo déficit en el primario y un modesto indicador en el secundario, sustentado por el mercado de la construcción. Sin duda, en la zona deberá pugnarse por un mayor equilibrio entre los tres sectores económicos que conlleve a su fortalecimiento, permitiendo la generación de riqueza auténtica.

1.5. MARCO HISTÓRICO

El nombre de XALAPA proviene del Náhuatl. Xallapan (de Xalli: arena, apan: río o manantial): “manantial en la arena”.

1.5.1. ESCUDO

El Rey Carlos IV, en Madrid, España el 18 de diciembre de 1791 a solicitud del Virrey Conde de Revillagigedo por decreto Real, le concede a Xalapa su escudo de Armas.



Ilustración 13. Escudo de armas

En el centro un conjunto de cinco cerros que representa el Macuiltépetl, derivada de la voz náhuatl “Macuilli” que es el numeral y significa 5 y tepetl, cerro a cuyo pié se haya Xalapa “cinco cerros”.

Sobre los cinco cerros se ve un brillante lucero, representativo del clima benigno, apacible y templado de la ciudad. Rodea al centro una franja con las letras de Xalapa, nombre de la ciudad

alternando con plantas de la “raíz de Xalapa”, muy estimada entonces en Europa por sus propiedades medicinales. La laguna y la arena representan el poblado como se encontraba en 1791.

En la parte superior del escudo esta el capacete y el caduceo de Mercurio, símbolo de las ferias de flotas entre las naciones de Europa y América; del comercio Xalapeño; La cornucopia de Amaltea, las flores y frutos que brotan en ella y el laurel, la palma y demás adornos representan la abundancia y la hermosura de sus pensiles, los prados y jardines, la frondosidad de las arboledas, la variedad de las frutas y la abundancia de flores, siendo éste el motivo por el cual se le conoce a la ciudad como “ La Ciudad de las Flores”.

1.5.2. RESEÑA HISTÓRICA

No se conoce la fecha exacta de la fundación de Xalapa. El historiador Rivera Cambas considera que tal hecho tuvo lugar en el año 1313, época en que fue fundada Tenochtitlán, de acuerdo con la leyenda.

Tampoco se conoce con certeza quienes fueron los primeros pobladores. Se cree que hallan sido los Totonacas, quienes primero se establecieron al norte, en las faldas del Macuiltépetl, donde se han encontrado vestigios de ellos, fundando posteriormente el poblado de Xallitic. Otros historiadores opinan que los primeros pobladores fueron los Toltecas, quienes en su peregrinación hacia Yucatán y América Central, se detuvieron algún tiempo en la zona.

Durante el siglo XIV se establecieron sucesivamente en el sitio ocupado actualmente por Xalapa, cuatro grupos indígenas, fundado cada uno un pequeño poblado. Los poblados fueron: al norte Xallitic (en la arena), fundado por los Totonacas; al este Techacapan (río de los desperdicios), fundado por los Chichimecas; al noreste Tecuanapan (río de las fieras), por los Toltecas, y al suroeste Tlalnecapan (río de los bejucos), por los Teochichimecas.

Con el tiempo los cuatro poblados anteriores crecieron y terminaron por unirse, formando una sola población que recibió el nombre de Xallapan.

Los poblados que dieron origen a Xalapa, constituyen en la actualidad barrios de la ciudad, conservando todavía sus antiguos nombres.

Moctezuma Ilhuicamina Quinto Emperador Azteca invadió el actual territorio Veracruzano en la segunda mitad del siglo XV, y en el año de 1457 sometió a numerosos poblados indígenas entre ellos los citados de Xallitic, Techacapan, Tecuanapan y Tlalnecapan. Desde ese año los poblados de la zona pasaron a depender del Imperio Mexica, hasta que éste fue conquistado por los españoles, en 1521.

En la tabla 6 se enlistan los sitios arqueológicos registrados en la zona conurbada de Xalapa de acuerdo al Instituto Nacional de Antropología e Historia.

Nombre	Municipio	Hectáreas
La Gravera	Xalapa	1.5
Los Nísperos	Xalapa	5
Xolostla	Xalapa	2
El Poste	Tlalnahuayocan	0.1
Colonia 21 de Marzo	Xalapa	0.2
Palo Verde	Xalapa	0.5
Centros Arqueológicos No. 17, 18 y 19	Xalapa	0.5
Banderilla (cementerio)	Banderilla	0.35
El Estropajo	Tlalnahuayocan	1
El Pozo	Banderilla	0.45
El Grande	Banderilla	0.3
Centros Arqueológicos No. 55, 56 y 57	Banderilla	0.6
Xaltepec	Banderilla	4.8
Macuiltépetl	Xalapa	0.62

Tabla 6. Sitios arqueológicos de la Zona Conurbada^{III}

Los primeros españoles que llegaron a Xalapa fueron Hernán Cortés y sus soldados, quienes arribaron a la población el 17 de Agosto de 1519, en viaje de costa veracruzana a Tenochtitlan. Una vez efectuada la conquista de México, los religiosos españoles procuraron la conversión de los indígenas a la religión cristiana. Con ese fin se fundó en Xalapa, en 1555 el convento de



Ilustración 14. Iglesia de San José

San Francisco, donde hoy se encuentra construido el parque Juárez. Del mencionado convento salieron, a partir del año de 1560, numerosos misioneros, que evangelizaron a Coatepec y otras poblaciones circunvecinas.

Los españoles destruyeron los templos indígenas levantando en su lugar templos cristianos. Así fue como se construyeron los templos de El Calvario (1776), en Xallitic; San José (1770) de la Laguna en Techacapan, y Santiago en Tlalnecapan. En el centro de las cuatro poblaciones se construyó la iglesia de Santa María de la Concepción que hoy es la catedral de la Arquidiócesis de Xalapa (1772).

Cuando llegaron los españoles, Xalapa estaba escasamente poblada. Después de la conquista su población aumentó un poco ya que debido a su posición geográfica constituía una escala en el camino México-Veracruz.

La apertura de la ruta México-Orizaba-Veracruz restó importancia a Xalapa como lugar de tránsito, haciendo que su población se mantuviera casi estacionaria durante el siglo XVII.

De ese estancamiento la sacó la primera “Feria de Xalapa”, celebrada en 1720 a la que siguieron otras gracias a las cuales el pueblo fue adquiriendo cada vez más importancia recibiendo la afluencia de numerosos comerciantes de la Nueva España que venían a vender sus productos y a comprar los llegados de la península.

A partir del año de 1720, numerosas familias españolas residentes en los poblados cercanos se establecieron en Xalapa, de modo que para 1760 la población xalapeña pasaba de mil habitantes indígenas, mestizos y españoles.

El crecimiento de Xalapa en población, cultura, comercio e importancia, registrado durante el siglo XVIII, hizo que los habitantes pidieran al virrey Juan Vicente Güemes Pacheco Padilla, Segundo Conde de Revillagigedo, que solicitara al rey

Carlos IV de España la elevación de la población a la categoría de Villa. La solicitud fue atendida por el monarca español, quien concedió a Xalapa el título de Villa y Escudo de Armas, mediante Reales Cédulas expedidas el 18 de Diciembre de 1791.

En este mismo siglo se verifica la fundación de la actual ciudad de Coatepec. En 1702 se solicita la autorización para la fundación de San Jerónimo Coatepec. El poblado se traza en un radio de 800 varas resultando 73 manzanas. Posteriormente se inician la construcción del templo parroquial y de las casas de gobierno y de los notables organizados, de modo tradicional, en torno a la plaza de armas.



Ilustración 15. Plaza de Armas de Coatepec

La abundancia de flores en la región Xalapeña hizo que el Barón de Humboldt, quien visitó la Villa el 10 de Febrero de 1804, bautizara a Xalapa con el nombre de “Ciudad de las Flores”.

Desde principios del siglo XIX, Xalapa fue escenario de importantes hechos históricos, catalogados entre los precursores del glorioso movimiento de Independencia iniciado el 16 de Septiembre por el Padre de la patria.

Entre esos hechos están las juntas llevadas a cabo por el síndico Xalapeño Diego Leño, cuyas ideas fluyeron grandemente en el pensamiento de los representantes del ayuntamiento en la ciudad de México, señores Primo Verdad y Azcárate, quienes pretendieron instalar, en 1808, una Junta Gubernativa Independiente en la capital de la Nueva España. A raíz de los sucesos, fue destituido el virrey José de Iturrigaray y nombrado en su lugar Pedro Garibay.

El 20 de mayo de 1821, poco antes de consumarse la Independencia Mexicana (27 de Septiembre del mismo año), Xalapa fue atacada por las fuerzas de Don Antonio López de Santa Anna, quien, junto con Don Joaquín Leño, obligó al capitán español Juan Horbregoso a entregar la plaza.

Consumada la Independencia y siendo emperador de México Don Agustín de Iturbide, efectuó este un recorrido por la zona central del Estado de Veracruz. A su paso por Xalapa fué recibido fríamente por el pueblo.

El 9 de Mayo de 1824, siendo Presidente de la República Don Guadalupe Victoria, se instaló en Xalapa la Primera Legislatura del Estado de Veracruz. Ese mismo año Xalapa fué declarada capital del Estado, papel quien ha venido desempeñando de desde entonces, habiendo sido destituida temporalmente, por motivos de guerra, por las ciudades de Veracruz, Córdoba y Orizaba.

Siendo Presidente de la República Don Vicente Guerrero, se ordenó al General Anastasio Bustamante situarse, con tres mil hombres, en las villas de Xalapa, Córdoba y Orizaba para defender al país de la invasión del español Isidro Barradas, quien pretendía reconquistar a México.

Sin embargo, Don Anastasio Bustamante, traicionando la confianza depositada en él, se sublevó contra el Gobierno legítimo de acuerdo con el plan de Xalapa, firmado el 4 de diciembre de 1829.

El 29 de noviembre de 1830 por decreto, Xalapa fue elevada a la categoría de ciudad.

En 1843, Don Antonio María de Rivera fundó el Colegio Nacional de Xalapa (actual colegio preparatorio) el más antiguo de su tipo en el país.



Ilustración 16. Colegio Preparatorio de Xalapa

Durante la invasión Norteamericana, en 1847 el General Don Antonio López de Santa Anna pretendió contener el enemigo en Cerro Gordo, lugar situado cerca de Xalapa. En el citado lugar las tropas mexicanas sufrieron, el 18 de abril una sangrienta derrota y al día siguiente el invasor ocupó la capital veracruzana.

Cabe destacar el patriotismo, que en un momento tan crítico para la Patria, portaron los insignes y heroicos Xalapeños Ambrosio Alcalde y Antonio García, quienes lucharon valientemente en la defensa de la ciudad de Veracruz, cayendo prisioneros del enemigo. Liberados por éste, después de prometer no tomar nuevamente las armas contra los invasores norteamericanos, su patriotismo los movió a intervenir nuevamente en la lucha. Capturados esta vez cerca de Teocelo,

fueron llevados a Xalapa, donde se les formó un Consejo de Guerra, siendo sentenciados a muerte y fusilados el 24 de noviembre de 1847.



Un obelisco

Ilustración 17. Mercado Alcalde y García
levantado entre la iglesia de San José y el mercado Alcalde y García cerca del cuartel Heriberto Jara (hoy llamado San José), recuerda el lugar donde fueron fusilados estos héroes, que prefirieron morir, a ver pisoteada su Patria por el invasor.

Años después, en mayo de 1854, la ciudad de Xalapa tuvo el honor de albergar durante unos días, al licenciado Benito Juárez hospedándose en una casa de la calle Nueva (hoy calle Benito Juárez)

Durante la invasión francesa, la ciudad fue ocupada por el enemigo, en noviembre de 1862. En ella se hospedó el emperador Maximiliano de Habsburgo, en su tránsito de Veracruz a México. El 27 de noviembre de 1867 el cadáver del emperador arribó a Xalapa, siendo depositado primeramente en el cuartel de San José y después por arreglos que el cura José María y Daza hizo con las autoridades, en la iglesia de San José. Al día siguiente el cadáver fue trasladado a Veracruz, para ser embarcado a Austria en la fragata "Novara", misma que había traído a Maximiliano y a su esposa Carlota a México.

Hacia 1845, cuando las condiciones socioeconómicas y políticas aún no eran estables, funcionaban en Xalapa cinco fábricas: la Industrial Xalapeña, la Probidad, la Victoria, Lucas Martín y Molino de Pedreguera.

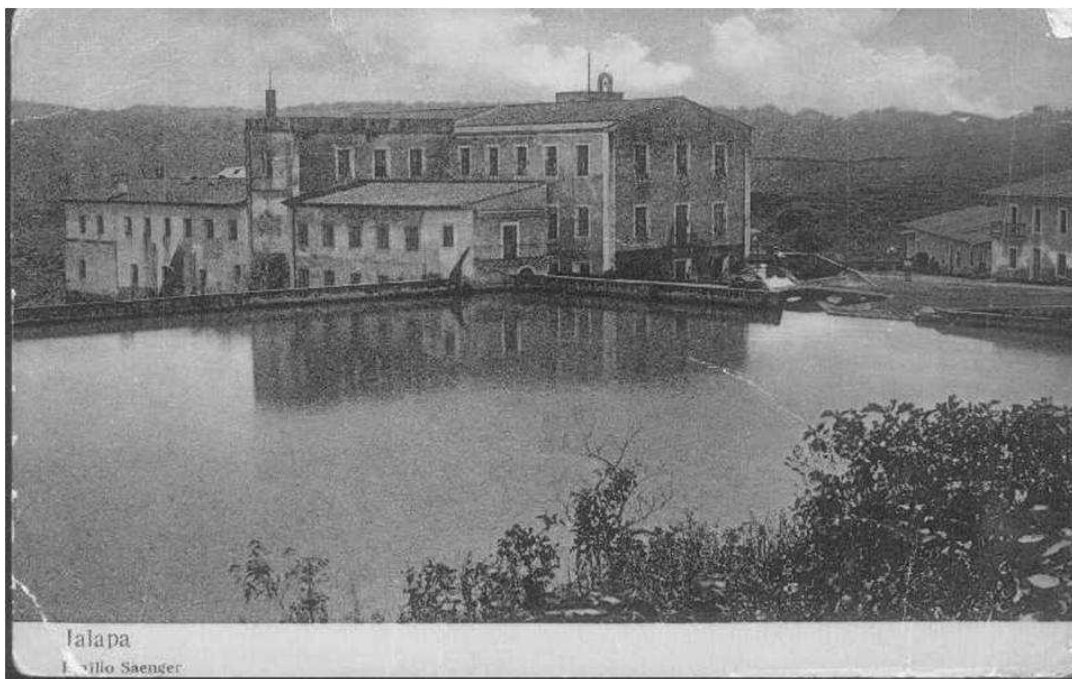


Ilustración 18. La Industrial Xalapeña

En 1885 el General Juan de la Luz Enríquez, gobernador de la entidad trasladado a la ciudad de Xalapa los poderes del Estado, que habían estado en Orizaba, en cumplimiento del decreto expedido en junio del citado año por el Gobernador provisional José Manuel Jauregui. El general Enríquez, de acuerdo con el maestro suizo Enrique C. Rébsamen, fundó la Escuela Normal, la primera escuela de su tipo en el país, en 1886.

Durante el régimen del general Enríquez, se demolió el edificio del antiguo convento de San Francisco levantándose en su lugar el actual parque Juárez.

En 1888 se inauguraron los Talleres Gráficos del Estado y en junio de 1890 llegó a la ciudad la primera locomotora para el ferrocarril Xalapa-Coatepec-Teocelo.

El ayuntamiento de Xalapa operó desde sus inicios en las Casas Consistoriales hasta 1887, año en que se inaugura su edificio actual.

El 17 de marzo de 1892 falleció el general Juan de la Luz Enríquez, el Decreto del 30 de marzo del mismo año declaró al general, Benemérito del Estado y la ciudad, de ahí la denominación de Xalapa-Enríquez.

La inauguración de la Escuela Normal, la construcción del edificio del Colegio Preparatorio y la inauguración posterior de otras escuelas, dieron renombre cultural a Xalapa, la cual hasta la fecha es conocida como "La Atenas Veracruzana".

A fines del siglo XIX se construyen gran cantidad de teatros denominados "de circuito" que recibían ocasionalmente visitas de compañías de zarzuela, ópera y canto nacionales y extranjeras,

entre estos destaca el Teatro Caus de 1865.



Ilustración 19. Escuela Normal del Estado

Durante el porfiriato y siendo gobernador del estado Teodoro A. Dehesa, se introduce el ferrocarril de vapor que une a la Ciudad de México con el Puerto de Veracruz (1901) lo que estimuló el desarrollo de las ciudades ubicadas a lo largo de las vías, entre ellas Xalapa.

En el año de 1904 se instaló el sistema de alumbrado eléctrico de calles lo que permitió a la población permanecer hasta altas horas de la noche en las calles favoreciendo el desarrollo de bares, teatros, clubes, restaurantes y cafés.

En 1906 se instaló un reloj, que hasta la fecha sigue en funcionamiento, en la antigua relojería “La Perla”, misma que durante muchos años, estuvo ubicada en la calle de Enríquez, local que actualmente ocupa la agencia de la Lotería Nacional.

El 18 de mayo de 1911 Francisco I. Madero visitó Xalapa. El 21 de junio del mismo año se registro en la ciudad un choque entre las fuerzas federales y los revolucionarios, debido a que se trataba de imponer como gobernador a Emilio Léycegui.

El 3 de enero de 1920, un fuerte sismo afectó a la ciudad, causando numerosos daños y destruyendo varios edificios. Años después en diciembre de 1923, Xalapa



cayó en poder de las fuerzas de la huertistas que comandaba Guadalupe Sánchez.

En 1924 tomó posesión como gobernador el general Heriberto Jara Corona, originario de Nogales, Ver. Su gobierno significó la construcción de importantes obras, entre las cuales sobresalen el estadio Xalapeño, que fue inaugurado por el presidente, general Plutarco Elías Calles, el 20 de octubre de 1926.

Ilustración 20. Estadio xalapeño

Durante el régimen del general Adalberto Tejeda Olivares, se dio impulso a la educación y se fundó la casa de maternidad, hoy convertida en facultad de enfermería, dependiente de la Universidad Veracruzana.

En su segundo período de gobierno (1928 – 1932) las luchas religiosas se desataron al expedir algunas leyes que no iban de acuerdo con la postura del clero católico y los templos fueron cerrados.

El 11 de septiembre de 1944 se fundó la Universidad Veracruzana, siendo su primer rector el Dr. Manuel Suárez. La Universidad Veracruzana con base en el Departamento Universitario existente desde 1919, comenzó a laborar formalmente el 1° de enero de 1945.

El 4 de Septiembre de 1978 mediante decreto numero 325, la Legislatura Local aprobó que el nombre de Xalapa Enríquez, ciudad capital del Estado de Veracruz Llave deberá escribirse con “X”.



Ilustración 21. Cerro del Macuiltépetl

En 1978, siendo gobernador el Lic. Rafael Hernández Ochoa, se expidió un decreto declarando área verde reservada para la recreación y educación ecológica, el predio urbano denominado Cerro Macuiltépetl, con una superficie de 310,906 m².

1.6. ATRACTIVOS CULTURALES Y TURÍSTICOS



Ilustración 22. Catedral de Xalapa

La Catedral de Xalapa

La construcción se inició en 1641, los trabajos avanzaron lentamente y solo hasta 1772 el sacerdote Alfonso José Gatica la dió por concluida. Su estilo original fue barroco, desde 1895 se impuso un poco el estilo neogótico. Desde 1964, en el interior y en la capilla especial se hallan los restos del quinto Obispo de Veracruz, San Rafael Guizar y Valencia (1877-1937). Cuenta con un museo de reliquias del santo en el interior de la misma. La fachada de la catedral es de estilo neoclásico y gótico.

En su diseño la portada del lado izquierdo consta de un sólo cuerpo con dominio de la línea curva y es de estilo barroco purista. En la parte oriente se integra la cúpula principal y la de la capilla adjunta así como la portada en sentido diagonal y las espadañas. La torre izquierda nunca fue construida ya que se presentaron hundimientos en el terreno y éste no hubiera resistido el peso de otra torre.

Iglesia de San José en Xalapa

Es un inmueble del siglo XIX. La iglesia presenta una nave central más alta que las laterales con un aspecto de fuerte reminiscencia mudéjar. Presenta columnas que soportan arcos de herradura, arbotantes y contrafuertes. La nave tiene forma de cruz latina con cúpula de media naranja con ventanas rectangulares. Hace apenas unos años se descubrió la pintura bajo varias capas de encalado y fue restaurada.

Iglesia del Calvario en Xalapa

Data del siglo XIX. La torre izquierda se compone de dos cuerpos sobre cubo y ático vacío rematados por cupulín y con vanos mixtilíneos. La torre derecha es totalmente distinta al resto del conjunto con elementos de filiación neoclásica.

El Centro Histórico Xalapeño

Comprende más de 350 inmuebles con valor histórico y Arquitectónico entre los que se encuentran:

- El palacio de gobierno, es de estilo neoclásico realizado con cantera rosa se empezó a construir en 1855.
- El palacio municipal
- El parque Juárez
- El Colegio Preparatorio
- Las estatuas de Manlio Fabio Altamirano, Benito Juárez y de Sebastián Lerdo de Tejada.

El centro recreativo Xalapeño

Fue edificado en el siglo XVIII para dar albergue a los viajeros hacia México o Veracruz, esta considerado como monumento histórico, catalogado y protegido

por el INAH. En él estuvieron presos los tenientes Ambrosio Alcalde y Antonio García antes de ser fusilados por las tropas Norteamericanas durante la invasión de 1847. Actualmente funciona como galería y centro de arte.



Ilustración 23. Museo de Antropología

Museo de Antropología e Historia de Xalapa

Con paredes de cantera rosa y pisos de mármol, alberga profusos y elocuentes testimonios de las tres principales culturas que florecieron en la entidad. En el vestíbulo destaca una de las cabezas colosales Olmecas más bellas y menos dañadas, exhibe más de dos mil piezas de las 27 mil que tiene su acervo.^{II}

Cuartel de San José en Xalapa

Inmueble del siglo XIX. Construido con pisos de loseta, recinto y piedra, muros de mampostería, cubierta de concreto y teja y

canceles de madera.

Ex edificio del Arzobispado de la Arquidiócesis de Xalapa

Data del siglo XIX, es una construcción de dos niveles con pisos de mosaico, muros de mampostería, canceles de madera y cubiertas de bóveda catalana.

Parroquia de San Jerónimo en Coatepec

Su construcción se inició en 1703, sólo el campanario corresponde a finales del siglo XIX después de que el original se derrumbó en un sismo. A partir del centro del predio donde se localiza esta parroquia, en un radio de 80 varas, fue que se trazó en sus inicios la ciudad de Coatepec.

Parroquia de Nuestra Señora del Rosario en Coatepec

El acabado interior original se conserva y data posiblemente de 1786. Su fachada principal fue modificada en la segunda mitad del siglo XX. Su estado de conservación es regular.

Parroquia de Nuestra Señora de la Luz en Coatepec

Se asocia a la escuela del Neogótico, contiene patrones tipológicos similares a los empleados en la Catedral de Xalapa. Fue construida entre los años de 1848 y 1886. Sus muros son de cal y canto y sus bóvedas de ladrillo.

Parroquia de Nuestra Señora de Guadalupe en Coatepec

Data de 1853, es un modelo dentro de un discurso plástico del neogótico que influye en la región durante la segunda mitad del siglo XIX. Sus pisos son de mosaico de pasta, cubiertas de entramado y teja y cancelería de madera.

Parroquia del Sagrado Corazón de Jesús en Coatepec

Su construcción procede de 1833 aunque a finales del siglo XIX y principios del XX recibe la adición de una sobreportada de corte neoclásico. Su construcción es de muros de cal y canto y bóveda de ladrillo.

Otros inmuebles de valor histórico dentro de la zona conurbada:

- Oficina de Hacienda de Xalapa
- Cementerio Antiguo Xalapeño
- Escuela Enrique C. Rébsamen en Xalapa
- Lavaderos de Xallitic en Xalapa
- Asilo Mariana Sayago en Xalapa
- Iglesia de los Corazones en Xalapa
- Iglesia de la Piedad en Xalapa
- Colegio México en Coatepec
- Casa Parroquial de Coatepec
- Parroquia del Calvario en Coatepec
- Palacio Municipal de Banderilla.

El jardín Botánico

Museo viviente de la flora y la fauna pródiga de la zona y el cual mantiene un intercambio de especies exóticas en peligro de extinción con instituciones de otros países.

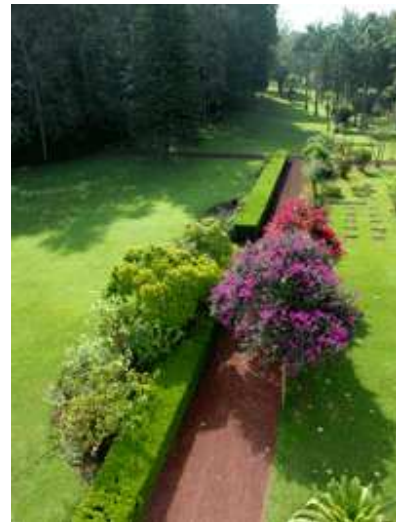


Ilustración 24. Jardín Botánico

Paseo los Lagos

Lagos artificiales, área libre con vista hermosa en donde los sábados y domingos se imparten talleres y juegos educativos, en los que hay espacios para juegos infantiles, andar en bicicleta o patinar, así como espacios para comer.

Parques

En la zona centro de la ciudad de Xalapa podemos encontrar varios de gran importancia y tradición. El parque de los Berros y el Parque Juárez son áreas

libres y reservas ecológicas. También está el parque de los Tecajetes que tiene un estanque de acuicultura y área de deportes.

Reserva Ecológica del Cerro del Macuiltepec

En él se encuentra el Museo comunitario de la Fauna con exhibición de aves exóticas, arácnidos y reptiles. En la parte más alta del cerro se ubica un mirador desde el cual se puede ver toda la ciudad y sus alrededores. Cuenta con gran cantidad de áreas verdes y andadores sombreados por la vasta vegetación característica de la región.

1.7. PROYECTO ECOTURÍSTICO PIXQUIAC

El turismo ecológico o ecoturismo es un enfoque para las actividades turísticas en el cual se privilegia la sustentabilidad, la preservación y la apreciación del medio, tanto natural como cultural, que acoge a los viajeros.

El ecoturismo es un subcomponente del campo del desarrollo sustentable. Es una forma de turismo centrado en la naturaleza que se caracteriza por estar fuertemente orientado al desarrollo sostenible y por lo tanto se sustenta en el cumplimiento de siete componentes:

- 1) Contribuye a la conservación de la biodiversidad.
- 2) Sostiene el bienestar de la población local.
- 3) Incluye una experiencia de aprendizaje / interpretación
- 4) Involucra la acción responsable por parte de turistas y de la industria turística.
- 5) Es ofrecido primordialmente a grupos pequeños por pequeñas empresas.
- 6) Requiere el consumo más bajo posible de recursos no renovables.
- 7) Enfatiza la participación local, propiedad y oportunidad de negocios para la población rural.

El ecoturismo bien practicado puede convertirse en un poderoso instrumento para la conservación de la flora y fauna, al valorizar un recurso natural.

Debido a su auge, el ecoturismo ya se convirtió en el segmento de más rápido crecimiento y el sector más dinámico del mercado turístico a escala mundial.^{vi} Pese a su corta existencia, el ecoturismo es visto por varios grupos conservacionistas, instituciones internacionales y gobiernos como una alternativa viable de desarrollo sustentable. Existen países como Costa Rica, Kenia, Madagascar, Nepal y Ecuador (Islas Galápagos) donde el turismo ecológico produce una parte significativa de los ingresos de divisas provenientes del sector turístico, e incluso en algunos casos, de la economía del país.

En todo lo largo y ancho de la República Mexicana se enumeran zonas con alto contenido de riqueza ecológica. En el norte y noroeste destaca la presencia de magníficos ecosistemas desérticos y bosques de alta montaña, así como regiones costeras ricas en fauna marina. En la parte central se constituyen importantes sistemas montañosos con volcanes de inigualable belleza, acompañados de abundante riqueza floral y faunística y pueblos y ciudades coloniales llenos de tradición y de marcado colorido. En el sur y sureste mexicanos existen zonas con excepcional riqueza arqueológica, selvas y bosques dotados quizás, con la mayor biodiversidad del país. Aunados a estos atributos, se localizan en estas zonas, extensas playas de singular belleza, así como el sistema arrecifal considerado como el segundo mejor a nivel mundial.

Por su parte en el Estado de Veracruz encontramos desde la elevación más alta en México, hasta selvas enigmáticas, lagunas de tranquilidad y bosques inundados de niebla. Veracruz posee uno de los mayores acervos en cuanto a Áreas Naturales además de poseer reconocimientos internacionales como los de la comisión RAMSAR y de la UNESCO.

Para que todos estos recursos se transformen en una herramienta clave para el desarrollo sustentable a través del ecoturismo, deberá invertirse mucho esfuerzo en capacitación, planificación y conservación de nuestro patrimonio con el objetivo fundamental de preservar su autenticidad.

El Proyecto Ecoturístico Pixquiac contempla la construcción de once cabañas con capacidad para cinco personas cada una. En el desarrollo se incluirán también áreas verdes, juegos infantiles y asadores al aire libre.

Dentro de las actividades consideradas para entretenimiento de los turistas que visiten en lugar se tienen:

- Caminatas por los alrededores con explicaciones sobre la flora y fauna características de la región;
- visitas a los pueblos cercanos para conocer su historia, arquitectura, gastronomía, artesanías y costumbres;
- actividades de integración familiar/laboral;
- tirolesa;
- rappel y
- temascal

Este proyecto esta pensado para dirigirse a empresas que deseen promover la convivencia e integración entre sus empleados o a familias, a grupos de amigos y a todo aquel que esté interesado en pasar un tiempo lejos del estrés y la contaminación de las grandes ciudades al mismo tiempo que convive con la naturaleza y conoce la cultura de la región.

El turista ecológico desea llegar a un área natural afectada lo menos posible por la mano del hombre. Quiere admirar ejemplos de la arquitectura autóctona, realizar actividades íntimamente ligadas a la naturaleza, lejos de todo aquello que signifique industrialización, asfalto, pavimento y vida urbana, por ello las

instalaciones de infraestructura deberán ser mimetizadas, lo más posible, con el paisaje que las rodea. Esa es una labor que el diseñador debe realizar con base en su sensibilidad y conocimientos.

El diseño de las cabañas que se construirán en el Proyecto Ecoturístico Pixquiac se tomó de otros campamentos existentes en los alrededores. Se fabrican en madera las paredes, los techos y la mayoría del mobiliario interior con lo que se logra integrar la construcción con el ambiente.



Ilustración 25. Cabaña muestra

Los principales problemas a resolver en sitios alejados que se deseen destinar a proyectos ecoturísticos son cuatro:^{IX}

- Suministro de energía.
- Suministro de agua potable.
- Tratamiento de aguas negras.
- Tratamiento de la basura.

La presente tesis analiza algunas alternativas de solución para el problema del suministro de agua potable en el Proyecto Ecoturístico Pixquiac mediante sistemas de bombeo que utilicen algunas de las energías renovables disponibles en la región (solar y eólica).

La región localizada entre las dos carreteras Xalapa – Coatepec y que comprende los asentamientos de Briones, Plan de la Cruz, la Pitahaya, Zoncuantla, la Escondida y el Águila, está restringida de la dotación de línea de conducción de agua debido a que en la zona no existe posibilidad de abastecimiento. En esta zona se permite el uso habitacional de muy baja densidad (1 a 4 viviendas por hectárea y lotes no menores a 2,500 m²), no se da la factibilidad de agua y cada dueño debe buscar sus propias fuentes de abastecimiento.

El predio donde se planea desarrollar el Proyecto Ecoturístico Pixquiac se localiza cerca de uno de los afluentes del río Pixquiac. Este arroyo lleva corriente durante todo el año y a lo largo de su cauce sus aguas se utilizan para abastecer algunas casas, para el riego de terrenos agrícolas y para la cría de truchas.

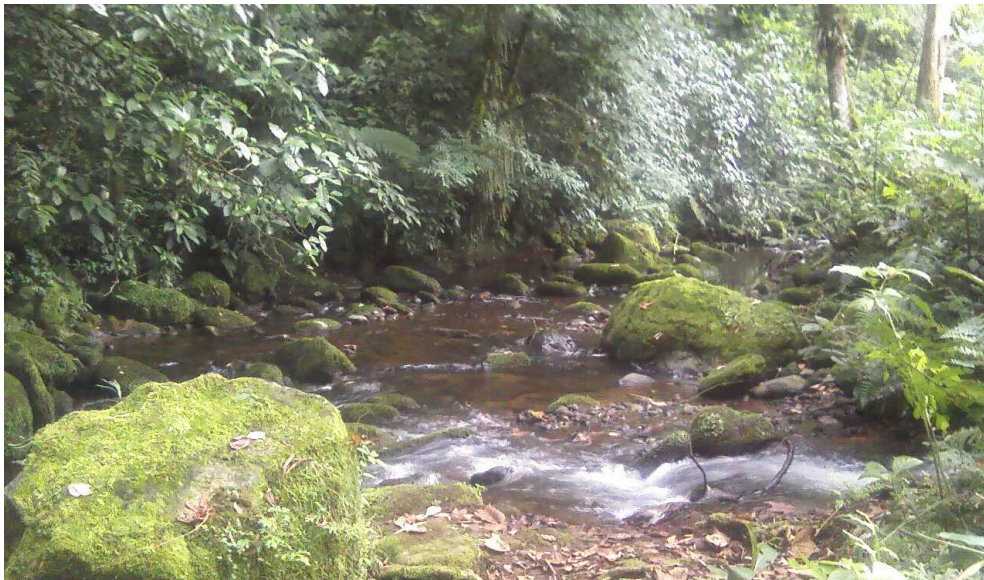


Ilustración 26. Afluente del río Pixquiac

2. SEGUNDO CAPÍTULO. LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Las energías renovables son aquellas cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, y que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua.

La energía solar ha sido y continúa siendo la fuente original y primaria de energía. Mediante el calentamiento solar se generan el ciclo del agua y las corrientes de aire que permiten explotar las energías hidráulica y eólica; la energía solar es atrapada mediante por las plantas mediante la fotosíntesis y de ahí es transferida a los demás seres vivos y puede ser aprovechada en forma de bioenergía; incluso el petróleo, el carbón y el gas natural son energía solar que se almacenó en tejidos vivos y que no tuvo oportunidad para descomponerse sino más bien se almacenó, comprimió, calentó y se convirtió en combustibles fósiles a lo largo de los últimos 500 millones de años.

Durante más o menos 100 años, la humanidad ha estado recurriendo a la energía del "sol del ayer" almacenada en los combustibles fósiles, cuando en el pasado fuimos dependientes del "sol de hoy". El mundo debe salir de este breve instante de combustibles fósiles en la historia humana y encaminarse hacia una renovada dependencia del "sol actual" aprovechando las fuentes renovables de energía.

Este cambio se ido dando a nivel mundial, durante las últimas décadas, iniciando un proceso de transición hacia una mayor participación de las energías renovables, y ha sido impulsado por una serie de factores, entre los cuales se encuentran:

- Las preocupaciones de soberanía y de seguridad en el abasto de energía en países importadores de energía, sobre todo a partir de las crisis petroleras, y la cada vez mayor volatilidad de los precios de los combustibles; y

- Las preocupaciones por los impactos ambientales de los sistemas energéticos: en particular la lluvia ácida y, más recientemente, el cambio climático.

La experiencia observada en el desarrollo reciente de las civilizaciones y las sociedades e industrias humanas muestra que al mundo le ha tomado alrededor de 60 años transitar desde una dependencia primaria de un recurso energético a uno nuevo, o a un nuevo conjunto de recursos energéticos. Tomó unos 60 años transitar, desde nuestro estado de dependencia de la madera como leña hacia el carbón y tomó quizás otros 60 años el tránsito completo de la dependencia del carbón a una dependencia marcada sobre el petróleo y el gas natural.

Ya desde el año 2000, los recursos energéticos renovables han emergido con la suficiente madurez tecnológica y comercial como para comenzar a afectar la producción global de energía primaria, sin embargo, su impacto aún es modesto en términos del porcentaje total. Si esta emergencia muestra en verdad la punta de la nueva gran transición energética, entonces nuestra propia historia sugiere que, hacia el año 2030, deberemos estar profundamente ubicados dentro del surgimiento de la siguiente era de los recursos energéticos.

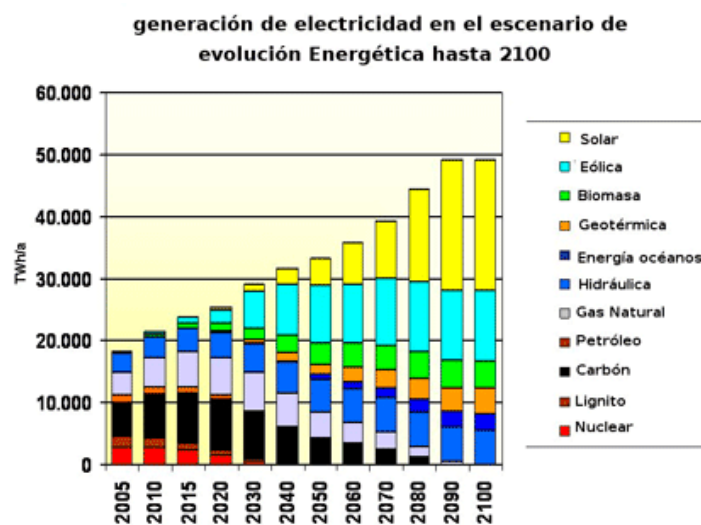


Ilustración 27. Proyección de la evolución de las energías renovables

2.1. LOS BENEFICIOS DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

En el ámbito internacional, se reconoce la actividad humana ha incrementado las concentraciones atmosféricas de los llamados gases de efecto invernadero. Se dice que esto ha perturbado el balance de la radiación solar en el planeta, provocando un cambio climático global que amenaza la evolución natural del medio ambiente.

La contaminación del aire también es motivo de gran preocupación. En algunas zonas, los contaminantes atmosféricos han alcanzado niveles que pueden perturbar el equilibrio de los ecosistemas y afectar la calidad de vida. Las partículas suspendidas y la lluvia ácida, por ejemplo, afectan la salud humana y dañan las edificaciones.

Los procesos convencionales para generar electricidad que se basan en la quema de combustibles fósiles (principalmente carbón y combustóleo), emiten cantidades importantes de gases de efecto invernadero y de contaminantes atmosféricos. Actualmente el 80% de la energía primaria producida y consumida en el mundo proviene de estos combustibles y en México, en 2006, el 92% de la energía primaria provino de la quema de hidrocarburos.^{XI} Se dice que estos procesos son fuentes principales de emisión de bióxido de carbono. Por ello, varios países ven las energías renovables como un medio para diversificar la generación de energía eléctrica que puede contribuir a mitigar el cambio climático global.

En México el sector energía contribuye con el 61% de las emisiones de gases de efecto invernadero, y el país ocupa el lugar número 13 a nivel mundial en cuanto a sus emisiones de estos gases^X. El aprovechamiento de las energías renovables, al desplazar el consumo de combustibles fósiles, constituye una de las principales estrategias de mitigación del cambio climático a nivel mundial. El desarrollo de proyectos de energías renovables representa además para México una

oportunidad importante de captar recursos internacionales de los mercados de bonos de carbono.

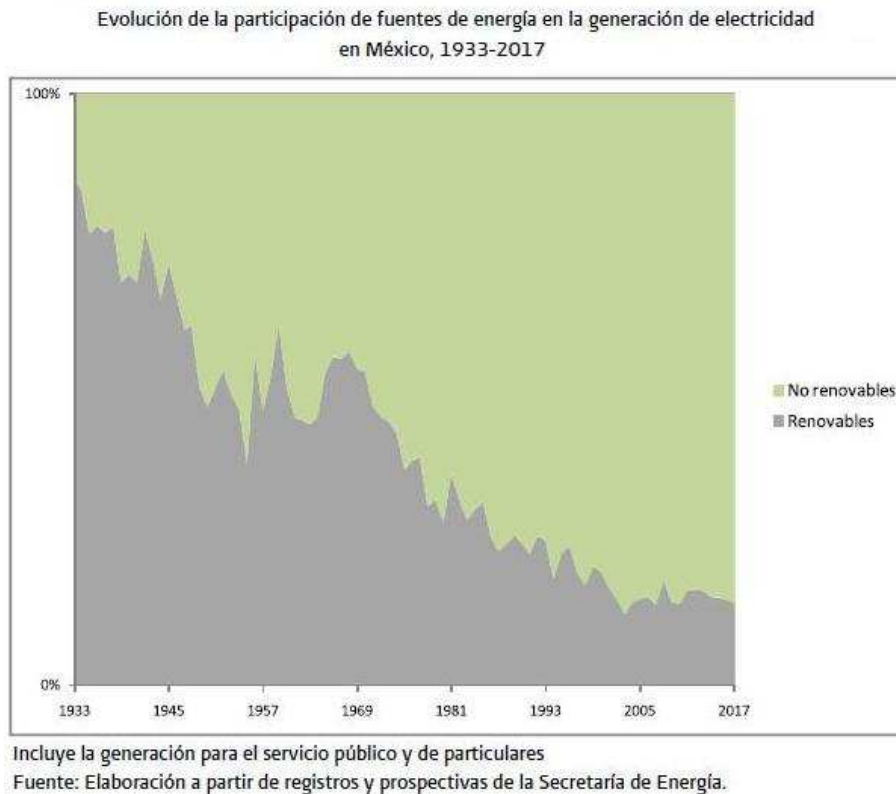


Ilustración 28. Participación de las energías renovables y no renovables

La experiencia internacional demuestra que las energías renovables producen diversos tipos de beneficios a los sistemas energéticos y a los países en su conjunto. Estos beneficios son tanto económicos, como sociales y ambientales. Revisaremos a continuación cuáles son estos beneficios, con referencia en particular al caso de México.

1. Así como la naturaleza refuerza sus ecosistemas a través de la diversidad, de la misma manera los gobiernos deben buscar políticas que apoyen una diversidad de recursos energéticos. Para las naciones en vías de desarrollo, las fuentes energéticas de mayor importancia son aquellas que pueden aprovecharse y están disponibles localmente, que son económicamente

viables y pueden ser aplicadas en forma rentable por los recursos humanos disponibles en el lugar.

2. Invertir en nuevas formas de producir y distribuir la energía en escalas más pequeñas con sistemas descentralizados puede reducir en gran medida los grandes riesgos y la posibilidad de futuras pérdidas económicas por fallas en los sistemas masivos y centralizados. Estas fallas ya se han presentado en países desarrollados, ejemplo de ellas son el gran apagón de agosto de 2003 que dejó sin electricidad a 50 millones de personas en 8 estados de EUA y 2 provincias de Canadá y el apagón en Italia que ocurrió sólo un mes después y afectó a 58 millones de italianos.

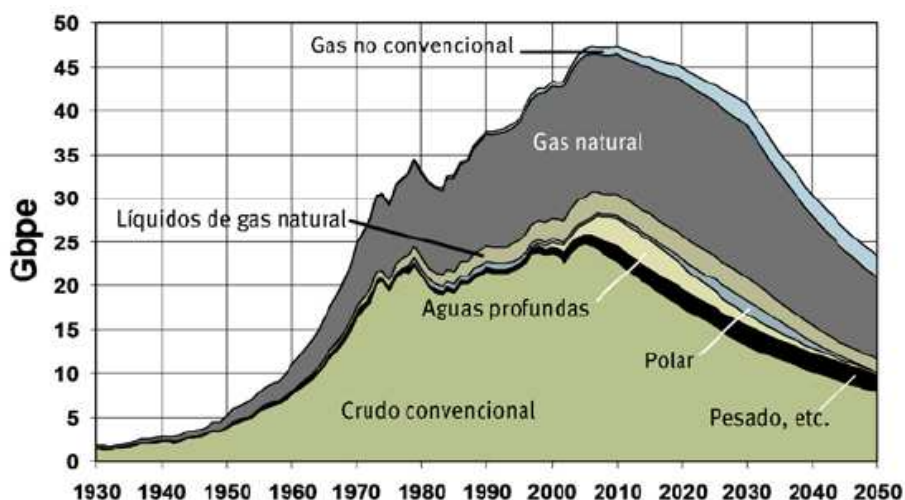
Los atributos de seguridad y confiabilidad de los recursos energéticos distribuidos tienen que ser tomados en cuenta explícitamente cuando se evalúan los costos relativos de los sistemas de suministro eléctrico.

3. Los sistemas de electrificación rural por energías renovables para comunidades aisladas son, muchas veces, la opción más económica para los usuarios. En 2001, 5 millones de mexicanos no contaban con servicio eléctrico^{XIII} y el costo de llevar la red eléctrica nacional hasta los lugares alejados es, muchas veces, mayor que el costo del sistema renovable. En México esta situación se da en el 2.5% de las viviendas del país que no disponen de acceso a la energía eléctrica^X.

Un ejemplo se da en el Estado de México, situado en el centro del país, donde existen más de 500 asentamientos con menos de 200 habitantes cada uno, el costo para extender la red eléctrica nacional a cada domicilio sobrepasa, en algunos casos, los 20 mil pesos^{XV}.

4. En la actualidad la producción de petróleo crudo en México está disminuyendo debido a que se están agotando los pozos petroleros. En 2007 las importaciones de combustibles fósiles superaron el 40% de las exportaciones^X, lo cual es mucho hablando de un país históricamente exportador de energía. El impulso de las energías renovables permitiría conservar nuestros recursos no renovables y por ende la soberanía energética del país.

De igual manera, algunos analistas de la industria mundial de los hidrocarburos aseguran que nos encontramos ya en el cenit en la curva de producción mundial de hidrocarburos por lo que las energías renovables a mediano y largo plazo proporcionarán seguridad en el abasto de energía.



Gbpe: Miles de millones de barriles de petróleo equivalente por año.

Fuente: Association for the Study of Peak Oil and Gas (ASPO), 2008.

Ilustración 29. Escenario de evolución de la producción mundial de hidrocarburos

A pesar de lo anteriormente expuesto, se ha retrasado el arranque de la transición energética durante al menos 30 años. Los combustibles fósiles han continuado dominando un mercado energético sumamente artificial y distorsionado. Los precios actuales, relativamente bajos, de los combustibles fósiles, son consecuencia en parte de los continuos beneficios de muy grandes subsidios, y también de no tener un valor asignado al gran potencial económico petroquímico que tienen estos ricos hidrocarburos, en comparación con simplemente quemarlos como combustibles. Ningún valor económico es asignado, ni a la futura disponibilidad de los recursos, ni a los costos debidos al impacto que su uso tiene sobre el ambiente y la salud humana. El dinero que ganan los buscadores o vendedores de combustibles fósiles, y el poder político que éste conlleva, han retrasado aún más cualquier arranque serio de la próxima transición energética.

Los beneficios de la transición a la energía renovable se extienden a todas las naciones del mundo pero los gobiernos de los países desarrollados son los que pueden costear las primeras etapas. Con el tiempo el desarrollo de la tecnología sobre energía renovable y las aplicaciones a gran escala, hará que los precios se reduzcan y permitirá que las naciones en vías de desarrollo tengan acceso a estas tecnologías. Por lo tanto, es urgente que los países del primer mundo se comprometan con la transición a la energía renovable.

Por su parte, las naciones subdesarrolladas tienen la oportunidad de aprender de los errores ajenos y moverse directamente a esta transición, evitando muchos de los sistemas centralizados a gran escala y optimizando sus gastos en energía.

Además, en las naciones en vías de desarrollo, los recursos de energía renovable pueden ayudar a satisfacer las necesidades humanas básicas y mejorar la calidad de vida de miles de millones de personas. Del potencial total de aplicaciones en las naciones en vías de desarrollo, millones de pequeños sistemas de energía renovable pueden contribuir de muchas maneras a reducir los costos de la expansión de la transición energética mundial hacia las energías renovables. Por lo tanto es importante que los gobiernos de estas naciones también desarrollen programas de subsidio e incentivos para estas tecnologías y no les dejen todo el trabajo a los países desarrollados.

En amplias regiones del mundo es estimulante contemplar la emergencia de políticas para el desarrollo de la energía renovable, y la determinación de reglas para asegurar la realización de metas que trascienden los límites nacionales.

Desde el punto de vista de suministrar energía útil a la sociedad, ninguna tecnología de energía renovable puede adjudicarse el papel de ser más importante que otra. Cada una tiene su lugar en la cartera de tecnologías para satisfacer las necesidades sociales y proporcionar beneficios sociales, económicos y

ambientales. A continuación nos adentraremos más en los temas de energía eólica y solar fotovoltaica ya que son las que se usarán en este proyecto.

2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTÁICA

La energía solar es el término con el que se denomina a la energía proveniente de la radiación del sol. Las celdas fotovoltaicas transforman directamente la radiación solar en electricidad, por medio de un fenómeno físico denominado efecto fotovoltaico.

Para que se genere el efecto fotovoltaico en un dispositivo optoelectrónico se debe realizar un proceso de absorción de luz. Debido a este proceso, la energía de la luz es transferida a los electrones del material con el que está fabricado el dispositivo. Al ganar energía, los electrones rompen los enlaces que los mantenían ligados a sus átomos y pueden moverse "libremente" por el material, dejando huecos en sus lugares. Estos huecos se comportan como partículas con carga positiva. Mediante un campo eléctrico interno se obliga a los electrones a acumularse de un lado del dispositivo y a los huecos del otro lado. La acumulación de cargas en los lados opuestos del dispositivo da como resultado un voltaje eléctrico. Si se establece un circuito eléctrico externo que una a las dos superficies, los electrones acumulados fluirán a través de él regresando a su "posición energética inicial". Este flujo de electrones forma precisamente la corriente fotovoltaica. El fenómeno se muestra en la ilustración 30.

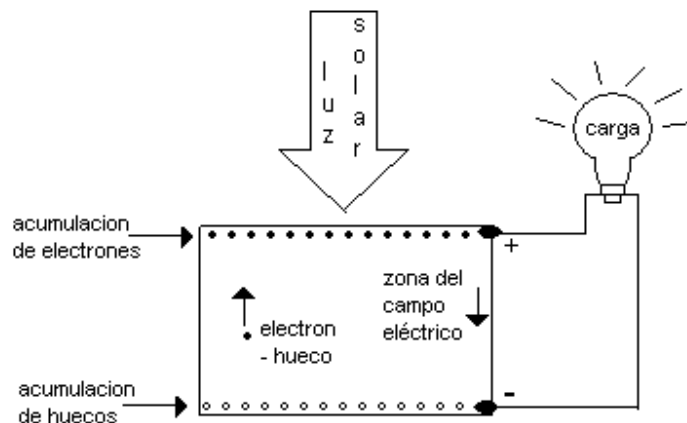


Ilustración 30. El efecto fotovoltaico

Las celdas fotovoltaicas se pueden utilizar en conexión con la red eléctrica, o bien en sitios aislados, por medio de sistemas que incluyen baterías. En el caso de sistemas fotovoltaicos de bombeo, en lugar de almacenar la energía en bancos de baterías, se opta por almacenar el agua en tanques o cisternas, así se reduce el costo del sistema y su mantenimiento y en caso de que el recurso llegue a faltar por varios días, el suministro de agua estará garantizado.

Por algún tiempo, la energía fotovoltaica ha sido la opción más barata para muchas aplicaciones modulares o alejadas de la red, que no requería ninguna otra justificación económica. Sin embargo, el alto costo para los usos urbanos de la energía fotovoltaica ha permanecido como un impedimento para el uso extensivo de esta tecnología. Por fortuna los precios de fábrica de los sistemas fotovoltaicos continúa reduciéndose dramáticamente, los módulos fotovoltaicos cuestan entre 2 y 3 dólares por watt pico y un sistema completamente instalado tiene costos de entre 5 y 7 dólares/watt en Estados Unidos y de 6.5 dólares/watt en Japón^{XVI} (antes de que el gobierno de este país iniciara un importante programa de subsidios, con el cual los precios se redujeron drásticamente).

Cuando el volumen de ventas y la experiencia bajen los costos de un sistema totalmente instalado a 3 dólares/watt pico, el costo final de la electricidad

amortizada a 30 años se ubicará entre 8 y 12 centavos de dólar/kWh (dependiendo de la radiación solar en el lugar), haciendo que la electricidad generada por medios fotovoltaicos sea competitiva con la generada por medios convencionales. Actualmente, los módulos fotovoltaicos están garantizados por 20 a 25 años, pero podrían durar dos veces ese tiempo.

2.2.1. TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

La tecnología de las celdas fotovoltaicas se ha desarrollado aceleradamente en los últimos años, actualmente el principal objetivo de las investigaciones en este ramo es aumentar la eficiencia de conversión y reducir los costos de fabricación. La más alta eficiencia la presentó una celda de monocristales de arseniuro de galio que alcanzó un 34%, sin embargo, las celdas solares que se encuentra a disposición en el mercado tienen eficiencias del orden del 18%.^{XIV}

Se puede encontrar en el mercado comercial diferentes tipos de celdas y módulos. El mercado actual de los generadores fotovoltaicos está basado en las celdas de silicio cristalino, obtenido a partir de arena, y que es un semiconductor cuya tecnología de elaboración se considera madura y confiable. Las celdas de silicio monocristalino han alcanzado eficiencias hasta del 24.7%. Para reducir los costos de fabricación, se utilizan también celdas de silicio policristalino, aunque estas son un poco menos eficientes que las monocristalinas. En la ilustración 31 se muestra a la izquierda una celda de silicio monocristalino y a la derecha una de silicio policristalino.



Ilustración 31. Tipos de celdas fotovoltaicas

También se ha avanzado en la tecnología de fabricación de semiconductores de película delgada. Entre estos, el que más impulso ha recibido es el silicio amorfo hidrogenado. Su producción es más económica que la del silicio cristalino, pero su eficiencia alcanza apenas el 10% y se degrada más rápidamente, sin embargo, este tipo de celdas se usa mucho en relojes, calculadoras y sistemas de señalización.

Una tecnología que es relativamente nueva, en comparación con las otras, es la de las celdas solares elaboradas con semiconductores de película delgada como el telurio de cadmio (CdTe) y el cobre-indio-diselenio (CuInSe₂) los cuales tienen un bajo costo y una eficiencia de conversión aceptable.

Las celdas solares formadas por monocristales de compuestos como el arseniuro de galio (GaAs) o el fosfuro de indio (InP) son de costosa elaboración, pero presentan las ventajas de una alta eficiencia y un bajo peso lo cual las hace ideales para aplicaciones espaciales.

A pesar de la extensa variedad en materiales para fabricación de paneles solares, hasta 2002, casi el 99% de la producción de celdas solares se basó en silicio^{XVI} y se espera que continúe siendo así, ya que es éste el elemento más abundante en la Tierra y algunos de sus competidores son o escasos o tóxicos.

2.2.2. EL RECURSO SOLAR

El desempeño de un sistema fotovoltaico depende principalmente de la cantidad de radiación solar que reciba. La radiación es la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie por unidad de tiempo. Fuera de la atmósfera, la mayor cantidad de radiación que se puede recibir es 1367 W/m² y varía dependiendo de la distancia entre la tierra y el sol.

Los rayos del sol viajan en forma de línea recta, pero al entrar en la atmósfera e interactuar con las partículas que en ella se encuentran los rayos son absorbidos, difractados o reflejados causando que dentro de la atmósfera la radiación solar se divida en directa y difusa. La radiación solar directa es la que llega a la superficie sin sufrir cambios en la dirección de su trayectoria y la radiación solar difusa es la que se capta como proveniente de la bóveda celeste (generada principalmente por la dispersión de los rayos en las nubes y partículas atmosféricas y por el reflejo de los rayos en suelos, muros, etc.). A nivel del mar, la mayor cantidad de radiación solar directa que puede recibirse es de aproximadamente 1000 W/m². A la suma de las radiaciones directa y difusa se le conoce como radiación global.

La cantidad de energía captada en un sitio particular dependerá de las condiciones meteorológicas del lugar y del tránsito solar. La energía solar de un sitio acumulada diariamente o expresada como un promedio diario, semanal, mensual o anual se define con el nombre de recurso solar.

El recurso solar anual es asombrosamente uniforme a través de casi todas las regiones pobladas del mundo, los lugares con mayor radiación en el mundo reciben aproximadamente el doble de recurso solar que los lugares con menor radiación. La tecnología solar estaría destinada al fracaso si sólo fuera factible en el clima del desierto, sin embargo las experiencias en países como Japón, Alemania, Finlandia, Austria e incluso en Alaska demuestran que las aplicaciones económicamente atractivas de la energía solar no están limitadas sólo a climas muy soleados.^{XVI}

Ya que como se mencionó arriba, el desempeño de un sistema fotovoltaico depende de la cantidad de energía solar que reciba, es importante conocer el recurso solar de los sitios donde se piense instalar dichos sistemas. Para medir las radiaciones global y directa se utilizan aparatos diseñados específicamente con este propósito llamados piranómetro y pirheliómetro respectivamente.

En el caso de México los datos de radiación solar han sido estimados y medidos por varias instituciones lo que ha permitido tener a la fecha un banco de datos de radiación solar cuyos valores han sido estimados y calculados con una precisión del 5%. Estos datos se encuentran condensados en tablas o ilustrados en mapas donde a través de líneas de igual valor de radiación (o isólinas) se proporciona el valor del recurso solar.

Las ilustraciones 32, 33 y 34 muestran los mapas con los promedios anuales de radiación global, directa y difusa respectivamente para la República Mexicana.

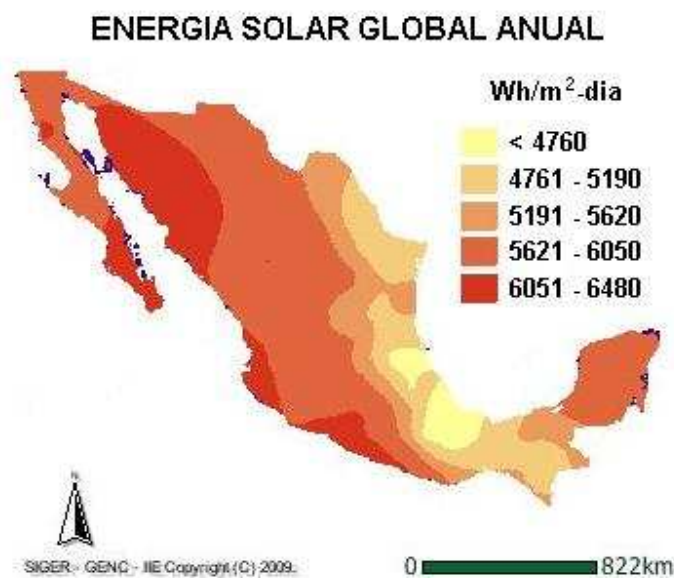


Ilustración 32. Mapa de energía solar global para México

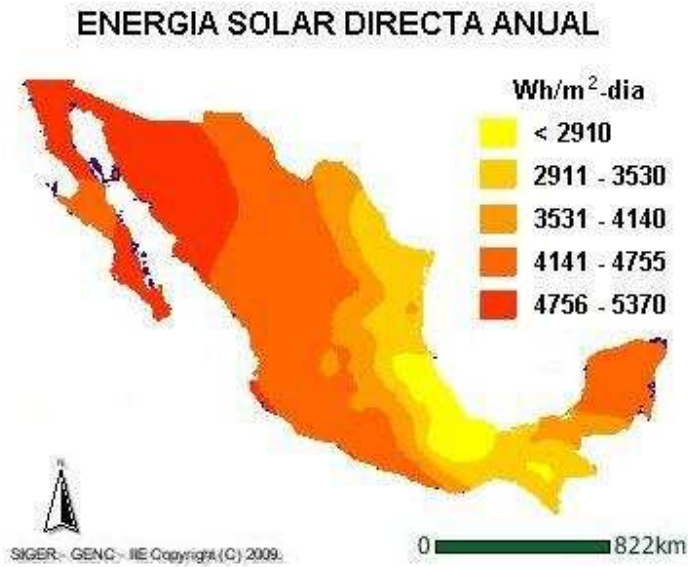


Ilustración 33. Mapa de energía solar directa para México

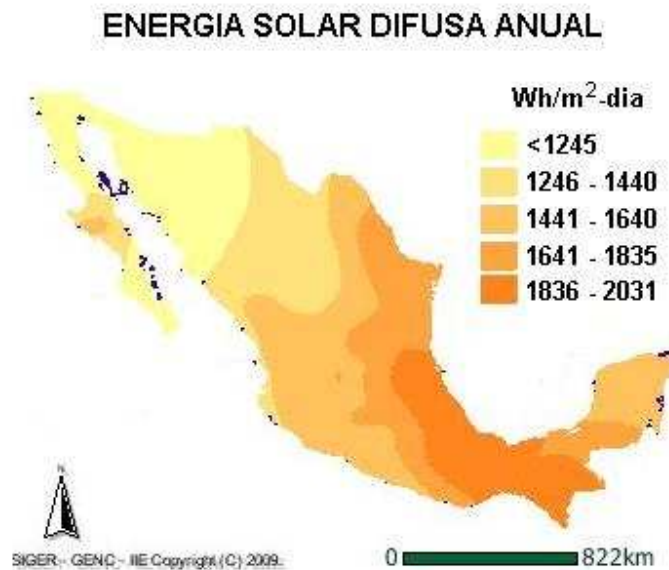


Ilustración 34. Mapa de energía solar difusa para México

Como se puede ver en los mapas, México recibe una cantidad inmensa de radiación solar, en casi el 40% de su territorio se reciben unos 21 MJ/m²-día^{XV}. Además, existen algunas regiones como Sonora y Baja California que son las que reciben mayor promedio de radiación en el mundo. A pesar de la gran cantidad de

recurso disponible, hoy en día, la energía solar no contribuye significativamente a satisfacer las necesidades nacionales de energía.

2.2.3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA

La tecnología solar eléctrica fotovoltaica está creciendo en todo el mundo de forma sorprendente: se duplica aproximadamente cada dos años. A principios del milenio la tasa promedio de crecimiento de la industria era de 36.6% y en 2002 aumentó en 44%. El valor de las ventas en 2002, estimado en alrededor de 3.5 millones de dólares, se espera que aumente a 27.5 mil millones para el año 2012.^{xvi}

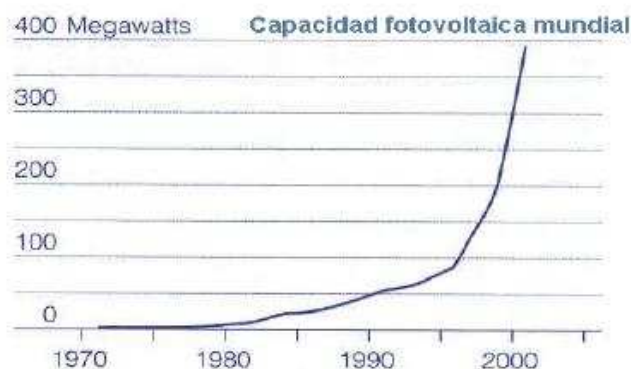


Ilustración 35. Evolución de la producción fotovoltaica en el mundo

Tanto en los países no industrializados como en los países en vías de desarrollo, la energía fotovoltaica puede aumentar localmente el nivel del empleo y fortalecer la economía, mejorar el ambiente y, en general, incrementar la confiabilidad de la infraestructura y los sistemas energéticos.

En el Mundo existe actualmente una capacidad instalada fotovoltaica de 13 GW en conexión con la red eléctrica, y de aproximadamente 2.7 GW fuera de red.^x

Los tres programas nacionales más significativos a nivel mundial para promover el uso de la tecnología fotovoltaica son: el "programa residencial para la difusión de sistemas fotovoltaicos" en Japón, el "programa de 100 mil techos eléctricos

solares" en Alemania y el programa solar de "un millón de techos solares" en Estados Unidos. La diferencia entre estos programas es que en Japón y Alemania se recibe un fuerte subsidio por créditos o por incentivos de producción de parte del gobierno para asegurar que la metas se alcancen mientras que en estados Unidos los programas son voluntarios.

Las programas de los gobiernos alemán y japonés han colocado a estos países como líderes mundiales en instalaciones fotovoltaicas para techos. En 2002, Japón sobrepasó las 32 mil instalaciones en viviendas privadas solamente y se lograron 117,500 techos en los cinco años que duró el programa. Mientras que en Alemania se instalaron 55 mil sistemas de tejado en 2002, llegando con esto a 278 MW_p instalados.^{xvi} Es importante notar que la producción energética de los sistemas fotovoltaicos en techos alemanes es de 2.33 kWh/kW_p, cifra que representa sólo la mitad de la producción que puede alcanzarse en los climas más soleados del mundo.

2.2.4. LA ENERGÍA FOTOVOLTAICA EN MEXICO

En el país, prácticamente todos los sistemas fotovoltaicos se encuentran en comunidades rurales aisladas de la red eléctrica, y muchos de ellos fueron instalados por medio de programas gubernamentales de electrificación rural. Se estima que la capacidad total de estas instalaciones es de 18.5 MW y que generan en promedio 0.032 TJ/año.^x

Durante el siglo pasado se realizaron los siguientes proyectos en materia de sistemas fotovoltaicos:

- En 1966 en el Instituto Politécnico Nacional se iniciaron las investigaciones sobre materiales semiconductores para la fabricación de celdas solares.

- En 1977 en el estado de Puebla se instalaron los primeros radioteléfonos rurales y el primer sistema de enseñanza vía televisión los cuáles se alimentaban mediante energía solar.
- En 1978 se instaló en el CINVESTAV una línea de producción de celdas solares de silicio monocristalino.
- Entre 1979 y 1981 se desarrolló un sistema de bombeo fotovoltaico de 735 W pico que suministraba 3.7 litros por segundo a una profundidad de 90 m.
- De 1981 a 1984 se diseñaron, construyeron e instalaron sistemas para la iluminación de albergues infantiles, beneficiando a 153 localidades rurales.
- A mediados de 1980 empresas privadas iniciaron la importación de equipos fotovoltaicos y la instalación de sistemas de iluminación en zonas rurales no electrificadas.
- En 1989 el gobierno federal inicio un plan de electrificación rural con una inversión multimillonaria para la importación a gran escala de módulos solares.

Desgraciadamente, muchos de los sistemas instalados mediante programas de gobierno se encuentran actualmente abandonados o en desuso debido a falta de mantenimiento.

Gracias a nuevas regulaciones que hacen posibles las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica, ya existen en México algunos proyectos de este tipo, y hay interés de diversos actores por desarrollar más proyectos, en particular en Baja California. Sin embargo, la viabilidad económica depende fuertemente de los costos de inversión y la tarifa contra la cual el sistema compite.

2.3. ENERGÍA EÓLICA

Las turbinas eólicas transforman la energía cinética del viento en energía mecánica, ya sea para mover directamente una máquina tal como una bomba de agua, o bien para impulsar un generador eléctrico. Para transformar la energía

eólica en electricidad, un aerogenerador capta la energía cinética del viento por medio de su rotor aerodinámico y la transforma en energía mecánica que concentra sobre su eje de rotación o flecha principal. La energía mecánica se transmite a la flecha de un generador eléctrico.

La cantidad de energía transmitida al rotor depende de la densidad del aire, del área del rotor y de la velocidad del viento.

La energía cinética está dada por $E_c = \frac{1}{2}mv^2$

La masa m de un fluido (como el aire) de densidad ρ que por unidad de tiempo atraviesa un área A perpendicular al flujo es:

$$m = A\rho vt$$

Por lo que la energía eólica puede obtenerse mediante:

$$E_e = \frac{1}{2}(A\rho vt)v^2 = \frac{1}{2}A\rho tv^3$$

Ya que la potencia es energía por unidad de tiempo, teóricamente la potencia eólica sería:

$$P_e = \frac{E_e}{t} = \frac{1}{2}A\rho v^3$$

Debido a que las turbinas eólicas desvían el aire antes de que éste tenga contacto con el rotor no se alcanza a capturar toda la energía del viento, solo puede aprovecharse hasta un máximo teórico de 50%.

Como se puede ver, la potencia del viento es igual al cubo de su velocidad, por lo que por ejemplo, si la velocidad del viento se duplica, su potencia será ocho veces mayor.

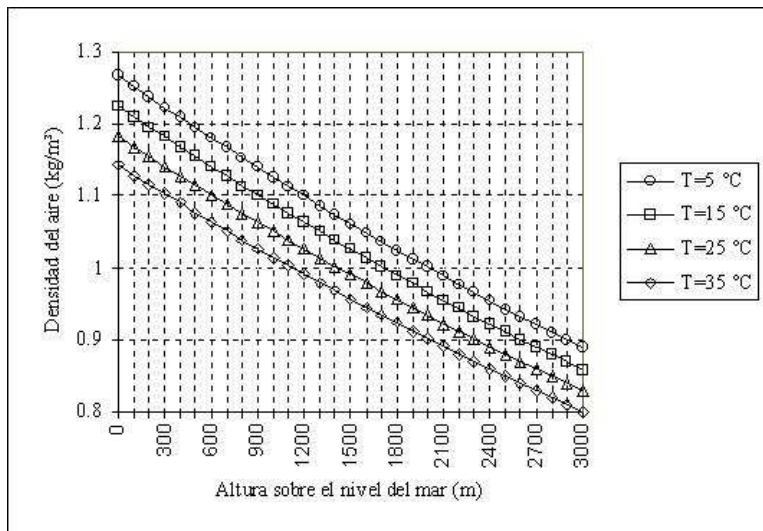


Ilustración 36. Densidad del aire^{xii}

Asimismo, la potencia eólica es proporcional a la densidad del aire. El aire es más denso cuando está frío que cuando está caliente y su densidad también se ve afectada por la presión atmosférica (disminuye con la altura sobre el nivel del mar). En la ilustración 36 se grafican estas variaciones.

2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS AEROGENERADORES

Los aerogeneradores se pueden clasificar según la potencia que producen en:

- a) Pequeños, generan alrededor de 3 kilowats
- b) Medianos, llegan a producir hasta 1 megawat
- c) Grandes, de un megawat en adelante

Según su diseño pueden ser:

- a) Aerogeneradores de eje horizontal. Son los que más se utilizan debido a que tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación, además debido a la construcción elevada sobre torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura. En la actualidad la gran mayoría de los aerogeneradores que se

construyen conectados a red son tripalas de eje horizontal, orientados a barlovento y montados sobre torre tubular.



Ilustración 37. Aerogenerador de eje horizontal

b) Aerogeneradores de eje vertical. Su eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo, también conocidos como VAWTs por sus siglas en inglés (vertical axis wind turbines). Tienen la ventaja de no requerir un sistema de orientación y que pueden ser instalados a ras de suelo, sin embargo su eficiencia es menor y para dar mantenimiento al rotor se requiere desmontar toda la maquinaria del aerogenerador. Se dividen en:



Ilustración 38. Aerogenerador Savonius

- a. Savonius: Consta de dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente de forma que ofrecen la parte cóncava al empuje del viento, ofreciendo su parte convexa una menor resistencia al giro.



Ilustración 39. Aerogenerador Windside

- b. Windside: Es un sistema similar al rotor Savonius, en vez de la estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, consiste en un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, que le acerca a las eficiencias de los aerogeneradores de eje horizontal.

- c. Darrieus: Consiste en un eje vertical asentado sobre el rotor, con dos o más finas palas en curva unidas al eje por los dos extremos, el diseño de las palas es simétrico y similar a las alas de un avión. Es el de más éxito comercial entre los VAWTs. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, aunque sin alcanzar las generadas por los modelos de eje horizontal, pero necesita de un sistema externo de arranque.



Ilustración 40. Aerogenerador Darrieus

d. Giromill: Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central. Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento.

e. Panemonas. Cuatro o más semicírculos unidos al eje central, su rendimiento es bajo.



Ilustración 41. Aerogenerador Giromill



Ilustración 42. Panemona

Y de acuerdo a su aplicación los podemos dividir en:

a) Aerogeneradores para aplicaciones aisladas. Son máquinas pequeñas que se utilizan para alimentar cargas que están alejadas de las redes eléctricas convencionales. Típicamente, se combinan con bancos de baterías para almacenar la electricidad que generan y poder acoplar en

el tiempo la generación con la demanda. Con frecuencia, este tipo de aerogeneradores se combinan con generadores diesel para proveer una función de respaldo y, dependiendo de las necesidades de suministro de electricidad y de la disponibilidad de los recursos energéticos no convencionales, se pueden combinar también con sistemas fotovoltaicos,

microturbinas hidráulicas y otros, dando lugar a combinaciones que se conocen como "sistemas híbridos".

- b) Aerogeneradores para centrales eoloeléctricas. Son máquinas de tamaño considerable que típicamente se conectan a una red eléctrica convencional para contribuir a la alimentación de cargas específicas de capacidad importante o para construir centrales eoloeléctricas.



Ilustración 43. Aerogeneradores según su aplicación

En la ilustración 43 se muestra del lado izquierdo un aerogenerador de 500 W para aplicaciones aisladas y del lado derecho un aerogenerador para central eoloeléctrica. Por su apariencia se podría pensar que los dos tipos de aerogeneradores son muy similares; sin embargo, existen diferencias técnicas importantes en relación con su diseño y funcionalidad.

Existen turbinas de muchos tamaños, desde unos 500 W, hasta más de 7 MW. Las de mayor tamaño están destinadas principalmente a granjas eólicas marinas.

En el transcurso de las últimas dos décadas la tecnología de las turbinas eólicas ha avanzado radicalmente y sus costos se han reducido hasta hacerse competitivos con las tecnologías convencionales en contextos geográficos favorables.

2.3.2. EL RECURSO EÓLICO

Aunque en la actualidad no se cuenta con mapas confiables del recurso eólico en el país, se han realizado prospecciones del recurso a un nivel exploratorio y de reconocimiento puntual detectándose así las siguientes zonas con vientos técnicamente aprovechables:

- Sur del Istmo de Tehuantepec: comprende un área de 1000 km², en ella se podrían instalar aerogeneradores con unos 3000 MW de potencia en total, usando tan solo un 10% de su superficie.^{xv} En esta zona se encuentra la Venta en la que ya hay instaladas dos centrales eoloeléctricas que suman 85 MW. También en esta zona se localiza la región de la Ventosa que en los últimos años ha recibido promoción gubernamental.
- Península de Baja California: es una zona con una barrera eólica natural perpendicular a los vientos occidentales. Tal es el caso de las áreas cercanas a los poblados de la Rumorosa y zonas aledañas, así como el paso entre la Sierra de Juárez y la Sierra de San Pedro Mártir. En la zona de El Cardón se ha estimado costos de producción de energía eólica de entre 4.5 y 6.2 centavos de USD/kWh^{xxi}. Otras zonas que se consideran con buen potencial de explotación eólico son Laguna de San Ignacio, San Juanico y Punta Eugenia.
- Península de Yucatán: es un área de vientos alisios de primavera y verano. Las zonas más estudiadas son Cabo Catoche, la costa de Quintana Roo y el oriente de la isla Cozumel.
- Altiplano Norte: abarca desde la región central del estado de Zacatecas hasta la frontera con Estados Unidos.

- Región Central: prevalecen vientos alisios de verano. Abarca de Tlaxcala a Guanajuato. En esta zona se han establecido pequeños proyectos para electrificar comunidades rurales remotas.
- Además nuestro país cuenta con miles de kilómetros de litorales en donde soplan brisas muy adecuadas para el aprovechamiento de la energía eólica a pequeña y mediana escala.

2.3.3. SITUACIÓN ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

En 1850 existían en Holanda cerca de 9 mil molinos de viento que se usaban para bombear agua, moler granos, serrar madera y producir aceites. Con el apogeo de las máquinas de vapor y posteriormente de las de combustión interna, los molinos de viento fueron relegados, sin embargo en el medio rural se continuaron usando para bombeo de agua y fue de ahí de donde surgió la idea de utilizarlos para generar electricidad alrededor del año 1900. De 1930 a 1970 la investigación y desarrollo tecnológico de aerogeneradores continuó y se desarrollaron máquinas de mediana y gran escala (100 kW a 1.25 MW) que aún no superaban el reto de soportar el ímpetu del viento durante varios años. En 1980 comienza la aplicación comercial de aerogeneradores de manera incipiente y a partir de esas fechas, la investigación y desarrollo tecnológico en el tema de la generación eoloeléctrica mantiene un paso sostenido que ha sido la base de la progresiva implantación y diseminación de esta interesante tecnología.

Durante los últimos años, La energía eólica se ha desarrollado a pasos acelerados en el mundo. En el año 2000, había cerca de 16,500 MW instalados que generaron cerca de 36 TWh en ese año^{XIX}. Hacia finales de 2002 operaban cerca de 60 mil turbinas eólicas para servicio público en 46 países, con una capacidad de potencia de viento instalada que en total excedía los 32,000 MW. En este año, la tasa de crecimiento anual de la energía eólica fue de 32%^{XVI}. En el año 2008, la capacidad instalada mundial llegó a los 120,800 MW.^X

A finales de 2002, Alemania cubría el 4.7% de sus necesidades de electricidad con energía eólica, en ese año produjo 20 mil millones de kWh y para 2006 el área de Schleswig-Holstein de éste país satisfacía el 26% de su demanda eléctrica mediante aerogeneradores. Similarmente, para 2006, el 20% de la electricidad de Dinamarca provenía de la generación eólica.^{XVI}



Ilustración 44. Evolución de las instalaciones eólicas en el mundo^{XX}

El crecimiento exponencial en el desarrollo de la energía eólica resulta similar al ritmo histórico de desarrollo de la hidroelectricidad y la energía nuclear.

Ya en el año 2002, el precio de la electricidad generada con el viento era competitivo frente a las plantas de energía eléctrica accionadas con carbón y dicho precio ha continuado a la baja y se espera que en algún momento llegue a ser la más barata de todos los recursos nuevos de producción de electricidad.

Algunas estimaciones sugieren que en el futuro la potencia del viento podría satisfacer todas las necesidades de electricidad en el mundo y tal vez aún todas las necesidades energéticas mundiales. Estas estimaciones pueden ser consideradas como optimistas, sin embargo, una meta del 12% de la demanda eléctrica mundial a partir del viento para 2020 parece estar al alcance de manera

realista y la meta de la Unión Europea de un 20% en la cobertura de la demanda eléctrica para 2020 también es alcanzable.

A pesar del rápido crecimiento de la generación eólica visto en los países desarrollados y debido al costo actual de la energía eoloeléctrica y a las prioridades en satisfactores básicos (i.e., alimentación, salud, educación, seguridad social, vivienda), resulta difícil que los países en vías de desarrollo consideren la generación eoloeléctrica como alternativa energética si no se tiene plena conciencia sobre su potencial de beneficios no ambientales (empleos, desarrollo regional y otros), mismos que de manera directa o indirecta tienden a satisfacer necesidades básicas.

Sin lugar a duda, la diseminación de la tecnología eoloeléctrica a los países en vías de desarrollo es indispensable para que se puedan alcanzar las metas globales de desarrollo sustentable en el mediano y largo plazo.

2.3.4. LA ENERGÍA EÓLICA EN MÉXICO

En México existían hasta 2009, 170 MW de capacidad eólica en operación. A continuación se enlistan algunos proyectos existentes en México^x:

- 85 MW en los proyectos La Venta I y La Venta II operados por la CFE en el Istmo de Tehuantepec. La Venta I fue uno de las primeras centrales eólicas en México, consta de siete aerogeneradores de 225 kW de potencia cada uno y se encuentra funcionando desde 1994.
- 80 MW en el proyecto de autoabastecimiento Parques Ecológicos de México, que entró gradualmente en operación desde enero del 2009.
- La CFE instaló en el municipio de Guerrero Negro, Baja California Sur un aerogenerador de 0.6 MW que opera de forma automática y ha mostrado eficiencia para proporcionar electricidad a las poblaciones aledañas.
- 2 MW en pequeños aerogeneradores en sitios aislados de la red.

- 3 MW en pequeñas aerobombas (turbinas eólicas que impulsan bombas hidráulicas).
- En El Cardón Baja California Sur, se instalaron 15 aeroturbinas.
- La compañía cementera Apasco, instaló en el municipio de Ramos Arizpe, Coahuila un aerogenerador que trabaja bajo la modalidad de autoabastecimiento con 38 kW a un nivel bajo.

Para que la implantación comercial de la tecnología eoloeléctrica en México llegue a ser una realidad como lo es ya en algunos países, primero se deberán remover una serie de barreras que incluyen elementos de legislación y regulación, de coordinación institucional, financieros y de información técnica y no técnica.

2.4. SISTEMAS HÍBRIDOS

El principal inconveniente de casi todas las fuentes renovables de energía es su naturaleza fluctuante que obliga a invertir en sistemas de almacenamiento a fin de asegurar el suministro continuo de energía. Los equipos de almacenamiento energético, además de encarecer el sistema, disminuyen su eficiencia.

Sin embargo, se ha comprobado que el empleo de varias fuentes renovables combinadas en un sistema energético integrado produce un efecto sinérgico, esto es, que el beneficio total es mayor que la suma de los beneficios que se obtendrían con sistemas individuales.

2.4.1. SISTEMAS HÍBRIDOS EN MÉXICO

En el país existen algunos ejemplos de plantas híbridas, entre los que destacan los siguientes:

- En 1978 se instalaron, en una comunidad de pescadores de 250 personas llamada Las Barrancas, en Baja California Sur, 250 kW pico en módulos fotovoltaicos combinados con un aerogenerador y sistemas de colectores térmicos para satisfacer las demandas de la comunidad.
- También en Baja California Sur, en la comunidad de San Juanico se instaló un sistema de electrificación a partir de energías eólica, solar y termoeléctrica a partir de diesel. La planta consta de 100 kW eólicos en turbinas de 10 kW cada una, celdas solares de 17 kW y un motor generador diesel de 80 kW.
- En la isla Santa Margarita, en las costas de la península de Baja California, se instaló un sistema con tres aerogeneradores de 5 kW cada uno, dos arreglos fotovoltaicos de 1.15 kW cada uno y una máquina diesel de 60 kW además de un banco de baterías de 200 kWh, todo esto para mejorar la calidad de vida de los habitantes del poblado de Puerto Alcatraz.
- La planta de San Antonio Agua Bendita, en el Estado de México cuenta con un sistema fotovoltaico de 12.4 kW pico, dos aerogeneradores de 10 kW nominales cada uno y un generador diesel de 74 kW
- La planta de María Magdalena en el estado de Hidalgo que es muy similar a la de San Antonio Agua Bendita
- La planta de X-Calak en el estado de Quintana Roo consiste en seis aerogeneradores de 10 kW nominales cada uno, 234 paneles de 48 W un banco de baterías de 1738 Ah a 220 volts.

2.5. MARCO LEGAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

Según el Libro Blanco de las Energías Renovables: "Los gobiernos necesitan establecer, asegurar y alcanzar las metas para lograr simultáneamente una alta eficiencia energética y los objetivos propios de la energía renovable. Los mecanismos de aplicación para alcanzar esas metas deben integrarse en un paquete conjunto de políticas mutuamente apoyadas y autoconsecuentes. La mejor política es una mezcla de políticas, que combina la energía renovable de

largo plazo y las normas y metas de electricidad con incentivos directos y pagos por producción de energía limpia, con ayuda para préstamos, con bonificaciones en impuestos, con el desarrollo de instrumentos de mercado negociables, con la eliminación de las barreras existentes, con el liderazgo gubernamental mediante el propio ejemplo y con la educación de los usuarios".

Las políticas de Japón y Alemania mencionadas en el apartado sobre la situación actual de la energía fotovoltaica se orientan también por metas nacionales de largo alcance para aumentar la penetración de la energía renovable en función de sus beneficios sociales y económicos. Por ejemplo, la aplicación de los programas arriba mencionados permite a los fabricantes de equipos fotovoltaicos de estos países reducir sus costos por ventas por volumen y hacerse más competitivos en el mercado mundial. En 2002, Japón fabricó el 49.1% de los módulos fotovoltaicos del mundo y el gobierno tiene una meta a corto plazo para producir 500 MW_p anualmente^{XVI}, de los cuales la mitad se usaría internamente y el resto se exportaría.

Un componente importante de cualquier política energética renovable nacional debe ser al apoyo a la investigación tanto básica como aplicada. La investigación y desarrollo (I+D) puede dar lugar a nuevas industrias y sus resultados pueden producir ventajas competitivas para cada país. Los países que dispongan de los programas más avanzados en I+D serán los líderes tecnológicos. Japón por ejemplo, además de su programa de subsidios para techos fotovoltaicos, invirtió 218.6 millones de dólares en 2003 para I+D fotovoltaico^{XVI}. Por su parte, la Unión Europea destinó a la investigación sobre energía la mayor inversión que han hecho durante el tiempo que lleva trabajando de manera conjunta, para 1990, esta área recibió el 14% de los recursos económicos.

El desarrollo de la tecnología eolieléctrica en los países líderes en este ramo se ha apoyado de manera importante mediante diversos programas gubernamentales de investigación, desarrollo tecnológico y demostración (I,D+D). En mayor o menor

medida, en cada uno de estos países se crearon instituciones, laboratorios, centros de prueba y grupos de trabajo que han sido, y seguirán siendo, la fuente de los elementos de mejora e innovación tecnológica, así como de recursos humanos especializados que han sustentado técnicamente los procesos de implantación y diseminación de la tecnología, siempre en estrecha vinculación con la industria privada y con las instituciones del sector público.

Como ejemplo de programas de I+D en el área de la tecnología eólica se pueden mencionar los de la Comisión Europea que otorgan apoyos económicos para investigación, desarrollo, demostración y otras actividades tales como estrategia, diseminación, preparación y fomento de las energías renovables o el Programa de Energía Eólica del Departamento de Energía de Estados Unidos que en 1999 invirtió 34.1 millones de dólares en investigación sobre energía eólica.^{XIX}

En el caso de la energía renovable, la tecnología todavía se está desarrollando y mejorando, mientras que al mismo tiempo algunas aplicaciones tecnológicas disponibles en el mercado son mejoradas constantemente, utilizando la experiencia ganada en las aplicaciones comerciales en este campo.

En la actualidad, las políticas para la promoción de las energías renovables en el Mundo buscan un triple propósito^X:

1. Reconocer y valorar los beneficios de las energías renovables.
2. Adaptar los sistemas y mercados energéticos a las particularidades de las energías renovables.
3. Fomentar el flujo de información ya que la falta de información sobre los potenciales y las características de las tecnologías aumentan los riesgos percibidos y los costos de las energías renovables.

2.5.1. MARCO LEGAL EN MÉXICO

Las energías renovables han estado incluidas en la política pública mexicana de distintas formas desde hace décadas, pero por primera vez ocupan un lugar muy importante en el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 el cual establece al Desarrollo Humano Sustentable como su principio rector y establece que “el propósito del desarrollo consiste en crear una atmósfera en que todos puedan aumentar su capacidad y las oportunidades puedan ampliarse para las generaciones presentes y futuras”.

A continuación se presenta mencionan algunos de los documentos, leyes, reglamentos y programas actuales relacionados con las energías renovables en México:

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

En sus artículos 4, 25, 27 y 28 establece el derecho a un medio ambiente adecuado y le confiere al Estado la responsabilidad de garantizar el desarrollo integral y sustentable y de regular la explotación de los recursos naturales y la prestación de servicios.

Plan Nacional de Desarrollo

Contempla a las energías renovables en dos de sus ejes:

- Eje 2: Economía competitiva y generadora de empleos; objetivo 15: Asegurar un suministro confiable, de calidad y a precios competitivos de los insumos energéticos que demandan los consumidores.
- Eje 4: Sustentabilidad ambiental; objetivo 10: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Programa sectorial de energía

Entre otros objetivos se plantea:

- Equilibrar el portafolio de fuentes primarias de energía

- Fomentar el aprovechamiento de fuentes renovables de energía y biocombustibles técnica, económica, ambiental y socialmente viables
- Mitigar el incremento en las emisiones de gases efecto invernadero.

Ley para el Aprovechamiento de las Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética (LAERFTE)

"Tiene por objeto regular el aprovechamiento de fuentes de energía renovables y las tecnologías limpias para generar electricidad con fines distintos a la prestación del servicio público de energía eléctrica, así como establecer la estrategia nacional y los instrumentos para el financiamiento de la transición energética".

En esta ley se establecen criterios para la utilización de las energías renovables, para promover la investigación y desarrollo de energías limpias y para su aprovechamiento. También señala a la Comisión Reguladora de Energía como la encargada de regular las relaciones entre los generadores privados y la Comisión Federal de Electricidad.

Además dictamina la elaboración de un *Programa Especial para el Aprovechamiento de Energías Renovables* publicado en el Diario Oficial de la Federación el 6 de agosto de 2009 en el cual se establecen metas de participación de las energías renovables en la generación de electricidad y se promueven los proyectos que proveen de energía eléctrica a las comunidades que actualmente no cuentan con el servicio.

Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1° de febrero del 2008, contempla la ejecución de un *Programa de Producción Sustentable de Insumos para Bioenergéticos y de Desarrollo Científico y Tecnológico* y de un *Programa de Introducción de Bioenergéticos*.

Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE)

Establece la ejecución de un *Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía*, está dirigida principalmente a la eficiencia energética pero incluye el aprovechamiento de las energías renovables para aplicaciones térmicas.

Contratos de Interconexión

Son contratos utilizados para proyectos de particulares que generan electricidad mediante energías renovables. Los hay de 3 tipos:

- Contrato de interconexión para fuente de energía renovable de tipo intermitente (CIEI). Se usa en los proyectos de autoabastecimiento remotos (en los que el punto de generación está lejos del punto de consumo) que utilizan la red de transmisión para realizar el porteo de energía.
- Contrato de interconexión para fuente de energía solar en pequeña escala. Permite a particulares conectados a la red eléctrica producir su propia energía; los excedentes pueden ser inyectados a la red y se compensaran con el consumo extraído de ésta en los momentos de poca o nula insolación.
- Modelo de contrato de compromiso de compraventa de energía eléctrica para pequeño productor en el Sistema Interconectado Nacional. Se aplica a cualquier proyecto de pequeña producción (capacidad menor a 30 MW) que genera electricidad específicamente para su venta a la red eléctrica.

Normas Oficiales Mexicanas

En México existen normas oficiales obligatorias (NOM) y voluntarias (NMX). En relación con las energías renovables, la normatividad está relacionada principalmente con el calentamiento de agua mediante energía solar. Actualmente existen o están en desarrollo las siguientes normas^{XXII}:

- La Norma Oficial Mexicana para la construcción, operación y abandono de instalaciones eoloeléctricas en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.
- La norma voluntaria NMX-ES-001-NORMEX-2005 "Rendimiento térmico y funcionalidad de colectores solares para calentamiento de agua – Métodos de prueba y etiquetado" la cual tiene como objetivo establecer los métodos de prueba para determinar el rendimiento térmico y las características de funcionalidad de los colectores solares que utilizan como fluido de trabajo el agua.
- La NMX-ES-002-NORMEX-2007 "Energía solar - Definiciones y terminología"
- La NMX-ES-003-NORMEX-2007 "Requerimientos mínimos para la instalación de sistemas solares térmicos para calentamiento de agua"
- El proyecto de norma PROY-NMX-ES-004-NORMEX-2009 "Evaluación térmica de sistemas solares para calentamiento de agua – Método de prueba".
- La Norma ambiental para el Distrito Federal que establece que todos los establecimientos con mas de 50 empleados que requieran uso de agua caliente, deben contar con un sistema de energía solar que provea al menos el 30% del consumo energético anual destinado al calentamiento de agua.

Normas de la Comisión Electrotécnica Internacional

En el área de la generación eólica, la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés) ha emitido algunas normas para estandarizar y asegurar la calidad en los procesos de diseño y fabricación de aerogeneradores. Entre ellas se encuentran:

- IEC-1400-1. Aerogeneradores – Requisitos de seguridad.
- IEC-1400-2. Aerogeneradores – Seguridad de pequeños aerogeneradores.

- IEC-1400-12. Sistemas de generación eoloeléctrica – Pruebas de comportamiento de aerogeneradores.^{XII}

Guía de gestiones para implementar en México plantas de generación eléctrica que utilicen energías renovables

Esta guía se diseñó con el fin de orientar a los ciudadanos interesados en desarrollar proyectos sobre este tema en cuanto a las gestiones requeridas por las autoridades municipales, estatales y federales.

Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética

Tiene como objetivo el “impulsar la investigación científica y tecnológica aplicada, así como la adopción, innovación, asimilación y desarrollo tecnológico en materia de fuentes renovables de energía, eficiencia energética, uso de tecnologías limpias, y diversificación de fuentes primarias de energía”. Los recursos para este fondo son el equivalente al 0.13% del valor del petróleo crudo y gas natural extraídos por PEMEX.^X

Acuerdo eólico de la AIE

Desde 1997 México forma parte del “Acuerdo de Implementación para la Cooperación en la Investigación y Desarrollo de Sistemas de Generación Eoloeléctrica” de la Agencia Internacional de Energía (AIE). Los objetivos del acuerdo eólico de la AIE son “Alentar y apoyar el desarrollo tecnológico y la implantación de la tecnología eoloeléctrica mediante la cooperación en la investigación, desarrollo y demostración de sistemas de generación eoloeléctrica y el intercambio periódico de información sobre las actividades y planes en los países miembros”. En el marco de este acuerdo, en 1999, los 17 países miembros aconsejaron a funcionarios mexicanos establecer un programa de investigación y desarrollo (I+D) con prioridades sobre la evaluación del recurso eoloenergético, construcción de centros de evaluación de aerogeneradores para desarrollo de capacidad técnica local y construcción de proyectos eoloeléctricos demostrativos, estos, acompañado de medidas para impulso del mercado.

3. TERCER CAPÍTULO. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

En el presente capítulo analizaremos el volumen y la presión de bombeo requeridos para satisfacer la demanda de agua del Proyecto Ecoturístico Pixquiac, los recursos renovables (irradiancia y velocidad del viento) disponibles en el sitio donde se planea construirlo y las dimensiones de un sistema de bombeo que satisfaga las necesidades de agua del lugar bajo tres supuestos: un sistema totalmente solar, un sistema totalmente eólico y un sistema híbrido solar – eólico.

3.1. CÁLCULO DEL GASTO DE BOMBEO

El consumo diario de agua por persona se estima en 100 litros. Se planean construir 11 cabañas para alojamiento ecoturístico con capacidad para 5 personas cada una. Es decir que si el campamento estuviera ocupado en su totalidad se requerirían:

$$\text{consumo} \cdot \text{de} \cdot \text{agua} = 11 \cdot \text{cabañas} \times 5 \frac{\text{personas}}{\text{cabaña}} \times 100 \frac{\text{litros}}{\text{día} \cdot \text{persona}} = 5,500 \frac{\text{litros}}{\text{día}}$$

De acuerdo con datos de la Secretaria de Turismo^{xxiii}, los porcentajes de ocupación hotelera para cada mes del año en el estado de Veracruz son los siguientes:

MES	% de ocupación
Enero	38.1
Febrero	45.4
Marzo	49.1
Abril	51.6
Mayo	45.9

Junio	40.5
Julio	56.4
Agosto	51.7
Septiembre	42.8
Octubre	41.6
Noviembre	45.1
Diciembre	49.4
Promedio Anual	46.5

Tabla 7. Ocupación hotelera en Veracruz

Si multiplicamos el gasto de agua consumida en caso de lleno total del campamento por los porcentajes de ocupación mostrados, obtendremos la cantidad de agua necesaria para consumo humano en cada mes del año. Por ejemplo, para el mes de enero:

$$\text{consumo} \cdot \text{de} \cdot \text{agua} = \text{consumo} \cdot \text{total} \times \text{porcentaje} \cdot \text{de} \cdot \text{ocupación}$$

$$\text{consumo} \cdot \text{de} \cdot \text{agua} = 5,500 \frac{\text{L}}{\text{día}} \times 0.381 = 2,096 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

De manera similar se realiza el cálculo para cada mes del año obteniendo los siguientes resultados:

MES	Agua para consumo humano (L/día)
Enero	2,096
Febrero	2,497
Marzo	2,701
Abril	2,838
Mayo	2,525
Junio	2,228
Julio	3,102

Agosto	2,844
Septiembre	2,354
Octubre	2,288
Noviembre	2,481
Diciembre	2,717
Promedio Anual	2,558

Tabla 8. Consumo de agua mensual para huéspedes

Adicionalmente a la zona donde se construirán las cabañas, se contará con un área verde de 530 m² la cual se necesita regar en la época de sequía. De acuerdo con los registros de la Comisión Nacional del Agua^{XXIV}, los promedios diarios de precipitación en la zona para cada mes del año se muestran a continuación:

MES	Precipitación diaria (mm)
Enero	49.4
Febrero	41.1
Marzo	47.9
Abril	84.6
Mayo	118.2
Junio	253.3
Julio	202.9
Agosto	184.3
Septiembre	225.8
Octubre	120.8
Noviembre	58.5
Diciembre	45.2
Promedio Anual	119.3

Tabla 9. Precipitación diaria en la Zona Conurbada Xalapa

Según la experiencia de los habitantes del lugar, la demanda de riego es de aproximadamente 8.5 litros de agua diarios por cada metro cuadrado (8.5 mm/día) en la época más seca del año, la cual, de acuerdo a los valores de precipitación presentados, corresponde al mes de febrero.

Si en febrero la precipitación es de 41.1 mm/día y adicionalmente se riegan 8.5 mm/día, el mínimo de agua requerida por el área verde es:

$$\text{agua} \cdot \text{para} \cdot \text{área} \cdot \text{verde} = \text{precipitación} + \text{riego} = 41.1 \frac{\text{mm}}{\text{día}} + 8.5 \frac{\text{mm}}{\text{día}} = 49.6 \frac{\text{mm}}{\text{día}}$$

Analizando los datos presentados en la tabla 9 podemos observar que la lluvia proporciona más del agua requerida por el área verde en el periodo de abril a noviembre por lo que sólo se necesitará completar con riego en los meses de diciembre a marzo. La cantidad de agua necesaria para el riego en cada uno de los meses mencionados se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{agua} \cdot \text{de} \cdot \text{riego} = (\text{agua} \cdot \text{para} \cdot \text{área} \cdot \text{verde} - \text{precipitación}) \times \text{tamaño} \cdot \text{del} \cdot \text{área} \cdot \text{verde}$$

Por ejemplo, para el mes de enero:

$$\text{agua} \cdot \text{de} \cdot \text{riego} = \left(49.6 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ día}} - 49.4 \frac{\text{L}}{\text{m}^2 \text{ día}} \right) \times 530 \text{m}^2 = 106 \frac{\text{L}}{\text{día}}$$

En el resto de los meses se requerirían los siguientes volúmenes de agua:

MES	RIEGO (L/día)
Diciembre	2332
Enero	106
Febrero	4505
Marzo	901

Tabla 10. Consumo de agua para riego

Sumando los valores calculados para consumo humano y para riego del área verde (mostrados en las tablas 8 y 10) podemos obtener el consumo total de agua para cada mes del año en litros por día:

MES	CONSUMO AGUA (L/día)
Enero	2,202
Febrero	7,002
Marzo	3,602
Abril	2,838
Mayo	2,525
Junio	2,228
Julio	3,102
Agosto	2,844
Septiembre	2,354
Octubre	2,288
Noviembre	2,481
Diciembre	5,049
Prom Anual	3,211

Tabla 11. Consumo total de agua por mes

Considerando que habrá días en que los recursos solar y/o eólico sean bajos o nulos o por si se presentara alguna falla en el sistema de bombeo se puede disminuir o eliminar el riego por unos días pero el agua para consumo humano es imprescindible. Para solucionar esta posible problemática, se construirá un tanque de almacenamiento con capacidad de 20,000 litros, con esto se espera poder suplir las necesidades de agua del campamento durante 5 o 6 días aún cuando en esos días no se bombeara nada de agua.

3.2. CÁLCULO DE LA CARGA DINÁMICA TOTAL

La diferencia de altura geométrica entre el arroyo de donde se extraerá el agua y el tanque donde se ésta almacenará es de 80 m.

La distancia que debe recorrer el agua entre los dos puntos es de 309.54 m.

Para la tubería se utilizará manguera de polietileno negro cedula 40 de 1" de diámetro debido a su flexibilidad, resistencia, precio y disponibilidad.

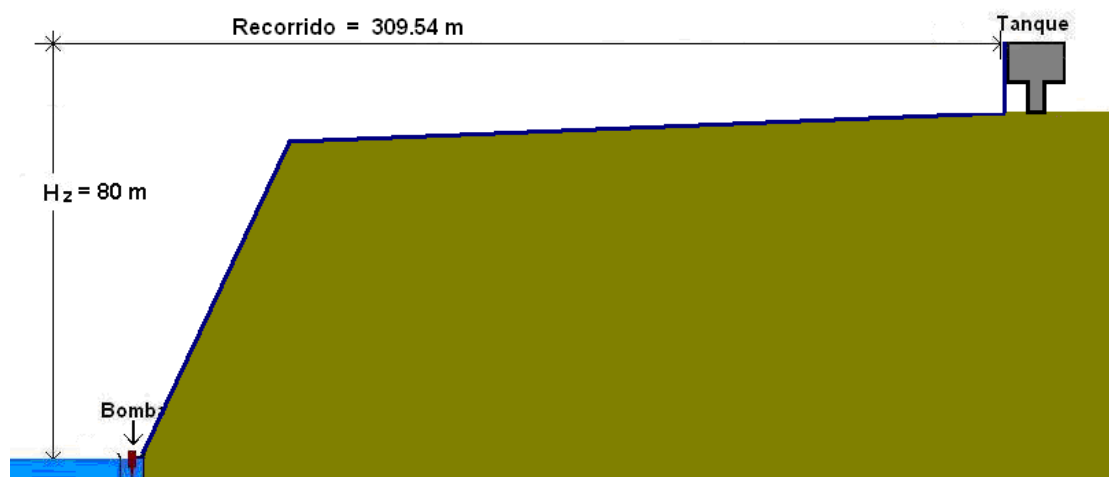


Ilustración 45. Diagrama de recorrido de la tubería

Para calcular la carga dinámica total (CDT) de bombeo requerida para el sistema descrito utilizaremos la siguiente fórmula:

$$CDT = H_f + H_z$$

Donde:

- H_f representa las pérdidas por fricción a lo largo de la tubería
- H_z representa la diferencia de alturas entre el arroyo y el tanque de almacenamiento (80 m).

A partir de las tablas de pérdidas por fricción para tuberías plásticas mostradas en el Anexo I, considerando el diámetro de 1" mencionado anteriormente, el gasto máximo de 7,002 L/día (en el mes de febrero) y suponiendo que el sistema trabajara durante ocho horas diarias, obtenemos un factor de fricción de 0.98%. Lo que nos daría unas pérdidas por fricción de:

$$H_f = 309.54 \times 0.0098 = 3.03m$$

Sumamos ambos valores para obtener la presión de bombeo requerida:

$$CDT = H_f + H_z = 3.03 + 80 = 83.03m$$

Para obtener la potencia requerida para bombear 7,002 L/día a una presión de 83 m se utiliza la siguiente formula:

$$P(W) = \frac{Q(m^3/s) \times CDT(m) \times \rho(kg/m^3) \times g(m/s^2)}{\eta}$$

La eficiencia de la bomba (η) variará a lo largo del día conforme cambien las condiciones de insolación y velocidad del viento. Esta variación se da en el rango de 60-80% para una bomba sumergible de la línea SQ Flex de Grundfos trabajando en corriente continua como la que se utilizará el Proyecto Ecoturístico Pixquiac.

Para efectos de cálculo se considera la eficiencia mas baja. Por lo tanto:

$$P = \frac{(2.43 \times 10^{-4}) \times 83.03 \times 1000 \times 9.82}{0.60} = 330.22W$$

3.3. POTENCIAL ENERGÉTICO RENOVABLE DEL SITIO

Para poder llevar a cabo la instalación de un sistema de bombeo de agua alimentado por energías renovables se debe determinar primero si en el lugar hay potencial energético suficiente para su funcionamiento.

El Servicio Meteorológico Nacional cuenta con estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) en distintos puntos de la República Mexicana. Estas estaciones registran cada 10 minutos algunas variables meteorológicas, entre ellas la velocidad del viento y la irradiancia. Los datos registrados son enviados a las oficinas de la Comisión Nacional del Agua en donde cualquier usuario puede solicitar la información del periodo y EMA que necesite.

Para el presente estudio se utilizaron los datos registrados por la EMA de la ciudad de Xalapa, Ver. ya que el radio de influencia de una estación es de 5 km y el Proyecto Ecoturístico Pixquiac se ubica a aproximadamente 4.5 km en línea recta de la EMA mencionada.

Se analizaron y promediaron los datos de irradiancia y velocidad de viento del periodo comprendido entre enero de 2005 y mayo de 2010 y se obtuvieron las tablas mostradas en el Anexo II en las que se muestran los promedios mensuales por hora.

A partir de la velocidad del viento en metros por segundo, se puede calcular la potencia teórica generable, en watts, mediante la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

Donde:

- P es la potencia teórica en watts
- ρ es la densidad del aire que podemos obtener a partir de la ilustración 36. Considerando una altura de 1460 msnm y una temperatura media de 18 °C, correspondientes al sitio donde se desarrollará el proyecto, obtenemos una densidad del aire de 1.03 kg / m³
- A es la sección transversal de área perpendicular a la corriente de aire en m². Se calcula tomando como radio el largo de la pala del aerogenerador. En este caso la consideraremos unitaria ya que no sabemos qué aerogenerador se instalará en el proyecto.
- v es la velocidad del viento en m / seg

Así, por ejemplo, sustituyendo los valores para la velocidad del viento en enero a las 0 horas (ver Anexo II):

$$P = \frac{1}{2} \cdot 1.03 \cdot 1 \cdot (3.87)^3 = 29.84W$$

Del mismo modo se calcularon las potencias para cada una de las horas de todos los meses, obteniéndose los datos mostrados en la tabla del Anexo III. Como la velocidad tomada es el promedio para cada hora, el resultado obtenido es también equivalente a la energía en watts-hora que teóricamente se produciría.

3.4. SISTEMA DE BOMBEO MONOVALENTE SOLAR

Al inicio del capítulo se calculó que la carga dinámica total (CDT) de bombeo será de 83.03 metros y se calcularon también las demandas de agua para cada mes del año (tabla 11)

3.4.1. ENERGÍA REQUERIDA PARA EL BOMBEO

Trabajo y energía son conceptos mecánicos equivalentes. Considerando que:

$$T = F \cdot d = E$$

Donde: F representa la fuerza y según la 2ª Ley de Newton: $F=ma$
 d representa la distancia a recorrer, o en este caso la CDT

Utilizando la densidad del agua (1 kg/L) podemos obtener la masa a partir del volumen diario de agua necesaria (tabla 11) y tomando como aceleración el valor de la gravedad (9.8 m/s²) podemos sustituir en la fórmula proporcionada para obtener la energía requerida para el bombeo diario. Por ejemplo, para el mes de enero:

$$E = F \cdot d = m \cdot a \cdot d$$

$$E = 2202kg \cdot 9.8 \frac{m}{s^2} \cdot 83.03m$$

$$E = 1,791,754.2 \cdot J$$

Considerando la eficiencia de la bomba mencionada anteriormente (60 – 80%), tomando un máximo de 5% de pérdidas por caída de tensión en el cableado del sistema y convirtiendo el resultado obtenido a Wh para poder comparar la energía de bombeo con la energía solar disponible en el lugar:

$$E = \frac{1,791,754.2 \cdot J}{0.60 \times 0.95} \times \frac{1}{3600} \cdot \frac{Wh}{J} = 873.17 \cdot Wh$$

De manera similar se realiza el cálculo para cada mes, obteniendo los siguientes resultados:

MES	Energía diaria para bombeo (Wh)
-----	---------------------------------

Enero	873.17
Febrero	2,776.55
Marzo	1,428.33
Abril	1,125.37
Mayo	1,001.26
Junio	883.48
Julio	1,230.06
Agosto	1,127.75
Septiembre	933.45
Octubre	907.28
Noviembre	983.81
Diciembre	2,002.12
Promedio Anual	1,273.28

Tabla 12. Energía diaria requerida para el bombeo

3.4.2. HORAS SOLARES PICO

Se considera que la irradiancia máxima que se puede recibir dentro de la atmósfera es de 1000 W/m^2 , esto se alcanza teniendo un cielo despejado, estando a nivel del mar, sobre una superficie horizontal y al momento en que el sol se encuentra en el cenit del captador.

La hora solar pico (hsp) es una unidad utilizada entre los diseñadores de sistemas solares y se define como *la irradiación máxima que puede ser recibida por una superficie de un metro cuadrado durante un periodo de una hora*.

Por lo tanto si la irradiancia máxima es de 1000 W/m^2 , la irradiación máxima en un periodo de una hora será de 1000 Wh/m^2 o 1 kWh/m^2 .

$$1 \cdot h_{sp} = 1,000 \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$$

En el Anexo II se muestra la radiación solar en Wh/m² al día. Tomando los valores totales para cada mes del año y convirtiéndolos a horas solares pico tendríamos los resultados mostrados a continuación:

MES	RADIACIÓN DIARIA (hsp)
Enero	3.38
Febrero	4.04
Marzo	4.61
Abril	5.02
Mayo	4.92
Junio	4.79
Julio	4.97
Agosto	4.78
Septiembre	4.22
Octubre	3.94
Noviembre	3.56
Diciembre	3.90
Promedio anual	4.29

Tabla 13. Promedio de radiación diaria mensual en HSP

3.4.3. POTENCIA DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO

El cociente entre la energía requerida para bombear el agua (Wh) y la radiación solar (hsp) determinará el tamaño o potencia del sistema fotovoltaico (W) necesario para satisfacer la demanda del sistema.

Como la demanda de bombeo varía a lo largo del año, realizaremos este análisis de manera mensual utilizando los valores mostrados en las tablas 12 y 13. Por ejemplo, para el mes de enero los watts de potencia que se deben instalar para satisfacer los 2,202 L/día serían:

$$W_p = \frac{\text{energía} \cdot \text{para} \cdot \text{bombeo}}{\text{radiación} \cdot (\text{hsp})} = \frac{873.17}{3.38} = 258.34 \cdot \text{Watts}$$

Realizando el mismo análisis para el resto de los meses, las potencias obtenidas son las siguientes:

MES	POTENCIA FV (W)
Enero	258.34
Febrero	687.27
Marzo	309.83
Abril	224.18
Mayo	203.51
Junio	184.44
Julio	247.50
Agosto	235.93
Septiembre	221.20
Octubre	230.27
Noviembre	276.35
Diciembre	513.36
Promedio anual	296.80

Tabla 14. Potencia fotovoltaica a instalar

De los resultados mostrados en la tabla anterior se concluye que el mes crítico será febrero.

Como en esta primera opción estamos analizando un sistema monovalente solar, sin ninguna otra energía de respaldo, será necesario instalar los 687 watts fotovoltaicos requeridos por el mes crítico para poder satisfacer la demanda de agua del lugar durante todo el año.

Los paneles fotovoltaicos pueden conectarse entre si en serie o en paralelo. El voltaje total del arreglo fotovoltaico será igual a la suma de los paneles conectados en serie y la intensidad total (amperaje) será la suma de los paneles conectados en paralelo.

El factor determinante en la conexión de los paneles será el voltaje de admisión de la unidad de control. En este caso, el CU 200 puede trabajar a 220 volts de corriente continua.

Si dividimos la energía requerida para el bombeo del mes crítico (mostrada en la tabla 12) entre el voltaje mencionado en el párrafo anterior y consideramos un factor de reducción en la eficiencia del módulo del 5% (debido a la degradación debida al tiempo, al polvo acumulado en la superficie entre otras cosas) obtendremos la carga eléctrica del arreglo fotovoltaico:

$$carga \cdot electrica = \frac{energia \cdot de \cdot bombeo}{voltaje \cdot controlador \times \eta_{m\u00f3dulo}} = \frac{2776.55}{220 \times 0.95}$$

$$carga \cdot electrica = 13.28 \frac{Ah}{dia}$$

Al dividir la carga eléctrica entre la insolación del sitio en horas solares pico en el mes crítico (tabla 13) obtendremos la corriente del arreglo fotovoltaico:

$$I = \frac{carga \cdot eléctrica}{insolación(hsp)} = \frac{13.28}{4.04}$$

$$I = 3.29A$$

Cada modelo de panel fotovoltaico tiene un voltaje y una intensidad de máxima potencia característicos y de esos valores dependerá la cantidad de paneles a instalar. Para el Proyecto Ecoturístico Pixquiac aún no se ha definido qué paneles se utilizarán, pero para efectos demostrativos realizaremos los cálculos tomando

los valores del modelo GF 120 de Grundfos, el cual tiene las siguientes características:

- Tipo de panel: silicio policristalino
- Potencia pico (P_{max}): 120 W
- Voltaje de máxima potencia (V_{mp}): 70 V
- Corriente de máxima potencia (I_{mp}): 1.72 A
- Voltaje de circuito abierto (V_{ca}): 86 V
- Corriente de corto circuito (I_{cc}): 2.02 A

Para obtener el número de paneles que deben ser conectados en paralelo se divide la corriente del arreglo fotovoltaico entre la corriente de máxima potencia del panel seleccionado y el resultado se redondea ya que no pueden instalarse fracciones de panel:

$$paneles \cdot en \cdot paralelo = \frac{I}{I_{mp}} = \frac{3.29}{1.72} = 1.92$$

$$paneles \cdot en \cdot paralelo = 2$$

El número de paneles que deberán ir conectados en serie se obtiene retomando el voltaje de admisión de la unidad de control (220 V), dividiéndolo entre el voltaje de máxima potencia del panel seleccionado y redondeando el resultado obtenido:

$$paneles \cdot en \cdot serie = \frac{voltaje \cdot controlador}{V_{mp}} = \frac{220}{70} = 3.14$$

$$paneles \cdot en \cdot serie = 3$$

Por lo tanto, el arreglo fotovoltaico para este proyecto, utilizando paneles GF 120 de Grundfos estaría formado por 2 líneas conectadas en paralelo de 3 paneles conectados en serie cada una, es decir, se requerirían 8 paneles del modelo mencionado para satisfacer las necesidades de bombeo del lugar. La potencia de este arreglo fotovoltaico sería:

$$P = \text{paneles} \cdot \text{en} \cdot \text{serie} \times \text{paneles} \cdot \text{en} \cdot \text{paralelo} \times V_{mp} \times I_{mp} = 3 \times 2 \times 70 \times 1.72$$

$$P = 722.4W$$

El volumen diario de agua bombeado con esta potencia instalada se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$\text{agua} \cdot \text{bombeada} \left(\frac{L}{\text{día}} \right) = \frac{P_{inst}(W) \times \text{insolacion}(hsp) \times 3600 \frac{J}{Wh} \times \eta_{bomba} \times \eta_{conductor}}{CDT(m) \times g \left(\frac{m}{s^2} \right) \times \rho \left(\frac{kg}{L} \right)}$$

$$\text{agua} \cdot \text{bombeada} \left(\frac{L}{\text{día}} \right) = \frac{722.4W \times 4.04hsp \times 3600 \frac{J}{Wh} \times 0.6 \times 0.95}{83.03m \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 1 \frac{kg}{L}}$$

$$\text{agua} \cdot \text{bombeada} \left(\frac{L}{\text{día}} \right) = 7,359.96 \frac{L}{\text{día}}$$

El resultado se aproxima a los 7,002 L/día calculados al inicio de este capítulo para el mes de febrero (tabla 11) por lo que se concluye que el sistema está bien dimensionado.

El diagrama de conexiones de un sistema fotovoltaico para bombeo que trabaje con corriente continua se muestra en la ilustración 46. El sistema se compone por el arreglo fotovoltaico, una bomba sumergible SQ Flex, una unidad de control CU 200 (ambos de Grundfos) y un interruptor de nivel.

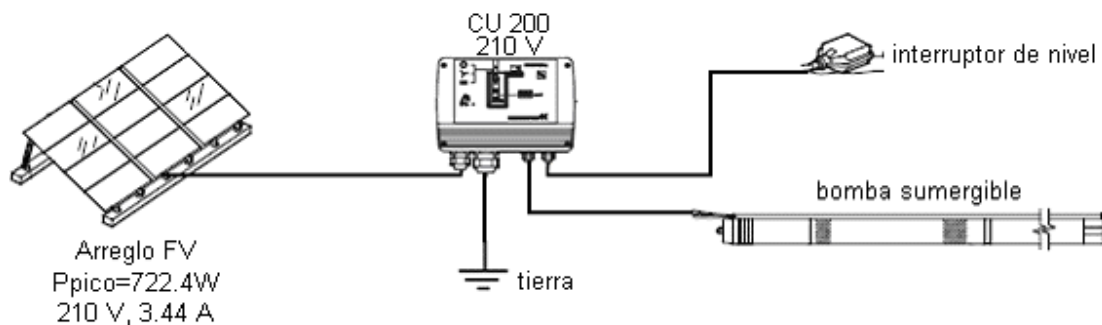


Ilustración 46. Diagrama de un sistema de bombeo fotovoltaico

3.5. SISTEMA DE BOMBEO MONOVALENTE EÓLICO

En la siguiente tabla se muestra un resumen con los promedios mensuales de velocidad de viento obtenidos a partir de los datos mostrados en el Anexo II:

MES	VEL. DE VIENTO (m/s)
Enero	3.68
Febrero	3.83
Marzo	3.86
Abril	3.85
Mayo	3.79
Junio	3.82
Julio	3.87
Agosto	3.84
Septiembre	3.80
Octubre	3.89
Noviembre	3.66
Diciembre	3.80
Promedio anual	3.81

Tabla 15. Velocidad del viento promedio mensual

Como puede observarse, la velocidad de viento promedio anual en el sitio es de 3.81 m/s, con pequeñas variaciones mensuales que van desde 3.66 m/s en Noviembre hasta 3.89 m/s en Octubre.

En cuestiones de generación eólica, las mejores velocidades son las que se encuentran por arriba de los 4.5 m/s. Sin embargo, el recurso medido en el lugar es utilizable con este propósito aunque la potencia producida será baja.

Debido a lo anterior es poco probable que un sistema de bombeo impulsado únicamente por energía eólica resulte recomendable para este sitio, sin embargo se realizarán los cálculos por razones demostrativas.

3.5.1. COEFICIENTE DE POTENCIA DE AEROGENERADORES

No toda la energía cinética contenida en el viento podrá transformarse en energía mecánica mediante un aerogenerador. Esto se debe a que el rotor de la turbina eólica debe frenar el viento cuando captura su energía cinética y la convierte en energía rotacional.

El aerogenerador ralentiza el viento al pasar por el rotor hasta $\frac{2}{3}$ de su velocidad inicial^{xxv}. Lo que significa que no se aprovecha toda la energía cinética que el viento aporta al rotor, existiendo una ley, llamada límite de Betz que expresa que sólo puede convertirse, como máximo, el 59% de la energía cinética en energía mecánica usando un aerogenerador.

El coeficiente de potencia indica con qué eficiencia un aerogenerador convierte la energía del viento en electricidad. Un valor representativo máximo es del orden de 0,4 para una aeroturbina de eje horizontal moderna^{xxvi}. La ilustración 2 muestra el coeficiente de potencia máximo obtenible para distintos tipos de aeroturbinas actuales como función del parámetro λ que es característico del rotor.

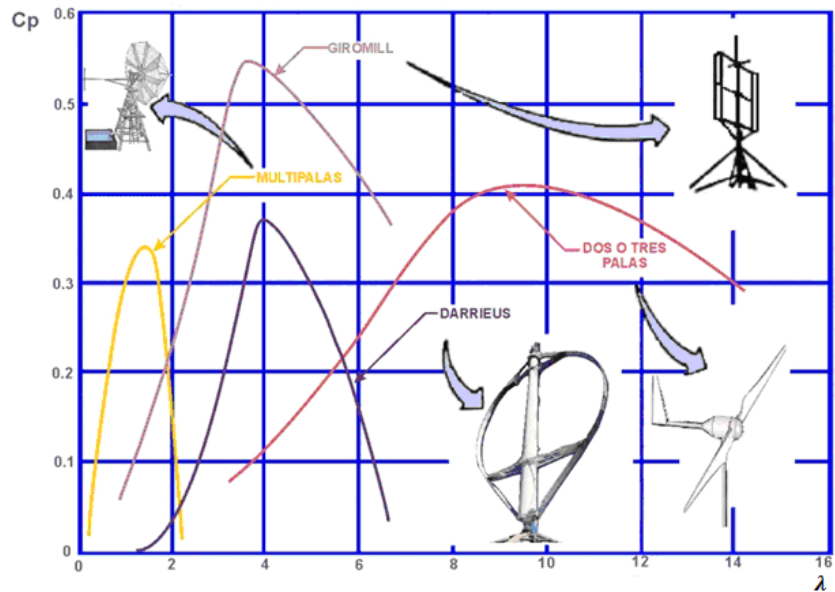


Ilustración 47. Eficiencias de aeroturbinas^{XXVI}

El coeficiente de potencia será distinto para cada velocidad de viento y para cada modelo de aerogenerador. Una forma sencilla de obtenerlo es tomar de la curva de potencia (proporcionada por el fabricante) el valor de la potencia eléctrica generable y dividirlo entre la potencia teórica obtenible a la misma velocidad de viento.

A nivel nacional, los distribuidores de equipos para energías renovables comercializan principalmente tres modelos de aerogeneradores domésticos: Air X, Whisper y Skystream, todos de la compañía americana Southwest Windpower.

Analizando las curvas proporcionadas por el fabricante para cada uno de estos modelos y comparándolas con la energía teórica producible a la velocidad del viento promedio en el sitio del proyecto obtenemos que las eficiencias son las siguientes (ver Anexo IV):

AEROGENERADOR	EFICIENCIA A 3.8 m/s
Air X	58 %

Whisper 200	52 %
Skystream 3.7	21 %
Promedio	44 %

Tabla 16. Eficiencia de aerogeneradores domésticos

Como puede observarse la eficiencia promedio obtenida es cercana al valor máximo para el coeficiente de potencia mencionado anteriormente (40 %). Por cuestiones prácticas usaremos el valor del 40 % y los resultados podrán ajustarse cuando se decida qué aerogenerador se instalará en el proyecto.

3.5.2. CALCULO DE LOS AEROGENERADORES A INSTALAR

La fórmula para obtener la energía que un aerogenerador producirá es:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta$$

donde: η representa la eficiencia del aerogenerador y el resto de las variables representan los mismos valores mencionados en la fórmula utilizada para calcular la potencia teórica producible.

Al sustituir los valores de la velocidad del viento promedio (Anexo II) obtenemos la energía diaria producible por un aerogenerador trabajando con un coeficiente de potencia de 0.4 (40 %). A continuación se muestran los valores para cada mes del año (ver Anexo V para consultar los datos por hora):

MES	Energía (Wh/día)
Enero	262.86
Febrero	298.38
Marzo	305.17

Abril	322.19
Mayo	296.13
Junio	307.51
Julio	315.43
Agosto	316.71
Septiembre	297.79
Octubre	312.86
Noviembre	258.82
Diciembre	281.39
PROMEDIO	297.94

Tabla 17. Energía diaria producible por un aerogenerador

Cuando dimensionamos el sistema de bombeo fotovoltaico calculamos la energía requerida en watts-hora para bombear el agua necesaria para satisfacer la demanda del sitio (tabla 12). Retomamos estos valores y los dividimos entre la energía producida por un aerogenerador (tabla 17) y así obtenemos la cantidad de aerogeneradores necesarios para satisfacer la demanda de energía. Por ejemplo, para el mes de enero:

$$\#de \cdot aerogeneradores = \frac{energía \cdot diaria \cdot para \cdot bombeo}{energía \cdot diaria \cdot producida} = \frac{873.17}{262.86}$$

$$\#de \cdot aerogeneradores = 3.32 \approx 3$$

El resultado se redondea al entero más cercano ya que no se pueden instalar fracciones de aerogenerador. Realizando la operación para cada mes del año se obtienen los siguientes resultados:

Mes	# de aerogeneradores
Enero	3
Febrero	9
Marzo	5

Abril	3
Mayo	3
Junio	3
Julio	4
Agosto	4
Septiembre	3
Octubre	3
Noviembre	4
Diciembre	7
PROMEDIO	4

Tabla 18. Cantidad de aerogeneradores a instalar

Al igual que cuando analizamos el sistema monovalente solar, en este caso el mes crítico resulta ser febrero, requiriéndose la instalación de nueve aerogeneradores para satisfacer la demanda de agua durante ese mes. Al instalar esta cantidad de aeroturbinas, el sistema estará sobredimensionado para el resto de los meses del año.

El diagrama de conexiones de un sistema de bombeo eólico con bomba sumergible que trabaje en corriente directa se muestra en la ilustración 48. El sistema se compone por las nueve turbinas eólicas, un interruptor de nivel, una caja de frenado IO 102 que detiene o reduce la velocidad de los aerogeneradores en caso de ser necesario, una unidad de control CU 200, y una bomba sumergible SQ Flex, los últimos tres de la marca Grundfos.

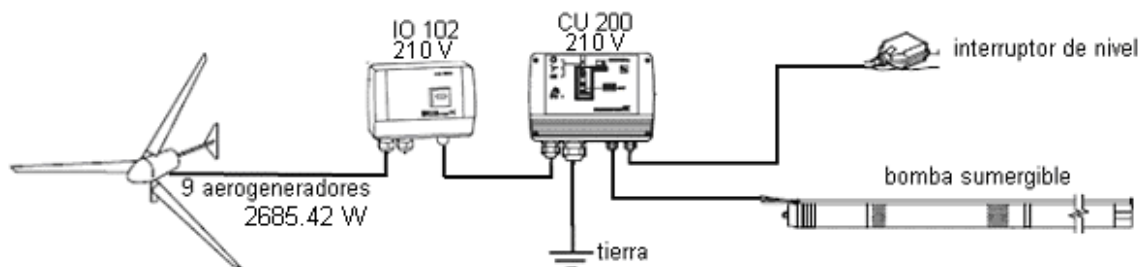


Ilustración 48. Diagrama de un sistema de bombeo eólico

3.6. SISTEMA HÍBRIDO SOLAR - EÓLICO

El problema presentado en los supuestos anteriores (sistema monovalente solar y monovalente eólico). Puede evitarse o al menos amortiguarse utilizando sistemas híbridos, en este caso podría instalarse un sistema con base en la energía solar, ya que éste recurso es más abundante que el recurso eólico en el sitio y utilizar aeroturbinas para completar la energía requerida en los meses críticos. En esta sección analizaremos el dimensionamiento de este tipo de sistemas.

El mes de febrero demanda un mayor volumen de agua ya que las lluvias son escasas y se hace necesario regar las áreas verdes. Por esta razón, la energía requerida para el bombeo se dispara respecto al resto del año y el tamaño sistema capaz de suministrar dicha energía resulta sobredimensionado para los demás meses.

Una posible solución consiste en instalar un sistema fotovoltaico que satisfaga la demanda promedio anual de agua, considerando también la radiación promedio anual, esto es:

$$W_{FV} = \frac{\text{energía} \cdot \text{para} \cdot \text{bombeo}}{hsp} = \frac{1273.28}{4.29} \cong 300 \text{watts}$$

En el mes crítico, que es febrero, la radiación solar diaria es de 4.04 hsp por lo que el sistema fotovoltaico produciría:

$$E_{feb} = \text{potencia} \cdot \text{instalada} \times hsp = 300 \times 4.04 = 1212 \text{Wh}$$

El resto de la energía necesaria para satisfacer la demanda del mes sería proporcionada por aerogeneradores:

$$E_{eol} = 2776.55 - 1212 = 1564.55 \text{Wh}$$

La cantidad de aerogeneradores necesarios para producir esta energía en el mes de febrero (con un coeficiente de potencia del aerogenerador de 0.4) sería:

$$\#aerogeneradores = \frac{1564.55}{298.38} \cong 5$$

Por lo tanto, un arreglo de sistema híbrido sería instalando 300 watts en paneles fotovoltaicos y cinco aerogeneradores pequeños.

Esto es sólo una propuesta de configuración, ya que la cantidad de combinaciones posibles para armar un sistema híbrido es enorme y dependerá principalmente de los precios tanto de los equipos fotovoltaicos como de los eólicos.

El diagrama de conexiones de un sistema de bombeo híbrido solar – eólico con bomba sumergible se muestra en la ilustración 49. El sistema se compone por el arreglo fotovoltaico, las cinco turbinas eólicas, un interruptor de nivel, una caja de frenado IO 102 que detiene o reduce la velocidad de los aerogeneradores en caso de ser necesario, una unidad de control CU 200, y una bomba sumergible SQ Flex, los últimos tres de la marca Grundfos

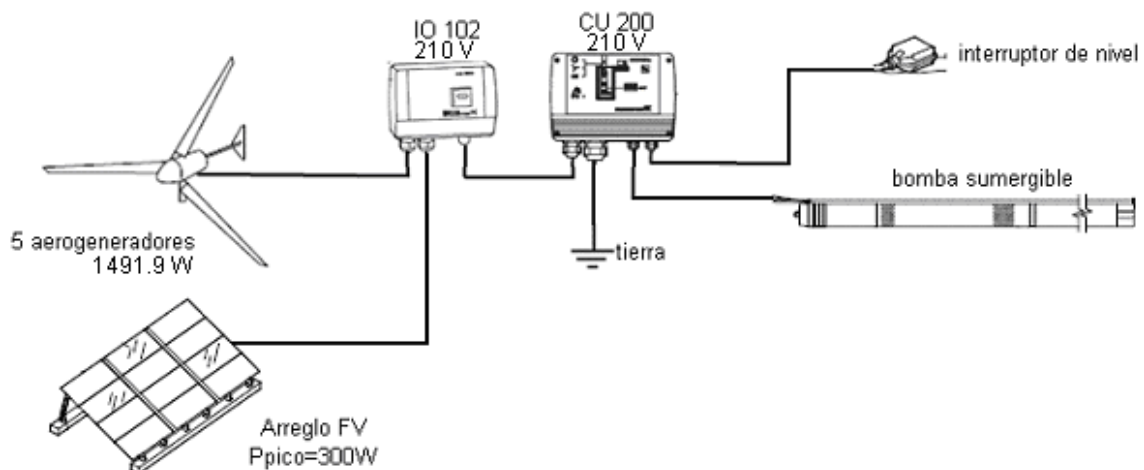


Ilustración 49. Diagrama de un sistema de bombeo solar – eólico

CONCLUSIONES

El problema del suministro de servicios en zonas alejadas y/o de difícil acceso es común en muchos países, aún en los más desarrollados. Proyectos como el que se expuso en este trabajo de investigación, ayudan a solucionar problemas energéticos y de agua potable que afectan radicalmente el desarrollo de las comunidades, esto sin perder de vista la conservación del medio ambiente. Por estos motivos, el fomento al uso de este tipo de tecnologías se ha vuelto tan importante en la actualidad y es que el uso racional y eficiente de la energía pueden determinar el futuro del planeta.

En el caso específico del Proyecto Ecoturístico Pixquiac se presentaron durante el análisis dos situaciones no previstas que condujeron a que el tamaño del sistema de bombeo resultara ser más grande de lo esperado y que durante varios meses se encuentre sobredimensionado.

En primer lugar el recurso eólico en el sitio resultó ser muy bajo. Con velocidades promedio de viento menores a 4 m/s la máxima potencia producible será menor a 20 watts, esto si se tuviera un aerogenerador cuya eficiencia fuera cercana al límite de Betz la cual no es alcanzada por ninguno de los aerogeneradores que se encuentran actualmente en el mercado.

Al tener poco recurso eólico se requerirá la instalación de un mayor número de aerogeneradores para lograr satisfacer la demanda energética del sistema de bombeo. Esta solución eleva la inversión inicial y es posible que los dueños no puedan pagarla.

Al tener poco recurso eólico podría optarse por un sistema monovalente solar, sin embargo, este sistema estaría sobredimensionado para la mayoría de los meses

del año debido al segundo problema que se presentó durante el desarrollo de este trabajo:

La demanda energética para el mes de febrero es mucho mayor que para el resto de los meses del año, esto se debe a que durante este mes las lluvias son escasas y se requiere bombear mayores cantidades de agua para el riego de las áreas verdes.

Este problema afecta a cualquiera de las tres soluciones basadas en energías renovable que se plantearon en este trabajo. Una posible solución es instalar un sistema basado en fuentes alternas que satisfaga la demanda promedio anual de energía (1273.3 Wh/día) para el sistema de bombeo y utilizar un generador de combustible que produzca la energía extra requerida en los meses que se encuentran por encima de dicho promedio.

Analizando la tabla 12, este generador a combustible sólo se utilizaría en los meses de febrero, diciembre y un poco durante marzo. Aunque esto en principio puede sonar como una buena solución, deben considerarse los continuos gastos en combustible y las afectaciones ambientales producidas por la quema de éste para poder tomar la mejor decisión, la cuál finalmente quedará en manos de los dueños.

ANEXO 1. TABLA DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN PARA TUBERÍAS PLÁSTICAS^{XXVII}

Factores aproximados, en m/100m (porcentajes)
 Tubería PVC rígida y nueva.
 Los flujos son en litros por segundos.

TAMAÑO DE TUBERÍA

Flujo	.5"	.75"	1"	1.25"	1.5"	2"	2.5"	3"	4"
.10	4.20	1	.25	..08					
.15	8.80	2.20	.53	.17	.07				
.20	15	3.70	.90	.28	.12				
.25	22	5.50	1.35	.44	.18				
.30	31	7.80	1.90	.60	.25				
.35	41	10	2.45	.80	.34				
.40	53	13	3.10	1	.43				
.45	66	16.30	4	1.25	.54	.13			
.50		19	4.80	1.50	.65	.16			
.55		23.50	5.60	1.80	.78	.19			
.60		27.50	6.60	2.10	.90	.22			
.65		32	7.80	1.40	1.04	.25			
.70		36	8.70	2.70	1.19	.28			
.75		41	9.90	3.10	1.32	.33	.10		
.80		45	11	3.50	1050	.37	.12		
.85		52	12.50	4	1.70	.41	.14		
.90		57	14	4.50	1.90	.45	.15		
.95		.63	15	4.90	2.10	.50	.17		
1			16.50	5.40	2.25	.55	.18	.08	
1.05			18	5.80	2.50	.60	.20	.09	
1.10			19.50	6.30	2.70	.67	.22	.10	
1.15			21.50	6.90	2.95	.71	.24	.10	
1.20			23	7.30	3.20	.78	.26	.11	
1.30			26.50	8.60	3.75	.90	.29	.13	
1.40			30	10	4.25	1	.34	.15	
1.50			35	11.20	4.90	1.15	.39	.17	
1.60			39	12.50	5.50	1.30	.43	.19	
1.70			44	14.20	6.05	1.45	.49	.21	
1.80			49	15.90	6.90	1.60	.54	.24	
1.90			55	17.40	7.50	1.80	.60	.26	
2			60	19	8	2	.66	.28	
2.20				22.50	9.70	2.35	.79	.34	
2.40				26.80	11.50	2.75	.90	.40	
2.60				31	13.30	3.20	1.05	.45	

ANEXO II. IRRADIANCIA Y VELOCIDAD DEL VIENTO PARA XALAPA, VER.^{XXVIII}

RADIACIÓN DIARIA (Wh/m²)

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
0	8.57	13.51	19.86	22.08	25.38	34.52	38.01	27.47	14.40	4.84	1.00	1.33	17.58
1					2.15	5.08	4.50	2.86					3.65
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12			11.02	29.37	44.04	47.12	38.18	30.38	24.37	18.93	8.82	1.30	25.35
13	36.52	49.04	90.39	152.67	194.45	199.62	174.99	151.93	131.52	119.47	85.80	44.08	119.21
14	160.49	194.82	272.78	347.04	390.75	389.27	359.29	337.22	321.55	298.30	247.80	175.91	291.27
15	310.61	364.58	468.95	533.19	559.73	540.01	509.81	508.01	495.22	460.71	408.14	345.13	458.67
16	445.31	506.28	604.79	679.72	684.27	635.97	622.81	635.79	607.70	594.65	528.86	460.50	583.89
17	528.37	595.26	663.50	730.66	722.97	676.18	694.73	666.54	640.51	628.00	561.78	535.04	636.96
18	541.77	598.66	663.55	723.98	684.32	668.74	684.05	658.03	591.88	559.74	555.38	541.74	622.65
19	494.72	568.95	601.51	648.11	572.31	570.38	589.91	626.18	504.33	484.47	472.34	469.59	550.23
20	390.74	482.37	491.75	506.92	444.56	434.58	485.69	494.74	384.23	363.66	346.45	357.52	431.94
21	275.57	361.99	381.20	340.42	301.97	297.20	385.41	340.61	271.84	240.06	215.30	231.06	303.55
22	143.34	215.38	233.44	205.37	197.23	185.48	244.66	203.43	164.44	128.31	103.76	112.45	178.11
23	42.95	87.02	102.42	95.28	97.74	102.99	135.33	98.15	67.97	36.91	24.51	28.61	76.66
TOTAL	3,378.98	4,037.86	4,611.15	5,017.81	4,923.38	4,788.56	4,970.37	4,781.35	4,222.95	3,938.06	3,559.95	3,304.28	4,294.56

VELOCIDAD DEL VIENTO PROMEDIO (m/s)

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
0	3.87	4.16	4.18	4.15	4.01	4.14	4.10	4.09	3.95	3.81	3.66	3.80	3.99
1	3.60	3.74	3.76	3.62	3.61	3.64	3.61	3.63	3.59	3.59	3.47	3.64	3.63
2	3.44	3.60	3.60	3.36	3.37	3.39	3.36	3.41	3.43	3.46	3.44	3.48	3.44
3	3.35	3.37	3.43	3.21	3.25	3.22	3.21	3.17	3.22	3.49	3.31	3.50	3.31
4	3.26	3.32	3.40	3.14	3.12	3.14	3.14	2.97	3.24	3.50	3.15	3.45	3.24
5	3.38	3.32	3.30	3.04	3.12	3.05	3.21	3.11	3.09	3.44	3.30	3.35	3.22
6	3.36	3.43	3.28	3.15	3.15	3.13	3.23	3.17	3.04	3.45	3.23	3.34	3.25
7	3.33	3.48	3.41	3.16	3.21	3.10	3.34	3.28	3.33	3.49	3.22	3.54	3.33
8	3.24	3.52	3.48	3.29	3.28	3.19	3.43	3.37	3.51	3.52	3.26	3.65	3.39
9	3.43	3.51	3.39	3.33	3.36	3.30	3.50	3.51	3.47	3.73	3.42	3.39	3.44
10	3.32	3.66	3.51	3.49	3.47	3.45	3.61	3.50	3.46	3.81	3.45	3.67	3.53
11	3.40	3.61	3.50	3.38	3.49	3.54	3.51	3.67	3.48	3.67	3.26	3.67	3.51
12	3.27	3.59	3.46	3.34	3.44	3.50	3.57	3.45	3.78	3.33	3.40	4.40	3.55
13	3.33	3.51	3.62	3.16	3.00	3.05	3.32	3.18	3.24	3.17	3.33	4.57	3.37
14	2.98	3.08	3.18	3.02	3.09	3.16	2.97	2.99	2.99	3.11	3.04	3.33	3.08
15	3.10	3.12	3.31	3.45	3.53	3.55	3.54	3.45	3.35	3.46	3.24	3.11	3.35
16	3.58	3.57	3.72	3.86	3.95	3.96	4.01	3.81	3.82	3.98	3.74	3.47	3.79
17	4.01	3.98	4.19	4.37	4.37	4.44	4.44	4.23	4.32	4.57	4.07	3.84	4.24
18	4.24	4.45	4.51	4.87	4.66	4.69	4.84	4.73	4.70	4.95	4.47	4.28	4.62
19	4.52	4.72	4.74	5.18	4.81	5.01	5.09	5.17	5.03	4.97	4.69	4.47	4.87
20	4.72	4.86	4.88	5.38	5.06	5.15	5.18	5.37	5.17	5.00	4.69	4.54	5.00
21	4.79	4.97	5.05	5.47	5.12	5.20	5.15	5.38	5.01	4.98	4.76	4.40	5.02
22	4.54	4.87	4.93	5.17	4.93	5.01	4.90	5.05	4.76	4.68	4.38	4.25	4.79
23	4.29	4.58	4.72	4.77	4.47	4.62	4.53	4.59	4.26	4.16	3.87	3.96	4.40
PROM	3.68	3.83	3.86	3.85	3.79	3.82	3.87	3.84	3.80	3.89	3.66	3.80	3.81

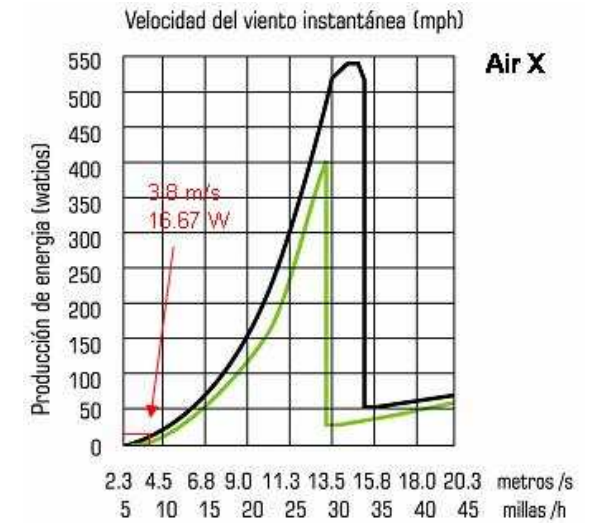
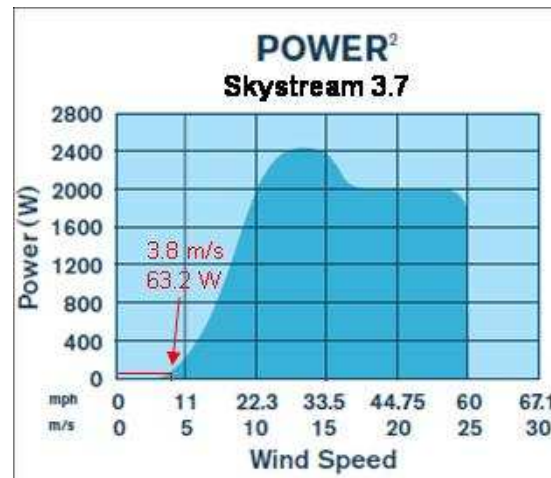
Nota: La hora de Transmisión que Aparece en el registro está referida al Tiempo del Meridiano de Greenwich. Para convertir a tiempo del centro de México restar 6 o 5 horas según sea Horario de invierno o de verano.

ANEXO III. POTENCIA EOLICA TEORICAMENTE GENERABLE (W)

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
0	29.84	37.11	37.59	36.76	33.21	36.42	35.48	35.13	31.71	28.49	25.34	28.24	32.94
1	24.08	27.04	27.48	24.34	24.17	24.88	24.26	24.71	23.89	23.80	21.58	24.77	24.58
2	20.95	24.13	23.94	19.46	19.64	20.02	19.48	20.34	20.75	21.27	21.01	21.76	21.06
3	19.35	19.79	20.74	17.10	17.69	17.22	17.11	16.43	17.12	21.82	18.63	22.11	18.76
4	17.81	18.83	20.23	15.94	15.62	15.97	16.02	13.46	17.59	22.01	16.08	21.24	17.57
5	19.89	18.83	18.48	14.53	15.59	14.58	16.97	15.42	15.26	20.89	18.43	19.28	17.35
6	19.49	20.72	18.20	16.16	16.04	15.74	17.30	16.47	14.46	21.19	17.32	19.19	17.69
7	19.08	21.76	20.38	16.29	17.00	15.36	19.14	18.25	18.97	21.95	17.17	22.92	19.02
8	17.58	22.39	21.73	18.26	18.11	16.69	20.81	19.72	22.18	22.51	17.86	25.05	20.24
9	20.76	22.27	20.13	19.05	19.46	18.55	22.10	22.23	21.60	26.69	20.52	20.06	21.12
10	18.88	25.34	22.35	21.87	21.57	21.17	24.18	21.99	21.28	28.49	21.12	25.50	22.81
11	20.18	24.26	22.04	19.82	21.89	22.86	22.36	25.42	21.62	25.43	17.83	25.36	22.42
12	18.05	23.88	21.37	19.25	20.96	22.13	23.35	21.23	27.72	19.06	20.33	43.81	23.43
13	18.98	22.27	24.51	16.28	13.86	14.57	18.85	16.50	17.49	16.44	19.10	49.11	20.66
14	13.68	14.98	16.63	14.14	15.18	16.22	13.53	13.74	13.72	15.42	14.52	19.03	15.07
15	15.41	15.65	18.74	21.08	22.69	22.99	22.80	21.10	19.30	21.31	17.48	15.56	19.51
16	23.72	23.33	26.47	29.57	31.63	31.98	33.22	28.41	28.81	32.40	27.02	21.60	28.18
17	33.24	32.49	37.93	42.83	42.90	45.16	45.08	39.08	41.44	49.05	34.77	29.10	39.42
18	39.35	45.35	47.19	59.48	52.07	53.29	58.47	54.62	53.41	62.60	46.01	40.33	51.01
19	47.40	54.27	54.74	71.52	57.47	64.90	67.99	71.34	65.39	63.34	53.08	45.93	59.78
20	54.11	59.09	59.95	80.33	66.66	70.31	71.49	79.93	70.99	64.42	53.19	48.27	64.89
21	56.61	63.23	66.30	84.25	69.14	72.35	70.20	80.15	64.59	63.78	55.46	43.86	65.83
22	48.17	59.53	61.84	71.25	61.64	64.75	60.47	66.26	55.41	52.81	43.39	39.49	57.08
23	40.53	49.39	53.98	55.92	46.13	50.68	47.95	49.85	39.77	37.01	29.85	31.92	44.42
TOTAL (Wh/día)	657.14	745.95	762.93	805.48	740.33	768.78	788.58	791.78	744.46	782.16	647.06	703.48	744.84

Nota: La hora de Transmisión que Aparece en el registro está referida al Tiempo del Meridiano de Greenwich. Para convertir a tiempo del centro de México restar 6 o 5 horas según sea Horario de invierno o de verano.

ANEXO IV. CURVAS DE POTENCIA Y EFICIENCIAS DE ALGUNOS AEROGENERADORES



MODELO	ÁREA	POTENCIA PRODUCIDA (DEL GRÁFICO)	POTENCIA TEÓRICA ($P=1/2\rho Av^3$)	EFICIENCIA (η)
Air X	1.021	16.67	28.84	0.58
Whisper 200	5.72	84.2	161.8	0.52
Skystream 3.7	10.87	63.2	307.18	0.21

Nota: se tomó 1.03 kg/m^3 como densidad del aire y 3.8 m/s como velocidad del viento

ANEXO V. ENERGÍA PRODUCIBLE CON UNA EFICIENCIA DEL 40% (Wh)

HORA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	PROM
0	11.94	14.85	15.03	14.70	13.28	14.57	14.19	14.05	12.68	11.39	10.14	11.29	13.18
1	9.63	10.82	10.99	9.74	9.67	9.95	9.70	9.88	9.56	9.52	8.63	9.91	9.83
2	8.38	9.65	9.58	7.79	7.86	8.01	7.79	8.14	8.30	8.51	8.40	8.71	8.43
3	7.74	7.92	8.29	6.84	7.07	6.89	6.84	6.57	6.85	8.73	7.45	8.85	7.50
4	7.12	7.53	8.09	6.38	6.25	6.39	6.41	5.38	7.03	8.80	6.43	8.49	7.03
5	7.96	7.53	7.39	5.81	6.24	5.83	6.79	6.17	6.10	8.36	7.37	7.71	6.94
6	7.80	8.29	7.28	6.46	6.42	6.30	6.92	6.59	5.78	8.47	6.93	7.68	7.08
7	7.63	8.70	8.15	6.52	6.80	6.14	7.66	7.30	7.59	8.78	6.87	9.17	7.61
8	7.03	8.95	8.69	7.30	7.24	6.68	8.32	7.89	8.87	9.01	7.14	10.02	8.10
9	8.30	8.91	8.05	7.62	7.79	7.42	8.84	8.89	8.64	10.67	8.21	8.02	8.45
10	7.55	10.14	8.94	8.75	8.63	8.47	9.67	8.80	8.51	11.40	8.45	10.20	9.12
11	8.07	9.71	8.82	7.93	8.76	9.14	8.94	10.17	8.65	10.17	7.13	10.14	8.97
12	7.22	9.55	8.55	7.70	8.39	8.85	9.34	8.49	11.09	7.62	8.13	17.52	9.37
13	7.59	8.91	9.80	6.51	5.55	5.83	7.54	6.60	7.00	6.57	7.64	19.65	8.27
14	5.47	5.99	6.65	5.66	6.07	6.49	5.41	5.50	5.49	6.17	5.81	7.61	6.03
15	6.16	6.26	7.50	8.43	9.08	9.20	9.12	8.44	7.72	8.52	6.99	6.22	7.80
16	9.49	9.33	10.59	11.83	12.65	12.79	13.29	11.36	11.53	12.96	10.81	8.64	11.27
17	13.29	13.00	15.17	17.13	17.16	18.06	18.03	15.63	16.57	19.62	13.91	11.64	15.77
18	15.74	18.14	18.88	23.79	20.83	21.32	23.39	21.85	21.36	25.04	18.40	16.13	20.41
19	18.96	21.71	21.90	28.61	22.99	25.96	27.20	28.54	26.16	25.33	21.23	18.37	23.91
20	21.65	23.64	23.98	32.13	26.66	28.12	28.59	31.97	28.40	25.77	21.27	19.31	25.96
21	22.64	25.29	26.52	33.70	27.66	28.94	28.08	32.06	25.83	25.51	22.19	17.54	26.33
22	19.27	23.81	24.74	28.50	24.65	25.90	24.19	26.50	22.16	21.12	17.36	15.80	22.83
23	16.21	19.76	21.59	22.37	18.45	20.27	19.18	19.94	15.91	14.81	11.94	12.77	17.77
TOTAL (Wh/día)	262.86	298.38	305.17	322.19	296.13	307.51	315.43	316.71	297.79	312.86	258.82	281.39	297.94

Nota: La hora de Transmisión que Aparece en el registro está referida al Tiempo del Meridiano de Greenwich. Para convertir a tiempo del centro de México restar 6 o 5 horas según sea Horario de invierno o de verano.

BIBLIOGRAFIA

- I II Censo de Población y vivienda 2005
INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
www.inegi.org.mx
2005
- II Enciclopedia de los municipios de México
Estado de Veracruz de Ignacio de la Llave
Xalapa
www.e-local.gob.mx
- III Actualización del programa de ordenamiento urbano de la zona conurbada
Xalapa, Banderilla, Emiliano Zapata, Tlalnelhuayocan, Ver.
Gobierno del Estado de Veracruz
2003
- IV www.eluniversal.com.mx
"Inauguran escultura de Sebastián en Veracruz"
Domingo 29 de junio de 2008
- V 12^{do} Censo Nacional de Población y Vivienda
INEGI. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática.
www.inegi.org.mx
2000
- VI Turismo ecológico
Wikipedia, la enciclopedia libre
<http://es.wikipedia.org>
- VII Turismo ecológico en México
www.visitingmexico.com.mx
- VIII Ecoturismo en Veracruz
<http://portal.veracruz.gob.mx>
- IX Ecoturismo
Iriarte Céspedes Fernando
<http://www.monografias.com>
- X Energías renovables para el desarrollo sustentable en México
Alatorre Frenk, Claudio
Secretaría de Energía
Septiembre, 2009

-
- XI [R]evolución energética. Una perspectiva de energía sustentable para México
Teske Sven
Consejo Europeo para las Energías Renovables, Greenpeace
Julio, 2008
- XII Estado del arte y tendencias de la tecnología eoloeléctrica
Borja Diaz Marco Antonio
IIE, Programa Universitario de Energía UNAM
1999
- XIII Desarrollo de las energías renovables en México: la perspectiva de la
CONAE
de Buen R. Odón
CONAE, SENER
Junio, 2001
- XIV Tecnología Fotovoltáica aplicada al bombeo de agua
Sánchez Juárez Aarón
SAGARPA-FIRCO
- XV Estado del arte de la investigación en energía solar en Mexico
Rincón Mejía Eduardo
Cuadernos FICA
1999
- XVI Libro blanco. Transición hacia un futuro basado en las fuentes renovables de
energía.
Programa de Energía de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México
ISES, UACM
Junio, 2006
- XVII Energías renovables. Una perspectiva ingenieril
Guillén Solis Omar
Edit. Trillas
Septiembre, 2004
- XVIII Tipos de aerogeneradores
www.renovetec.com
- XIX Investigación y desarrollo tecnológico en el tema de la generación
eoloeléctrica.
Borja Díaz Marco A., González Galarza Raúl
Boletín Instituto de Investigaciones Eléctricas
Julio-Agosto, 2000

-
- XX www.wwindea.org
- XXI Potencial de aprovechamiento de la energía eólica para la generación de energía eléctrica en zonas rurales de México
González Ávila María Eugenia, Beltrán Morales Luis y otros
Interciencia. Revista de ciencia y tecnología de América
Abril, 2006
- XXII www.normex.com.mx
- XXIII Secretaria de Turismo
Sistemas de Información Turística Estatal
2000 – 2008
- XXIV Comisión Nacional del Agua
Normales climatológicas para Xalapa, Ver.
1981 – 2000
- XXV Centrales eléctricas
García Mauricio Rafael Alejo
<http://thales.cica.es>
- XXVI Aerogeneradores: Generadores de electricidad y productores de agua
Pacco Ramírez Karina Lucy
Mayo, 2010
- XXVII Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica
Arango, José M.; Briones, Cristina; Hanley Charles y otros
FIRCO, SNL y SWTDI
Marzo, 2001
- XXVIII Servicio Meteorológico Nacional
Estación Meteorológica Automática de Xalapa, Ver.
2005 – 2010