

01128
24



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**IDENTIFICACIÓN DE ZONAS
APTAS PARA LA INSTALACIÓN
DE CASAS ECOLÓGICAS EN
LA REPÚBLICA MEXICANA**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL
P R E S E N T A N:
OJEDA NAVA GABRIEL
VARGAS VARGAS VANESSA DENISE

**DIRECTOR DE TESIS:
DRA. RINA AGUIRRE SALDIVAR**

MÉXICO, D.F.,

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México:

Porque en sus aulas, recintos y corredores pasamos los mejores momentos de nuestra vida y adquirimos los conocimientos que a la postre nos permitirán participar en el desarrollo del país.

A la Dra. Rina Aguirre Saldivar:

Por su invaluable guía, por haber coadyuvado a hacer de esta tesis un trabajo de calidad a través de sus minuciosas revisiones y acertados comentarios.

A nuestros sinodales, M.I. Lourdes Arellano Bolio, M.I. Francis Soler Anguiano, Ing. Adrián Valera Negrete, Dr. Francisco Javier Solorio Ordaz, Ing. Agustín Vega Esquivel:

Por su valioso tiempo, desinteresada ayuda e inestimables comentarios que contribuyeron a enriquecer este trabajo.

Al M.I. Ubaldo Eduardo Márquez Amador:

Por ser nuestro profesor, amigo y mentor; por habernos dado la oportunidad de entrar en el mundo laboral por primera vez.

A nuestros profesores, Ing. Guadalupe Durán Rojas, Ing. Elizabeth Moreno Mavridiz, M.I. Silvina Hernández García, Lic. Yolanda Estrada García, Ing. Erick Castañeda de Isla Puga, Ing. Bonifacio Román Tapia, Fis. Edgar López Téllez, Dr. Baltasar Mena Iniesta, Ing. Jaime Martínez Martínez:

Por ser nuestros amigos, interminable fuente de conocimiento y por haber contribuido a nuestra formación como ingenieros.

Vanessa & Gabriel

Agradecimientos

Vanessa Denise

A mi madre:

Por su interminable apoyo y enorme amor, por enseñarme que la paciencia y el cariño son los motores que nos hacen levantarnos todos los días y esforzarnos a seguir adelante a pesar de las adversidades. Por estar siempre tras de mí, calladamente, resolviéndome la vida y contestando con amor a mi mal humor y desesperación; por haber aprendido a superar sus problemas para seguir a nuestro lado, por luchar y esforzarse día a día para ser la maravillosa mujer que es.

A mi padre:

Por ser ejemplo de lucha, tenacidad, inteligencia y esfuerzo; por estar conmigo a cada minuto del camino demostrándome con acciones su infinito amor, por saber respetar mis decisiones y por enseñarme a vivir siendo quien soy sin importar lo que piensen los demás. Por mostrarme lo que es ser una persona íntegra, de una sola pieza y por predicar siempre con el ejemplo. Por apoyarme, ayudarme y darme todo y más, mucho más.

A mi hermana:

Por amarme, estar siempre a mi lado, escucharme y ser mi mejor amiga. Por cuidarme cuando lo necesito y por escuchar con paciencia todas mis locuras. Por ser ejemplo de amor y dedicación a su familia y por apoyarme en todos y cada uno de los sueños que he emprendido.

A Andrea y Filo:

Por ser parte de esta familia y compartir tantas risas y momentos felices. Por estar conmigo y darme todo el amor que necesito.

A mis abuelos Josefina, Guadalupe, Ramón y Enrique:

Por haberme dado a los dos seres más maravillosos que conozco, por amarme y apoyarme a lo largo de toda mi vida. Por tener siempre una sonrisa y un abrazo para mí y por haberme consentido tanto.

A mis tíos Jorge, Patricia y Lourdes:

Por amarme y escucharme cuando más lo he necesitado, por aconsejarme y ser como unos segundos padres para mí. Porque de ustedes he aprendido que lo más importante en esta vida es ser lo que uno quiere ser y esforzarse día a día para conseguirlo.

A mis tíos Victoria, Silvia, Lidia, Berta, Irma y Raúl y sus familias:

Por ser ejemplo de lo que una familia unida debe ser y por haber contribuido a mi formación día a día con su amor. Por haber sabido educar y llevar por el buen camino a mí y a todos mis primos y por estar con mi familia cuando los hemos necesitado.

A Rosalba:

Mi mejor amiga, mi confidente, mi hermana, por haberme dado tanto amor todo este tiempo; por escucharme, aconsejarme cuando me siento perdida y regañarme cuando lo necesito. Por haberme enseñado con el ejemplo lo que es ser una mujer triunfadora, segura e independiente, por ser siempre el hombro que necesito para llorar y porque se que siempre estará mi lado.

A Maricela:

Por haber aparecido en mi vida a darle un nuevo sentido, por hacerme reír y disfrutar cada minuto como si fuera el último, por quererme, valorarme y escucharme cuando más lo necesitaba. Por ser una mujer maravillosa, segura e inteligente, y por haber luchado por estar a mi lado.

A Gabriel:

Mi amigo, mi hermano, por haber estado a mi lado aún en los momentos más difíciles, por haber sido mi cómplice en tantas aventuras, por aceptarme como soy y escucharme siempre que lo necesito. Por estar siempre dispuesto a ayudarme y orientarme cuando me siento perdida, por ser el mejor amigo que yo pude soñar. Por ser tan inteligente y centrado, por saber luchar sin descanso y por cuidarme todos los días desde que estamos juntos.

A Edsel:

Por ser mi amigo desde hace tantos años, por correr a mi lado siempre que lo necesito, por ser ejemplo de luchar y superación. Porque se que siempre estará mi lado con esa sonrisa que hace que el horizonte se vea más claro. Por darme el brazo cuando siento que voy a caer y por ser mi confidente y apoyo todos los días de mi vida.

A mis amigos Selene, Luis, Gerardo, Edson, Héctor, Julio y Rodrigo :

Por haber compartido tantas aventuras, desvelos, exámenes, días felices y risas. Por haberme dado los momentos más divertidos de mi vida y por ser los mejores amigos del mundo; por aceptar quién soy y jamás juzgarme. Por amarme tanto como yo los amo a ellos.



Agradecimientos

G a b r i e l

A Dios:

Por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida; por todas las bendiciones y los dones recibidos.

A mis padres:

Por haberme dado la vida, la experiencia más maravillosa de este mundo, por llenarla de alegrías, ayudarme a cumplir mis metas, una de las cuáles se encuentra frente a ustedes y por permitirme ser independiente. Agradezco sus desvelos y preocupaciones, su apoyo incondicional y su amor.

A mi madre:

Por dedicarme tu tiempo y tu espacio, por enseñarme a no tener miedo y a valerme por mí mismo.

A mi padre:

Por todo el apoyo y la comprensión que me has brindado a lo largo de todos estos años, por el ejemplo de vida.

A mi hermana:

Por todo el cariño, por compartir tantos momentos, algunos duros, otros felices y por darme dos estupendos regalos, mis sobrinas.

A Adriana Angélica:

Por ser una luz en mi camino, por las sonrisas y el cariño más sincero que he podido conocer en esta vida. Desde que te conocí, mi vida se transformó.

A Karla Gabriela:

Por tu sencillez y espontaneidad, por ser una niña tan alegre y divertida. Nunca pienses que estas sola, porque yo siempre estaré contigo.

A mi abuelita Esperancita:

Por esos pequeños momentos que hemos compartido, los viajes a la eterna Cuernavaca y las historias de otros tiempos.

A mi abuelita Coty:

Mi niñez no tiene sentido sin ti, aunque ahora ya no estas aquí, quiero hacer patente lo significativa que fuiste para mí y que tu presencia siempre me acompañará.

A mi familia:

Por estar conmigo y hacerme ver mis errores, por permitir desenvolverme en un ambiente tan unido, donde todos están dispuestos a dar antes de recibir.

A Vanessa:

Por ser mi amiga incondicional, mi confidente, por el cariño y comprensión que nos han unido de una manera tan especial; por las pequeñas y grandes lecciones que juntos hemos aprendido.

A Olga Yadira Michelle:

Por siete años de alegrías compartidas, por tan buenos momentos que juntos pasamos y por una amistad inquebrantable..

A mis amigos:

Por su grata compañía, por estar cerca de mí en los momentos difíciles, por ayudarme a crecer y convertirme en la persona que ahora soy.

A todos ustedes, porque sin su apoyo, tal vez no estaría aquí, compartiendo este momento tan significativo y no obstante que este sea sólo el comienzo de una nueva etapa de mi vida, deseo que sepan que tienen un lugar muy especial en mi corazón y que su apoyo ha sido determinante en todos y cada uno de los pasos que he dado. Por su ayuda, comprensión, protección y guía, G R A C I A S.

“Vamos a jugar al cuento de nunca acabar”

Índice

Índice de tablas	i
Índice de figuras	ii
Lista de variables	iv
Lista de símbolos	v
Introducción	vi
1. Sistema de administración ambiental	1
1.1 Sistema ambiental	1
1.2 Impacto ambiental de una vivienda	2
1.2.1 Impacto sobre la calidad del aire	2
1.2.2 Impacto a cuerpos de agua	3
1.2.3 Impacto en suelo	4
1.2.4 Impacto sobre flora y fauna	5
1.3 Sistema de administración ambiental	6
2. Casas Ecológicas	8
2.1 Aprovechamiento de Energía	8
2.1.1 Energía Solar	8
2.1.1.1 Diseño bioclimático	9
2.1.1.2 Calentamiento de agua para uso doméstico	10
2.1.1.3 Generación de energía eléctrica con sistemas de fotocelda	13
2.1.2 Energía eólica	16
2.1.3 Energía del biogás	20
2.1.4 Ahorro de energía eléctrica	23
2.2 Ahorro y tratamiento de agua	24
2.2.1 Ahorro de agua	24
2.2.2 Captación y almacenamiento de agua pluvial	26
2.2.3 Tratamiento de aguas residuales	28
2.3 Disposición de residuos sólidos	29
3. Módulos Ecológicos	33
3.1 Bases de cálculo	33
3.2 Requerimientos de implantación de módulos ecológicos	35
3.3 Módulos para ahorro y aprovechamiento de energía	36
3.3.1 Calentador solar de agua para uso doméstico	36
3.3.1.1 Diseño	37
3.3.1.2 Estimación de costos	42
3.3.1.3 Viabilidad	42
3.3.2 Sistema de fotocelda para producción de energía eléctrica	43
3.3.2.1 Diseño	43
3.3.2.2 Estimación de costos	46
3.3.2.3 Viabilidad	47
3.3.3 Sistema de aerogeneradores para producción de energía eléctrica	48
3.3.3.1 Diseño	48
3.3.3.2 Estimación de costos	50
3.3.3.3 Viabilidad	50
3.3.4 Digestor anaerobio para producción de biogás	51
3.3.5 Dispositivos para ahorro de energía eléctrica	52
3.4 Módulos para ahorro y tratamiento de agua	54
3.4.1 Humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales	54
3.4.1.1 Diseño	54
3.4.1.2 Estimación de costos	63
3.4.1.3 Viabilidad	63

3.4.2 Dispositivos ahorradores de agua	64
3.4.3 Sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia	65
3.4.3.1 Diseño	66
3.4.3.2 Estimación de costos	66
3.4.3.3 Viabilidad	67
3.5 Módulo para aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos	68
3.5.1 Módulo de separación de residuos sólidos y compostaje	68
4. La República Mexicana y las casas ecológicas	70
4.1 Características físicas	70
4.1.1 Tipos de climas	70
4.1.2 Radiación solar	74
4.1.3 Viento	76
4.1.4 Precipitación total anual	78
4.1.5 Acuíferos y disponibilidad de agua	78
4.2 Características socioeconómicas	80
4.2.1 Población	80
4.2.2 Servicios	83
4.2.3 Rezago habitacional y necesidad de vivienda	86
4.2.4 Escolaridad	88
4.2.5 Población ocupada y percepción económica	90
5. Mapas de localización	93
5.1 Zonas aptas para módulos para ahorro y aprovechamiento de energía	94
5.1.1 Zonas aptas para la instalación de calentadores solares	94
5.1.2 Zonas aptas para la instalación de sistemas de fotocelda	96
5.1.3 Zonas aptas para la instalación de sistemas de aerogeneradores	97
5.1.4 Zonas aptas para la instalación de dispositivos para ahorro de energía	98
5.2 Zonas aptas para módulos para ahorro y tratamiento de agua	98
5.2.1 Zonas aptas para la instalación de humedales artificiales	98
5.2.2 Zonas aptas para la instalación de dispositivos ahorradores de agua	100
5.2.3 Zonas aptas para la instalación de sistemas de captación de agua de lluvia ..	101
5.3 Zonas aptas para el módulo de aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos	102
5.4 Resumen	102
Conclusiones y recomendaciones	106
Apéndices	109
Referencias	116
Otra bibliografía consultada	118
Directorio de empresas	119

Índice de tablas

1.1	Impacto de una vivienda sobre la calidad del aire	3
1.2	Impacto de una vivienda sobre la calidad del agua	4
2.1	Conductividad térmica de algunos materiales.....	10
2.2	Sección transversal de los cables a utilizar	15
2.3	Composición típica de biogás.....	20
2.4	Comparación del biogás con otros combustibles fósiles	21
2.5	Producción de biogás a partir de estiércol	21
2.6	Producción de biogás a partir de materia vegetal.....	21
2.7	Consumo de biogás en diferentes equipos.....	21
2.8	Producción de biogás en un digestor de 10 m ³	22
2.9	Material orgánico recomendable para elaborar composta	31
3.1	Estimación del consumo de energía eléctrica para una familia de 5 personas.....	34
3.2	Composición típica de aguas residuales domésticas.....	35
3.3	Composición porcentual de los RSM en México	35
3.4	Características del calentador solar tipo.....	37
3.5	Calor útil obtenible en uno o dos colectores a partir de la energía solar incidente ...	41
3.6	Estimación de costos para calentador solar de agua.....	42
3.7	Características del panel fotovoltaico tipo	45
3.8	Número de paneles necesarios en función de la radiación solar incidente.....	45
3.9	Estimación de costos para sistema de fotocelda	46
3.10	Características del aerogenerador Whisper H40	49
3.11	Estimación de costos para sistema de aerogeneración	50
3.12	Características de lámparas ahorradoras y focos incandescentes	52
3.13	Características y precios de lámparas ahorradoras comercializadas en México	52
3.14	Cálculo del consumo promedio bimestral de energía eléctrica.....	53
3.15	Costo bimestral de energía eléctrica (nov., 2002).....	53
3.16	Cálculo del consumo promedio bimestral de energía eléctrica con lámparas ahorradoras.....	53
3.17	Costo bimestral de energía eléctrica con lámparas ahorradoras	54
3.18	Concentración de DBO ₅ en el efluente para diferentes áreas de humedal	56
3.19	Concentración de NT en el efluente para diferentes áreas de humedal	58
3.20	Concentración de P en el efluente para diferentes áreas de humedal.....	59
3.21	Resumen de resultados de los modelos de remoción de contaminantes	60
3.22	Estimación de costos para la construcción de un humedal	63
3.23	Precios de dispositivos ahorradores de agua comercializados en México.....	64
3.24	Disminución del consumo de agua con la utilización de dispositivos ahorradores ...	65
3.25	Costo bimestral por consumo de agua	65
3.26	Estimación de costos para el sistema de captación pluvial	67
3.27	Volumen total de residuos orgánicos en una vivienda de 5 habitantes.....	68
3.28	Porcentaje de reducción de RSM por composteo	69
4.1	Tipo de clima por entidad federativa.....	72
4.2	Densidad de población y superficie territorial por entidad federativa	82
4.3	Distribución de la población ocupada según ingreso mensual	91

Índice de figuras

1.1	Sistema ambiental para una vivienda	2
2.1	Trayectoria aparente del Sol e influencia en el asoleamiento de las fachadas sur y norte ..	10
2.2	Colectores solares planos	11
2.3	Colector parabólico	11
2.4	Tipos de colectores planos	12
2.5	Partes de un colector solar doméstico	12
2.6	Colocación de colectores solares	12
2.7	Instalación del sistema para calentamiento de agua	13
2.8	Célula solar fotovoltaica	14
2.9	Arreglo doméstico de un sistema fotovoltaico	15
2.10	Componentes de un sistema fotovoltaico	16
2.11	Rotores eólicos de eje horizontal	18
2.12	Rotores eólicos de eje vertical	18
2.13	Sistema de orientación por cola	18
2.14	Sistema de orientación con rotores auxiliares	19
2.15	Arreglo doméstico de un sistema eólico	20
2.16	Planta para producción de biogás	22
2.17	Boquillas y regaderas ahorradoras	24
2.18	Reductor de consumo hidráulico	25
2.19	Regadera y boquilla economizadora para lavabo y fregadero	25
2.20a	Sistema de captación y almacenamiento de agua	26
2.20b	Diferentes arreglos para sistema de captación y almacenamiento de agua	27
2.21	Sistema de humedales artificiales	29
2.22	Hoyo de composta	31
2.23	Tambo para la elaboración de composta	32
3.1	Curva de potencia para el modelo Whisper H40	49
4.1	División política de la República Mexicana	71
4.2	Temperatura mínima promedio del mes más frío	73
4.3a	Radiación solar media en primavera	74
4.3b	Radiación solar media en verano	75
4.3c	Radiación solar media en otoño	75
4.3d	Radiación solar media en invierno	76
4.4	Energía del viento dominante en la República	77
4.5	Precipitación en la República Mexicana	78
4.6	Disponibilidad de agua en la República Mexicana	79
4.7	Explotación de acuíferos	79
4.8	Estratificación de las entidades según población	81
4.9	Densidad de población	82
4.10	Estratificación de las entidades según promedio de ocupantes por vivienda	83
4.11	Estratificación de las entidades según porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica	84
4.12	Estratificación de las entidades según porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada	84
4.13	Estratificación de las entidades según porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje	85
4.14	Rezago habitacional por entidad federativa año 2000	86
4.15	Necesidades anuales de vivienda nueva por entidad federativa	87
4.16	Población mayor a 15 años con instrucción básica y más	88
4.17	Población mayor a 15 años con instrucción media básica y más	89

4.18	Población mayor a 15 años con instrucción media superior y superior.....	90
4.19	Población que percibe más de 5 salarios mínimos diarios	92
5.1	Radiación solar estacional igual o mayor a 19 MJ/m ² -día.....	94
5.2	Radiación solar igual o mayor a 19 MJ/m ² -día en al menos dos estaciones.....	95
5.3	Condiciones necesarias para la instalación de calentadores solares.....	95
5.4	Condiciones necesarias para la instalación de sistemas de fotocelda.....	96
5.5	Potencia obtenible del viento mayor o igual a 20 W/m ²	97
5.6	Condiciones necesarias para la instalación de aerogeneradores	98
5.7	Temperatura promedio del mes más frío.....	99
5.8	Condiciones necesarias para la instalación de humedales artificiales	100
5.9	Precipitación total anual mayor o igual a 1200 mm.....	101
5.10	Condiciones necesarias para la instalación de sistemas de captación pluvial.....	102
5.11	Zonas aptas para la instalación de calentadores solares	103
5.12	Zonas aptas para la instalación de sistemas de fotocelda.....	103
5.13	Zonas aptas para la instalación de aerogeneradores	104
5.14	Zonas aptas para la instalación de humedales artificiales	104
5.15	Zonas aptas para la instalación de sistemas de captación pluvial	105

Lista de variables

A	área barrida por el rotor del aerogenerador [m ²]
a	factor de resistencia de la vegetación en humedales [s·m ^{1/6}]
A _c	área efectiva del colector [m ²]
A _o	área superficial disponible para la actividad microbiana [m ² /m ³]
A _s	área superficial del humedal [m ²]
C _o	concentración de contaminante en el afluente [mg/l]
C _m	carga media diaria del sistema de fotocelda [Ah/día]
C _{m1}	carga media diaria corregida del sistema de fotocelda [Ah/día]
C _e	concentración de contaminante en el efluente [mg/l]
C _p	capacidad calorífica del agua (4,186 [J/kg·K])
CH	carga hidráulica promedio anual [cm/día]
D	diámetro exterior de los tubos del colector [m]
D _i	diámetro interior de los tubos del colector [m]
du/dt	rapidez de cambio de la energía interna almacenada en el colector [W]
E	energía cinética del aire en movimiento [J]
F	fracción de la DBO no removida como sólidos sedimentables a la entrada del sistema
F ₁	factor de eficiencia de la aleta
F ₂	factor de eficiencia de la sección transversal del colector
F ₃	factor de eficiencia global del colector
h _r	coeficiente de transferencia de calor por convección en la interfase tubo-fluido [W/m ² K]
H _T	energía solar incidente [W/m ²], [kWh/m ² día], [horas de sol nominal]
hw	coeficiente de transferencia de calor por convección debido al aire soplando sobre la cubierta de vidrio [W/m ² K]
I	capacidad corregida del sistema de fotocelda [A]
I _o	capacidad del sistema de fotocelda [A]
I _{panel}	intensidad nominal de cada panel [A]
k	conductividad térmica de la aleta [W/mK]
K _a	conductividad térmica del aislante [W/mK]
K _p	constante de primer orden para la remoción de fósforo [cm/día]
K _t	constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura [día ⁻¹]
l	espesor del aislante por el fondo del colector [m]
L	largo del humedal [m]
l'	espesor del aislante por los lados del colector [m]
M	altura del colector [m]
m	masa [kg]
ṁ	flujo de masa por cada tubo [kg/s]
N	número de cubiertas de vidrio del colector
n	porosidad o espacio para el flujo de agua en el humedal
n ₁	número de paneles en serie del sistema de fotocelda
n ₂	número de paneles en paralelo del sistema de fotocelda
n ₃	número total de paneles del sistema de fotocelda
n _m	número de Manning [s/m ^{1/3}]
P	perímetro del colector [m]
p	pendiente del fondo del lecho del humedal
P _{ot}	potencia entregada por el eje de la turbina [W]
Q	caudal medio [m ³ /día]
Q _{abs}	calor total incidente absorbido por unidad de tiempo en el colector [W]
Q _e	caudal de salida [m ³ /día]
Q _L	pérdidas de calor hacia los alrededores [W]

Q_o	caudal de entrada [$m^3/día$]
Q_{total}	calor total [J]
Q_u	calor útil que se transfiere al fluido de trabajo [W]
S	ángulo de inclinación del colector
s	gradiente hidráulico o pendiente de la superficie del agua [m/m]
t	tiempo de retención hidráulica [día]
T_a	temperatura del aire ambiente [°C]
T_r	temperatura promedio del agua del mes más frío [°C]
T_i	temperatura del fluido al entrar al colector [°C]
T_o	temperatura del agua a la distancia x (entrada del humedal, antes de la mezcla con el agua ya existente en el sistema) [°C]
T_p	temperatura media de la placa de absorción [°C]
T_w	temperatura del agua a la distancia x [°C]
ΔT	incremento de temperatura [°C]
U_b	coeficiente de pérdidas de calor por conducción por el fondo del colector [W/m^2K]
U_e	coeficiente de pérdidas de calor por conducción por los lados del colector [W/m^2K]
U_L	coeficiente global de pérdidas de calor por radiación, convección y conducción [W/m^2K]
U_s	coeficiente de transferencia de calor en la superficie del humedal [W/m^2K]
U_t	coeficiente total de transferencia de calor [W/m^2K]
v	velocidad del viento [m/s]
V_a	velocidad superficial de flujo [m/s]
V_{panel}	tensión nominal del panel [V]
$V_{sistema}$	tensión nominal del sistema de fotocelda [V]
w	espaciamiento entre tubos del colector [m]
W	ancho del humedal [m]
y	profundidad del humedal [m]

Lista de símbolos

α	absortancia de la placa colectora
β	reflectancia difusa de la cubierta del colector
δ	espesor de la aleta [m]
ϵ_c	emitancia infrarroja de la cubierta interior del colector
ϵ_p	emitancia infrarroja de la placa de absorción del colector
η_p	coeficiente de potencia (eficiencia de la conversión en turbinas eólicas)
ϕ	razón entre transmitancia del vidrio y la absortancia de la placa colectora (representa la fracción de la radiación solar absorbida por el colector)
γ	factor de pérdidas del inversor
ρ	densidad del aire [kg/m^3]
ρ_a	densidad del agua (1000 [kg/m^3])
σ	constante de radiación Stefan-Boltzmann (5.6697×10^{-8} [W/m^2K^4]).
τ	transmitancia de la cubierta del colector

Introducción

La contaminación en la República Mexicana, especialmente en los grandes centros urbanos como la Ciudad de México, es un problema que se ha agravado a pasos agigantados en los últimos años. La creciente explosión demográfica, la industrialización y la explotación desmedida de los recursos naturales han traído como consecuencia una relación nociva entre los pobladores y su ambiente.

La contaminación surge cuando se produce un desequilibrio como resultado de la adición de cualquier sustancia al ambiente, en cantidad tal, que cause efectos adversos en el hombre, los animales, vegetales o materiales expuestos a dosis que sobrepasen los niveles considerados como seguros. La contaminación puede generarse a partir de fenómenos naturales o debido a los procesos productivos que el hombre desarrolla en su vida diaria.

Las fuentes contaminantes de origen antropogénico más importantes son: industriales, comerciales, agrícolas, domésticas y vehículos automotores. Las prácticas domésticas generan, directa o indirectamente, afectación al ambiente y son, entre otras, la utilización de energía eléctrica proveniente de plantas generadoras que utilizan combustibles fósiles, la descarga de aguas residuales a la red municipal y la generación de residuos sólidos y su posterior disposición en tiraderos a cielo abierto o rellenos sanitarios. Esto es prueba fehaciente de que las actividades propias de una vivienda contribuyen al detrimento de la calidad del medio y de los recursos naturales del país.

El concepto de casa ecológica surge precisamente a partir de la preocupación por la enorme afectación que tiene la vivienda tradicional sobre el lugar donde se ubica. Si se piensa en la utilización de dispositivos que permitan reducir la dependencia de fuentes de energía dañinas, disminuir la descarga de aguas residuales y la generación de residuos sólidos, se estaría planteando entonces la idea de vivir en armonía con el hábitat.

Es indiscutible que el aumento de la necesidad de vivienda es otra de las dificultades que debe resolverse en el corto plazo, por lo que se torna interesante analizar los beneficios de construir casas habitación que permitan brindar asilo a los habitantes que así lo requieran, pero que además, coadyuven a la mejoría del medio.

El deterioro ambiental en la República Mexicana es un problema que ya no puede ignorarse, y por ende, requiere inmediata atención y acción. La vida en este país será cada vez más difícil si no se logra hacer entender a la gente y a los gobernantes que se requiere crear instrumentos que faciliten la construcción de casas ecológicas, las cuales son una clara respuesta a la contaminación doméstica. El objetivo de este trabajo es demostrar que México es un campo fértil para la instalación de estas viviendas y la hipótesis es simple y directa:

En la República Mexicana existen zonas que por sus características físicas, económicas y de instrucción de sus habitantes, son aptas para la instalación y utilización de dispositivos que permitan reducir el impacto ambiental generado por las actividades de la vivienda.

El presente trabajo se ha dividido en 5 capítulos. En el primero se retoman conceptos de *sistemas de administración ambiental* para determinar las áreas de oportunidad disponibles para la disminución del impacto generado por una vivienda.

El segundo capítulo es una breve presentación de algunos de los dispositivos existentes para la protección ambiental y su funcionamiento. En el tercero se realiza el dimensionamiento y cotización para su utilización en un hogar mexicano; cabe mencionar que este estudio está enfocado a la viabilidad técnica de las alternativas, por lo que no se incluye un análisis de rentabilidad.

Posteriormente, en el capítulo cuarto se hace una presentación de las características físicas, económicas, poblacionales, educativas y sociales del país, para en el quinto, determinar las zonas aptas para la instalación de los dispositivos propuestos.

Finalmente, en el capítulo cinco se presenta un resumen de los resultados de esta investigación concluyendo el trabajo con un apartado de reflexiones y recomendaciones sobre el mismo.

Esta tesis surgió de una gran inquietud por temas ambientales y por la preocupación, como ingenieros, del daño que se está causando al entorno. Desde nuestra perspectiva, el resultado es una sólida contribución al mejoramiento de la vida en este país y el cumplimiento de nuestra primera tarea como profesionales.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Capítulo 1

Sistema de administración ambiental

La vivienda es un refugio destinado a la habitación humana y es el centro de la vida cotidiana. Dada la necesidad que todas las personas tienen de un alojamiento adecuado, éste ha sido desde siempre un tema prioritario no sólo para los individuos sino también para los gobiernos; por esta razón, la historia de la vivienda está estrechamente unida al desarrollo social, económico y político de la humanidad.

Las características de una vivienda dependen del clima, del terreno, de los materiales y recursos disponibles, además de numerosos factores simbólicos como la clase social y creencias de sus propietarios.

Todas estas características, en combinación con las actividades propias de los habitantes de una vivienda, generan un impacto sobre el entorno. Ya sea por: contaminación directa (descarga de aguas residuales, desalojo de residuos sólidos y emisión de contaminantes al aire), contaminación indirecta (consumo de energía eléctrica o bienes materiales los cuales al producirse generaron contaminación), o bien por la explotación de los recursos naturales cercanos a la vivienda y el cambio de usos de suelo.

Los objetivos de este primer capítulo son:

- Visualizar a la vivienda como un sistema ambiental.
- Identificar los posibles impactos de este sistema sobre el ambiente.
- Identificar las áreas de oportunidad para reducir este impacto ambiental siguiendo la metodología para el desarrollo de un sistema de administración ambiental.

1.1 Sistema ambiental

Un sistema es un conjunto de elementos que interaccionan entre sí. En el caso de una vivienda y para efectos de este trabajo, los puntos que son necesarios retomar de la concepción de un sistema ambiental son:

- a) La identificación del sistema ambiental y sus características (ver figura 1.1). Los elementos del sistema son: los seres humanos que habitan la vivienda, sus actividades, las entradas (bienes de consumo, agua, energía, etc.) y las salidas (principalmente contaminantes).
- b) La escala del sistema. Se considerará un sistema de mesoescala, atendiendo a que existen varias fuentes de contaminación.

- c) El tipo de sistema. Se trata de un sistema mixto, porque están involucrados elementos físicos, químicos y biológicos.
- d) Las fronteras del sistema. Para propósitos de este estudio se establecerán como límites las dimensiones del terreno en el cual se ubica la vivienda.

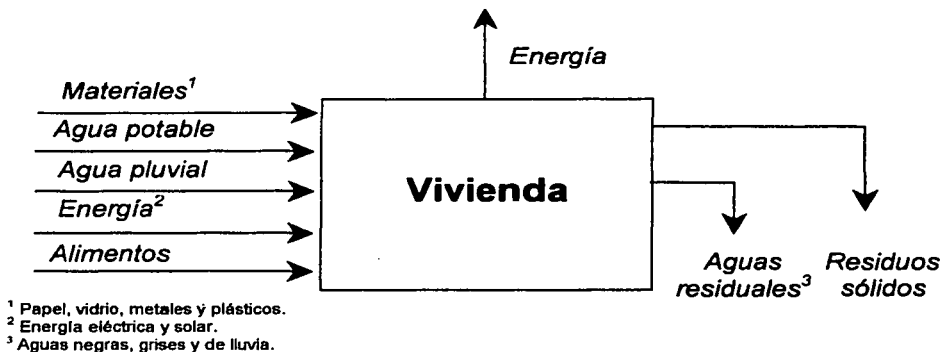


Fig 1.1 Sistema ambiental para una vivienda

1.2 Impacto ambiental de una vivienda

En el presente apartado se busca identificar tanto el impacto ambiental de las actividades domésticas, como las áreas de oportunidad (acciones preventivas y/o correctivas), que de él se derivan.

Se tratarán cinco aspectos básicos para analizar el posible impacto ambiental de una vivienda: aire, agua, suelo, flora y fauna.

Para identificar los efectos que una vivienda tiene sobre el aire y agua, se decidió elaborar tablas de identificación, mientras que para la caracterización del impacto ambiental sobre el suelo, flora y fauna se optó por una descripción detallada de las formas en que una vivienda afecta su entorno.

1.2.1 Impacto sobre la calidad del aire

La tabla 1.1 sintetiza el efecto de una vivienda sobre la calidad del aire y permite identificar dos áreas de oportunidad elementales:

- *Aprovechamiento de energía*
- *Reducción de residuos sólidos*

Tabla 1.1 Impacto de una vivienda sobre la calidad del aire

Actividad doméstica			
Uso de aparatos e instalaciones eléctricas	Uso de vehículos automotores	Quema de combustibles*	Generación y disposición de residuos sólidos
Contaminación indirecta	Contaminación directa	Contaminación directa	Contaminación indirecta
La producción de energía eléctrica (a través del uso de combustibles fósiles), genera los siguientes contaminantes: monóxido y bióxido de carbono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados y partículas	La combustión de gasolina en vehículos automotores genera emisiones de los siguientes contaminantes: monóxido y bióxido de carbono, bióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, partículas y plomo	Los procesos de combustión que se llevan a cabo en la vivienda generan los siguientes contaminantes: monóxido y bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados y partículas	La generación y posterior disposición de residuos sólidos en tiraderos al aire libre y rellenos sanitarios genera los siguientes contaminantes: compuestos orgánicos volátiles y metales pesados (componentes de pilas, lámparas, termómetros, etc)

*Preparación de alimentos y calentamiento de agua.

La primer área, ahorro y aprovechamiento racional de la energía, incide directamente sobre la reducción de contaminantes al aire. La segunda, la reutilización, aprovechamiento y reciclaje de los residuos generados por las actividades cotidianas, reducen su disposición final y la necesidad de productos nuevos que, tarde o temprano, se convierten en desechos.

En el caso de la contaminación de vehículos, no se puede identificar un área de oportunidad específica dentro de los límites de la vivienda como sistema, más allá de la promoción del uso compartido de los automotores.

1.2.2 Impacto a cuerpos de agua

El impacto ambiental que una vivienda tiene sobre el agua y que se resume en la tabla 1.2, permite identificar el *tratamiento de aguas residuales* como el área de oportunidad más importante dentro de esta sección. Este proceso evita la descarga de contaminantes que pueden afectar los cuerpos de agua.

En cuanto a los *residuos sólidos*, disminuir su generación para disminuir la cantidad que debe ser dispuesta en rellenos sanitarios, contribuye a prevenir la contaminación de los acuíferos. Esto refuerza la importancia de la administración de residuos sólidos como un área de oportunidad relevante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 1.2 Impacto de una vivienda sobre la calidad del agua

Actividad doméstica		
Lavado**	Uso de excusados	Generación y disposición de residuos sólidos
Contaminación directa	Contaminación directa	Contaminación indirecta
<p>Las descargas del fregadero, lavabo, regadera y lavadero, contienen jabón, detergente y restos de comida. Los contaminantes al agua por estas descargas son: sólidos suspendidos totales, sólidos sedimentables, sólidos disueltos, color, olor, turbiedad, pH, materia orgánica, grasas y aceites, cloruros, nitratos y fosfatos</p>	<p>Las descargas provenientes del excusado contaminan el agua con materia orgánica y en algunas ocasiones con microorganismos patógenos</p>	<p>La generación y posterior disposición de los residuos sólidos municipales en tiraderos al aire libre y rellenos sanitarios contaminan el agua debido a la formación de <i>lixiviados</i> y su posible migración hacia el subsuelo y mantos acuíferos</p>

**Lavado de ropa, trastos, pisos e higiene personal.

1.2.3 Impacto en suelo

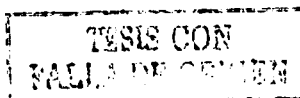
La utilización de un terreno para la construcción de una vivienda representa un cambio en el uso de suelo, ya que prácticamente nunca la vocación natural del suelo es el uso habitacional.

Los primeros efectos de este cambio se deben a la fragmentación del hábitat, con la consiguiente conversión de áreas extensas en islas aisladas dentro de un ambiente predominantemente urbano.

Tanto la construcción como el funcionamiento de las viviendas pueden generar efectos negativos en el suelo donde se sitúan. Los más comunes son la destrucción directa, la compactación debida a movimientos de la tierra y el aumento de la erosión resultado de la deposición de materiales.

El suelo puede también ver alteradas sus características naturales, composición química, humedad, compactación, etc., cuando los residuos domésticos son dispuestos directamente sobre la superficie o enterrados sin las debidas precauciones.

En muchos lugares se depositan los residuos en tiraderos a cielo abierto sin ningún tipo de control ambiental, pudiendo provocar con ello la contaminación de la capa superficial del suelo y del subsuelo, alcanzar las corrientes de aguas superficiales y las subterránea e inclusive modificar el escurrimiento natural del agua sobre el terreno.



1.2.4 Impacto sobre flora y fauna

Las plantas son la base de la vida en la Tierra, ya que producen todo el oxígeno de la atmósfera terrestre y proporcionan el hábitat y el alimento que sostiene a todas las criaturas vivientes mediante la fotosíntesis. Las plantas forman hábitats que han evolucionado hacia formas y comunidades diferentes para adaptarse a todos los tipos de clima, suelo y vida animal existentes.

Los asentamientos humanos han provocado modificaciones muy rápidas en el ambiente y las comunidades naturales de plantas que generalmente no tienen tiempo para adaptarse.

En el caso más drástico, las ciudades, la supervivencia de la vegetación está sujeta a muchas presiones ambientales a las que nunca antes estuvo sometida. El clima de la ciudad es más cálido, lo que influye en la distribución y permanencia de las plantas. La atmósfera de las ciudades contiene contaminantes químicos tales como los óxidos de nitrógeno y de azufre provenientes de la combustión doméstica e industrial, ozono proveniente de la reacción fotoquímica de otros contaminantes y partículas suspendidas; todos estos contaminantes interfieren en los procesos naturales de transpiración y respiración vegetal, además, las raíces deben adaptarse a suelos alterados, compactados y con superficies pavimentadas, que reducen la penetración de agua y el aporte de nutrientes.

Asimismo, existen otros problemas físicos con los que las plantas deben enfrentarse tales como la reducción del suelo y la exposición al frío de las áreas de plantaciones reducidas, la exposición a los respiraderos de calor y frío de los edificios, la exposición a fuertes vientos o calor extremo y la molestia constante de las actividades de construcción y mantenimiento (Hough, 1995).

En general, la instalación y el funcionamiento de una vivienda, sea cual sea el medio en el que se sitúe, impactan a la vegetación de la siguiente manera:

- destrucción directa por la ocupación del espacio y la edificación de la vivienda,
- degradación de las comunidades vegetales por el movimiento de tierras y la modificación de las características del suelo,
- envenenamiento por descarga directa de aguas residuales o residuos sólidos que contienen sustancias tóxicas.

El número, la distribución y la diversidad de la fauna en un área están directamente relacionados con la vegetación, la cual determina la calidad del hábitat; por lo tanto, el impacto que las viviendas tienen ella, proporciona una guía útil para la comprensión del impacto sobre la fauna.

La perturbación del ambiente natural mediante la actividad humana crea un desequilibrio en las comunidades de plantas y animales. La pérdida de un hábitat del que depende una especie para su alimentación, protección y reproducción, puede significar para esa especie animal adaptarse a las nuevas condiciones o desaparecer.

Al mismo tiempo, la edificación y funcionamiento de las viviendas ocasiona un impacto negativo sobre la fauna debido a la pérdida de hábitat provocada por la eliminación de vegetación y la tala de árboles, afectando a todos los grupos de animales, principalmente a los de menor capacidad de desplazamiento – invertebrados, mamíferos pequeños, etc.–.

Si bien, los asentamientos humanos pueden ser los causantes de la emigración o la desaparición de ciertas especies animales, también pueden favorecer la proliferación de algunas otras (animales domésticos, roedores, cucarachas, etc.), lo cual también se traduce en un desequilibrio ecológico.

1.3 Sistema de administración ambiental

La idea de definir una vivienda como un sistema ambiental es el de establecer las medidas necesarias para su administración; en este caso, tendiente a minimizar su impacto sobre el ambiente.

Un sistema de administración ambiental, en términos generales, se define a partir de una serie de pasos; el primero y fundamental, es la clara identificación del sistema. El segundo, es la enunciación de la política del sistema, es decir, el fin último que se pretende alcanzar a través del planteamiento de un sistema de gestión de esta naturaleza.

El tercer paso es la identificación de las alternativas o áreas de oportunidad (con sus respectivos objetivos y metas) que son posibles explotar para cumplir con la política del sistema. El cuarto paso, es la determinación de las acciones que es necesario llevar a cabo para alcanzar los objetivos y metas planteados para cada área de oportunidad. Para finalizar, debe seleccionarse una serie de indicadores que permitan evaluar el desempeño del sistema administrado.

Los pasos que deben plantearse de la concepción de un sistema de administración ambiental para una vivienda, para efectos de esta tesis, son:

- a) La determinación de la política del sistema, que para una vivienda es:

“Vivir y minimizar el impacto ambiental”.

- b) La identificación de las áreas de oportunidad, que en este contexto, son el resultado del análisis de las actividades que generan daños al entorno desde el punto de vista ambiental:

- i) ahorro y aprovechamiento de energía
 - ii) tratamiento de aguas residuales domésticas
 - iii) minimización de residuos sólidos
- c) La determinación de las acciones que deben tomarse para aprovechar estas oportunidades. En este trabajo, corresponderían a los diferentes dispositivos y recomendaciones tratados en el capítulo 2.
- d) La definición de indicadores específicos no se ha planteado como un tema particular de este trabajo, debiendo sólo mencionarse que la aplicación de las tecnologías propuestas es en sí misma el correcto cumplimiento del sistema de administración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 2

Casas ecológicas

Para efectos de este trabajo se considerará una casa ecológica, como aquella en donde el uso de la energía, tanto eléctrica como térmica, y de los recursos naturales se realiza de manera *razonable*, evitando su desperdicio y procurando la reutilización de los residuos y desperdicios producidos por el ser humano y la minimización de las emisiones contaminantes.

La idea central en el concepto de casa ecológica es la reducción del impacto al ambiente generado por la construcción y las actividades propias de la vivienda, contribuyendo con ello al bienestar tanto de sus ocupantes como de su entorno.

Para llevar a la práctica dicho concepto, es necesario identificar las tecnologías disponibles para optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales y energéticos, identificando las áreas de oportunidad donde pueda reducirse el efecto ambiental.

Por las razones expuestas en el capítulo uno, las tres áreas de oportunidad que se abordarán son:

- a) ahorro y aprovechamiento de energía.
- b) ahorro y tratamiento de agua.
- c) aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos.

El objetivo principal de este capítulo es describir las diferentes técnicas (módulos) existentes para la concepción y diseño de casas ecológicas que permitan explotar las áreas de oportunidad antes mencionadas (la principal fuente de información para este capítulo es el trabajo del Arq. *Armando Deffis Caso, 1994*).

2.1 Ahorro y aprovechamiento de energía

Las formas alternas de energía incluidas en el siguiente análisis, como posibles fuentes de energía para una casa ecológica son la energía solar, la energía eólica y la contenida en el gas producto de la degradación biológica de la materia orgánica (biogás).

2.1.1 Energía solar

La superficie de la Tierra recibe en un año el equivalente a 50,000 veces el consumo de energía eléctrica en todo el mundo durante los próximos 50 años; o dicho de otra forma, la cantidad de energía solar que recibe una superficie de 100 m² durante 8 horas es equivalente a la energía calorífica que se obtiene al quemar 65 litros de gasolina. Sin embargo, el sol es el recurso energético menos aprovechado a pesar de que constituye una fuente inagotable, gratuita y de bajo impacto ambiental.

Las principales aplicaciones de la energía solar en las casas ecológicas son: el diseño bioclimático, el calentamiento de agua para uso doméstico y la generación de energía eléctrica.

2.1.1.1 Diseño bioclimático

El propósito del diseño bioclimático es lograr una arquitectura que por sí misma, facilite el control de la temperatura interna de una casa o edificio y asegure la iluminación, y por ende, el confort térmico del hombre.

El diseño bioclimático tiene como objetivo balancear térmicamente los espacios de los que se compone una edificación a través de:

- la correcta orientación de la vivienda y
- la adecuada selección de los materiales de construcción de acuerdo con el clima del lugar.

Para el diseño bioclimático deben considerarse principalmente: la ganancia de calor; la orientación y asoleamiento; y los materiales de construcción.

Ganancia de calor. Existen dos tipos principales:

- Ganancia directa: es aquella que se obtiene mediante la incidencia directa de la radiación solar y depende en gran medida de la orientación.
- Ganancia indirecta: es la que se obtiene de los cuerpos calientes (los muros y el techo calentados por el sol transmiten calor al interior de la construcción).

Las ganancias directa e indirecta son las responsables de la comodidad bioclimática de las viviendas.

Orientación y asoleamiento (referidos al hemisferio norte). En términos generales, la orientación es el elemento más importante en la climatización de un edificio, ya que de ésta dependerá la ganancia térmica directa y de los muros.

En una vivienda bien orientada, la fachada sur tiene asoleamiento durante todo el día en invierno (ver figura 2.1); sin embargo, mediante aleros se puede controlar fácilmente la penetración solar. Las fachadas oriente y poniente tienen asoleamiento profundo, difícil de controlar mediante aleros y requiere de elementos adicionales como celosías o quebrasoles para evitar la insolación directa en climas cálidos.

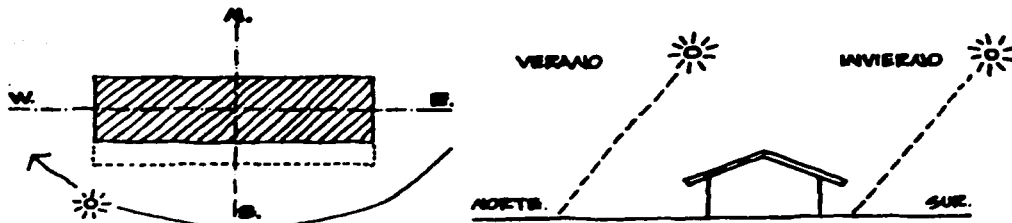


Fig 2.1 Trayectoria aparente del Sol e influencia en el asoleamiento de las fachadas sur y norte

Materiales de Construcción. Los muros y el techo de una construcción son elementos que ganan y almacenan calor. Además de su espesor, forma y orientación, el tipo de material incide sobre la posible ganancia de calor.

Los diferentes materiales de construcción permiten evitar o retardar las ganancias o pérdidas de calor dependiendo de su conductividad térmica y el espesor del muro o techo (ver tabla comparativa 2.1).

Tabla 2.1 Conductividad térmica de algunos materiales

MATERIAL	Densidad [kg/m ³]	Conductividad térmica [W/mK] ¹
Concreto	2400	2.100
Tabique	1200	0.500
Yeso	700	0.260
Adobe	-	0.900
Madera	800	0.200
Poliestireno ²	15	0.041

¹ Conductividad Térmica: Propiedad de los materiales de transmitir el calor intermolecularmente.

² Espuma de poliestireno

Fuente: Deffis, 1994

2.1.1.2 Calentamiento de agua para uso doméstico

Se basa en la implantación de paneles colectores que convierten la radiación solar en energía térmica mediante el calentamiento de un fluido.

Básicamente existen dos tipos de colectores solares: planos y de enfoque o parabólicos (ver figuras 2.2 y 2.3); los planos a su vez se dividen en dos grandes grupos, los que tienen integrado un termotanque de almacenamiento, y los que tienen colector y termotanque por separado.

Los colectores solares planos se colocan generalmente fijos en las azoteas de las casas o edificios, deben orientarse hacia el sur y tener una inclinación 10° mayor

que la latitud del lugar* de instalación con el fin de captar la radiación solar directa y difusa, logrando calentar el agua hasta una temperatura de 70°C.

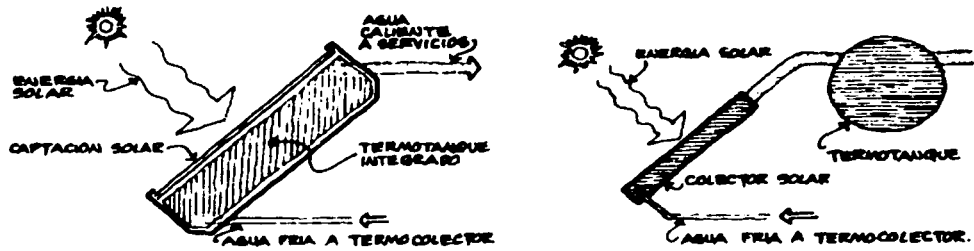


Fig 2.2 Colectores solares planos

Los colectores parabólicos reciben la radiación solar en una superficie curva, para concentrarla sobre un área en el foco de ésta (ver figura 2.3). Existen diseños muy variados de estos colectores, pero siempre requieren de algún mecanismo para seguir la trayectoria del sol; las temperaturas que llegan a alcanzar son hasta de 2000°C cuando logran concentrar 1000 veces la energía en el foco de la superficie de captación.

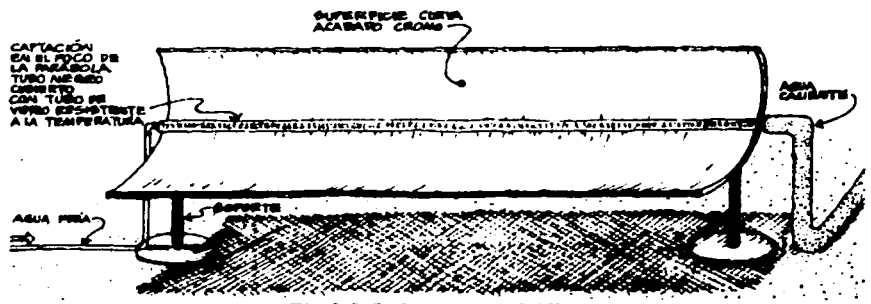


Fig 2.3 Colector parabólico

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

El dispositivo más comúnmente utilizado en casas ecológicas para calentar el agua doméstica consta de algún tipo de colector plano (ver figura 2.4) y un terrmotanque. Los colectores se colocan dentro de un bastidor aislado térmicamente por la parte inferior, con una cubierta de cristal o acrílico en la cara expuesta al sol (ver figura 2.5). En el interior se coloca el colector (absorbedor) en forma de serpiente hecho de tubos de cobre y con aletas de lámina del mismo material soldadas a los tubos y pintadas de color negro mate para mayor captación solar (ver figura 2.4).

Este sistema también debe contar con un depósito separado, llamado tanque térmico, donde se almacena el agua caliente; su posición debe permitir que se

* En el apéndice A se muestran las latitudes de diferentes ciudades de la República Mexicana.

llene por gravedad, por consiguiente debe colocarse por lo menos a 30 cm sobre el nivel superior de los colectores. Cuando esto no es posible y el termostanque debe quedar por debajo del nivel de los colectores, deberá instalarse una bomba con un termostato para forzar la circulación del agua a través de los colectores (figura 2.6).

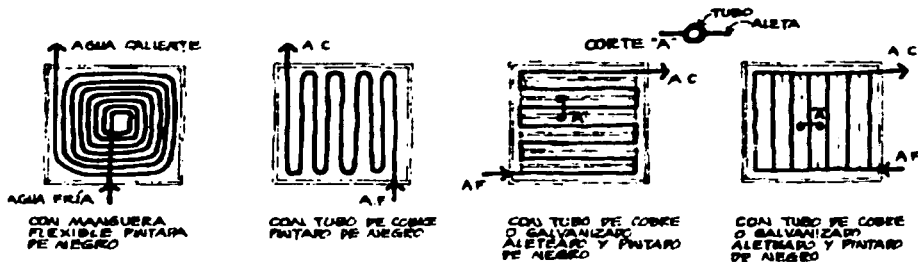


Fig 2.4 Tipos de colectores planos

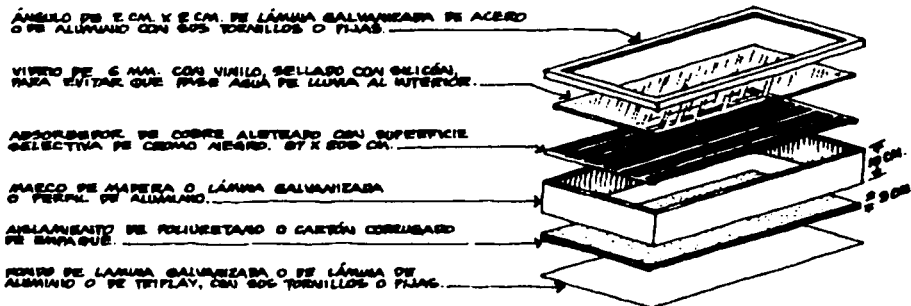


Fig 2.5 Partes de un colector solar doméstico

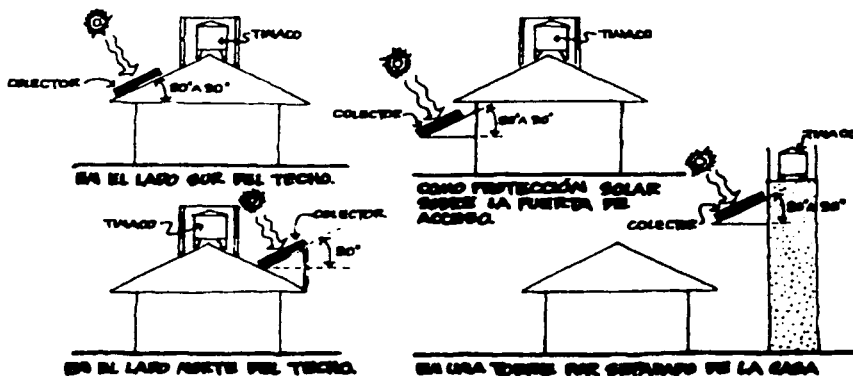


Fig 2.6 Colocación de colectores solares

TESIS CON
FONDO DE ORIGEN

El colector, el termotanque y la tubería que los une deben estar aislados térmicamente para evitar pérdidas de calor y que el agua se conserve caliente hasta el momento de ser usada.

Los días nublados hacen imposible aprovechar la energía solar, por lo tanto, la instalación de calentadores solares deberá hacerse en serie con el calentador doméstico de gas (figura 2.7), para que este último funcione durante los días de baja insolación.

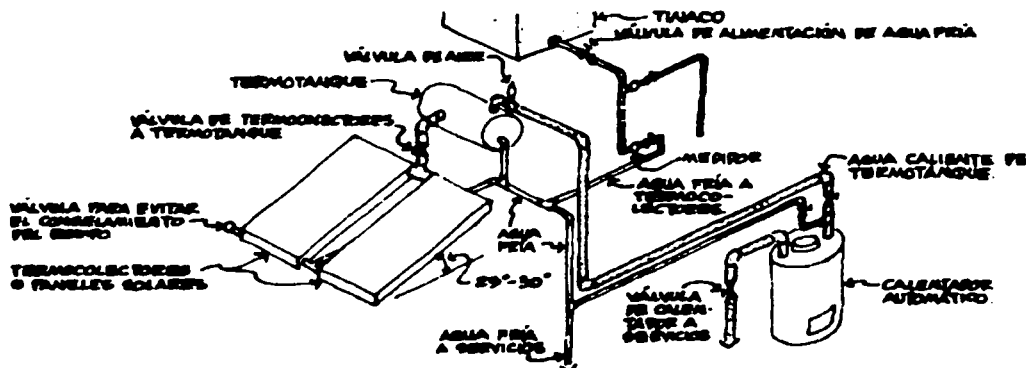


Fig 2.7 Instalación del sistema para calentamiento de agua

2.1.1.3 Generación de energía eléctrica con sistemas de fotocelda

La energía eléctrica puede generarse directamente a partir de la energía solar, convirtiendo la luz solar en electricidad a través de celdas fotovoltaicas, cuyo principal componente es un sólido con propiedades *semiconductoras*.

Al incidir la radiación solar sobre una celda fotovoltaica, los electrones del semiconductor (material de átomos monocristalinos) se desplazan de su posición fija o banda de valencia y se crea una corriente cuando los pares de electrones y espacios que actúan como cargas positivas se separan por un voltaje intrínseco en el material de la celda. El control de este voltaje ha hecho posible la electrónica de los semiconductores.

El diseño básico de un sistema fotovoltaico doméstico consiste en una conexión de celdas fotovoltaicas, en serie y en paralelo, formando un panel para la generación de energía eléctrica. Estos paneles son llamados generadores fotovoltaicos o baterías solares y son altamente resistentes a la degradación gracias a un sistema de metalización anticorrosivo de alta tolerancia a la humedad y al aire. Además, están protegidos por capas interpuestas de vidrio templado, encapsulante polimérico, una barrera climática de poliéster, una lámina metálica y una superficie de reverso de resina sumamente resistente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Célula solar fotovoltaica. Cada unidad que integra el panel fotovoltaico es una pequeña placa de silicio de 4 a 5 milímetros de espesor y aproximadamente 10 centímetros por lado. El silicio es un metaloide extraído de la sílice capaz de transformar la luz solar (luz visible) en energía eléctrica.

Por lo general los paneles contienen 34 ó 36 unidades monocristalinas o policristalinas de silicio conectadas en serie entre sí, formando cuatro hileras doblemente interconectadas para reducir al máximo las fallas eléctricas. Actualmente, el fabricante coloca los grupos ya armados de células en un marco de aluminio anodizado que proporciona soporte y estructura, alta resistencia a todo tipo de ambientes y facilidad de acoplamiento con otros paneles (figura 2.8).

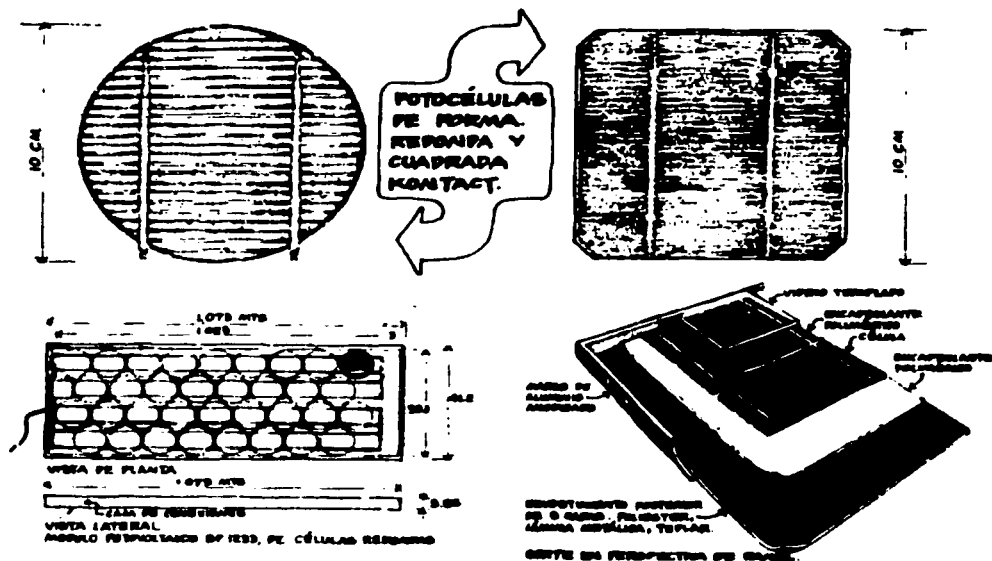


Fig 2.8 Célula solar fotovoltaica

Accesorios para una instalación fotovoltaica. En la figura 2.9 se muestra el arreglo general de un sistema fotovoltaico doméstico, y en la figura 2.10, la conexión de los siguientes accesorios:

Módulo(s) fotovoltaico(s): deben colocarse orientados al sur para aprovechar al máximo la radiación solar. El ángulo de inclinación está en función de la horizontal y deberá coincidir con el de la latitud del lugar* donde se instala, con una variación máxima de 10°.

Regulador: su función es evitar la sobrecarga de la batería.

* En el apéndice A se muestran las latitudes de diferentes ciudades de la República Mexicana.

Interruptor: evita descargas profundas de la batería y desactiva la conexión antes de alcanzar valores críticos que la dañen.

Batería: la corriente producida por los paneles se almacena en baterías, las cuales deberán colocarse en un lugar ventilado y protegidas de cambios bruscos de temperatura e inclemencias del tiempo.

Inversor: permite convertir la corriente directa almacenada en las baterías a corriente alterna, utilizada por la mayoría de los aparatos domésticos.

Cables: para conectar los módulos entre sí se colocan cables a las terminales eléctricas que se encuentran en la parte posterior de cada panel. El tendido de los cables debe ser lo más corto posible para reducir las pérdidas por caída de tensión y su sección transversal deberá estar en función de la longitud (tabla 2.2).

Tabla 2.2 Sección transversal de los cables a utilizar

Longitud (m)		5	10	15	20	25	30	35	40
Sección (mm ²)	Armado a 12 V	4	10	10	16	16	25	25	35
	Armado a 24 V	25	4	6	10	10	10	16	16

Fuente: Defis, 1994

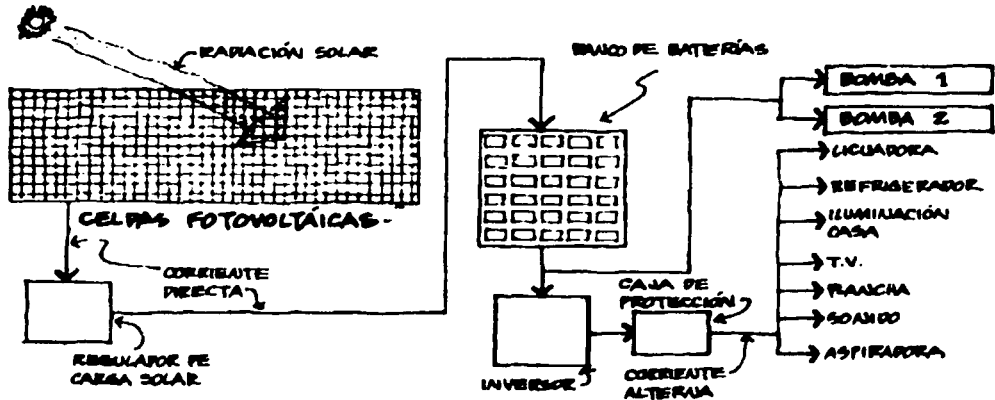


Fig 2.9 Arreglo doméstico de un sistema fotovoltaico

El rendimiento de un panel fotovoltaico depende de la intensidad de la radiación luminosa y de la temperatura de las células solares. La intensidad de la corriente que genera el panel aumenta con la radiación, permaneciendo el voltaje aproximadamente constante. El aumento de temperatura en las células supone un incremento en la corriente, pero al mismo tiempo una disminución de la tensión. En otras palabras, la potencia del panel disminuye al aumentar la temperatura de trabajo (una radiación de 1000 W/m² es capaz de calentar un panel unos 30

TESIS CON
TALLA DE ORO

grados por encima de la temperatura del aire circundante, lo que reduce la tensión en 2.16 V y por tanto, la potencia en un 15%), por ello es importante colocar los paneles en un lugar en el que estén bien aireados.

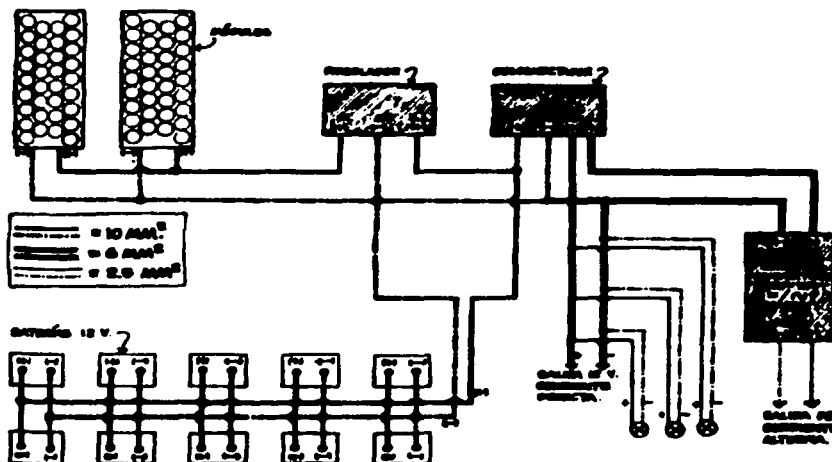


Fig 2.10 Componentes de un sistema fotovoltaico

2.1.2 Energía eólica

La fuente de esta energía es el viento, o mejor dicho, la energía mecánica que puede obtenerse a partir de la energía cinética que contiene el aire en movimiento. Se denomina *viento* al desplazamiento horizontal del aire, y es originado por el calentamiento desigual de la superficie del planeta que da lugar a movimientos convectivos de la masa atmosférica y a la diferencia de presión que existe en diferentes latitudes. El aire se desplaza siempre de zonas de mayor presión y temperatura a puntos más fríos o con menor presión atmosférica.

Se ha calculado que aproximadamente el 2% de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica y que un 35% de ésta se disipa en la zona inferior de la atmósfera, de tan sólo 1 km de espesor. Si se considera que no es posible utilizar más del 10% de la energía eólica disponible a nivel del suelo, entonces, el potencial energético por energía eólica es de 1.3×10^{11} kW, es decir, 20 veces más que el consumo mundial actual (Jarabo, 2000).

El viento se caracteriza por su velocidad y dirección, los cuales se miden con anemómetros y veletas, respectivamente. La energía del viento que puede ser aprovechada depende de su velocidad, la densidad del aire y el diámetro del rotor del aerogenerador, el cual transforma la energía cinética contenida en el viento en energía eléctrica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Aerogeneradores. Una máquina eólica es cualquier dispositivo accionado por el viento; cuando se utiliza para producir energía eléctrica, se conoce como aerogenerador. La caracterización de un aerogenerador se realiza según los parámetros que se definen a continuación:

- a) *Velocidad de arranque:* velocidad mínima del viento que hace girar el aerogenerador.
- b) *Velocidad de conexión:* velocidad mínima del viento a partir de la cual la máquina genera potencia.
- c) *Velocidad nominal:* velocidad mínima del viento que permite generar la potencia para la cual fue diseñado el equipo.
- d) *Velocidad de paro automático:* velocidad máxima del viento que puede soportar la máquina generando potencia sin dañarse.
- e) *Área de captación:* superficie de las paletas expuesta perpendicularmente al viento.

Un aerogenerador está compuesto por los sistemas de captación, orientación, transmisión, conversión, regulación y control, y sustentación.

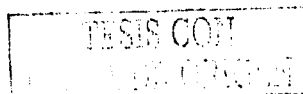
- a) *Sistema de captación (rotor):* transforma la energía cinética del aire en energía mecánica. El rotor del sistema de captación puede ser de eje horizontal o vertical (ver figuras 2.11 y 2.12), y recupera, como máximo teórico, el 60% de la energía cinética del viento que lo acciona. Las características de un rotor son:

Velocidad típica (o coeficiente de velocidad, X): se define como la relación entre la velocidad de la punta de la pala y la velocidad del viento; este parámetro adimensional permite clasificar los rotores en lentos ($X \approx 1$) o rápidos (X de 5 a 8).

Solidez: se define como la relación entre la superficie proyectada por las palas y la superficie descrita por las mismas en su movimiento de rotación; este parámetro permite comparar diferentes tipos de rotores desde el punto de vista de la sencillez del diseño.

Rendimiento aerodinámico (o coeficiente de potencia, η_p): expresa la parte de la energía del viento que se transforma en energía mecánica en el eje del rotor.

- b) *Sistema de orientación:* hace que la turbina eólica se mantenga siempre con su plano perpendicular al viento. Prácticamente todos los aerogeneradores de eje horizontal precisan de este sistema a diferencia de los de eje vertical. Los equipos eólicos de eje horizontal están sometidos a grandes esfuerzos durante los cambios de velocidad y dirección del viento, razón por la cual el sistema de orientación deberá mantener el rotor "de cara" al viento sin provocar cambios bruscos de dirección.



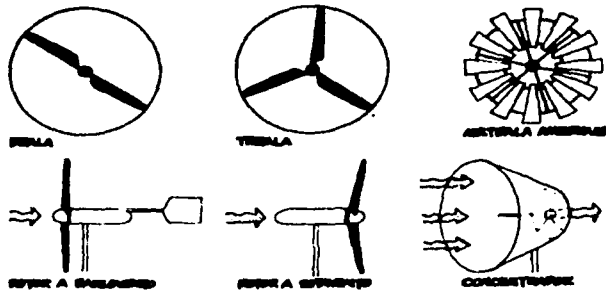


Fig 2.11 Rotores eólicos de eje horizontal

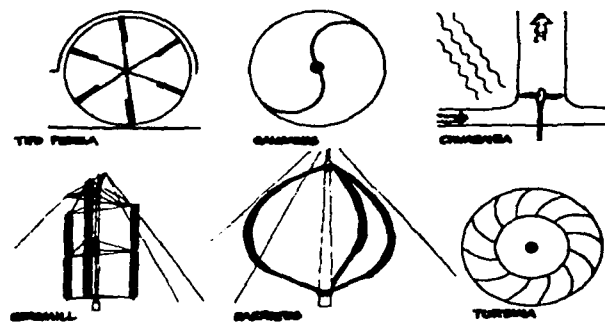


Fig 2.12 Rotores eólicos de eje vertical

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Para los aerogeneradores de baja potencia (menos de 50 kW), el dispositivo de orientación más adecuado suele ser una cola (ver figura 2.13), que actúa como veleta y tiende a devolver al rotor a su posición original ante cualquier alteración de la posición de equilibrio.

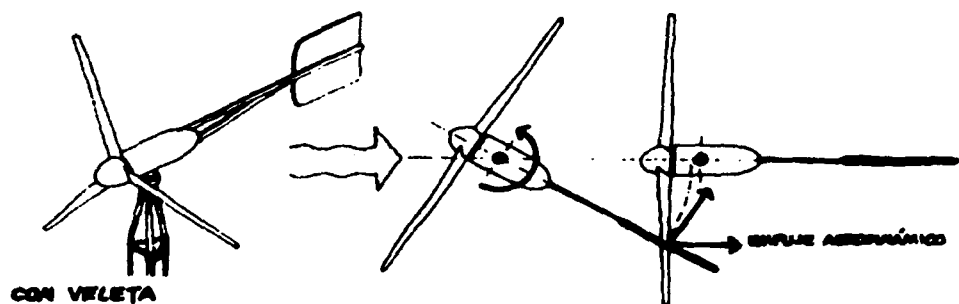


Fig 2.13 Sistema de orientación por cola

Otro dispositivo que también se utiliza en los equipos de baja potencia es el sistema de rotores auxiliares (ver figura 2.14), que consiste en colocar dos pequeñas hélices tras el rotor y en dirección perpendicular al mismo. El viento sólo actúa sobre las hélices cuando el rotor no está orientado correctamente; la rotación producida de esta manera actúa sobre un mecanismo que mueve el sistema de captación hasta orientarlo nuevamente.

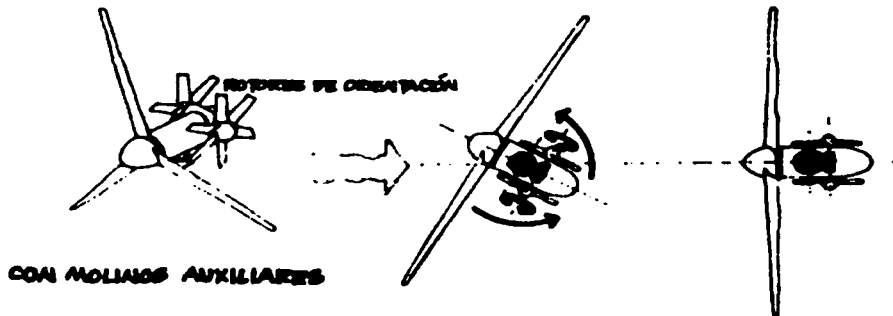


Fig 2.14 Sistema de orientación con rotores auxiliares

- c) *Sistema de transmisión:* transmite la potencia en el eje de la turbina eólica hasta el subsistema de conversión. En el caso de los aerogeneradores, el sistema de transmisión intercala un multiplicador de engranajes, que permite aumentar la velocidad de giro lo suficiente como para accionar directamente un generador de corriente eléctrica.

El sistema en general, consta de un eje primario acoplado directamente al eje de rotación del captador, que a través del multiplicador, transmite la potencia al eje del generador.

- d) *Sistema de conversión:* efectúa un trabajo útil a partir de la energía captada por la turbina. Los generadores que transforman la energía mecánica en eléctrica pueden ser dinamos o alternadores. El dinamo es una máquina eléctrica sencilla que produce corriente continua; requiere un colector con escobillas que se desgastan con el uso y por tanto, precisa de mantenimiento periódico. Los alternadores se diferencian de los dinamos principalmente en que producen corriente alterna y no requieren escobillas, por lo que no necesitan mantenimiento especial.
- e) *Sistema de regulación y control:* regula la velocidad de funcionamiento y permite parar y arrancar la máquina a voluntad.
- f) *Sistema de sustentación:* es un soporte capaz de tolerar el empuje del viento que transita el sistema de captación y las eventuales vibraciones. Debe tener una altura suficiente para evitar que las turbulencias debidas al suelo

afecten al aerogenerador y superar los posibles obstáculos cercanos que puedan perturbar el flujo de aire.

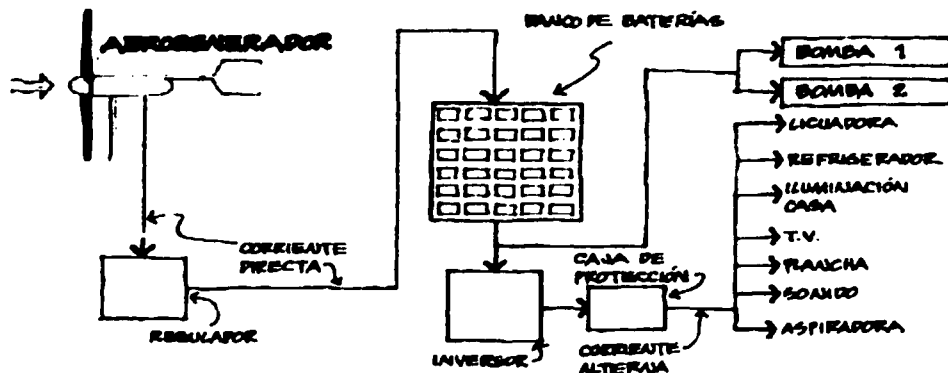


Fig 2.15 Arreglo doméstico de un sistema eólico

2.1.3 Energía del biogás

El biogás es un gas cuyos principales componentes son el metano y el bióxido de carbono (tabla 2.3), que se produce como resultado de la descomposición anaerobia de la materia orgánica provocada por microorganismos. El metano es un gas combustible y principal componente del gas natural.

En forma natural existe una gran variedad de residuos orgánicos que pueden producir biogás, tales como desechos de animales, residuos agrícolas y vegetales (hojas, paja, pasto, etc), además de desperdicios domésticos y excremento humano.

Tabla 2.3 Composición típica de biogás

Componente	Porcentaje (%)
Metano (CH ₄)	54-70
Bióxido de Carbono (CO ₂)	24-47
Hidrógeno (H ₂)	1-10
Nitrógeno (N ₂)	0.5-3
Ácido Sulfhídrico (H ₂ S)	0.1

Fuente: Deffis, 1994

El biogás, por su alto contenido de metano y capacidad calorífica (tabla 2.4), es una magnífica fuente de energía que puede utilizarse para generar calor o energía eléctrica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 2.4 Comparación del biogás con otros combustibles fósiles

Combustible	Energía calorífica	Cantidad equivalente a 1000 m ³ de biogás
Biogás	5,335 kCal/m ³	1,000 m ³
Gas Natural	9,185 kCal/m ³	581 m ³
Metano	8,847 kCal/m ³	603 m ³
Propano	22,052 kCal/m ³	242 m ³
Butano	28,588 kCal/m ³	187 m ³
Carbón	6,870 kCal/kg	776 kg
Petróleo	11,357 kCal/kg	553 litros
Combustóleo	10,138 kCal/kg	528 litros

Fuente: Deffis, 1994

Diseño de una planta de biogás. Para convertir la materia orgánica en biogás es necesario disponer de una instalación que permita realizar la descomposición anaerobia de la misma. El diseño de una planta de esta naturaleza depende de la cantidad y tipo de desechos de que se disponga, de las condiciones climáticas, y de los materiales de construcción del sitio.

La primera condición es que se disponga de una cantidad mínima de desechos que permita producir el biogás en cantidad suficiente para cubrir los requerimientos de una vivienda. Las tablas 2.5 y 2.6 proporcionan información sobre la cantidad de biogás que puede ser obtenida a partir de diferentes materiales orgánicos, mientras que la tabla 2.7, corresponde al consumo de biogás por diferentes equipos domésticos.

Tabla 2.5 Producción de biogás a partir de estiércol

Animal	Estiércol producido (kg/día)	Biogás producido por kilogramo de estiércol (m ³ /kg)
Vaca	10.00	0.036
Cerdo (50kg)	2.25	0.078
Gallina (2kg)	0.18	0.062
Residuos Humanos	0.40	0.070

Fuente: Khandelwal y Mahdi, 1993

Tabla 2.6 Producción de biogás a partir de materia orgánica

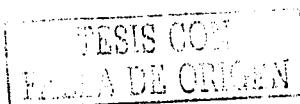
Materia orgánica (ton/a)	Biogás producido por kilogramo de materia orgánica (m ³ /kg)
Desperdicios alimenticios	0.075
Restos vegetales	0.045
Paja de maíz	0.081
Paja en polvo	0.094

Fuente: Deffis, 1994

Tabla 2.7 Consumo de biogás en diferentes equipos

Equipo	Consumo de Biogás (m ³ /h)
Estufa (2 quemadores)	0.40-0.550
Lámpara	0.15-0.210
Refrigerador (1.8 ft ³)	0.05-0.063
Motor (por cada hp)	0.45-0.550

Fuente: Deffis, 1994



Para producir biogás existen diferentes tipos de digestores, pero uno de los más comúnmente utilizados es el que se muestra en la figura 2.16. Este digestor debe cargarse una vez al día. En la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas para posteriormente ser usado; de esta manera la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy baja, lo que facilita su salida. La presión de salida del gas es constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos que alimenta. En caso de requerir una presión mayor se quitan los contrapesos o se colocan sobre la campana. El volumen de esta campana deberá ser aproximadamente de un tercio del volumen del biogás generado al día.

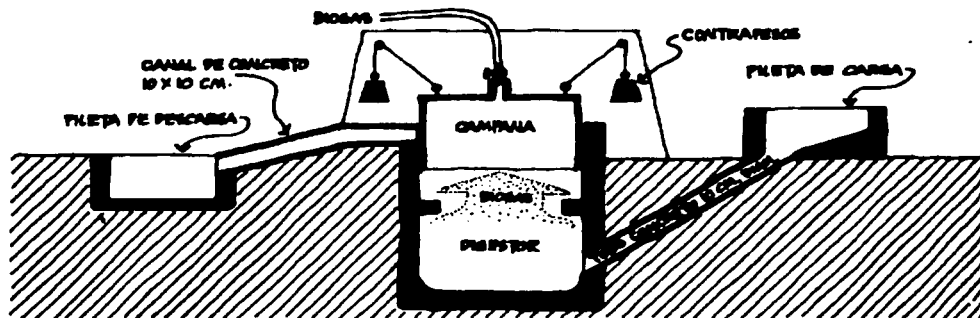


Fig 2.16 Planta para producción de biogás

De acuerdo a un informe del Instituto de Investigaciones Eléctricas (Deffis, 1994), sobre la operación de un digestor familiar, este tipo de dispositivos pueden producir diariamente hasta 14,069 litros de biogás a partir de estiércol de vaca (tabla 2.8), empleando agua caliente obtenida de calentadores solares para mantener la temperatura y humedad necesarias.

Tabla 2.8 Producción de biogás en un digestor de 10 m³

Tiempo de retención (días)	Carga diaria		Producción de biogás (litros/día)
	Estiércol (kg/día)	Agua (litros/día)	
10	444	556	14,069
15	297	370	9,540
30	148	185	7,256
42	106	132	6,886
45	99	123	4,295

Nota: La fuente no proporciona la temperatura que se utiliza en el proceso de producción de biogás. Fuente: Deffis, 1994

La utilización del biogás puede ser una alternativa viable para lugares aislados donde otros energéticos comerciales no llegan, además de que la degradación controlada de materia orgánica resuelve problemas de salud al transformar rápidamente los desechos que favorecen la proliferación de bacterias, larvas, roedores e insectos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.4 Ahorro de energía eléctrica

La concepción de una casa ecológica no implica autosuficiencia, en otras palabras, la energía eléctrica obtenida de fuentes naturales (energía eólica y solar) no siempre tiene que ser suficiente para cubrir las necesidades de la vivienda, razón por la cual se puede emplear electricidad proveniente del suministro público. Bajo este enfoque, es conveniente promover la disminución de la utilización de este servicio y para ello, la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (CONAE, 2002a) propone las siguientes medidas:

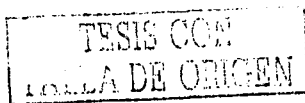
Disminución de la utilización de aparatos de alto consumo de energía. Los aparatos que más consumen energía se enlistan a continuación en orden decreciente según la energía que demandan:

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| 1. Aire acondicionado | 7. Computadora |
| 2. Refrigerador | 8. Televisión |
| 3 Lavadora | 9. Horno de microondas |
| 4 Secadora de ropa | 10. Tostador de pan |
| 5 Lavavajillas | 11. Aspiradora |
| 6 Plancha | 12. Licuadora |

Para el uso de estos aparatos se emiten las siguientes recomendaciones:

- Utilizar todos los aparatos de acuerdo con las recomendaciones de uso, mantenimiento y seguridad que aconseje el fabricante
- Revisar cuidadosamente aquellos aparatos que al conectarse producen chispas o calientan el cable.
- Apagar los aparatos que producen calor antes de terminar de usarlos para aprovechar el calor acumulado.
- Desconectar los aparatos desde la clavija, nunca jalar el cable.
- Evitar mantener encendidos innecesariamente televisores, videocassetas, equipos de sonido y todos aquellos aparatos que no se estén utilizando.

Sustitución de focos incandescentes por lámparas ahorradoras de energía. Comparados con los focos comunes y corrientes, el uso de las lámparas ahorradoras, cuesta mensualmente tan sólo la cuarta parte, duran diez veces más e iluminan de igual manera.



2.2 Ahorro y tratamiento de agua

En esta sección se analizan las alternativas existentes para la racionalización del uso de agua potable que llega al hogar, el aprovechamiento del agua de lluvia y la disposición del agua residual.

2.2.1 Ahorro de agua

Cuando una casa no ha sido construida con las conexiones de agua necesarias para el reaprovechamiento de la misma, es posible hacer uso de las siguientes alternativas.

Dispositivos ahorradores de agua. Son tapones que se insertan o se enroscan en las boquillas de las llaves del lavabo, fregadero o lavadero, y en el caso de la regadera, sustituyen las habituales (ver figura 2.17). Resultan económicos y ahorran agua al reducir el área de salida y provocar mayores velocidades de salida del líquido. Los dispositivos de PVC son sumamente sencillos ya que sólo cuentan con tres piezas básica y no requiere armarse ni adicionarse ningún implemento para su instalación.

Las boquillas con ranura en su interior cuentan con el conducto de salida de paredes parabólicas que obliga a que la descarga tenga mayor abertura en el abanico.

El brazo del dispositivo tienen en su parte media un ángulo interno de 135° para lograr que la caída de agua se presente en un espacio corto, tiene rosca en sus dos extremos para colocarlo en una tubería de 13 mm (1/2 pulgada) de diámetro por un lado, y por el otro atomillar un tapón ahorrador de regadera.

La regadera integrada al brazo, cuenta con rosca por un extremo y la boquilla con ranura por el otro. La ranura de la boquilla debe colocarse horizontalmente para obtener la caída de agua adecuada para cubrir las necesidades de una ducha.

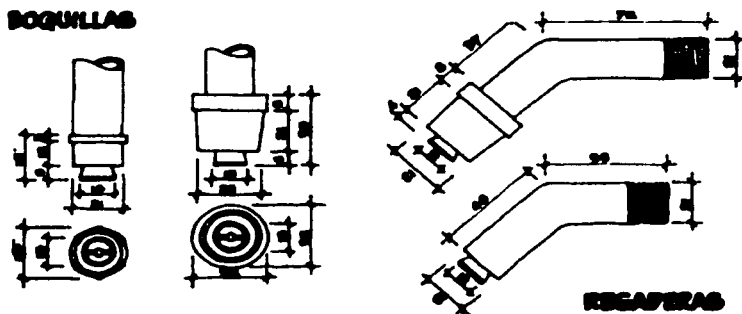


Fig 2.17 Boquillas y regaderas ahorradoras

Reductor de consumo hidráulico. Este reductor se coloca oculto en el interior de la instalación. Consta de un pequeño cilindro con un orificio en su interior, el diámetro del cilindro es el adecuado para ser introducido por la boca de las instalaciones hidráulicas convencionales, tubería de 19 mm (ver figura 2.18). El borde o ceja sirve de empaque. Para instalarlo únicamente se requiere retirar la regadera o llave convencional del lavabo, fregadero o lavatrastes, introducir el reductor y colocar nuevamente la regadera llave. Este reductor ahorra hasta 60% en regaderas y llaves tradicionales a una presión de 1.5 kg/cm², sin menoscabo de su servicio.

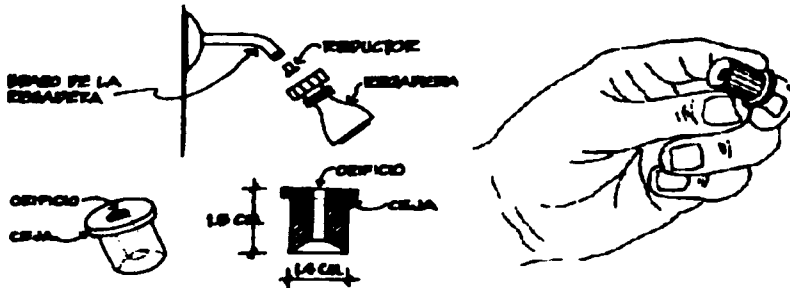


Fig 2.18 Reductor de consumo hidráulico

Regadera economizadora de plástico rígido y boquilla ahorradora. Fabricada en plástico rígido y acabado tipo cromado, ahorran hasta el 75% del gasto en regadera, lavabo y fregadero. La regadera también cuenta con una válvula de paso o interruptor de uso discontinuo para cortar el flujo de agua a voluntad (por ejemplo, al enjabonarse), y así obtener un ahorro extra (ver figura 2.19).

Esta regadera trabaja con alta y baja presión, transformando un pequeño chorro de agua en una aspersión. Se reduce la cantidad de agua, pero no se sacrifica la comodidad, ya que el sistema de flujo por aspersión brinda la presión y humectación adecuadas.

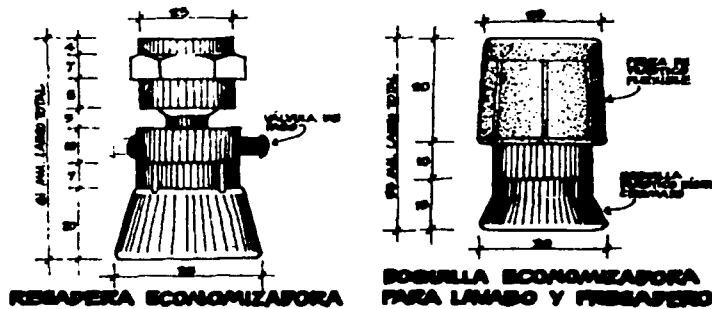


Fig 2.19 Regadera y boquilla economizadora para lavabo y fregadero

2.2.2 Captación y almacenamiento de agua pluvial

Los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia constan, por lo general, de un techo de teja que funciona como captador y que vierte el agua a un canalón de lámina galvanizada, que mediante tubería de PVC, transporta el agua a un sistema de filtrado (ver figura 2.20a), para finalmente llegar a un depósito de almacenamiento, complementando así el suministro municipal.

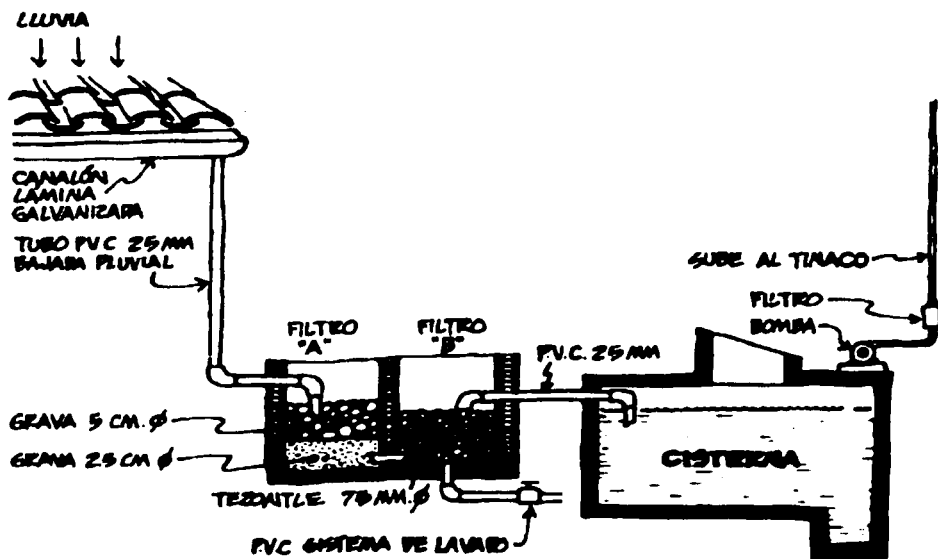


Fig 2.20a Sistema de captación y almacenamiento de agua

El depósito de almacenamiento puede ser una cisterna, un tanque superficial o una serie de tinacos conectados en serie (ver figura 2.20b). El sistema de filtrado consiste básicamente en uno o más filtros de arena que pueden ser colocados al interior, si el depósito de almacenamiento es una cisterna, o al exterior, si el depósito es externo. Un buen proceso de filtración elimina la mayoría de los sólidos y bacterias en suspensión, y es por tanto, de suma importancia en la depuración del agua. El método más común consiste en colar el agua a través de lechos de arena y grava de distintos tamaños, y ha sido empleado con éxito durante mucho tiempo; sin embargo, el filtrado no destruye los microorganismos, para hacerlo, se debe desinfectar el agua.

El filtro de arena consiste en una capa de arena apoyada en una de grava y tezontle y se construye de la siguiente manera:

1. Seleccionar un recipiente adecuado, que puede ser un tambo de lámina de 200 litros, un tanque construido con materiales de la región, etc.
2. Instalar la tubería de entrada y salida.
3. Tender en el fondo una capa de tezontle de 5 a 8 cm de espesor.
4. Colocar en seguida una capa de grava de 15 cm de espesor.
5. Sobre la grava, colocar una tela de mosquetero o de plástico de trama lo más cerrada posible.
6. Finalmente, colocar una capa de arena con un espesor de 25 cm.

En la figura 2.20 b se muestra un filtro de arena construido en un tambo. Para construir filtros subterráneos se sigue el mismo procedimiento mostrado, salvo que el recipiente es una cavidad en el terreno.

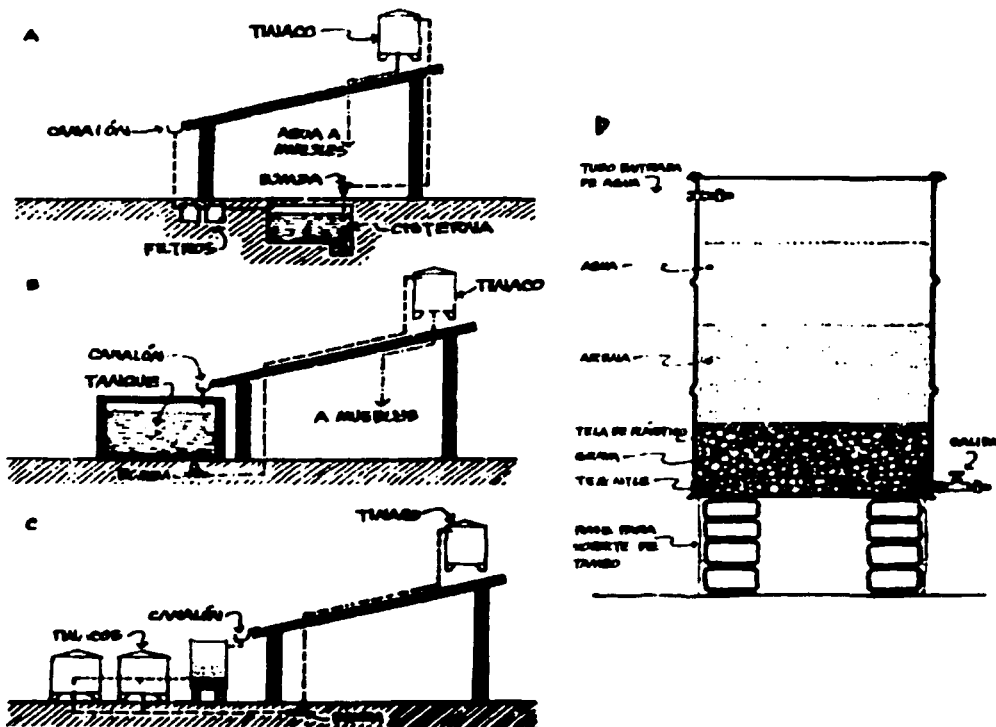


Fig 2.20b Diferentes arreglos para sistema de captación y almacenamiento de agua: (A) con cisterna y filtros subterráneos; (B) con tanque de almacenamiento superficial; (C) con tinacos conectados en serie y filtro externo. (D) Filtro de arena exterior.

2.2.3 Tratamiento de aguas residuales

Las aguas residuales municipales son una mezcla compleja que contiene agua (por lo general, más de 99%) y contaminantes orgánicos e inorgánicos, tanto en suspensión como disueltos. La concentración de estos contaminantes normalmente es muy pequeña y se expresa en mg/l (*Henry & Heinke, 1999*).

Cuando el agua residual contiene excretas humanas se conoce como *aguas negras*, mientras que las que contienen residuos provenientes de cocinas, lavabos, lavado de ropa, pisos, etc., se conocen como *aguas grises*. En esta sección se describirá un tratamiento para aguas negras y grises que se puede emplear en el diseño de casas ecológicas.

Humedales artificiales. El sistema de tratamiento por humedales consiste en el uso de terrenos inundados artificialmente -con aguas residuales provenientes de las actividades domésticas-, para la siembra de plantas acuáticas como jacintos y lentejas de agua; ésta vegetación proporciona superficie para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la aireación y controla el crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar (*Metcalf & Eddy, 1996*).

Este sistema (ver figura 2.21), aprovecha procesos físicos, químicos y biológicos naturales, y la interrelación del suelo, plantas y microorganismos con el fin de depurar el agua residual doméstica. Las características del terreno que se deben considerar para el diseño de humedales son: topografía, características del suelo y riesgo por inundación.

Topografía: el terreno idóneo para la instalación de un humedal es uniforme, plano o con una pequeña pendiente.

Características del suelo: los emplazamientos más indicados para la instalación de humedales son terrenos con suelos de permeabilidad lenta (menor a 5 mm/h).

Clima: el clima es el factor más importante en la selección de la vegetación utilizada en los humedales: los jacintos de agua son muy sensibles a bajas temperaturas (la mínima temperatura de agua residual que pueden soportar son 10° C); las lentejas de agua pueden crecer a temperaturas tan bajas como 7° C.

Para obtener mayor información de las características de los humedales, el tipo de vegetación y los parámetros de diseño, puede consultarse a *Metcalf & Eddy en su trabajo "Ingeniería de Aguas Residuales" (1996)*.

Para la operación de humedales en una casa ecológica es necesario que:

- a) Existan drenajes separados para aguas negras y aguas grises .

- b) Las descargas de aguas grises que provengan del lavadero, fregadero, lavabo y regadera se conduzcan directamente al humedal.
- c) El drenaje proveniente del excusado se conecte al drenaje municipal y al humedal, y exista una llave de paso para cerrar la tubería que se dirige a este último. El exceso de aguas negras que pudiera presentarse se debe descargar al drenaje municipal.
- d) El agua tratada en el humedal, puede ser usada para el riego de hortalizas o jardines que se tengan en la casa.

La instalación de humedales en casas ecológicas requieren que sus habitantes conozcan su funcionamiento y los cuidados que conlleva su utilización. Por ejemplo, es necesario evitar la descarga de sustancias como cloro y solventes a las aguas destinadas al humedal para no dañar a la vegetación existente; además, debe cerrarse la llave de paso del humedal en el caso de que las aguas negras se encuentren contaminadas con patógenos derivados de algún padecimiento gastrointestinal de los habitantes de la vivienda.

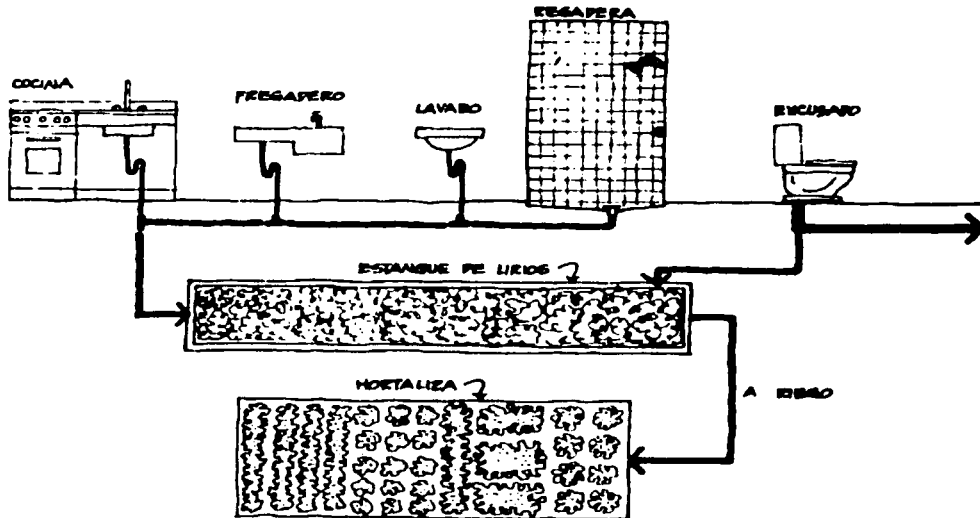


Fig 2.21 Sistema de humedales artificiales

2.3 Disposición de residuos sólidos

La mayoría de las actividades humanas convierten en residuos sólidos muchos de los materiales adquiridos inicialmente como satisfactores; el manejo y disposición de estos residuos es cada día más difícil por su volumen y composición.

En el contexto de una vivienda, estos residuos se conocen como residuos sólidos municipales (RSM), y su cantidad se relaciona directamente con el nivel de vida, la época del año, el clima y el tamaño de la población.

La disposición final es el principal problema planteado por la generación de residuos sólidos municipales; hasta ahora, la utilización de tiraderos a cielo abierto y rellenos sanitarios han sido las únicas "soluciones" para éste problema; sin embargo, el elevado aumento de la población y en consecuencia el de residuos sólidos, han hecho de estas alternativas un medio poco práctico y de alto impacto al ambiente.

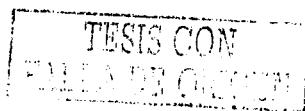
Los habitantes de una vivienda pueden ayudar a disminuir este problema generando la menor cantidad de residuos sólidos posible, lo que puede lograrse mediante el reciclaje, la reutilización y el aprovechamiento de éstos.

Por reciclaje se entiende el reproceso de algunos residuos para la creación de nuevos productos; por reutilización, volver a hacer uso de un producto para el mismo fin para el que originalmente se creó y por aprovechar, emplear alguna de las características físicas o químicas del artículo desechado para otro fin, distinto al concebido en un inicio. Un requisito para llevar a la práctica cualquiera de estos procedimientos es realizar la separación de los residuos dentro de la vivienda.

Para separar los residuos sólidos, se recomienda utilizar 6 botes, generalmente de plástico rígido con tapa, con capacidad suficiente para almacenar al menos la cantidad de residuos producidos en una semana. Cada uno de los botes debe estar rotulado y en ellos se debe depositar lo siguiente:

- > *Materia orgánica*: restos de comida, hojarasca y madera.
- > *Papel y cartón*: papel reutilizado y envases de cartón.
- > *Plásticos*: envases y bolsas plásticas, de preferencia enjuagados previamente.
- > *Metales*: latas de aluminio y otros residuos metálicos.
- > *Vidrio*: botellas y envases de vidrio previamente enjuagados (no se debe depositar cristales o vidrios rotos).
- > *Otros*: cualquier residuo que no entre en ninguna de las clasificaciones anteriores.

Compostaje. Dentro de la casa, en el jardín o patio trasero, se pueden reciclar los residuos orgánicos y producir composta, abono para los jardines y huertas familiares. La composta contiene nitrógeno, fósforo y potasio, que son los tres micronutrientes que refuerzan a las plantas. Contiene también muchos minerales como zinc, cobre, magnesio y selenio, que son indispensables (en pequeñas cantidades) para la fertilidad de la tierra e inclusive para la salud del hombre. Sin embargo, lo más importante es que la composta contiene humus. La tierra rica en



humus es sumamente suave y fácil de labrar; cuando llueve, no se forman charcos ni se pone lodoso dado que la materia orgánica absorbe rápidamente el agua.

La composta se produce a partir de materia orgánica de origen vegetal y animal, tal como la que se muestra en la tabla 2.9:

Tabla 2.9 Material orgánico recomendable para elaborar composta

Materia vegetal	Materia animal
Hojas de árbol	Estiércol de ganado
Hierba	Aserrín de hueso
Aserrín	Plumas
Desperdicios de comida	Sangre (del rastro)
Pasto seco	Pelo

Fuente: Deffis, 1994

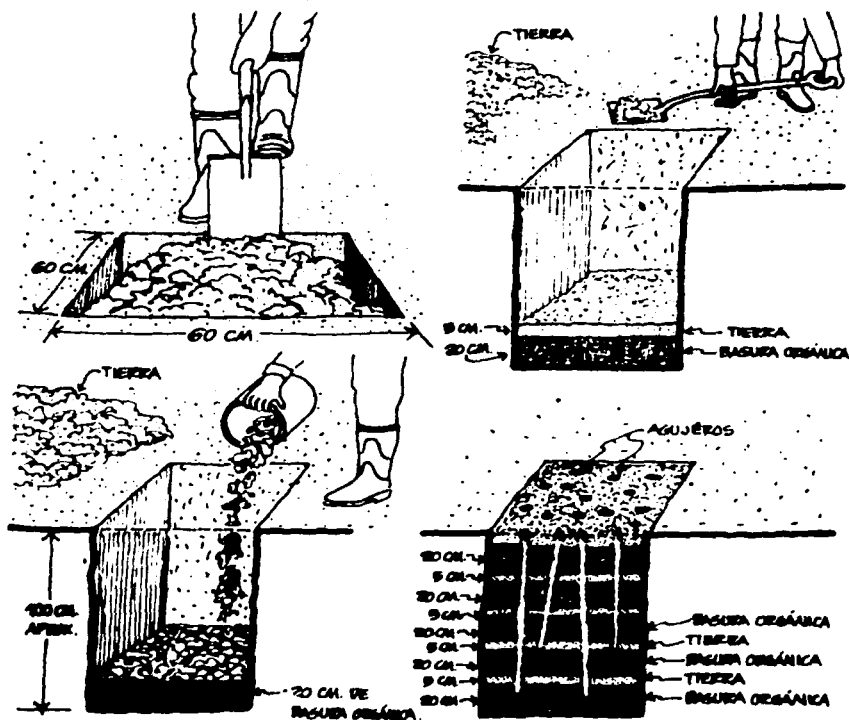


Fig 2.22 "Hoyo de composta"

TESIS COM
FALLA DE OREO

Para elaborar composta se puede seguir el siguiente procedimiento (ver figura 2.22), conocido como "Hoyo de composta":

1. Hacer un hoyo de 60X60 centímetros y 100 centímetros de profundidad.
2. Vaciar una capa de 20 centímetros de residuos orgánicos en el hoyo.
3. Tapar con una palada de tierra los residuos para evitar malos olores y proliferación de insectos.
4. Mantener húmedo, pero no mojado, el hoyo de composta.
5. Hacer agujeros en la composta de vez en cuando para facilitar la entrada de aire.
6. En aproximadamente cuatro meses vaciar el hoyo, apartando los primeros veinte centímetros de composta para ser utilizados como capa inicial en el siguiente proceso de fabricación.
7. La composta producida puede ser usada como fertilizante en jardín o huerto de la vivienda, o comercializarse.

Si no se cuenta con terreno suficiente para hacer el hoyo de composta, se puede adaptar un tambo, como se muestra en la figura 2.23:

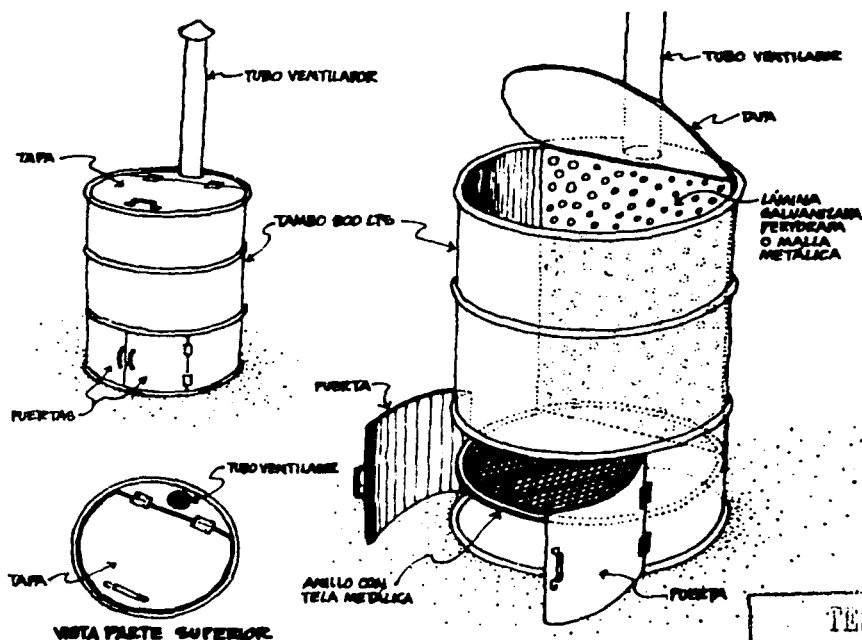


Fig 2.23 Tambo para la elaboración de composta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 3

Módulos ecológicos

Para propósitos de este trabajo se definirá como *módulo ecológico* aquella recomendación, dispositivo o sistema que tiene la finalidad de disminuir el impacto ambiental generado por las actividades propias de una vivienda. Los módulos que se abordarán para cubrir las tres áreas de oportunidad propuestas son:

Módulos para ahorro y aprovechamiento de energía:

- Calentador solar de agua.
- Sistema de fotocelda para producción de energía eléctrica.
- Sistema de aerogeneradores para producción de energía eléctrica.
- Digestor anaerobio para producción de biogás.
- Dispositivos y recomendaciones para ahorro de energía eléctrica.

Módulos para ahorro y tratamiento de agua:

- Humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales.
- Dispositivos ahorradores de agua.
- Sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia.

Módulo para aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos:

- Separación de residuos sólidos y compostaje.

La eficiente instalación, implantación y funcionamiento de estos módulos depende directamente de una serie de factores físicos, climáticos, económicos y sociales de la región en cuestión. El objetivo principal de este capítulo es describir los requerimientos mínimos necesarios de cada módulo mencionado, de tal manera que se asegure su adecuado funcionamiento.

3.1 Bases de cálculo

La selección y diseño de los dispositivos o sistemas para los módulos ecológicos, requiere del planteamiento de ciertas consideraciones, relacionadas con las necesidades de los habitantes de la vivienda, que son la base del cálculo de la capacidad y costo de los equipos propuestos.

a) Consideraciones generales

- *Habitantes por vivienda:* Esta es la primera y más importante de las consideraciones, porque los cálculos para todos los módulos se realizarán para cubrir las necesidades de este número específico de habitantes. El rango en la República Mexicana oscila entre 3.99 y 5.03 (INEGI, 2000); para efectos de este trabajo, los cálculos para los diferentes módulos ecológicos se realizarán considerando **5 habitantes por vivienda**, ya que si bien son pocos los Estados que tienen como promedio este número o más, la mayoría tienen una media superior a 4.5.

- **Producción de residuos sólidos:** En promedio en México se producen diariamente 1.33 kg/hab (SEDESOL, 2000).
- **Consumo de gas:** El consumo aproximado de gas por persona es de 0.48 m³/día (FAO, 1992).
- **Producción de excretas:** Se estima que en promedio una persona produce 120 g de excretas al día (Metcalf y Eddy, 1996).
- **Consumo de agua:** El consumo promedio de agua per cápita en México es de 278 l/día para un poblado urbano y de 100 l/día para uno rural (CEPIS, 2002). Las normas de aprovisionamiento de agua potable mexicanas (Facultad de Ingeniería, 1979), recomiendan 100 l/hab/día para poblaciones menores a 15 mil habitantes ubicadas en clima frío.
- **Generación de aguas residuales:** La generación típica de aguas residuales por persona asciende, en promedio, a 210 l/día (Metcalf y Eddy, 1996).

b) Consideraciones para módulos de ahorro y aprovechamiento de energía

- **Necesidad de agua caliente:** Los requerimientos de agua caliente para uso doméstico se han estimado en 50 litros por persona al día, a una temperatura aproximada de 50 °C (Montgomery, 1986).
- **Consumo de energía eléctrica:** El cálculo del consumo de energía eléctrica para una familia de cinco personas (tabla 3.1) se realizó considerando que la vivienda cuenta solamente con aparatos básicos.

Tabla 3.1 Estimación del consumo de energía eléctrica para una familia de 5 personas

Equipo	Potencia (W)	Horas de uso diario	Consumo diario (Wh/día)
Iluminación	180	5.0	900.0
Refrigerador	317	4.5	1441.0
TV	65	4.0	260.0
Plancha	900	0.5	450.0
Radio	100	1.0	100.0
Lavadora	395	0.5	197.5
Otros	100	1.0	100.0
Total	2057		3448.5

Nota: En la estimación del consumo de energía no se considera la utilización de aire acondicionado. Elaborada con datos de la CONAE, 2002b

c) Consideraciones para módulos de ahorro y tratamiento de agua

- **Composición de aguas residuales:** La composición típica de aguas residuales domésticas se presenta en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Composición típica de aguas residuales domésticas

Elemento	Valor típico	Unidad
DBO ₅	392	mg/l
SS	436	mg/l
NH ₃ como N	14	mg/l
N orgánico como N	43	mg/l
NKT como N	57	mg/l
P orgánico como P	7	mg/l
P inorgánico como P	12	mg/l
Grasas	70	mg/l
Coliformes fecales	10 ⁸	NMP/100 ml
Temperatura	21	°C
pH	7.2	

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996

d) Consideraciones para aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos

- **Composición de residuos sólidos:** La composición promedio de los RSM en México se muestra en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Composición porcentual de los RSM en México

	Centro	Sur	DF	Estado		
Cartón	3.973	4.366	1.831	4.844	5.360	4.075
Residuos finos	1.369	2.225	3.512	8.075	1.210	3.278
Hueso	0.504	0.644	0.269	0.250	0.080	0.349
Hule	0.278	0.200	0.087	0.350	0.200	0.223
Lata	2.926	1.409	1.700	2.966	1.580	2.116
Material ferroso	1.183	1.476	0.286	0.399	1.390	0.947
Material no ferroso	0.226	0.652	0.937	1.698	0.060	0.715
Papel	12.128	10.555	13.684	8.853	14.580	11.960
Pañal desechable	6.552	8.308	6.008	5.723	3.370	5.992
Plástico película	4.787	5.120	1.856	1.723	6.240	3.905
Plástico rígido	2.897	3.152	1.948	1.228	4.330	2.711
Residuos alimenticios	26.972	21.271	38.538	16.344	34.680	27.557
Residuos de jardinería	16.091	19.762	7.113	26.975	5.120	15.012
Trapo	1.965	2.406	0.807	2.157	0.640	1.595
Vidrio de color	2.059	0.934	4.248	0.599	4.000	2.368
Vidrio transparente	4.590	5.254	5.051	3.715	6.770	5.076
Otros	11.500	12.287	12.326	14.102	10.410	12.121

Fuente: SEDESOL, 2000

3.2 Requerimientos de implantación de módulos ecológicos

Los tres requisitos básicos que un emplazamiento debe cumplir con el fin de ser calificado como adecuado para la implantación de un módulo ecológico son:

- > Características físicas del sitio.
- > Capacidad económica de la población.
- > Conocimientos técnicos necesarios para el mantenimiento de los módulos.

Para la determinación de estos requisitos es necesario llevar a cabo dos pasos; el primero consiste en dimensionar los equipos y el segundo en la estimación de los costos de adquisición y/o construcción.

Existen además otros factores que influyen de manera importante en la identificación de las zonas aptas para la instalación de módulos ecológicos; entre ellos se encuentran la densidad de población, la necesidad de vivienda, el rezago habitacional y la disponibilidad de servicios públicos (electricidad, agua potable y drenaje). Estos factores serán analizados en el capítulo 5 y en las conclusiones como parte de las recomendaciones adicionales a los requisitos elementales para cada módulo ecológico.

3.3 Módulos para ahorro y aprovechamiento de energía

3.3.1 Calentador solar de agua para uso doméstico

Para llevar el agua a la temperatura que la familia demanda se utilizan calentadores de gas o leña en la mayoría de los hogares mexicanos, lo cual implica procesos de combustión y la consecuente emisión de contaminantes a la atmósfera; para la disminución de la quema de combustibles se propone la utilización de calentadores solares.

Los calentadores más utilizados en aplicaciones domésticas, por su sencillez y eficiencia, son los colectores solares planos con termostato separado. En México existe un gran número de empresas dedicadas a la fabricación y venta de este tipo de módulos, variando ligeramente los materiales de construcción, la temperatura de funcionamiento y el volumen de almacenamiento.

El parámetro más importante que determina el funcionamiento de un colector solar plano es la radiación solar incidente, porque de ello depende el calor transmitido al fluido de calentamiento y la temperatura que finalmente puede este alcanzar (ver sección 2.1.1.2). Debido a lo anterior, los cálculos que a continuación se presentan están orientados a la obtención de los requerimientos mínimos de radiación solar para un colector tipo, cuyas características permitan satisfacer las necesidades de un hogar mexicano (250 litros por día a 50°C para una familia de 5 personas).

El calentador solar al que se hará referencia en los cálculos de diseño tiene las siguientes características:

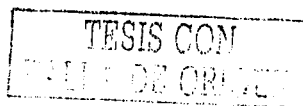


Tabla 3.4 Características del calentador solar tipo

Colector		Tanque	
General		General	
Largo (mm)	1937	Material	Acero inoxidable
Ancho (mm)	1022	Largo (mm)	1080
Alto (mm)	77	Diámetro (mm)	530
Área útil (m ²)	1.86	Capacidad	150 l
Placa de absorción		Figura	
Material	Cobre		
Espesor (mm)	0.9		
Acabado	Cromo negro		
Absortancia (60°C)	0.95		
Emitancia (60°C)	0.12		
Caja del captador			
Material	Aluminio		
Espesor (mm)	0.7		
Aislamiento	Lana de roca		
Cubierta transparente			
Material	Vidrio templado		
Espesor (mm)	3.2		
Emitancia	0.88		
Transmitancia	0.94		
Reflectancia difusa	0.16		
Dimensiones (mm)	1926 x 1011		

3.3.1.1 Diseño

El flujo de energía radiante que puede interceptar el colector proviene básicamente del rango visible del espectro solar y es por naturaleza variable con el tiempo. El procedimiento de cálculo que se muestra a continuación es el propuesto por *Jorge Hermsillo Villalobos (1995)*.

En estado estable el funcionamiento de un colector solar plano se puede describir mediante un balance de energía:

$$Q_{\text{abs}} = Q_u + Q_L + \frac{du}{dt} \quad (3.1)$$

El valor del último término es muy pequeño y generalmente se desprecia para el cálculo del calor total incidente absorbido por unidad de tiempo, Q_{abs} . Haciendo un desglose más detallado de los términos de la ecuación anterior encontramos que cada uno de ellos puede ser representado por otra expresión:

$$Q_{\text{abs}} = H_T A_c \phi = H_T A_c \left(\frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \beta} \right) \quad (3.2)$$

$$Q_L = U_L A_c (T_p - T_a) \quad (3.3)$$

que al sustituirse en la ecuación (3.1), permite calcular las pérdidas de calor, Q_L , en función de la energía absorbida en el colector por unidad de área, $H_T \phi$.

$$Q_u = A_c \left[H_T \left(\frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \beta} \right) - U_L (T_p - T_a) \right] \quad (3.4)$$

Esta ecuación es fundamental para el análisis del funcionamiento de un colector solar, sin embargo, no es correcta debido a que el cálculo de Q_u supone una temperatura media constante de la placa absorbidora (T_p), cuando en realidad las temperaturas de entrada y salida del colector son bastante diferentes y varían con el tiempo por ser función de la temperatura ambiente, radiación solar, etc.

La ecuación anterior puede ser corregida al introducir un factor de eficiencia global (F_3) y emplear como temperatura de cálculo la del fluido al entrar al colector (T_i). Esto es:

$$Q_u = A_c F_3 \left[H_T \left(\frac{\tau \alpha}{1 - (1 - \alpha) \beta} \right) - U_L (T_i - T_a) \right] \quad (3.5)$$

A partir de esta ecuación se calculará la radiación solar necesaria, H_T (W/m^2), para que el equipo caliente agua a la temperatura deseada. El valor de cada uno de los términos en la ecuación (3.5) se calcula en los párrafos siguientes.

Cálculo del coeficiente global de pérdidas de calor por radiación, convección y conducción (U_L). Este coeficiente es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor y se puede expresar como:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (3.6)$$

donde U_t es el coeficiente total de transferencia de calor y U_b y U_e son los coeficientes de pérdida de calor por conducción por el fondo y lados, respectivamente.

Para calcular el valor de U_t , se considera que las pérdidas de calor por la parte superior son el resultado de la convección y radiación entre dos placas paralelas con una inclinación de 45° . Por razones de brevedad no se presenta el análisis matemático detallado para calcular el valor de U_t (*Hermosillo, 1995*), solamente se presenta una ecuación simplificada, resultado de ese análisis, con la que se obtiene un cálculo bastante aproximado:

$$U_{t_{45^\circ}} = \left(\frac{N}{(344/T_p)(T_p - T_a)/(N + f)^{0.31}} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{[\epsilon_p + 0.0425N(1 - \epsilon_p)]^2 + \frac{(2N + f - 1)}{\epsilon_c} - N} \right) \quad (3.7)$$

donde

$$f = (1 - 0.04h_w + 0.0005h_w^2)(1 + 0.058N) \quad (3.8)$$

y h_w es el coeficiente de transferencia de calor por convección debido a la velocidad del viento (v):

$$h_w = 5.7 + 3.8(v) \quad (3.9)$$

Para calcular el valor de U_t a cualquier ángulo de inclinación del colector, s , se utiliza la ecuación:

$$\frac{U_t}{U_{t_{45^\circ}}} = 1 - (s - 45)(0.00259 - 0.00144 \varepsilon_p) \quad (3.10)$$

Para corregir el cálculo de U_t se utilizará el ángulo de inclinación correspondiente a la latitud de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas ($16^\circ 45' 20''$), por ser el valor al cual se presenta el mayor coeficiente de pérdidas por transferencia de calor para la parte superior del colector. Además, se utilizarán los siguientes datos del colector tipo propuesto, $N=1$, $T_p=60^\circ\text{C}$, $T_a=20^\circ\text{C}$, $\varepsilon_p=0.12$, $\varepsilon_c=0.88$ y $v=3$ m/s, en las ecuaciones 3.7 a 3.10. Esto es:

$$h_w = 17.5 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$f = 0.47941$$

$$U_{t_{45^\circ}} = 12.83153 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$U_t = 13.70757 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Por otro lado, U_b y U_o se calculan en función de la conductividad térmica del aislante, K_a , mediante las ecuaciones siguientes:

$$U_b = \frac{K_a}{l} \quad (3.11)$$

$$U_o = \frac{K_a MP}{l' A_c} \quad (3.12)$$

y, empleando los datos correspondientes al colector tipo propuesto (ver tabla 3.4), $K_a=0.059$ [W/mK], $M=0.077$ [m], $l=0.055$ [m], $l'=0.013$ [m], $P=5.918$ [m] y $A_c=1.86$ [m²], se obtiene:

$$U_b = 1.07273 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

$$U_o = 1.11189 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Finalmente, con los valores antes calculados se obtiene U_L con la ecuación 3.6:

$$U_L = 15.89219 \left[\frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \right]$$

Cálculo del factor de eficiencia global del colector (F_3). Haciendo un balance de energía en el propio fluido de trabajo y desarrollando una expresión que calcule la temperatura del fluido en cualquier posición del tubo en dirección del flujo, se encuentra que F_3 queda representado por:

$$F_3 = \frac{\dot{m} C_p}{A_c U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{U_L F_2 A_c}{\dot{m} C_p} \right) \right] \quad (3.13)$$

F_2 está relacionado con el calor que eventualmente debe ser transferido al fluido de trabajo y que es la suma del calor de conducción más el calor por radiación solar que el tubo recibe directamente. Así,

$$F_2 = \frac{1}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W - D) F_1]} + \frac{1}{\pi D h_r} \right]} \quad (3.14)$$

donde F_1 es el factor de eficiencia de la aleta y es igual a:

$$F_1 = \frac{\tanh \left[\left(\frac{U_L}{\sqrt{k \delta}} \right) \left(\frac{W - D}{2} \right) \right]}{\left(\frac{U_L}{\sqrt{k \delta}} \right) \left(\frac{W - D}{2} \right)} \quad (3.15)$$

Los datos necesarios para el cálculo de F_3 a partir de las ecuaciones 3.13, 3.14 y 3.15 son:

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 0.15 \text{ [kg/s]} \\ C_p &= 4186 \text{ [J/kgK]} \\ W &= 0.17 \text{ [m]} \\ D &= 0.028125 \text{ [m]} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} D_f &= 0.025 \text{ [m]} \\ h_r &= 1200 \text{ [W/m}^2\text{K]} \\ k &= 386 \text{ [W/mK]} \\ \delta &= 0.9 \times 10^{-3} \text{ [m]} \end{aligned}$$

Con los que se obtiene, $F_1=0.9297$, $F_2=0.9166$ y

$$F_3 = 0.89711$$

Cálculo del calor útil (Q_u). Una vez que se han calculado F_3 y U_L , considerando que $T_i=25^\circ \text{ C}$ y sabiendo que para el colector tipo, $\tau = 0.94$, $\alpha = 0.95$ y $\beta = 0.16$

(ver tabla 3.4), se puede obtener una expresión que relacione el calor útil (Q_u) con la radiación solar incidente (H_T) para el calentador solar que se ha propuesto:

$$Q_u = [1.50209H_T - 265.18099][W] \quad (3.16)$$

A partir de esta ecuación puede conocerse el calor útil que es posible aprovechar empleando uno o dos colectores, para diferentes valores de energía solar incidente (tabla 3.5).

Tabla 3.5 Calor útil obtenible en uno o dos colectores a partir de la energía solar incidente

Energía solar incidente H_T		Calor útil Q_u (un colector)	Calor útil Q_u (dos colectores)
$MJ/m^2 \cdot día$	W/m^2	$[W]$	$[W]$
25	694.44	777.93707	1555.87413
24	666.67	736.21234	1472.42469
23	638.89	694.48762	1388.97524
22	611.11	652.76289	1305.52580
21	583.33	611.03818	1222.07635
20	555.56	569.31345	1138.62691
19	527.78	527.58873	1055.17746
18	500.00	485.86401	971.72802
17	472.22	444.13929	888.27858
16	444.44	402.41457	804.82915
15	416.67	360.68984	721.37967
14	388.89	318.96512	637.93024
13	361.11	277.24040	554.48080
12	333.33	235.51568	471.03135
11	305.56	193.79095	387.58191
10	277.78	152.06623	304.13246

* Los valores tomados corresponden al rango de energía solar H_T en México.

**Se considera que al día pueden aprovecharse sólo 10 horas de radiación solar.

Finalmente, para conocer el calor necesario para elevar la temperatura del agua que requiere una familia de 5 personas (250 l/día) en $35^\circ C$ se utiliza la expresión (3.17). La temperatura ambiente del agua se supone de $15^\circ C$ y la final de $50^\circ C$.

$$Q = mC_p(\Delta T) \quad (3.17)$$

Sustituyendo datos:

$$Q_{total} = \left(250 \frac{kg}{día}\right) \left(4186 \frac{J}{kg^\circ C}\right) (50^\circ C - 15^\circ C)$$

$$Q_{total} = 36,627.5 [kJ/día]$$

Considerando que esta cantidad de calor puede obtenerse a través del calentador sólo cuando existe energía solar incidente, aproximadamente durante 10 horas al día, tenemos que:

$$Q_{\text{total}} = 1,017.43057[\text{W}]$$

De la tabla 3.5 se observa que un colector no es suficiente para obtener el calor útil requerido (1,017.43057 W). Para el caso de dos colectores, a partir de 19 [MJ/m²] de energía solar incidente, existen las condiciones mínimas para satisfacer las necesidades planteadas. Entonces, el equipo adecuado debe consistir en 2 colectores solares planos y tanque con capacidad mínima de 250 litros.

3.3.1.2 Estimación de costos

Para conocer el precio de los calentadores se consultaron las siguientes empresas mexicanas que ofrecen equipos de características similares a las del colector tipo propuesto (los datos completos de las empresas se pueden consultar en el apartado "Directorio de Empresas").

- > Sunway de México, S.A. de C.V.
- > Módulo Solar, S.A de C.V.
- > SOLARMEX, S.A. de C.V.
- > SAECSA Energía Solar S.A. de C.V.

Los equipos solares que estas empresas comercializan incluyen un colector solar, un tanque de 150 litros con base y las conexiones necesarias para instalar el calentador; el precio total se encuentra alrededor de los 3,500 pesos (IVA incluido), más un cargo por concepto de flete de alrededor de 300 pesos.

Ya que el sistema requerido consta de dos colectores solares planos y capacidad de almacenamiento de al menos 250 litros, el costo total del equipo, incluyendo cargos por instalación estimados en 15% del costo del dispositivo es:

Tabla 3.6 Estimación de costos para calentador solar de agua

Equipo solar	
-2 colectores solares planos	
-2 tanques de 150 litros c/u	\$ 7,000.00
-Bases y conexiones	
-Manual de instalación	
Flete	\$ 300.00
Instalación	\$ 1,050.00
TOTAL	\$ 8,350.00

Cotización realizada en noviembre de 2002

3.3.1.3 Viabilidad

Características físicas del emplazamiento: Como se concluyó en el apartado 3.3.1.1, para cubrir las necesidades diarias de agua caliente de una familia de 5 personas es necesario instalar dos colectores solares planos y el sitio de emplazamiento debe recibir una radiación solar incidente de al menos 19 [MJ/m²] por día.

Percepción económica: Derivado de la estimación de costos del equipo, se considera que el ingreso mensual familiar debe ascender al menos a **5 salarios mínimos***, para adquirir un sistema de esta naturaleza en un tiempo razonable.

Conocimientos técnicos necesarios para el mantenimiento: De acuerdo a la información proporcionada por los fabricantes mencionados, el mantenimiento que demanda este equipo es mínimo, sólo es necesario conservar limpia la superficie de los colectores para evitar deficiencias en el paso de la radiación solar y verificar el buen estado del tanque y las conexiones; con estos cuidados se estima que la vida útil del dispositivo puede alcanzar hasta 20 años. Por tanto, se considera que **no se requiere una capacitación técnica específica, ni estudios universitarios** para hacerse cargo del mantenimiento de este módulo.

3.3.2 Sistema de fotocelda para producción de energía eléctrica

El consumo promedio de energía eléctrica de una vivienda (ver tabla 3.1) es de 3448.5 [Wh/día]. En la mayoría de las viviendas en el país, ésta demanda se satisface a través del suministro público con terribles consecuencias al ambiente por las emisiones de contaminantes a la atmósfera en las grandes plantas generadoras de electricidad. Como alternativa, se propone el uso de sistemas de fotocelda que utilizan energía solar y permiten disminuir, o incluso eliminar, la dependencia de la red pública.

Como en el caso anterior, el parámetro más importante que determina el funcionamiento de un sistema de fotocelda es la radiación solar incidente en el emplazamiento. Debido a lo anterior, los cálculos que a continuación se presentan están orientados a la obtención de los requerimientos mínimos de radiación solar para un sistema de esta naturaleza, cuyas características permitan satisfacer el consumo estimado de un hogar mexicano.

3.3.2.1 Diseño

Un sistema generador de energía eléctrica fotovoltaica consta fundamentalmente de un grupo de paneles solares, baterías, regulador de tensión e inversor. De todos los anteriores, aquel cuyo dimensionado correcto va a influir de mayor manera en el conjunto, es naturalmente el panel.

El proceso de cálculo mostrado en líneas posteriores está basado en lo propuesto por J. Eguren, A. Sanz y M. Tapia en el capítulo "Dimensionado y fiabilidad de generadores fotovoltaicos" del libro "*Energía solar fotovoltaica*" (1983).

El primer paso para dimensionar el sistema, consiste en la selección de la tensión de funcionamiento, que en este caso será de 12 VCD por ser un valor común de diseño entre los fabricantes de sistemas fotovoltaicos en México. Posteriormente,

* En el anexo B se puede consultar mayor información sobre los salarios mínimos y las áreas geográficas donde se aplican.

debe obtenerse la carga media diaria del sistema, C_m , en Ah/día; para ello, se divide el consumo medio diario de energía por la tensión nominal elegida:

$$C_m = \frac{\text{consumo de energía medio [Wh/día]}}{\text{tensión nominal del sistema [V]}} \quad (3.18)$$

Para 3,448.5 [Wh/día], C_m será de 287.37 Ah/día. Valor que debe ser corregido considerando las pérdidas debidas al inversor, el cual convierte la corriente directa producida por los paneles en corriente alterna, que es utilizada por la mayoría de los aparatos domésticos. Entonces, la carga media corregida, C_{m1} es,

$$C_{m1} = \gamma(C_0) \quad (3.19)$$

donde γ es igual al factor debido a pérdidas del inversor; de acuerdo con *J. Eguren et al. (1983)*, $\gamma=1.1$ por lo que $C_{m1} = 316.11$ [Ah/día]. Entonces, la capacidad del sistema I_0 se calcula a partir de la radiación total, H_T , expresada en número de horas de sol nominal en el emplazamiento como:

$$I_0 = \frac{C_{m1}}{H_T} \quad (3.20)$$

Una hora de sol nominal al día da lugar a una energía de 1 [kWh/m²día], es decir, si un zona presenta una radiación incidente de 7 [kWh/m²día], tendrá 7 horas de sol nominal diariamente.

I_0 debe corregirse aplicando un factor de seguridad que toma en cuenta la pérdida de eficiencia del panel por suciedad y las pérdidas en la batería; su valor típico es 1.2. De esta manera,

$$I = 1.2 \frac{C_{m1}}{H_T} \quad (3.21)$$

Sustituyendo en la ecuación anterior,

$$I = 1.2 \left(\frac{316.1125[\text{Ah/día}]}{H_T[\text{h/día}]} \right) = \frac{379.335}{H_T} [\text{A}] \quad (3.22)$$

Por otro lado, se calcula el número de paneles en serie (n_1), y en paralelo (n_2) que deben emplearse, dividiendo la tensión e intensidad nominales del sistema entre los datos correspondientes al panel tipo. Esto es:

$$n_1 = \frac{V_{\text{sistema}}}{V_{\text{panel}}} \quad (3.23)$$

$$n_2 = \frac{I}{I_{\text{panel}}} \quad (3.24)$$

Tabla 3.7 Características del panel fotovoltaico tipo

Característica	Valor
Potencia	90 W
Intensidad de corriente	5.4 A
Tensión nominal	17 V
Dimensiones	150 X 59.4 X 4 cm

El número total de paneles se obtienen como $n_3 = n_1 \cdot n_2$. Para los datos del panel tipo que se muestran en la tabla 3.7, n_1 es igual a 0.7058, por lo que no se realizarán conexiones de paneles en serie, mientras que para el caso de los paneles en paralelo, de la ecuación 3.22:

$$n_2 = \frac{70.24722}{H_T} \quad (3.25)$$

De donde, el número total de paneles del sistema de fotocelda (n_3) se puede calcular en función de las horas de sol nominal de un lugar determinado, con la siguiente ecuación:

$$n_3 = n_1 \cdot n_2 = \frac{70.24722}{H_T} \quad (3.26)$$

Tabla 3.8 Número de paneles necesarios en función de la radiación solar incidente

Radiación Solar (H_T) kWh/m ² día	Número de paneles n_3 (redondeado al número entero superior)	Área ocupada por los paneles m ²
25	10	8.91
24	11	9.80
23	11	9.80
22	12	10.69
21	12	10.69
20	13	11.58
19	13	11.58
18	14	12.47
17	15	13.37
16	16	14.26
15	17	15.15
14	18	16.04
13	19	16.93
12	21	18.71
11	23	20.49
10	25	22.28

* Los valores corresponden al rango de energía solar H_T en México
 ** Horas de sol nominal

En la tabla 3.8 se aprecia el número de paneles necesarios para satisfacer el consumo diario estimado y el área requerida, en función de la radiación solar diaria en el emplazamiento. Dicha área es otro parámetro de diseño, ya que es

evidente que una vivienda tiene limitaciones de espacio para la colocación de estos dispositivos. Para efectos de esta tesis, se considera que el área máxima que el sistema debe ocupar (ubicado en le techo de la vivienda), es de 12 [m²].

Para cubrir el consumo diario estimado en la tabla 3.1, el número máximo de paneles que pueden instalarse son 13 y la radiación solar necesaria es de al menos, 19 [MJ/m²día]; mientras que el número mínimo necesario es de 10 paneles ya que la radiación máxima en el territorio nacional es de 25 [MJ/m²día] como se verá en el capítulo 4.

3.3.2.2 Estimación de costos

Para conocer el costo aproximando de los sistemas de fotocelda se consultaron las siguientes empresas mexicanas que ofrecen equipos de características similares a las del propuesto.

- Solartronic, S.A. de C.V.
- Energía Alternativa de México, S.A. de C.V.
- Alfa Solar S.A. de C.V.
- Econolux S.A. de C.V.

En el punto 3.3.2.1 se determinó que el sistema fotovoltaico debe constar de entre 10 y 13 paneles solares; adicionalmente debe incluirse un banco de baterías, regulador de tensión, inversor, cableado y estructuras para el montaje de las celdas. Las características de los equipos adicionales son sugeridas por los propios fabricantes de acuerdo a la demanda de energía y al número de paneles del sistema. En el caso del banco de baterías se recomienda una capacidad de 600 a 700 [Ah]; para el regulador, al menos 70 [A], y para el inversor una entrada de 1500 [W], todos ellos a 12 VCD. El costo aproximado del equipo, incluyendo cargos por instalación estimados en 5% del costo del sistema se presenta a continuación.

Tabla 3.9 Estimación de costos para sistema de fotocelda

Componente	Costo Unitario	10 Paneles	11 Paneles	12 Paneles	13 Paneles
Paneles solares Siemens SR-90, 90[W] (17 [V _{CD}] & 5.4[A])	504.00	5,040.00	5,544.00	6,048.00	6,552.00
6 Baterías, 105 [Ah] @ 12 [V _{CD}]	86.00	516.00	516.00	516.00	516.00
Inversor 1.5 kW - 12[V _{CD}] entrada, 120 [V _{CA}] 60 hz.	989.30	989.30	989.30	989.30	989.30
Regulador 50 [A] (12 [V _{CD}])	121.00	121.00	121.00	121.00	121.00
Subtotal		6,666.30	7,170.30	7,674.30	8,178.30
Instalación		333.32	358.52	383.72	408.92
TOTAL (USD)*		6,999.62	7,528.82	8,058.02	8,587.22
TOTAL (Pesos)		66,825.37	71,877.64	76,929.92	81,982.20

Cotización realizada en noviembre de 2002

* Para realizar la conversión, se utilizó el promedio del tipo de cambio durante los primeros 10 meses de 2002 que es de 9.5470 pesos por dólar (elaborado con datos del Banco de México, 2002a).

3.3.2.3 Viabilidad

Características físicas del emplazamiento: Para cubrir la demanda estimada, el sistema fotovoltaico debe constar de 13 paneles solares, los cuales requerirán una radiación solar incidente de al menos **19 [MJ/m²] al día**.

Percepción económica: Derivado de la estimación de costos del equipo (\$81,982.20), se recomienda que el ingreso mensual familiar sea mayor a **8 salarios mínimos***.

Conocimientos técnicos necesarios para el mantenimiento: De acuerdo a la información proporcionada por los fabricantes, el mantenimiento que demanda este equipo es el siguiente:

Paneles: Requieren un mantenimiento mínimo debido a su configuración, no tienen partes móviles y las células y sus conexiones internas están encapsuladas en varias capas de material protector. Es conveniente hacer una inspección general 1 ó 2 veces al año para asegurarse de que las conexiones entre paneles y el regulador están bien ajustadas y libres de corrosión. En la mayoría de los casos, la acción de la lluvia elimina la necesidad de limpieza de los paneles; en caso de ser necesario, simplemente se debe utilizar agua y algún detergente.

Regulador: La simplicidad del equipo de regulación reduce sustancialmente el mantenimiento y hace que las averías sean muy escasas. Las operaciones que se deben realizar son la inspección visual del estado y funcionamiento del regulador, además de la comprobación del cableado del equipo.

Banco de baterías: Es el elemento de la instalación que requiere una mayor atención; de su uso correcto y buen mantenimiento dependerá en gran medida su duración. Las operaciones usuales que deben realizarse son la comprobación del nivel del electrolito cada 6 meses, el cual debe mantenerse dentro del margen comprendido entre las marcas de "máximo" y "mínimo" (en el caso de no existir estas marcas, el nivel del electrolito debe estar 20 mm sobre el protector de separadores); de observarse un nivel inferior se debe rellenar con agua destilada o desmineralizada. Al realizar la operación anterior debe comprobarse también el estado de las terminales de la batería; deben limpiarse de posibles depósitos de sulfato y cubrir con vaselina neutra todas las conexiones.

Derivado de la delicadeza de algunos equipos (principalmente el inversor), se considera que la persona que proporcione el mantenimiento debe recibir un entrenamiento previo o contar con una escolaridad equivalente a **nivel medio superior**.

* En el Anexo B se puede consultar mayor información sobre los salarios mínimos y las áreas geográficas donde se aplican.

3.3.3 Sistema de aerogeneradores para producción de energía eléctrica

Como se mencionó anteriormente, la utilización del suministro público para satisfacer la demanda de energía eléctrica de una vivienda plantea una serie de problemas de carácter ambiental que son causa de preocupación en tiempos recientes. La segunda alternativa que se plantea con el propósito de paliar estos efectos negativos al ambiente, es la utilización de sistemas de aerogeneradores.

El parámetro más importante que determina el funcionamiento de un aerogenerador es la velocidad del viento en el emplazamiento porque de ello depende la cantidad de energía eléctrica que puede obtenerse. Los cálculos que se presentan a continuación fueron tomados del trabajo realizado por *Teodoro Sánchez Campos (1997)*.

3.3.3.1 Diseño

La energía del viento no es más que la energía cinética del aire y se determina por la ecuación :

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (3.27)$$

Cuando se instala un aerogenerador, se produce la transformación de la energía cinética del viento que incide sobre el área barrida por el rotor (A) en potencia mecánica (Pot), que es entregada a través del eje de la turbina:

$$Pot = \frac{1}{2}\rho AV^3\eta_p \quad (3.28)$$

donde las pérdidas de transformación de la máquina se consideran en el coeficiente de potencia (η_p), que no es otra cosa que la eficiencia de conversión de las turbinas eólicas.

Para estimar la velocidad de viento requerida, se puede emplear la ecuación anterior o la gráfica de diseño proporcionada por el fabricante. En el presente estudio se decidió realizar la búsqueda de un aerogenerador cuyas características permitan obtener la energía eléctrica que una familia tipo de 5 personas demanda.

El aerogenerador Whisper H40 (ver tabla 3.10 y figura 3.1), es suficiente para cubrir los requerimientos mencionados y tiene la ventaja de ser comercializado en México por la mayoría de los proveedores de este tipo de equipos.

Considerando las variaciones de la velocidad del viento a lo largo del día mediante distribuciones de probabilidad, se elaboran las curvas de potencia del equipo que

muestran la energía producida por un aerogenerador en condiciones promedio de potencial eólico (ver figura 3.1).

Tabla 3.10 Características del aerogenerador Whisper H40

Característica	Valor
Diámetro del rotor	2.1m
Peso	21kg
Montaje	Tubo 2.5" cédula 40
Velocidad de arranque	3.4m/s
Voltaje	12, 24, 36, 48 VCD
Potencia nominal	900 W a 12.5m/s
Material de las palas	Polipropileno
Energía obtenible	100 kWh/mes @ 5.4m/s
Velocidad de paro automático	55 m/s

Fuente: Energía Alternativa de México S.A. de C.V., 2002

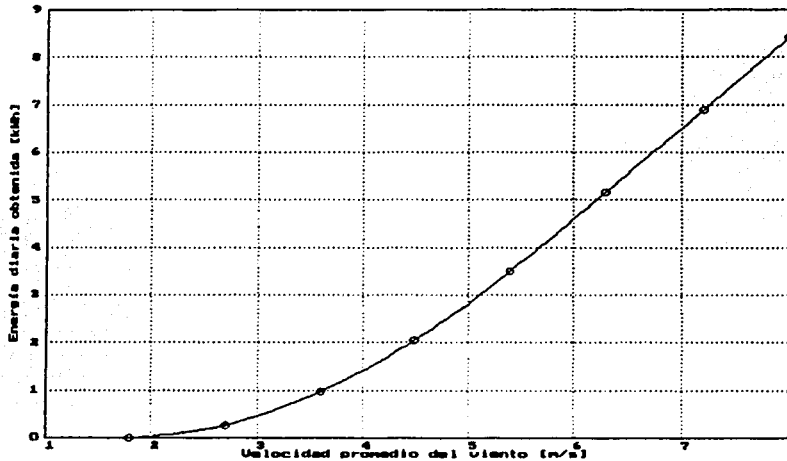


Fig 3.1 Curva de potencia para el modelo Whisper H40

Recordando que el consumo que debe cubrir el aerogenerador es de 3.45 [kWh/día], y del gráfico en la figura 3.1, la velocidad del viento promedio mínima que satisface las necesidades planteadas es de 5.4 [m/s].

La información que puede encontrarse sobre el potencial eólico en una región usualmente se presenta como potencia obtenible por unidad de área, por lo que es conveniente expresar el resultado anterior en estos términos. Utilizando la ecuación 3.28, sabiendo que para el aerogenerador Whisper H40 a una velocidad de 12.5 m/s es posible obtener una potencia de 900 W (ver tabla 3.10) y considerando una densidad promedio del viento de 1.2 kg/m³, el coeficiente de potencia del equipo es de 0.2217. Con este valor, la potencia obtenible por unidad de área para una velocidad de 5.4 m/s es de **20.9459 W/m²**.

3.3.3.2 Estimación de costos

Para conocer el costo aproximando de los sistemas de aerogeneración se consultaron las siguientes empresas mexicanas que venden el equipo propuesto (Whisper H40).

- > Solartronic, S.A. de C.V.
- > Energía Alternativa de México, S.A. de C.V.
- > Soluciones Energéticas S.A. de C.V.
- > Micropower, S.A. de C.V.

Al igual que en el caso de los sistemas fotovoltaicos, un sistema eólico debe incluir banco de baterías, regulador de tensión, inversor y cableado, además de una torre de soporte para el equipo. No obstante esta similitud, las características de los equipos adicionales son diferentes porque dependen de otras variables (velocidad del viento principalmente). En el caso del banco de baterías se recomienda una capacidad de 600 a 900 [Ah], para el regulador al menos 100 [A] y para el inversor una entrada de 2000 [W], todos ellos a 12 VCD. El costo aproximado del equipo, incluyendo cargos por instalación, estimados en 5% del costo del sistema, se presenta a continuación.

Tabla 3.11 Estimación de costos para sistema de aerogeneración

Concepto	Precio unitario	Mont.
Aerogenerador modelo Whisper H40 (900 [W] @12.5 [m/s]) con regulador EZ de 120 [A] integrado.	\$1,659.00	\$ 1,659.00
7 Baterías 105 [Ah] (12 [V _{cd}])	\$ 86.00	\$ 602.00
Inversor 2.4 kW-12 VCD entrada, 120 VCA 60 hz salida; incluye cargador de 120 [A]	\$1,423.00	\$ 1,423.00
Kit de torre para aerogenerador de 9.44 [m]	\$ 754.00	\$ 754.00
	Subtotal	\$ 4,438.00
	Instalación	\$ 221.90
	T O T A L (USD)*	4,659.90
	T O T A L (Pesos)	44,488.07

Cotización realizada en noviembre de 2002

* Para realizar la conversión, se utilizó el promedio del tipo de cambio durante los primeros 10 meses de 2002 que es de 9.5470 pesos por dólar (elaborado con datos del Banco de México, 2002a).

3.3.3.3 Viabilidad

Características físicas del emplazamiento: Para cubrir la demanda estimada en las bases de cálculo, el sistema eólico debe constar de un aerogenerador de las características mencionadas y requerirá una velocidad del viento promedio de al menos **5.4 [m/s]**, o bien, una potencia obtenible de **20.9459 W/m²** en la región.

Percepción económica: Derivado de la estimación de costos del equipo (\$44,488.07), se recomienda que el ingreso mensual familiar sea mayor a **6 salarios mínimos***.

* En el anexo B se puede consultar mayor información sobre los salarios mínimos y las áreas geográficas donde se aplican.

Conocimientos técnicos necesarios para el mantenimiento: De acuerdo a la información proporcionada por los fabricantes, el mantenimiento del aerogenerador consiste en la revisión anual de toda la tornillería, así como el engrase de las partes móviles. Los cuidados que requieren el regulador y el banco de baterías, son similares a los que se trataron en el punto 3.3.2.3.

Derivado del mantenimiento descrito y de la delicadeza de algunos equipos (principalmente el inversor), se considera que la persona que se encargue de él posea capacitación técnica al respecto o una escolaridad equivalente a **nivel medio superior** y un claro entendimiento de los manuales correspondientes.

3.3.4 Digestor anaerobio para producción de biogás

Los principales componentes del biogás son el metano y el bióxido de carbono y se produce como resultado de la descomposición anaerobia de la materia orgánica. El biogás puede ser utilizado para cocinar, calentar agua, iluminar y producir electricidad.

La cantidad de biogás que puede obtenerse en un digestor anaerobio depende directamente de la cantidad de materia orgánica disponible. En este trabajo, se considera que se cuenta sólo con las excretas de la familia, residuos vegetales y desechos de comida para la producción del energético, pero en el caso de viviendas que cuenten con ganado, la cantidad de biogás obtenible se incrementa.

En el punto 3.1 de este capítulo se planteó que: la producción promedio de excretas por persona es de 0.4 kg/día, que un 27.557% y un 15.012% de los 1.33 kg/día de residuos sólidos producidos en una vivienda (ver tabla 3.3) son desperdicios alimenticios y restos vegetales, respectivamente. Por tanto, una familia de 5 miembros dispondría de 2 kg de excretas, 1.8833 kg de desperdicios alimenticios y 0.9983 kg de restos vegetales por día para la obtención de biogás.

De acuerdo a las tablas 2.5 y 2.6, estos materiales tienen un potencial de producción de biogás de 0.070 [m³/kg], 0.075 [m³/kg] y 0.045 [m³/kg], respectivamente; entonces,

$$\begin{aligned} \text{Biogás producido} &= (2 \text{ kg}_{\text{día}})(0.07 \text{ m}^3/\text{kg}) + (0.9983 \text{ kg}_{\text{día}})(0.045 \text{ m}^3/\text{kg}) + (1.8833 \text{ kg}_{\text{día}})(0.075 \text{ m}^3/\text{kg}) \\ \text{Biogás producido} &= 0.3262 \text{ [m}^3/\text{día]} \end{aligned}$$

Al comparar este resultado con el consumo de gas para una familia de 5 personas (2.4 m³/día), es evidente que la producción que se obtendría del digestor no sería suficiente para cubrir las necesidades planteadas; por lo que, bajo estas condiciones, la aplicación de este módulo no es viable y la estimación de costos es innecesaria.

3.3.5 Dispositivos para ahorro de energía eléctrica

En el presente trabajo se aborda un dispositivo orientado al ahorro de energía eléctrica en los sistemas de iluminación doméstica, las lámparas ahorradoras.

Lámparas ahorradoras: Para saber qué lámparas ahorradoras utilizar en sustitución a los focos incandescentes tradicionales, es necesario conocer la intensidad luminosa que proporcionan ambos. La siguiente tabla muestra las características de consumo, flujo luminoso y vida útil promedio de los dispositivos mencionados.

Tabla 3.12 Características de lámparas ahorradoras y focos incandescentes

Tensión de alimentación [V]	Foco Incandescente			Lámpara ahorradora		
	Potencia [W]	Flujo luminoso [lumen]	Vida útil [h]	Potencia [W]	Flujo luminoso [lumen]	Vida útil [h]
127	40	490	1000	11	513 a 523	10 mil
	60	820	1000	16 a 18	699 a 771	6 a 10 mil
	75	1070	1000	19 a 21	938 a 1047	10 mil
120	60	830	1000	15	713 a 891	10 mil
	75	1080	1000	18 a 22	1000 a 1238	10 a 12 mil
	100	1560	1000	23 a 28	2457 a 1647	10 mil

Fuente: PROFECO, 2000

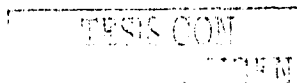
Las marcas que se comercializan en México son, entre otras, Philips, Osram y General Electric (PROFECO, 2002); todas ellas presentan una amplia variedad de modelos para diferentes aplicaciones, en la tabla 3.13 se presentan características y precios para algunos de ellos.

Tabla 3.13 Características y precios de lámparas ahorradoras comercializadas en México

Marca	Vida útil [mil]	Color	Tensión [V]	Potencia [W]	Forma de la lámpara	Equivalente [W]	Precio [C\$]
Lámparas de 11W con balastro magnético							
Osram	10 mil	Blanco cálido	127	11	Espiga doble	40	79.90
Philips	10 mil	Blanco frío	127	11	Espiga doble	40	120.00
Lámparas de 15W con balastro magnético							
Osram	10 mil	Blanco frío	120	15	Espiga triple	60	152.90
Philips	10 mil	Blanco cálido	120	15	Espiga triple	60	245.00
Lámparas de 20W con balastro magnético							
Osram	10 mil	Blanco frío	120	20	Espiga triple	75	152.90
G.E.	10 mil	Blanco cálido	120	20	Espiga triple	75	216.00
Lámparas de 22W con balastro magnético							
Philips	12 mil	Luz de día	120	22	Circular	75	74.95
Osram	60 mil	Blanco frío	127	16	Cápsula corta	60	115.00
Lámparas de 23W con balastro electrónico							
Osram	10 mil	Blanco cálido	120	23	Espiga triple	100	202.00
G.E.	10 mil	Blanco cálido	120	24	Espiga triple	100	243.90
Lámparas de 23W con balastro electrónico							
G.E.	15 mil	Blanco cálido	120	23	Campana	75	450.00

* Equivalente propuesto a un foco incandescente

Fuente: PROFECO, 2002



Ahorro de energía: Para evaluar el ahorro de energía derivado de la sustitución de focos incandescentes por lámparas ahorradoras, primero debe estimarse el consumo de energía eléctrica con el uso de los primeros y el respectivo costo que representa.

El costo se calcula de acuerdo a la tarifa vigente en la zona de interés; en el país existen 6 tarifas de energía eléctrica aplicables al consumo doméstico*, cada una con diferentes rangos de aplicación. Para las estimaciones de las tablas 3.15 y 3.17 se utilizó la tarifa 1 (para consumos superiores a 140 kWh mensuales), en la cual los primeros 75 kWh del consumo tienen un costo de 0.499 \$/kWh, los siguientes 50 kWh se cobran a razón de 0.802 \$/kWh y los restantes a 1.737 \$/kWh.

Tabla 3.14 Cálculo del consumo promedio bimestral de energía eléctrica

3 Focos incandescentes de	60W	60 W X 3	180 W
Horas de uso diario promedio	3.5 horas	180 W X 3.5 horas	630 Wh
Días promedio del bimestre	60 días	60 días X 630 Wh	37.8 kWh
Consumo base de aparatos eléctricos (ver tabla 3.1)	2.5485 kWh/día	60 días X 2.5485 kWh/día	152.91 kWh
TOTAL			190.71 kWh

Tabla 3.15 Costo bimestral de energía eléctrica (nov., 2002)

Rango	Tarifa	Consumo	Importe
1-75 kWh	0.499 \$/kWh	75 kWh	\$37.43
76-125 kWh	0.802 \$/kWh	50 kWh	\$40.10
Mayor a 125kWh	1.737 \$/kWh	65.71 kWh	\$114.14
TOTAL		190.71 kWh	\$191.67

*Fuente: CFE, 2002

Posteriormente, se debe seguir un procedimiento análogo para el caso de las lámparas ahorradoras; en los cálculos de las tablas 3.16 y 3.17 se utilizan lámparas de 16 W que proporcionan la misma cantidad de luz que un foco de 60 W (ver tabla 3.13).

Tabla 3.16 Cálculo del consumo promedio bimestral de energía eléctrica con lámparas ahorradoras

3 Lámparas ahorradoras de	16W	16 W X 3	48 W
Horas de uso diario promedio	3.5 horas	48 W X 3.5 horas	168 Wh
Días promedio del bimestre	60 días	60 días X 168 Wh	10.08 kWh
Consumo base de aparatos eléctricos (ver tabla 3.1)	2.5485 kWh/día	60 días X 2.5485 kWh/día	152.91 kWh
TOTAL			162.99 kWh

* En el anexo C se pueden consultar las tarifas de energía eléctrica en México.

Tabla 3.17 Costo bimestral de energía eléctrica con lámparas ahorradoras

	Tarifa	Consumo	Importe
	1-75 kWh 0.499 \$/kWh	75 kWh	\$37.43
	76-126 kWh 0.802 \$/kWh	50 kWh	\$40.10
	Mayor a 126kWh 1.737 \$/kWh	37.99 kWh	\$65.99
TOTAL		162.99 kWh	\$143.52

*Fuente: CFE, 2002

Finalmente, se tendrá un ahorro bimestral de 27.72 kWh en energía y de \$48.15 en el costo de la misma.

Es evidente que no existen limitaciones físicas del emplazamiento ni de escolaridad de los habitantes de la vivienda para la utilización de lámparas ahorradoras; además, debido al bajo costo de estos dispositivos en comparación con cualquier otro módulo tratado en este documento, se considera que prácticamente cualquier persona podría adquirirlos.

3.4 Módulos para ahorro y tratamiento de agua

3.4.1 Humedales artificiales para tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de humedales artificiales pueden ser considerados como reactores biológicos, y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo pistón para la remoción de materia orgánica y nitrógeno. En las siguientes líneas se tratan modelos de diseño para la remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo, así como las consideraciones de tipo hidráulico y térmico, todo ello, con el fin de determinar las dimensiones del humedal.

Los modelos de diseño presentados son los sugeridos por *Sherwood C. Reed (1995)*, en su libro "*Natural Systems for Waste Management and Treatment*".

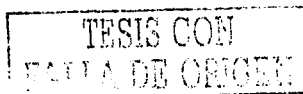
3.4.1.1 Diseño

La ecuación básica de primer orden para los reactores de flujo pistón es:

$$\frac{C_e}{C_o} = e^{-K_r t} \quad (3.29)$$

en donde, el tiempo de retención hidráulica en el humedal, t , puede ser calculado con la siguiente expresión, aceptando (por simplicidad) que los caudales de entrada y salida son iguales a Q :

$$t = \frac{LW_{yn}}{Q} \quad (3.30)$$



Como se mencionó en el punto 3.1, la generación típica de aguas residuales por persona es de 210 litros por día; de esta manera, para una vivienda de 5 habitantes, la descarga es de 1,050 litros por día, entonces, el área superficial del humedal, A_s , se obtiene al combinar las ecuaciones 3.29 y 3.30:

$$A_s = LW = \frac{Q \ln\left(\frac{C_o}{C_e}\right)}{K_T y n} \quad (3.31)$$

El valor de K_T para las ecuaciones 3.29 y 3.31 depende del contaminante que se quiere eliminar y de la temperatura. El contaminante que requiera la mayor área para su remoción, será el factor limitante en el diseño y controlará el tamaño del humedal

Una vez que se conoce el área, debe determinarse la forma final (relación largo-ancho) y la velocidad de flujo en el humedal por medio de los cálculos hidráulicos apropiados.

Como las reacciones biológicas del tratamiento dependen de la temperatura, para realizar un buen diseño es necesario estimar la temperatura del agua en el humedal. El último paso consiste en utilizar las ecuaciones térmicas para estimar la temperatura teórica del agua en el humedal; si este cálculo no coincide con el dato asumido inicialmente se requerirán posteriores iteraciones hasta que estas dos temperaturas converjan

Modelo de diseño para remoción de materia orgánica: Para el cálculo de la remoción de materia orgánica, medida como DBO (demanda bioquímica de oxígeno), se puede emplear el siguiente modelo desarrollado a partir de la experiencia con sistemas de degradación biológica en suelo y filtros percoladores:

$$\frac{C_e}{C_o} = F \cdot \exp\left[-\frac{0.7K_T A_s^{1.75} LW y n}{Q}\right]^2 \quad (3.32)$$

Sin embargo, este modelo no se empleará en este trabajo debido a que no es posible establecer a priori, el valor del área efectiva requerida, A_s , y el factor de corrección, F ; por tanto, se emplearán las ecuaciones 3.29 y 3.31 con el siguiente valor para K_T :

$$K_T = K_{20}(1.06)^{(T-20)} \quad (3.33)$$

en donde $K_{20} = 0.678$ [día⁻¹]. Adicionalmente, la profundidad del agua, y , se asumirá igual a 0.6 m, la DBO₅ en el afluente (C_o) es de 392 mg/l (tabla 3.2); y la esperada en el efluente (C_e) de 78.4 mg/l (reducción del 80%); la porosidad, n , de 0.75 y el caudal de 1.05 m³/día para una familia de 5 personas.

Finalmente, la suposición de la temperatura del agua en el humedal toma en cuenta que la temperatura típica de la descarga es de 21°C (ver tabla 3.2), pero que al mezclarse con el agua presente en el sistema y al estar en contacto con la atmósfera, disminuye; es por ello que para los cálculos se asume un valor de 15°C.

Para una temperatura de 15° C, la constante K_T es igual a 0.50664 día⁻¹, y el área necesaria para obtener el 80% de degradación de la materia orgánica, medida como DBO₅ es:

$$A_s = \frac{1.05(\ln(392) - \ln(78.4))}{(0.50664)(0.6)(0.75)} = 7.41228 \text{ m}^2$$

Bajo los supuestos hechos, el área necesaria es mayor a los 7.4 m², pero si el emplazamiento cuenta con una mayor superficie disponible, es posible disminuir aún más la concentración de materia orgánica en el efluente. La siguiente tabla muestra la concentración de DBO₅ que podría obtenerse para diferentes áreas del humedal.

Tabla 3.18 Concentración de DBO₅ en el efluente para diferentes áreas de humedal

Área de remoción (m ²)	Concentración de DBO ₅ en el efluente	Porcentaje de remoción de DBO ₅	Área de remoción (m ²)	Concentración de DBO ₅ en el efluente	Porcentaje de remoción de DBO ₅
2.00000	253.91485	35.23%	12.00000	28.95331	92.61%
4.00000	164.47131	58.04%	14.00000	18.75428	95.22%
6.00000	106.53497	72.82%	16.00000	12.14793	96.90%
7.41228	78.39992	80.00%	18.00000	7.86873	97.99%
10.00000	44.69884	88.60%	20.00000	5.09690	98.70%

Modelos de diseño para remoción de Nitrógeno: La principal fuente de oxígeno para la nitrificación en los humedales es la reaeración atmosférica de la superficie del agua. Aunque el humedal es poco profundo, la mayoría del líquido está en condiciones anaerobias. Como resultado, la nitrificación solamente se lleva a cabo en la parte cercana a la superficie del agua y la desnitrificación es posible que ocurra en el resto del líquido. La temperatura influye de diversas formas, en las reacciones biológicas, tanto de nitrificación como de desnitrificación, y en la solubilidad del oxígeno en el agua.

Nitrificación: El modelo de diseño recomendado asume que la remoción de amoníaco se da completamente por la vía de la nitrificación, despreciando su asimilación por las plantas.

Para temperaturas del agua de 10° C o más, la dependencia de la temperatura del proceso de nitrificación es menor que la del proceso de remoción de materia orgánica. Para calcular la remoción de amoníaco se empleará la ecuación 3.29, con la precaución de sustituir la concentración de amoníaco en el efluente como

C_e y la de NKT como C_o , además de emplear la siguiente expresión para calcular la constante de remoción para $T > 10^\circ\text{C}$:

$$K_T = 0.2187(1.048)^{(T-20)} \quad (3.34)$$

Desnitrificación: El modelo de nitrificación tiene en cuenta solamente la conversión de amoníaco en nitrato y sirve para calcular el área requerida para alcanzar un determinado nivel de conversión. En general, mucha de la producción de nitrato del humedal puede desnitrificarse y ser removida dentro del área prevista para la nitrificación y sin necesidad de proporcionar ninguna fuente de carbono adicional.

La concentración de nitrato se calcula con la ecuación 3.29 y la siguiente expresión para la constante de desnitrificación, para $T > 1^\circ\text{C}$:

$$K_T = 1.0 (1.15)^{(T-20)} \quad (3.35)$$

Nitrógeno total: El nitrógeno total en el efluente del sistema es el resultado de los procesos de nitrificación y desnitrificación antes descritos. Cuando se requiere la desnitrificación, es generalmente porque se tiene un límite de descarga para el nitrógeno total (NT). La determinación del área requerida para alcanzar un nivel específico de NT se realiza mediante un procedimiento iterativo:

1. Se asume un valor para el amoníaco residual del efluente, C_e y con él, se obtiene el área requerida para nitrificar mediante la ecuación 3.31 y el tiempo de retención para el sistema con la expresión 3.30.

Para el diseño del humedal tipo, se asume una reducción del 20% del nitrógeno amoniacal y la temperatura de 15°C . Además, de la tabla 3.2 se tienen que la concentración de NH_3 en el afluente es igual a 14 mg/l (con lo que en el efluente será de 11.2 mg/l), y la concentración de NKT en el afluente igual a 57 mg/l. De donde:

$$K_{15^\circ} = 0.2187(1.048)^{(15-20)} = 0.17299 \text{ día}^{-1}$$

$$A_s = \frac{(1.05 \text{ m}^3/\text{día}) \ln(57 \text{ mg/l} / 11.2 \text{ mg/l})}{(0.17299 \text{ día}^{-1})(0.6\text{m})(0.75)} = 21.946 \text{ m}^2$$

$$t = \frac{(21.964 \text{ m}^2)(0.6\text{m})(0.75)}{1.05 \text{ m}^3/\text{día}} = 9.40543 \text{ día}$$

2. Se considera que el nitrato producido por la nitrificación es igual a $C_o - C_e$ y se emplea este valor como la concentración inicial del afluente en el proceso de desnitrificación:

$$C_o - C_e = 57 \text{ mg/l} - 11.2 \text{ mg/l} = 45.8 \text{ mg/l}$$

$$K_{15^\circ} = 1.0 (1.15)^{(15-20)} = 0.49718 \text{ día}^{-1}$$

$$C_e = 45.8 \text{ mg/l} \exp\left[-(0.49718 \text{ día}^{-1})(9.40543 \text{ día})\right] = 0.42661 \text{ mg/l}$$

3. Finalmente, se calcula la concentración de NT en el efluente como la suma del nitrógeno amoniacal y resultado del proceso de desnitrificación. Esto es:

$$NT = 11.2 \text{ mg/l} + 0.42661 \text{ mg/l} = 11.62661 \text{ mg/l}$$

Entonces, para una área de remoción de 21.946 m^2 , la concentración de nitrógeno total en el efluente es de 11.62661 mg/l (reducción del 79.6%).

Por lo tanto, el área mínima requerida es de 22 m^2 , pero si el emplazamiento cuenta con una mayor superficie disponible, es posible disminuir aún más la cantidad de nitrógeno total en el efluente. La siguiente tabla muestra la concentración de NT para diferentes áreas del humedal; el procedimiento de cálculo para cada renglón es análogo al presentado en líneas anteriores.

Tabla 3.19 Concentración de NT en el efluente para diferentes áreas de humedal

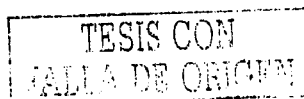
Área de remoción (m ²)	Concentración de NH_4 en el afluente (mg/l)	Porcentaje de remoción de NH_4	Tiempo de retención t (días)	Concentración de nitratos en el efluente (mg/l)	Concentración de NT en el efluente (mg/l)	Porcentaje de remoción de NT
18.936	14.00000	0.00%	8.11564	0.76055	14.76055	74.10%
21.946	11.20014	20.00%	9.40543	0.42661	11.62675	79.60%
22.000	11.15539	20.32%	9.42857	0.42214	11.57753	79.69%
24.000	9.61802	31.30%	10.28571	0.28491	9.90293	82.63%
26.000	8.29252	40.77%	11.14286	0.19126	8.48377	85.12%
28.000	7.14969	48.93%	12.00000	0.12782	7.27752	87.23%
30.000	6.16436	55.97%	12.85714	0.08512	6.24948	89.04%
32.000	5.31483	62.04%	13.71429	0.05651	5.37134	90.58%

Nota: El menor área de humedal es de 18.936 m^2 y corresponde al punto en el que la remoción de NH_4 es igual a cero; es evidente que, bajo las consideraciones hechas de temperatura, porosidad del lecho y profundidad del humedal, es imposible obtener un área menor.

Modelo de diseño para remoción de Fósforo: La remoción de fósforo no es completamente efectiva en los humedales. Durante el primer año de operación los rendimientos pueden ser excelentes, debido a la adsorción del recién expuesto suelo del fondo del humedal. Sin embargo, la remoción de fósforo a largo plazo tiene una eficiencia insignificante ya que sólo puede ocurrir a través de la acumulación por sedimentación particulada y/o precipitación química.

Dependiendo del caudal y de la carga hidráulica asociada, es posible remover entre un 30 y un 60% del fósforo presente en el afluente. Como la deposición de sedimentos es la principal vía de eliminación del fósforo, la masa removida es función del área superficial del humedal y de la concentración de fósforo en el agua residual.

El modelo de remoción que se emplea para fósforo, es también un modelo de primer orden cuya ecuación característica es:



$$\frac{C_e}{C_o} = \exp\left(\frac{-K_p}{CH}\right) \quad (3.36)$$

Para el cálculo del área superficial se emplea la expresión:

$$A_s = \frac{100Q(\ln(C_o/C_e))}{K_p} \quad (3.37)$$

donde la constante de remoción K_p igual a 10 m/año, equivalente a un promedio diario de 2.74 cm/día.

Para el caso del humedal tipo, la concentración de fósforo del afluente C_o es igual a 19 mg/l y la esperada en el efluente C_e es 11.4 mg/l (reducción del 40%). Entonces, el área necesaria es:

$$A_s = \left[(100 \text{ cm}^3/\text{m}^3)(1.05 \text{ m}^3/\text{día})(\ln(19/11.4)) \right] / 2.74 \text{ cm}/\text{día} = 19.57543 \text{ m}^2$$

Bajo los supuestos realizados, el área necesaria es mayor a los 19 m², no obstante, si el emplazamiento cuenta con una mayor superficie disponible es posible disminuir aún más la cantidad de fósforo en el efluente. La siguiente tabla muestra la concentración de fósforo para diferentes áreas del humedal.

Tabla 3.20 Concentración de P en el efluente para diferentes áreas de humedal

Área de remoción (m ²)	Concentración de P en el efluente (mg/l)	Porcentaje de remoción de P	Área de remoción (m ²)	Concentración de P en el afluente (mg/l)	Porcentaje de remoción de P
4.000	17.11676	9.91%	24.000	10.15690	46.54%
8.000	15.42018	18.84%	28.000	9.15017	51.84%
12.000	13.89176	26.89%	32.000	8.24322	56.61%
16.000	12.51484	34.13%	36.000	7.42617	60.91%
19.575	11.40000	40.00%	40.000	6.69010	64.79%
20.000	11.27439	40.66%	42.000	6.34990	66.58%

Entonces, para una área de remoción de 19.57543 m², la concentración de fósforo en el efluente es de 11.4 mg/l (reducción del 40%). Este porcentaje es menos ambicioso que en los casos de nitrógeno y materia orgánica, pero después de analizar la tabla 3.20, es evidente que se requieren áreas sumamente grandes para una mayor remoción, áreas que no son compatibles con la aplicación doméstica que contempla este trabajo. En la literatura consultada sobre humedales se enfatiza que estos sistemas no están diseñados para tratar eficazmente este contaminante.

Remoción de sólidos suspendidos totales: La remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en un humedal se debe a procesos físicos y sólo está influida por la temperatura a través de los efectos de la viscosidad en el flujo del agua. Dado que

la distancia de sedimentación para la materia particulada es relativamente pequeña y que el tiempo de residencia del agua en el humedal es muy largo debido a las necesidades de remoción de los demás contaminantes abordados, estos efectos de la viscosidad pueden omitirse, al igual que el cálculo del área requerida.

Área final del humedal: La tabla 3.21 es un resumen de los resultados de los modelos de remoción de cada contaminante.

Tabla 3.21 Resumen de resultados de los modelos de remoción de contaminantes

Contaminante	Concentración en el efluente (mg/l)	Concentración en el afluente (mg/l)	Porcentaje de reducción	Área de remoción requerida (m ²)
Materia Orgánica (medida como DBO ₅)	392.00	78.40	80.00 %	7.41228
NT	57.00	11.63	79.60 %	21.94600
P	19.00	11.40	40.00 %	19.57543

En conclusión, el área requerida del humedal, bajo las condiciones supuestas, es de **21.946 m²**.

Diseño hidráulico: Tiene la finalidad de garantizar las condiciones de flujo pistón necesarias para la remoción de contaminantes y las de flujo compatible con el tiempo de retención. El flujo dentro de un humedal puede ser descrito con la ecuación de Manning para canales abiertos:

$$v_f = \frac{1}{n_m} y^{2/3} s^{1/2} \quad (3.38)$$

en donde el número de Manning, n_m , es función de la resistencia producida por la vegetación emergente, que a su vez depende de la profundidad del agua, la densidad de la vegetación y de la cantidad de residuos que puede variar según la localización o la estación. La relación está definida por:

$$n_m = \frac{a}{y^{1/2}} \quad (3.39)$$

Los valores típicos del factor de resistencia a son:

- 0.4 s·m^{1/6} para vegetación escasa cuando la profundidad $y > 0.4$ m
- 1.6 s·m^{1/6} para vegetación moderadamente densa con profundidades de agua residual de $y \approx 0.3$ m.
- 6.4 s·m^{1/6} para vegetación muy densa y capa de residuos, en humedales con $y \leq 0.3$ m.

Combinando las ecuaciones anteriores, sabiendo que $v_f = \%_{wy}$ o $v_f = \%_{(A\%)}(A\%)$ y que el gradiente hidráulico, s , es función de la pendiente, $s = py/L$, se puede calcular la longitud máxima del humedal que permitirá cumplir con el tiempo de retención necesario para la remoción de contaminantes:

$$L = \left[\frac{A_e y^{8/3} p^{1/2} \cdot 86,400}{aQ} \right]^{2/3} \quad (3.40)$$

donde p es la pendiente del fondo del lecho, expresada como fracción.

Para determinar la longitud del humedal necesaria, primero se determina el área superficial del humedal, A_e , mediante el modelo de diseño de remoción del contaminante limitante y posteriormente se establece un valor para la pendiente del humedal; típicamente entre 0.1 y 0.3. Una relación largo-ancho 3:1, suele ser la mejor selección desde el punto de vista costo eficiencia, pero otras combinaciones de longitud, ancho y gradiente hidráulico son posibles para ajustar la forma del humedal al sitio y su topografía.

Para el área superficial determinada mediante los modelos de remoción de contaminantes, 21.946 m^2 , las dimensiones del humedal para una relación 3:1, serían $L = 8.11 \text{ m}$ y $W = 2.70 \text{ m}$.

Ahora bien, es necesario comprobar que estas dimensiones son adecuadas de acuerdo a los criterios de diseño hidráulico, por lo que a continuación se calculará la longitud máxima del sistema.

Considerando el área (A_e) y la profundidad (y) como 21.946 m^2 y 0.6 m , respectivamente; suponiendo además los valores de $a = 0.4 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/6}$ y $p = 0.15$, la máxima longitud que el humedal puede tener es:

$$L = \left[\frac{(21.946 \text{ m}^2)(0.6 \text{ m})^{8/3}(0.15)^{1/2}(86,400 \text{ s/día})}{(0.4 \text{ s} \cdot \text{m}^{1/6})(1.05 \text{ m}^3/\text{día})} \right]^{2/3} = 5853.01 \text{ m}$$

Como puede observarse, la longitud propuesta para el humedal es mucho menor que la máxima permitida por el diseño hidráulico, lo que garantiza la existencia de condiciones de flujo pistón en el humedal propuesto y también, el exitoso funcionamiento de los modelos biológicos de remoción de contaminantes.

Aspectos térmicos: Las condiciones de temperatura en el humedal afectan tanto los procesos físicos como los biológicos. Condiciones de bajas temperaturas sostenidas y la resultante formación de hielo, podrían conllevar en caso extremo, a la falla física del humedal. Las constantes dependientes de la temperatura empleadas en los modelos de remoción de materia orgánica y nitrógeno, son necesarias para garantizar su funcionamiento correcto.

En esta sección se presenta la forma de calcular la temperatura en el humedal, la temperatura del agua en que se inicia la formación de hielo, además de verificar que el valor asumido en los cálculos de dimensionamiento sea correcto.

La experiencia ha mostrado que la formación de hielo comienza cuando la temperatura del agua se aproxima a los 3° C, debido a las diferencias de densidad y pérdidas por convección en la superficie del agua.

La temperatura del agua en cualquier punto del humedal se calcula como:

$$T_w = T_f + (T_0 - T_f) \cdot \exp \left[\frac{-U_s (x - x_0)}{\rho_s \text{ y } v_f C_p} \right] \quad (3.41)$$

Los valores típicos del coeficiente de transferencia de calor en la superficie del humedal U_s son: 1.5 W/m²°C para vegetación pantanosa densa y 10-25 W/m²°C para superficies abiertas de agua.

La velocidad superficial de flujo, v_s , se calcula para la longitud estimada de 8.11 m y un tiempo de retención de 9.40543 días (ver tabla 3.19):

$$v_s = \frac{8.11406 \text{ m}}{9.40543 \text{ día}} = 0.8627 \text{ m/día} = 9.98495 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

Para este valor y $T_f=0^\circ\text{C}$, $T_0=21^\circ\text{C}$, $L=x-x_0=8.11406 \text{ m}$ y asumiendo $U_s=4 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (tomando en cuenta que en fases iniciales del funcionamiento del humedal, la vegetación no será demasiado abundante), la temperatura a la salida del humedal es:

$$T_w = 0^\circ\text{C} + (21^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) \cdot \exp \left[\frac{-(4 \text{ W/m}^2\text{°C})(8.11406 \text{ m})}{(1000 \text{ kg/m}^3) (0.6 \text{ m}) (9.98495 \times 10^{-6} \text{ m/s})(4186 \text{ J/kg°C})} \right]$$

$$T_w = 5.75645^\circ\text{C}$$

Este valor es mayor a 3°C, lo que permite asegurar que no se formará hielo antes que el agua abandone el humedal, y por ende, no exista la posibilidad de fallo por este factor. Además de que el área de remoción estimada y longitud del humedal son adecuadas.

La temperatura mínima en el mes más frío que puede presentarse en el sitio de emplazamiento, sin que se forme hielo antes de la salida del agua y que garantiza el buen funcionamiento del humedal es:

$$3^\circ\text{C} = T_f + (21^\circ\text{C} - T_f) \cdot \exp \left[\frac{-(4 \text{ W/m}^2\text{°C})(8.11406 \text{ m})}{(1000 \text{ kg/m}^3) (0.6 \text{ m}) (9.98495 \times 10^{-6} \text{ m/s})(4186 \text{ J/kg°C})} \right]$$

$$T_f = -3.7971^\circ\text{C}.$$

3.4.1.2 Estimación de costos

La implantación de un humedal para tratamiento de aguas residuales implica básicamente la construcción de un canal (en este caso de 21.946 m² de superficie y 0.6 m de profundidad) y del tendido de la tubería necesaria para llevar las aguas grises y negras al sistema. Además, para evitar la filtración de contaminantes es necesario recubrir el canal con una capa de algún material útil para este fin.

La vegetación adecuada para humedales son: lirios, carrizos, juncos y juncos de laguna; algunas de estas especies se pueden conseguir en mercados de plantas y viveros.

A continuación se muestra la estimación del costo de la construcción de un humedal de las características planteadas en el punto 3.4.1.1. Los precios que se manejan incluyen mano de obra y materiales y se obtuvieron del Catálogo BIMSA 2001 publicado por BIMSA Comunicaciones S.A. de C.V.

Tabla 3.22 Estimación de costos para la construcción de un humedal

Descripción	Cantidad	Unidad	Costo Unitario	Costo Total
Salidas de drenaje (3)	250.00	\$/salida		\$ 750.00
Tubería PVC (10 m)	80.00	\$/m		\$ 800.00
Cepa p/drenaje (10 m)	40.00	\$/m		\$ 400.00
Canal (17.5 m ³)*	135.00	\$/m ³		\$ 2,362.50
Capa de cemento (35 m ²)	105.00	\$/m ²		\$ 3,675.00
Vegetación Lirios (10)	13.00	\$/planta		\$ 130.00
Carrizos (10)	40.00	\$/planta		\$ 400.00
T O T A L (2001)				\$ 8,517.50
T O T A L (2002)**				\$ 8,976.07

*El costo de la construcción del canal se calcula considerando 1.3 el volumen de tierra a remover.

** Valor actualizado a noviembre de 2002 considerando una inflación de 5.39% (Banco de México, 2002b).

3.4.1.3 Viabilidad

Características físicas del emplazamiento: Para el exitoso funcionamiento de un humedal artificial construido bajo el diseño planteado en el apartado 3.4.1.1, es necesario que la temperatura promedio del mes más frío no esté por debajo de los -3.7971 °C, y se tenga disponible un área de 21.946 m²

Percepción económica: Derivado de la estimación de costos del equipo, se recomienda que el ingreso mensual familiar sea mayor a **5 salarios mínimos***.

Conocimientos técnicos necesarios para el mantenimiento: El mantenimiento de un humedal artificial requiere de la verificación de una serie de factores:

* En el Anexo B se puede consultar mayor información sobre los salarios mínimos y las áreas geográficas donde se aplican.

- El agua debe cubrir todas las partes de la superficie del humedal. Se debe tener cuidado de no exceder los límites de tolerancia de las especies usadas durante periodos largos de tiempo.
- El sistema debe ser verificado periódicamente para asegurar que el agua se está moviendo a través de todas las partes del humedal y que los residuos no bloquean los caminos de flujo (para evitar el riesgo de proliferación de mosquitos).
- Los humedales deben revisarse después de subidas importantes de caudal; cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones.
- La vegetación debe ser inspeccionada regularmente y es importante quitar las especies invasoras. Los herbicidas no deben usarse excepto en circunstancias extremas.

Derivado del mantenimiento descrito se considera que la escolaridad adecuada de los habitantes debe ser equivalente a **nivel medio básico**.

3.4.2 Dispositivos ahorradores de agua

Existe toda una serie de dispositivos orientados al ahorro de agua en una vivienda, tales como regaderas economizadoras, rociadores para fregadero y reductores de consumo hidráulico. La siguiente tabla muestra algunos de estos productos y su costo en el mercado.

Tabla 3.23 Precios de dispositivos ahorradores de agua comercializados en México

D'Agua	\$ 46.20	Plomatic	\$ 28.50
Ondine	\$ 77.80	Pidsa (plástico)	\$ 35.70
Pidsa	\$ 140.60	Pidsa (metálico)	\$ 37.90
D'Agua	\$ 20.90	Pidsa	\$ 63.10
D'Agua	\$ 28.30	D'Agua	\$ 63.10
Plumbshop	\$ 16.80		
Pidsa	\$ 21.50		

**Precios recopilados en ferreterías y tiendas especializadas en noviembre de 2002.*

Ahorro de agua: De los 1390 litros diarios que una familia de 5 personas consume (ver apartado 3.1), se estima que 30% es utilizado en la regadera, 25% en el fregadero, 25% en el lavadero, 10% en el lavabo y 10% en el excusado (Deffis, 1994). La mayoría de los fabricantes de dispositivos ahorradores coinciden en señalar que la instalación de sus productos permite un ahorro de hasta un 70%; sin embargo, para efectos de cálculo y siendo conservadores, se considerará que este porcentaje es del 50%. En la tabla 3.24 se muestra la disminución en el

consumo de agua de la vivienda de 5 habitantes con la utilización de economizadores para la regadera y el fregadero, que son los más comúnmente comercializados en México.

Tabla 3.24 Disminución del consumo de agua con la utilización de dispositivos ahorradores

Elemento	Consumo sin dispositivos ahorradores [litros/día]	Consumo con dispositivos ahorradores [litros/día]
Regadera	417.0	208.50
Lavadero	347.5	347.50
Lavabo	139.0	139.00
Excusado	139.0	139.00
Fregadero	347.5	173.75
Total diario	1390.0 l/día	1007.75 l/día
Total bimestral	83,400 l/bimestre	60,465 l/bimestre

Como se observa, el consumo total de agua disminuye en un 27.5% (22,935 litros) con la instalación de un dispositivo ahorrador para la regadera y uno para el fregadero; lo que representa un ahorro \$44.72 al bimestre como se muestra en la tabla 3.25.

Tabla 3.25 Costo bimestral por consumo de agua

Unidad	Consumo bimestral	Importe bimestral
1.95 \$/m ³ 0.00195 \$/litro	83,400 litros	\$ 162.63
	60,465 litros	\$ 117.91
Ahorro	22,935 litros	\$ 44.72

*Fuente: INEGI, 2002.

Es evidente que no existen limitaciones físicas del emplazamiento ni de escolaridad de los habitantes de la vivienda para la utilización de dispositivos ahorradores de agua; además, debido a su bajo costo en comparación con cualquier otro módulo tratado en este documento, se considera que prácticamente cualquier persona podría adquirirlos.

3.4.3 Sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia

En la actualidad el tema del agua se ha convertido en una gran preocupación a nivel mundial; es evidente que este recurso se hace más escaso a medida que se sobreexplotan los mantos acuíferos, es por ello que la idea de captar el agua de lluvia para su posterior utilización en las actividades de la vivienda se ha hecho cada vez más viable y hasta necesaria en zonas donde el suministro es deficiente o incluso inexistente.

La recolección de agua de lluvia que se pueda realizar depende principalmente de dos factores, la precipitación anual en el emplazamiento y el área de captación

con que cuente la vivienda. Debido a lo anterior, los cálculos que a continuación se presentan están orientados a la determinación de un nivel de precipitación mínimo para obtener, al menos, el 10% del consumo anual de agua.

3.4.3.1 Diseño

El volumen de agua que puede obtenerse es el resultado de la multiplicación del área de captación por la precipitación anual del emplazamiento en unidades de longitud. El consumo total de agua de una familia de 5 personas es de 507,350 l/año; la finalidad de este módulo es suplir mínimo el 10% de este consumo mediante la utilización de un sistema de captación pluvial.

Si consideramos que el área de captación se ubica en una parte del techo de la vivienda (que debe contar con la mayor pendiente posible para este fin) y que asciende a 50 m² en promedio (*Deffis, 1994*), la precipitación anual mínima para captar 50,735 litros (50.735 m³) es:

$$\text{Precipitación anual} = \frac{50.735 \text{ m}^3}{50 \text{ m}^2} = 1.015\text{m} = 1014.7 \text{ mm}$$

El valor obtenido debe corregirse con un factor que tome en cuenta las pérdidas de la captación por evaporación y filtración; normalmente se considera que se puede captar un 80% del total de la precipitación pluvial (*Deffis, 1994*). Entonces, la precipitación mínima necesaria es de 1217.64 mm.

Si la vivienda cuenta con un área de captación mayor para este sistema, el consumo total podrá suplirse en mayor medida.

*En resumen, para las consideraciones hechas, la precipitación anual mínima del emplazamiento debe ser de **1217.64 mm** para suplir el 10% del consumo total anual de agua de una familia de 5 personas.*

3.4.3.2 Estimación de costos

Un sistema de captación de agua de lluvia consta de los siguientes elementos:

1. Superficie colectora, que para la mayoría de los casos corresponde al techo de la vivienda.
2. Canalón de lámina galvanizada y tubería de PVC, que conducen el agua de la superficie colectora al depósito de almacenamiento.
3. Filtro de arena que permita retirar las impurezas del agua.
4. Depósito de almacenamiento.
5. Bomba centrífuga para conducir el agua al tinaco de la vivienda.



Es importante mencionar que el filtro de arena no es suficiente para tratar el agua y haría apta para consumo humano; si ese fuera el fin, sería conveniente realizar una desinfección con cloro en el depósito de almacenamiento.

Para conocer el costo aproximando de los sistemas de captación de agua de lluvia, se consultaron el Catálogo Electrónico de Costos publicado por Constructora de Software, S.A. de C.V. y el Catálogo de Productos de Materiales Aceros Tucán S.A. de C.V. A continuación se presenta la cotización del presente módulo ecológico.

Tabla 3.26 Estimación de costos para el sistema de captación pluvial

Concepto	Precio unitario		Total
Canalón lámina galvanizada de 6" (2 tramos de 3.05 m).	68.31	\$/tramo	\$ 136.62
Tubería de P.V.C. hidráulico 25mm RD-26 extremos lisos (5 m)	5.89	\$/m	\$ 29.45
Conexiones de P.V.C. hidráulico 25 mm (5 pzas)	2.62	\$/pza	\$ 13.10
> Tambor de 200 litros	100.00	\$/pza	\$ 200.00
Dos > Tezontle (capa de 8 cm, 0.02 m3)	111.59	\$/m ³	\$ 4.46
filtros de > Grava (capa de 15 cm, 0.03 m3)	107.25	\$/m ³	\$ 6.44
arena* > Arena (capa de 25 cm, 0.05 m3)	107.25	\$/m ³	\$ 10.72
> Tela de mosquitero (0.5 m)	13.00	\$/m	\$ 13.00
Cisterna Rotoplas 5,000 litros. Equipada con bomba de 1/2" hp. Filtro y cartucho. Válvula esfera de 3/4" con reducción a 1/2". Válvula de llenado. Flotador # 7. Dos electroneveles y válvula con pichancha. Altura 1.80 m x 2.20 m de diámetro.	8,011.80	\$/pza	\$ 8,011.80
	Subtotal		\$ 8,425.59
	Instalación**		\$ 1,264.00
	T O T A L		\$ 9,689.59

Cotización realizada en noviembre de 2002

*Cada filtro requiere todos los elementos listados.

** Los costos de instalación se estima ascienden al 15% del subtotal.

3.4.3.3 Viabilidad

Características físicas del emplazamiento: Como se concluyó en el apartado 3.4.3.1, para suplir el 10% del consumo total anual de agua de una familia de 5 personas por medio de un sistema de captación de agua de lluvia, es necesario que la precipitación anual del emplazamiento sea de al menos **1217.64 mm**.

Percepción económica: Derivado de la estimación de costos del equipo, se considera que el ingreso mensual familiar debe ascender al menos a **5 salarios mínimos***, para adquirir un sistema de esta naturaleza en un tiempo razonable.

Conocimientos técnicos necesarios para el mantenimiento: El mantenimiento que requieren los elementos del módulo es el siguiente.

* En el anexo B se puede consultar mayor información sobre los salarios mínimos y las áreas geográficas donde se aplican.

- El canalón debe limpiarse y pintarse interior y exteriormente cada 6 meses como mínimo.
- Cada año después del primer mes de lluvia deberán limpiarse los filtros, sacando la grava y el tezontle para lavarlos.
- La cisterna deberá vaciarse y limpiarse cuidadosamente con agua clorada por lo menos 4 veces al año.

Derivado del mantenimiento descrito, se considera que **no se requiere una capacitación técnica específica, ni estudios universitarios** para hacerse cargo del mantenimiento de este módulo.

3.5 Módulo para aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos

3.5.1 Módulo de separación de residuos sólidos y compostaje

Como se verá en líneas siguientes, un gran porcentaje de la basura es orgánica, esto es, desperdicios de comida y residuos de la poda de jardines, así que una reducción en la producción de estos desechos tendrá una repercusión importante en el balance total.

La composta se fabrica a partir de residuos orgánicos exclusivamente; es por ello necesario que en la vivienda se realice una previa separación de los residuos sólidos que se generan (ver capítulo 2).

Evaluación de la reducción de RSM por composteo: En México se generan alrededor de 1.33 kg/hab-día de RSM, un total de 6.65 kg/día para una familia de 5 personas, de los cuales el 27.557% corresponden a residuos alimenticios y el 15.012% a residuos de jardinería (ver tabla 3.3). En la tabla 3.27 se presenta el cálculo del volumen de residuos orgánicos que se generan diariamente en una vivienda.

Tabla 3.27 Volumen total de residuos orgánicos en una vivienda de 5 habitantes

Generación	Porcentaje	27.557	15.012
	Peso	1.833 kg/día	0.998 kg/día
Densidad típica*		300 kg/m ³	100 kg/m ³
Volumen		6.108X10 ⁻³ m ³ /día	9.983X10 ⁻³ m ³ /día
Total de residuos orgánicos		0.01609 m³/día	

* Henry & Heinke, 1999

Como se observa en la tabla 3.28 es posible realizar una disminución del 5.25% en la generación de RSM mediante la utilización de un sólo hoyo composta, **no existiendo limitaciones físicas del emplazamiento ni de escolaridad** de los habitantes de la vivienda para la realización de composteo. Es conveniente resaltar que **el costo de un hoyo composta es poco significativo** porque su

construcción y mantenimiento pueden ser llevadas a cabo por los propios miembros de la familia.

En el caso de que no se cuente con terreno disponible, el costo se reduce a la adquisición de un contenedor de capacidad similar al planteado en los cálculos y tierra para cubrir las capas de residuos orgánicos.

Tabla 3.30 Porcentaje de reducción de RSM por composteo

Dimensiones del hoyo composta		
a	Largo	0.6 m
b	Ancho	0.6 m
c	Profundidad	1.0 m
Dimensiones de la capa de residuos orgánicos		
d	Peso de residuos orgánicos generados	2.831 kg/día
e	Volumen de residuos orgánicos generados	0.0161 m ³ /día
f	Tiempo para formar la capa**	3 días
g	Volumen de la capa de residuos [e·f]	0.0483 m ³
h	Espesor de la capa de residuos [a·b·g]	0.134 m
i	Espesor de la capa de tierra	0.05 m
j	Espesor total de la capa [h+i]	0.184 m
k	Número de capas del hoyo composta [c+j]	5 capas
l	Total de residuos orgánicos contenidos en el hoyo composta [d·f·k]	42.462 kg
m	Número de veces que se puede realizar el composteo***	3 veces/año
Total de residuos orgánicos reciclados [l·m]		127.386 kg/año
Total de RSM generados		2,427.250 kg/año
Porcentaje de reducción de RSM		5.25 %

* En los casos en que no se cuente con terreno suficiente para construir un hoyo composta se puede hacer uso de un contenedor metálico que se describe en el capítulo 2.

**Se considera que no es conveniente almacenar residuos orgánicos por más de 3 días.

***Una vez que el hoyo composta se carga, se deben dejar pasar 4 meses antes de vaciarlo.

Capítulo 4 La República Mexicana y las casas ecológicas

La viabilidad de la instalación de casas ecológicas está determinada por factores físicos, climáticos, sociales y económicos de la región de interés. En este capítulo se presentan y analizan estos factores para el caso de la República Mexicana, lo que a la postre permitirá determinar las zonas recomendables para la instalación y buen funcionamiento de los dispositivos ecológicos.

Las variables físicas que aquí se analizan son: el clima, la insolación, la precipitación pluvial y la velocidad del viento, como las variables físicas más importantes a considerar; mientras que la distribución de la población, el número de habitantes por vivienda, disposición de vivienda, disposición de servicios en las viviendas, escolaridad e ingreso per cápita, son las variables socioeconómicas de este estudio.

A continuación se presentan mapas, tablas y datos relevantes en el contexto de la instalación de casas ecológicas, anexando un breve análisis de las características que identificarán las regiones potencialmente atractivas para la construcción de los módulos o dispositivos ecológicos descritos en los capítulos anteriores.

Antes de presentar las características físicas a tratar en el apartado 4.1 resulta útil recordar algunos valores relacionados con el emplazamiento de módulos ecológicos:

Radiación solar para calentador de agua	19 [MJ/m ² -día]
Radiación solar para sistema de fotocelda	19 [MJ/m ² -día]
Velocidad del viento para sistemas de aerogeneración	5.4 [m/s]
Potencia obtenible del viento para sistemas de aerogeneración	20.9459 [W/m ²]
Temperatura promedio del mes más frío para humedales	-3.7971 °C
Precipitación anual para sistemas de captación	1217.64 mm

4.1 Características físicas

El territorio de la República Mexicana está dividido en 31 Estados y un Distrito Federal que se muestran en la figura 4.1.

4.1.1 Tipos de climas

El comportamiento de la atmósfera varía de un día a otro; después de varios años de observaciones, se puede ver que dicho comportamiento sigue pautas determinadas. De esta manera se llega al conocimiento del clima de un lugar, el cual se define como el estado promedio de las condiciones atmosféricas.

El clima se encuentra determinado por diferentes factores. Entre estos podemos mencionar: temperatura, altitud con respecto al nivel del mar, latitud geográfica, precipitación, presión barométrica y distribución de tierras y mares.

La República Mexicana, por su posición geográfica se sitúa casi por partes iguales, al norte y sur del Trópico de Cáncer en el paralelo 23°27' de latitud norte. Esta línea, que cruza los estados de Baja California Sur, Sinaloa, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas, deja a la mitad sur del territorio dentro de una zona climática tropical, y a la norte la define como subtropical.



Fig 4.1 División política de la República Mexicana

Derivada de esta posición, México cuenta con una relativa uniformidad térmica a lo largo del año. Esta condición se acentúa en las regiones centro y sur del país, mientras que en el norte la variación de los factores climáticos es más marcada.

Además, la influencia marítima propicia considerables invasiones de masas de aire húmedo que penetran al país procedentes del Golfo de México y del Océano Pacífico, lo que contribuye a la presencia de un clima isotermal.

En la República Mexicana se pueden distinguir seis tipos básicos de climas (ver tabla 4.1): cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, seco y muy seco. Esta clasificación se basa en la temperatura media anual (promedio anual de la temperatura media diaria), y en la temporada en que se presentan las precipitaciones. A continuación se presenta una breve descripción de las características de los tipos de clima de estudio.

a) Clima cálido húmedo. Se caracteriza por un régimen térmico en el que la temperatura media anual es superior a los 22°C y la temperatura media mensual del mes más frío es superior a los 18°C. En esta zona se presentan lluvias en todos los meses; la precipitación del mes más seco es mayor a 60 mm, y el porcentaje de lluvia invernal con respecto a la anual es mayor al 18%.

b) Clima cálido subhúmedo. En este tipo de clima la temperatura media mensual del mes más frío es mayor a 18°C y la temperatura media anual es mayor a 22°C. La temporada de lluvias queda localizada en los meses de verano, la precipitación del mes más seco es menor a 60 mm y el porcentaje de lluvia invernal varía entre 5 y 10.2% de la anual.

Tabla 4.1 Tipo de clima por entidad federativa

Aguascalientes	Seco	10 a 18	300 a 600
Baja California	Seco, muy seco	10 a 26	0 a 300
Baja California Sur	Seco, muy seco	18 a 26	0 a 600
Campeche	Cálido subhúmedo	más de 26	1 000 a 2 000
Coahuila	Seco, muy seco	10 a 26	100 a 600
Colima	Cálido subhúmedo	22 a 26 y más	600 a 2 000
Chiapas	Cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo	10 a más de 26	1 000 a más de 4 000
Chihuahua	Templado subhúmedo, seco, muy seco	menos de 10 a 22	100 a 2 000
Distrito Federal	Templado subhúmedo	10 a 18	600 a 2 000
Durango	Templado subhúmedo, seco	menos de 10 a 22	300 a 2 000
Guanajuato	Templado subhúmedo, seco	10 a 22	300 a 1 000
Guerrero	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo, seco	10 a más de 26	600 a 2 000
Hidalgo	Templado húmedo, templado subhúmedo, seco	18 a 22	600 a 4 000
Jalisco	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo, seco	10 a más de 26	300 a 2 000
México	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo	menos de 10 a 26	600 a 2 000
Michoacán	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo, seco	10 a más de 26	300 a 2 000
Morelos	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo	10 a 26	1 000 a 2 000
Nayarit	Cálido subhúmedo	18 a más de 26	1 000 a 2 000
Nuevo León	Templado subhúmedo, seco	10 a 26	600 a 1 000
Oaxaca	Cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, seco	10 a más de 26	300 a más de 4 000
Puebla	Cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo, templado subhúmedo, seco	10 a 26	300 a 4 000
Querétaro	Templado subhúmedo, seco	10 a 22	300 a 1 000
Quintana Roo	Cálido subhúmedo	22 a más de 26	1 000 a 2 000
San Luis Potosí	Templado húmedo, templado subhúmedo, seco	10 a 22	300 a 4 000
Sinaloa	Cálido subhúmedo, seco, muy seco	18 a 26	300 a 2 000
Sonora	Seco, muy seco	10 a 26	0 a 600
Tabasco	Cálido húmedo	más de 26	2 000 a más de 4 000
Tamaulipas	Cálido subhúmedo, templado subhúmedo, seco	18 a 26	300 a 2 000
Tlaxcala	Templado subhúmedo, seco	menos de 10 a 18	300 a 1 000
Veracruz	Cálido húmedo, cálido subhúmedo, templado húmedo	10 a 26	1 000 a 4 000
Yucatán	Cálido subhúmedo	22 a 26 y más	300 a 2 000
Zacatecas	Templado subhúmedo, seco	10 a 22	300 a 1 000

Fuente: INEGI, 2001

c) Clima templado húmedo. En el clima templado húmedo se registran temperaturas entre 18° y 22°C y precipitaciones en promedio de 2,000 a 4,000 mm anuales; comprende el 2.7% del territorio nacional.

d) **Clima templado subhúmedo.** Se encuentra en el 20.5% del país, observa en su mayoría temperaturas entre 10° y 18°C y de 18° a 22°C, sin embargo, en algunas regiones puede disminuir a menos de 10°C; registra precipitaciones de 600 a 1,000 mm en promedio durante el año.

e) **Clima cálido subhúmedo.** Clima extremoso. En la época calurosa la temperatura media se encuentra por encima de los 22° C, mientras que en la temporada fría se encuentra por debajo de 18° C. Las lluvias se presentan principalmente en verano, aunque son escasas, varían de 250 a 500 mm anuales.

f) **Clima muy seco.** Representa una agudización del clima anterior, con temperaturas cálidas muy altas, temperaturas frías bajas y lluvias muy escasas y esporádicas, menores a 250 mm anuales.

En términos generales, la distribución porcentual en superficie que ocupan los principales tipos de clima de México es: cálido húmedo, 4.7%; cálido subhúmedo, 23%; seco, 28.3%; muy seco, 20.8%; templado subhúmedo, 20.5% y templado húmedo 27% del territorio.

Como se precisó en el punto 3.4.1.3, los requisitos del emplazamiento para el buen funcionamiento de los humedales artificiales se refieren a la temperatura mínima promedio del mes más frío, es por ello que esta información es presentada en la figura 4.2 para el caso de la República Mexicana.

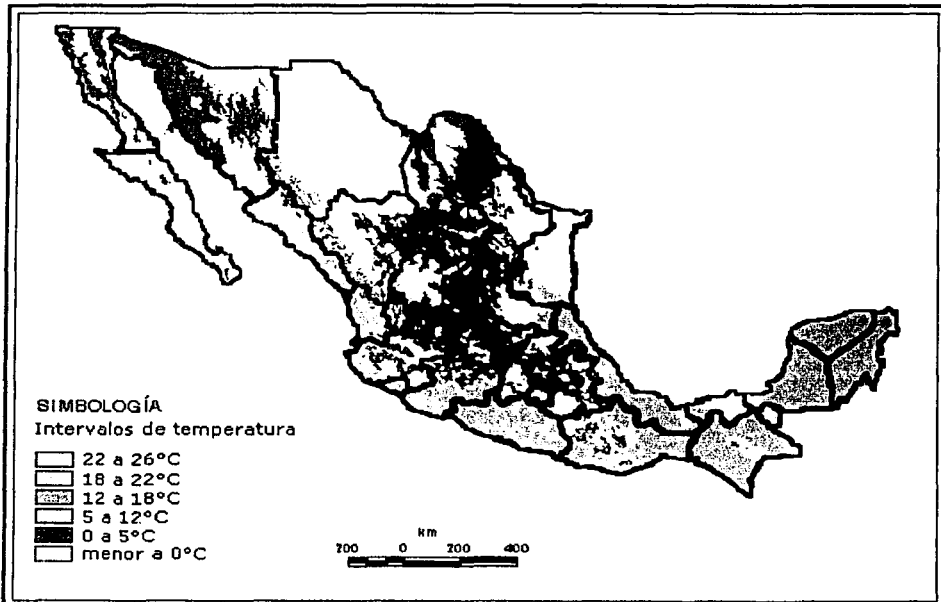


Fig 4.2 Temperatura mínima promedio del mes más frío (Fuente: CONABIO, 1998)

4.1.2 Radiación solar

Los módulos de calentamiento de agua para uso doméstico y generación de energía eléctrica con sistemas de fotocelda requieren una cantidad mínima de radiación solar para funcionar de acuerdo a las condiciones establecidas; es por ello indispensable conocer, para cada estación del año, los niveles que este parámetro alcanza en promedio en la República Mexicana.

En primavera las regiones que presentan una radiación mayor a $24 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ son todo el territorio de Baja California Sur y Norte, noroeste de Sonora, oeste de Nayarit y suroeste de Michoacán; en contraste, radiaciones menores a $20 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ se observan en la mayor parte de Veracruz, norte de Puebla y Chiapas, noreste de Hidalgo, sureste de San Luis Potosí y este de Tlaxcala (ver figura 4.3a).

En verano las zonas que reciben una radiación mayor a $21 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ son todo Baja California Norte, norte de Baja California Sur, norte de Sonora, parte central de Chihuahua, norte de Coahuila, Yucatán y Quintana Roo; en contraste, radiaciones menores a $14 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ se presentan en el noreste de Hidalgo y prácticamente todo el territorio del Estado de México (ver figura 4.3b).

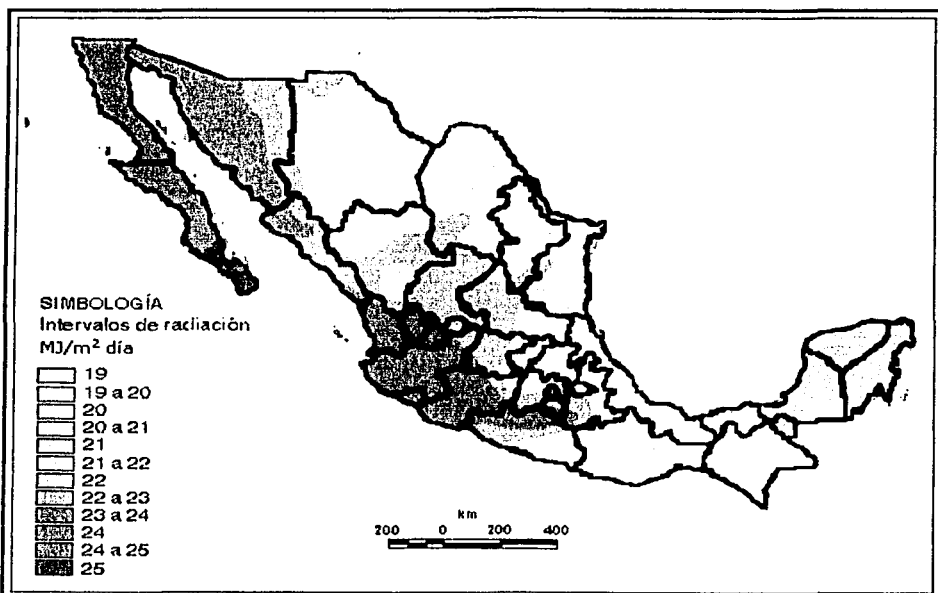


Fig 4.3a Radiación solar media en primavera (Fuente: Instituto de Geografía, UNAM, 1990)

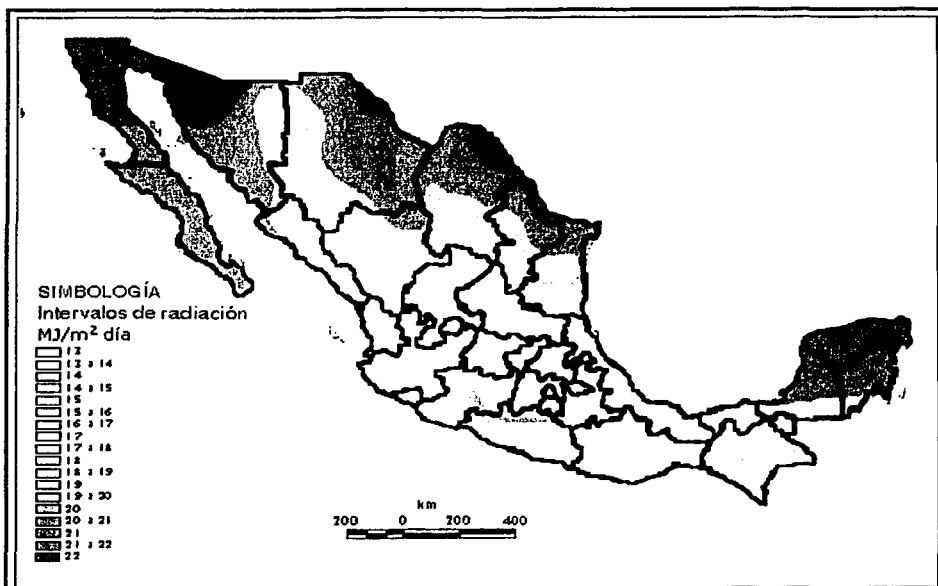


Fig 4.3b Radiación solar media en verano (Fuente: Instituto de Geografía, UNAM, 1990)

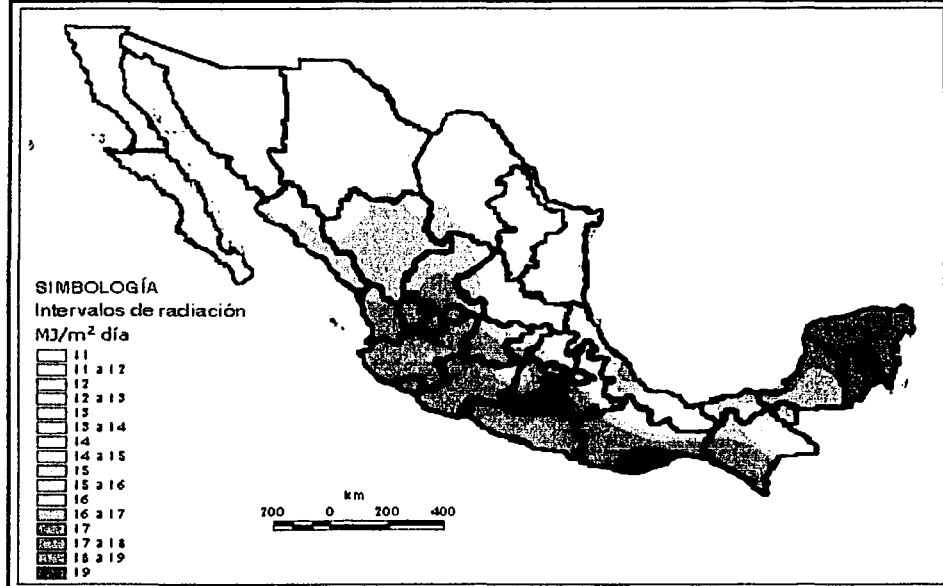


Fig 4.3c Radiación solar media en otoño (Fuente: Instituto de Geografía, UNAM, 1990)

En otoño, gran parte del estado de Michoacán y Guerrero, el sur de Oaxaca y Chiapas, la zona central de Quintana Roo y el sur de Yucatán presentan radiaciones superiores a los 18 MJ/m²-día; en comparación con el norte de Chihuahua, Coahuila y Nuevo León que en esta estación reciben menos de 12 MJ/m²-día (ver figura 4.3c).

Finalmente, en invierno las regiones que presentan una radiación mayor a 18 MJ/m²-día son gran parte de Michoacán, Morelos y Colima, el sur de Oaxaca y sureste de Guerrero; a diferencia del norte de Nuevo León y Coahuila, el este de Tamaulipas y prácticamente todo Veracruz que reciben menos de 11 MJ/m²-día (ver figura 4.3d).

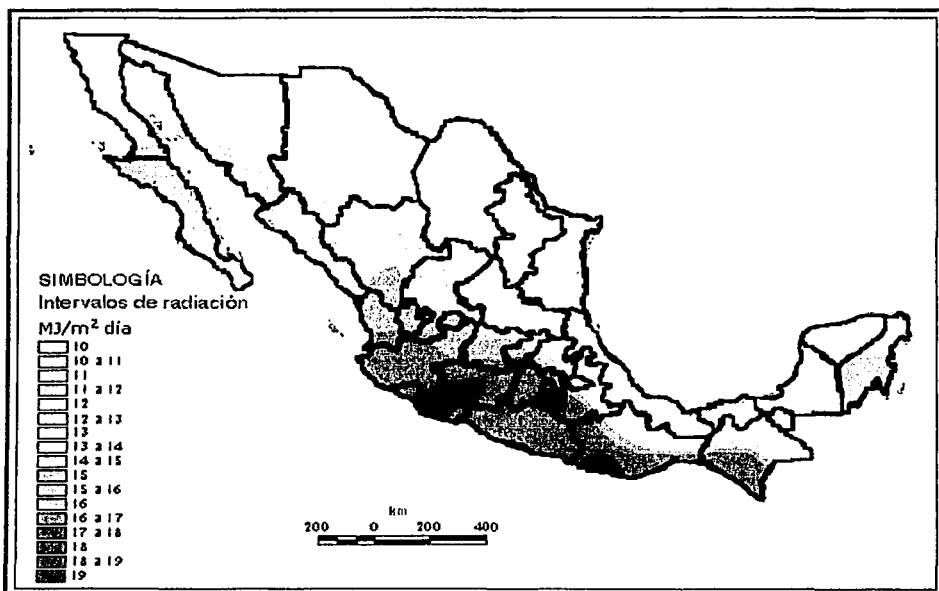


Fig 4.3d Radiación solar media en invierno (Fuente: Instituto de Geografía, UNAM, 1990)

4.1.3 Viento

La instalación de sistemas de aerogeneradores para producción de energía eléctrica requiere del conocimiento de las características del viento (apartado 3.3.3.1). Las regiones de la República Mexicana donde la energía del viento supera los 160 [W/m²] son el este de Oaxaca, el sureste de Veracruz, la parte central de Hidalgo, el sur de Zacatecas y todo el Estado de Tabasco; a diferencia del centro y sur de Quintana Roo, el sur de Baja California Sur, el norte de Baja California Norte, el centro y sur de Sonora, la mayor parte del territorio de Sinaloa, Chiapas, Yucatán y Campeche y grandes porciones del centro del país, donde la energía obtenible del viento presenta valores menores a 10 [W/m²] (ver figura 4.4).

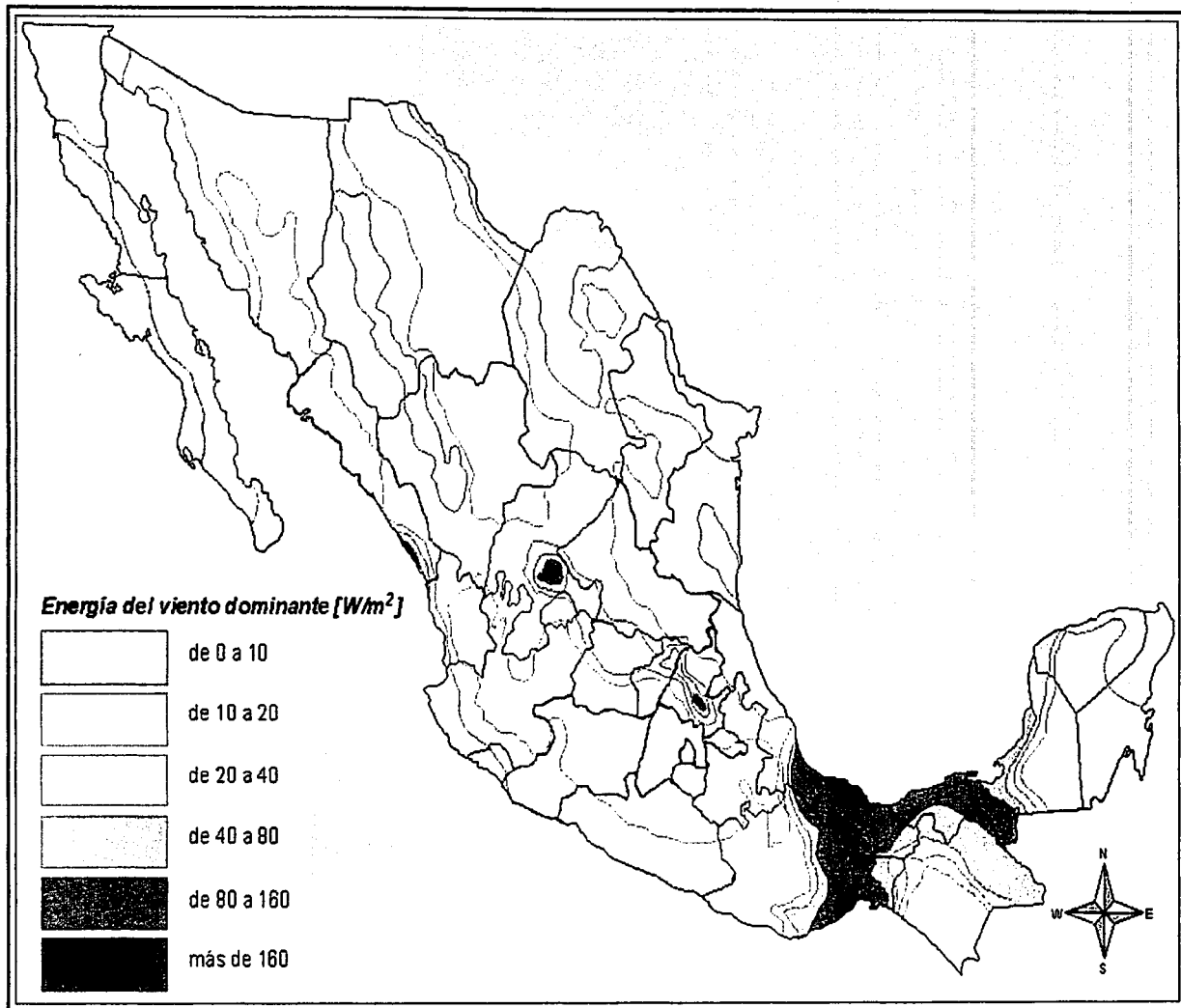


Fig 4.4 Energía del viento dominante en la República Mexicana (Fuente: Instituto de Geografía, UNAM, 1990)

En ciudades como Apatzingán, Veracruz, Coatzacoalcos, Villa Hermosa, Pachuca, Jalapa y Mazatlán se presentan vientos con velocidades mayores a los 6 [m/s] la mayor parte del año.

4.1.4 Precipitación total anual

El módulo de captación y almacenamiento de agua de lluvia tiene como parámetro principal la precipitación total anual del emplazamiento. Las zonas que presentan la mayor precipitación anual del país (más de 2000 mm) son el norte de Oaxaca, el sureste de Veracruz y amplias regiones de Chiapas y Tabasco. En lugares como el norte de Chihuahua, el noroeste de Sonora, el oeste de Coahuila y prácticamente todo Baja California Sur y Norte reciben anualmente menos de 200 mm.

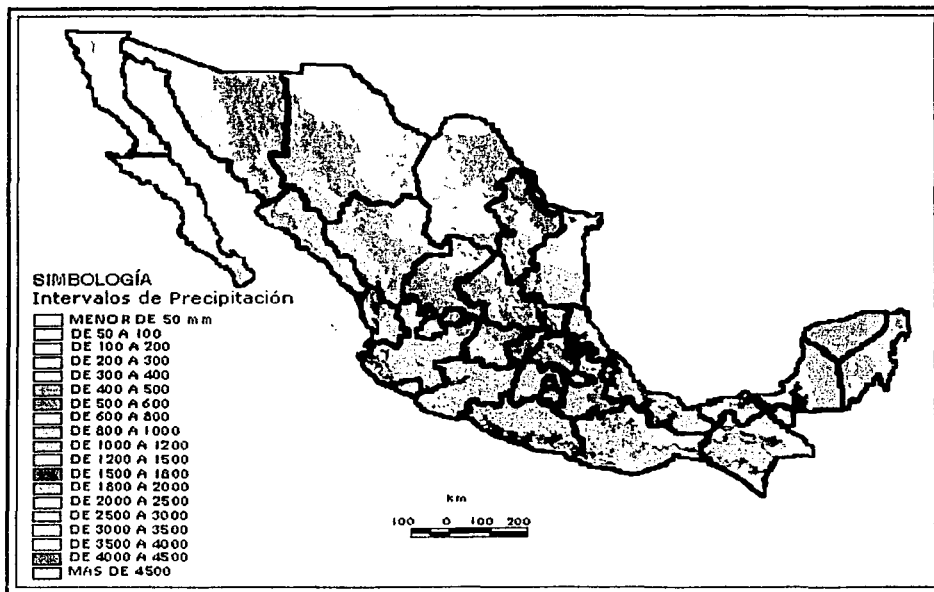


Fig 4.5 Precipitación en la República Mexicana (Fuente: CONABIO, 1998)

4.1.5 Acuíferos y disponibilidad de agua

En módulos como el sistema de captación pluvial y dispositivos ahorradores se hace énfasis en la necesidad de disminuir el consumo de agua; es por ello que la instalación de estos sistemas es conveniente en las zonas de menor disponibilidad del vital líquido como el Distrito Federal, el Estado de México, Guanajuato, el sur de San Luis Potosí, el centro de Jalisco y la región fronteriza entre Coahuila y Durango (ver figura 4.6) para evitar que sus acuíferos sean sobreexplotados (ver figura 4.7).



Fig 4.6 Disponibilidad de agua en la República Mexicana (Fuente: SEMARNAT, 2001)

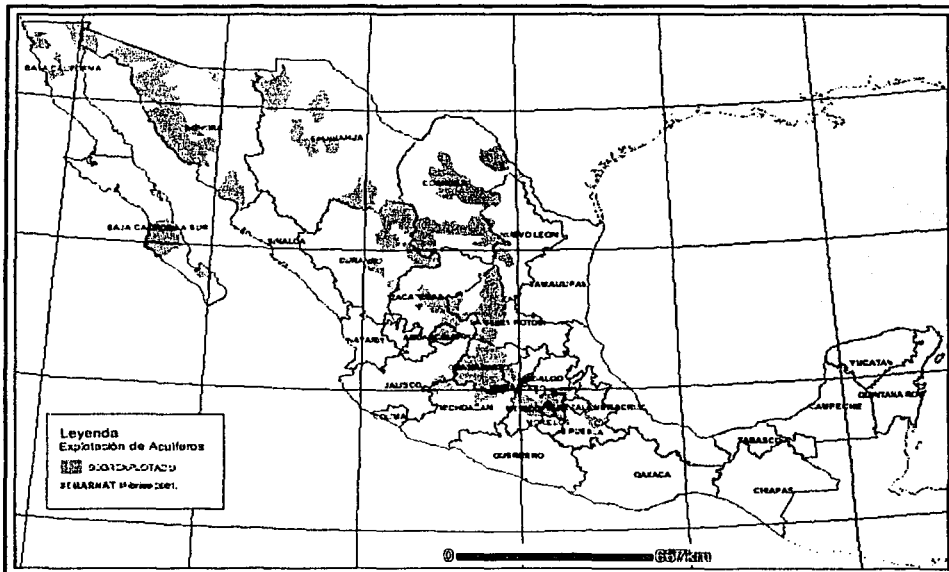


Fig 4.7 Explotación de acuíferos (Fuente: SEMARNAT, 2001)

TEXIS CON
PARA LE OCEAN

4.2 Características socioeconómicas

Para asegurar el buen funcionamiento de los dispositivos propuestos para las casas ecológicas, tales como sistemas de fotocelda, colectores solares, aerogeneradores, etc., es indispensable que se presenten las características físicas y climáticas determinadas en el capítulo 3. Además, todo debe conjuntarse con otros factores de tipo socioeconómico propicios para garantizar la exitosa instalación y mantenimiento de viviendas de esta naturaleza.

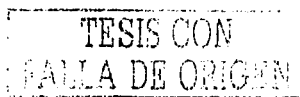
Los factores socioeconómicos que se tratan en este apartado se agrupan bajo cinco grandes rubros:

- **Características poblacionales**, para conocer la forma en que se distribuye la población sobre el territorio nacional.
- **Características de la vivienda**, primero, para advertir los servicios con los que actualmente cuentan las viviendas del país (agua potable, drenaje y electricidad) y que repercuten directamente en los dispositivos propuestos; y segundo, para conocer el número promedio de habitantes por vivienda en el país, dato utilizado para dimensionar los dispositivos (ver capítulo 3).
- **Rezago y necesidad de vivienda**, para conocer las entidades federativas que requieren de la construcción o remodelación de casas habitación, y por ende, puedan ser susceptibles para la instalación de viviendas ecológicas.
- **Indicadores del nivel económico de los habitantes del país**, que proporcionan una idea del poder adquisitivo de las personas y en consecuencia, de la posibilidad real de instalar y mantener los módulos ecológicos tratados con anterioridad.
- **Características del nivel de instrucción de la población**, para asegurar que los habitantes de la vivienda entiendan el funcionamiento de las instalaciones y sean capaces de proveer el mantenimiento y cuidados que éstas demandan.

En cada uno de estos puntos se presentan datos e información que es necesario analizar para finalmente determinar las zonas aptas para la instalación de módulos ecológicos en viviendas en la República Mexicana.

4.2.1 Población

Población total. De acuerdo a los resultados del XII Censo General de Población y Vivienda del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), al año 2000 la República Mexicana contó con 97,483,412 habitantes distribuidos en el territorio nacional como se muestra en la figura 4.8.



Las entidades federativas con mayor número de habitantes son Estado de México, Distrito Federal, Veracruz y Jalisco; los que presentan menor población son Quintana Roo, Campeche, Colima y Baja California Sur.

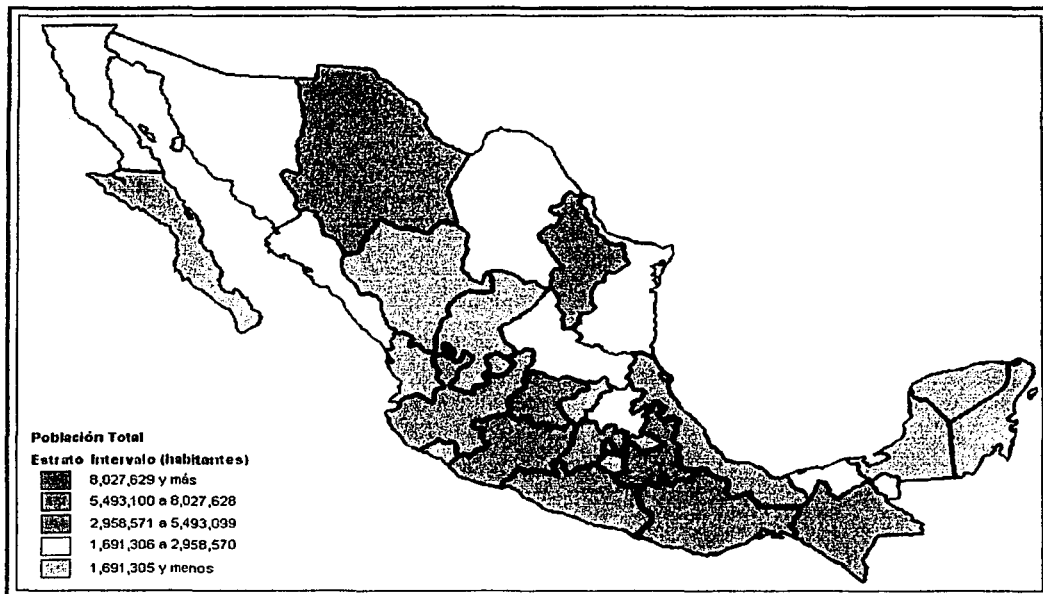


Fig 4.8 Estratificación de las entidades según población (Fuente: INEGI, 2000)

Densidad de población. Además del número de habitantes, es importante la densidad de población (número de habitantes por kilómetro cuadrado), porque es un indicador de la necesidad de vivienda y forma de vida. Las entidades que presentan mayor densidad de población son el Distrito Federal, Estado de México, Morelos, Tlaxcala y Aguascalientes. En contraste, las que presentan menor número de habitantes por kilómetro cuadrado son Chihuahua, Durango, Sonora y Baja California Sur (ver figura 4.9 y tabla 4.2).

La relevancia de identificar las entidades federativas que presentan mayor número de habitantes y densidad de población radica en el hecho de que es necesario evitar la construcción de nuevas viviendas en zonas que ya están demasiado pobladas; no obstante, es precisamente en esas regiones donde se debe promover la modificación de las casas habitación ya existentes para disminuir su impacto al ambiente.

En resumen, en zonas altamente pobladas debe fomentarse la instalación de módulos ecológicos, pero de ninguna manera, la construcción de nuevas viviendas.

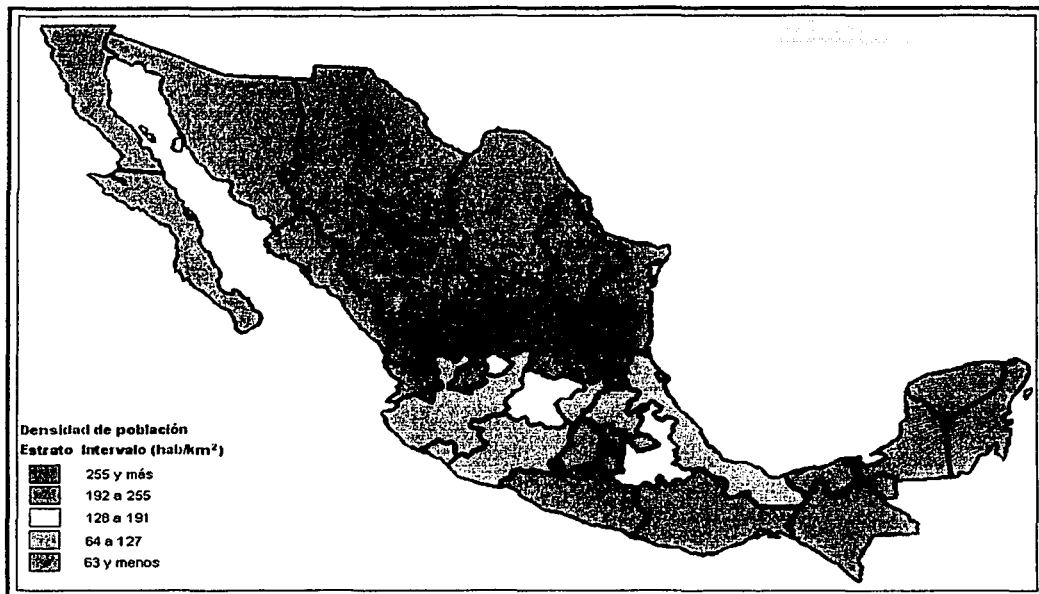


Fig 4.9 Densidad de población (Elaborada con datos de la tabla 4.2)

Tabla 4.2 Densidad de población y superficie territorial por entidad federativa

Estados Unidos Mexicanos	49.63	100	1,964,375
Aguascalientes	179	0.3	5,640
Baja California	35	3.7	71,733
Baja California Sur	6	3.8	74,136
Campeche	12	2.9	57,878
Coahuila	15	7.7	151,841
Colima	99	0.3	5,642
Chiapas	53	3.8	73,874
Chihuahua	12	12.6	248,135
Distrito Federal	5643	0.1	1,488
Durango	12	6.3	123,690
Guanajuato	150	1.6	30,701
Guerrero	48	3.2	63,784
Hidalgo	108	1.1	20,911
Jalisco	80	4.0	78,836
México	611	1.1	22,391
Michoacán	68	3.0	58,821

Fuente: INEGI, 2001

Morelos	314	0.2	4,905
Nayarit	34	1.4	27,935
Nuevo León	59	3.3	64,371
Oaxaca	37	4.8	93,587
Puebla	149	1.7	34,341
Querétaro	116	0.6	11,689
Quintana Roo	22	2.2	42,646
S.L.P.	36	3.1	61,325
Sinaloa	43	2.9	57,481
Sonora	12	9.2	179,986
Tabasco	77	1.3	24,812
Tamaulipas	35	4.1	80,358
Tlaxcala	238	0.2	4,007
Veracruz	96	3.7	72,044
Yucatán	38	2.0	39,775
Zacatecas	18	3.8	75,613

Promedio de habitantes por vivienda. Este indicador en la República Mexicana oscila entre 3.99 y 5.03 (INEGI, 2000). Los estados donde prácticamente existen 5 habitantes por vivienda son Guanajuato, Tlaxcala y Chiapas; a diferencia del Distrito Federal, Tamaulipas y Baja California Sur, donde este indicador llega apenas a 4 (ver figura 4.10).

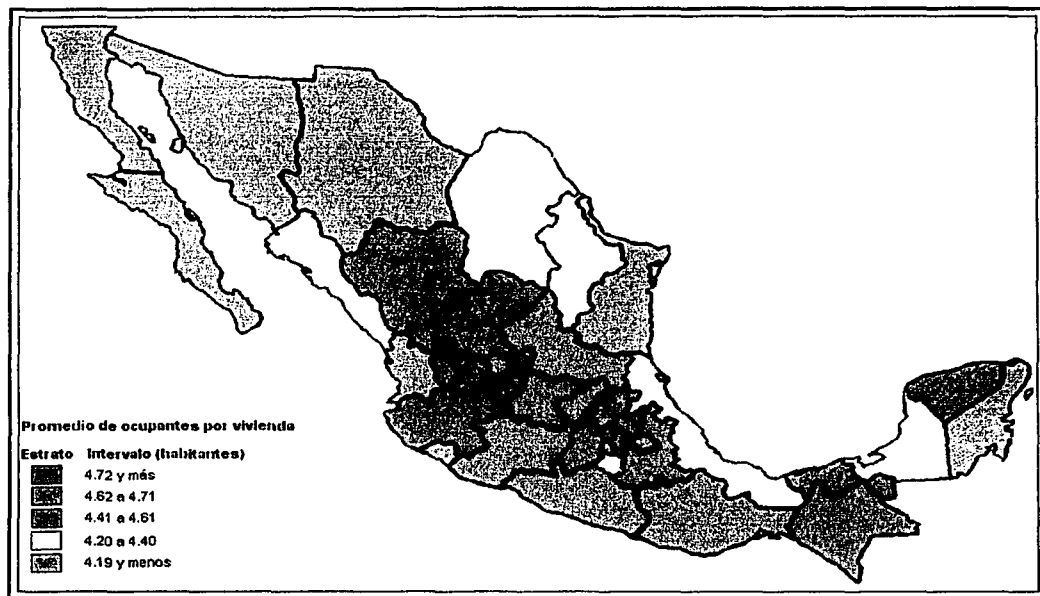


Fig 4.10 Estratificación de las entidades según promedio de ocupantes por vivienda (Fuente: INEGI, 2000)

4.2.2 Servicios

Disposición de energía eléctrica. El promedio de electrificación en la República Mexicana es del 95%, sin embargo, existen entidades como Oaxaca, Chiapas, San Luis Potosí y Guerrero, donde sólo alrededor del 87% de la población cuenta con este servicio (ver figura 4.11).

Es en estos Estados donde, si las condiciones físicas y climáticas lo permiten, se debe analizar seriamente la idea de complementar o suplir el suministro eléctrico mediante la utilización de sistemas de fotocelda o aerogeneradores. En otros Estados, aunque el servicio se brinde de manera adecuada y eficiente, también se debe considerar el uso de estos dispositivos para coadyuvar a la disminución del impacto al ambiente derivado de la producción de energía eléctrica.

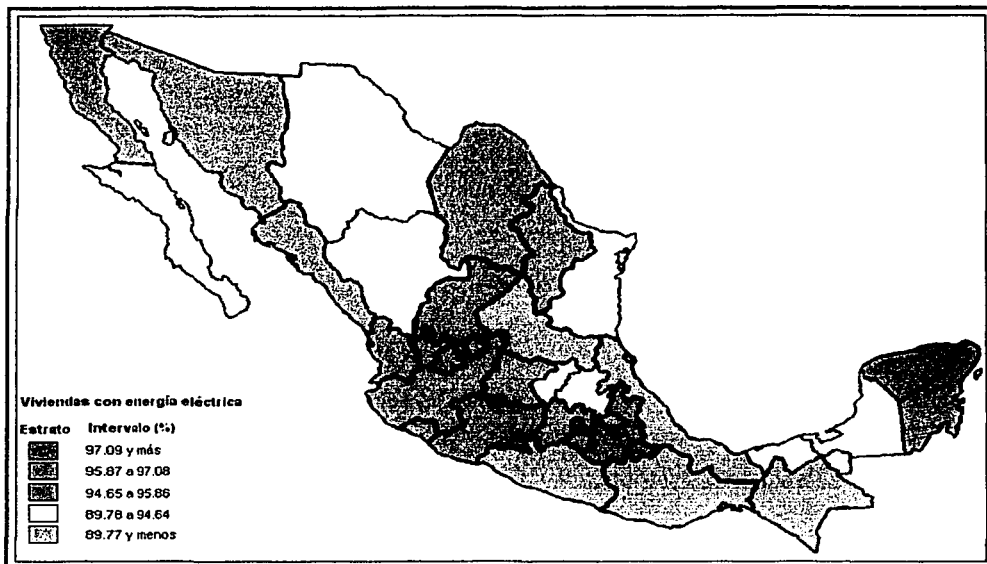


Fig 4.11 Estratificación de las entidades según porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica (Fuente: INEGI, 2000)

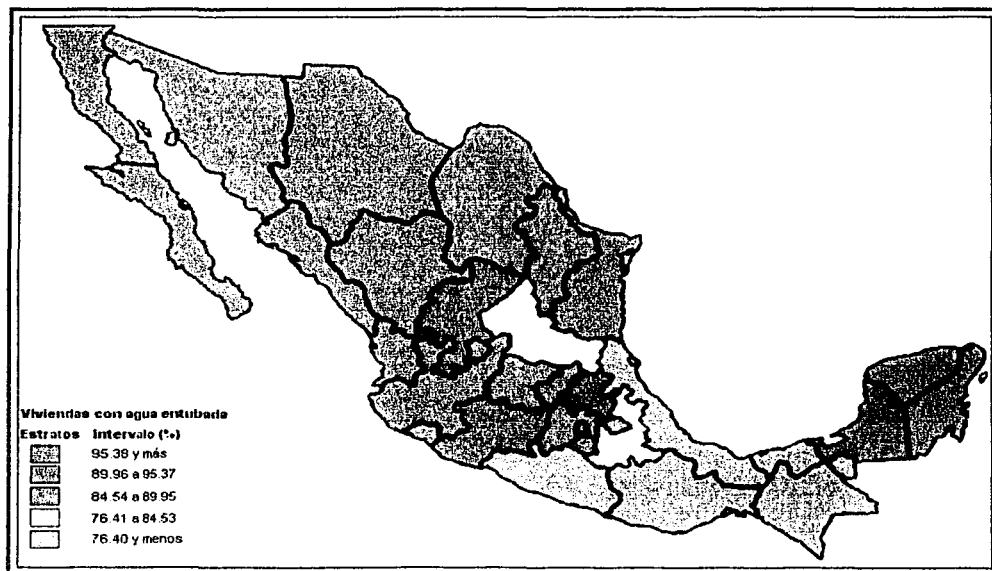


Fig 4.12 Estratificación de las entidades según porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de agua entubada (Fuente: INEGI, 2000)

Disposición de agua entubada. En el caso del suministro de agua potable en la República Mexicana, el promedio de viviendas que cuentan con el servicio es de 88.76%. Los Estados menos afortunados en este rubro son Guerrero, Veracruz, Oaxaca y Chiapas, donde menos del 75% de las casas habitación reciben agua entubada (ver figura 4.12).

Una opción que puede ser aplicada para paliar la falta del líquido vital, es la captación y almacenamiento de agua de lluvia en los lugares cuya precipitación lo permita.

Disposición de drenaje. En la República Mexicana, el promedio de viviendas que cuentan con drenaje es del 78.09%, sin embargo, en Estados como Yucatán, Guerrero y Oaxaca este valor es menor al 60%. En el Distrito Federal, Aguascalientes, Colima y Jalisco, la situación es mucho más afortunada, ya que más del 90% de las casas habitación disfrutaban del servicio (ver figura 4.13).

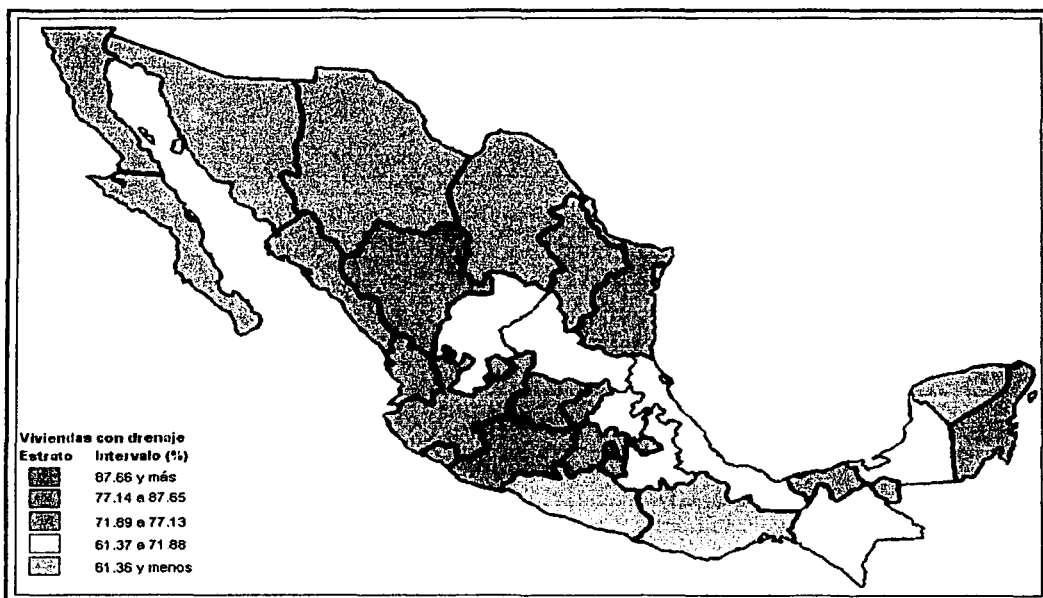


Fig 4.13 Estratificación de las entidades según porcentaje de viviendas particulares habitadas que disponen de drenaje (Fuente: INEGI, 2000)

La descarga de aguas residuales domésticas a la red municipal excede por mucho la capacidad de las plantas de tratamiento que se encuentran actualmente funcionando en México; de las 1018 que se han construido, sólo 793 están en operación y pueden tratar, en conjunto, un volumen de 45,927 litros por segundo, lo que representa sólo el 17.5% del total descargado en las viviendas del país

(INEGI, 2002), derramando el resto directamente hacia cuerpos de agua, provocando su contaminación.

Ante esta situación, es recomendable se instalen sistemas para el tratamiento de aguas residuales domésticas (como el de humedales que se presenta en este trabajo), con la finalidad de reducir la descarga de contaminantes a la red de drenaje municipal. Adicionalmente, es conveniente promover la disminución del consumo de agua en los hogares del país.

4.2.3 Rezago habitacional y necesidad de vivienda

Los requerimientos de vivienda del país los define el rezago histórico y las necesidades anuales de vivienda (SEDESOL, 2001). El rezago habitacional refleja la ausencia o falta de la vivienda en términos reales; este concepto se obtiene al calcular las familias sin vivienda (comúnmente llamado "déficit") y las viviendas ya existentes en el inventario habitacional que es necesario sustituir debido a la mala calidad de los materiales utilizados en su edificación o que han llegado al término de su vida útil.

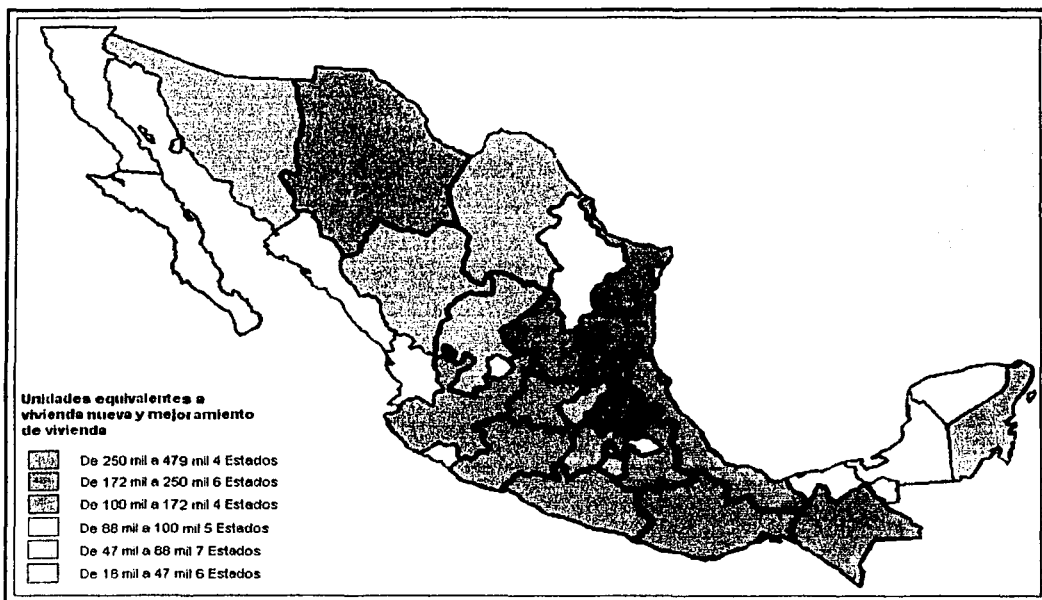


Fig 4.14 Rezago habitacional por entidad federativa año 2000 (Fuente: SEDESOL, 2001)

En las zonas donde sea necesario remodelar las casas habitación ya existentes, por las razones antes expuestas, sería conveniente instalar dispositivos ecológicos en lugar de modificaciones convencionales. Los Estados que presentan el mayor

rezago habitacional son el Estado de México, Puebla, Veracruz y Chiapas (ver figura 4.14).

El análisis cuantitativo sobre la magnitud de la problemática habitacional utilizado para estimar el rezago debe complementarse con el cálculo de las necesidades de vivienda que se generarán como producto del incremento demográfico que se refleja en la formación de nuevas familias y del deterioro natural que año con año presenta el inventario de vivienda.

Necesidad de vivienda. La necesidad de vivienda expresa la cantidad de habitaciones requeridas que cumplen, al menos, con los preceptos mínimos para que todos los habitantes del país alcancen el bienestar esencial. Este concepto debe diferenciarse del de demanda, el cual corresponde a la cantidad de viviendas que la población puede comprar o rentar a un precio o alquiler determinado (SEDESOL, 2001).

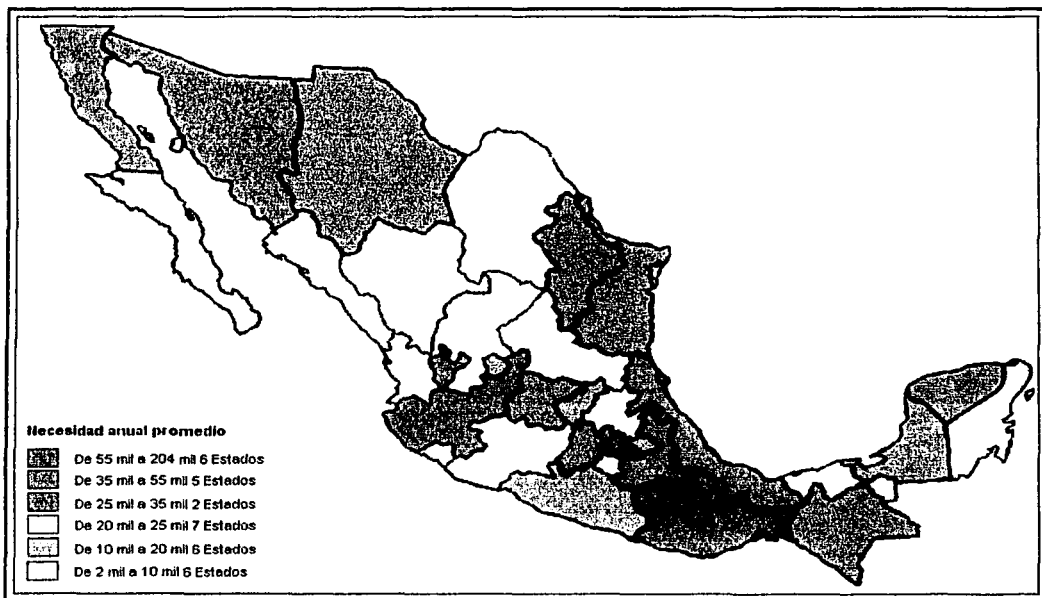


Fig 4.15 Necesidades anuales de vivienda nueva por entidad federativa, periodo 2001-2010 (Fuente: SEDESOL, 2001)

Las entidades federativas que presentarán mayor necesidad de vivienda para el periodo 2001-2010, según estimaciones de la Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL), son el Estado de México, el Distrito Federal, Puebla, Jalisco y Baja California Norte (ver figura 4.15).

Las viviendas que se construyan, ya sea por la restitución del inventario habitacional o para cubrir la necesidad de vivienda, es recomendable cuenten con los dispositivos ecológicos que se han planteado en el presente trabajo, siempre y cuando sea posible según las condiciones de la zona.

4.2.4 Escolaridad

Como se mencionó con anterioridad, para que sea posible la instalación y mantenimiento de módulos ecológicos en una vivienda, es necesario que los habitantes de la misma comprendan su funcionamiento. Si esto no se cumple, es altamente probable que el equipo se utilice de manera inadecuada, causando desde un simple daño a las instalaciones, hasta accidentes que pongan en riesgo la integridad de las personas.

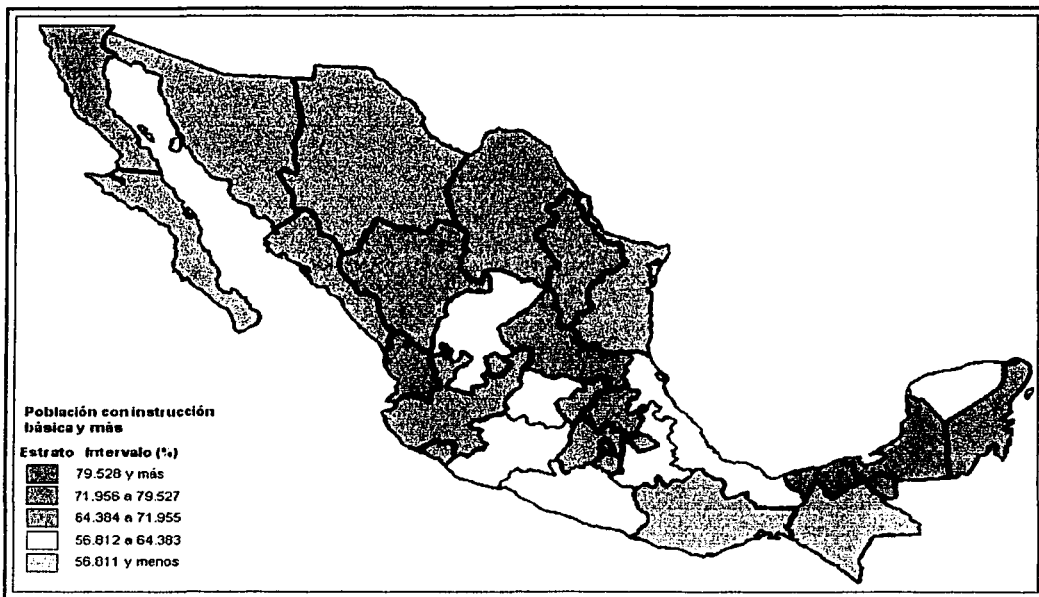


Fig 4.16 Población mayor a 15 años con instrucción básica y más (Fuente: INEGI, 2001)

Además de garantizar el correcto funcionamiento de los módulos implantados, se presupone que los individuos con más escolaridad desean mejorar su nivel de vida comprometiéndose con la protección al ambiente. En el capítulo anterior se analizaron los requerimientos de instrucción que permitieran a los habitantes de la vivienda dar el mantenimiento adecuado a los diferentes equipos; para cada módulo ecológico se determinó un nivel de preparación necesario que va desde el básico para el sistema de captación de agua de lluvia, hasta el medio superior para los sistemas de fotocelda y aerogeneradores.

En las figuras 4.16, 4.17 y 4.18 se presentan los mapas que muestran el porcentaje de población mayor a 15 años que cuenta mínimo con nivel básico, medio básico y medio superior, respectivamente.

Los Estados que cuentan con mayor número de habitantes (mayores de 15 años) con al menos instrucción básica son Baja California, Coahuila, Nuevo León y el Distrito Federal; en contraste con Guerrero, Oaxaca y Chiapas, donde el porcentaje de población con mínimo este nivel de educación es menor al 60% (ver figura 4.16). Con al menos instrucción media básica están el Distrito Federal, Nuevo León, el Estado de México y Coahuila; a diferencia de Oaxaca, Chiapas, Zacatecas y Michoacán donde el porcentaje de población con mínimo este nivel de educación es menor al 40% (ver figura 4.17).

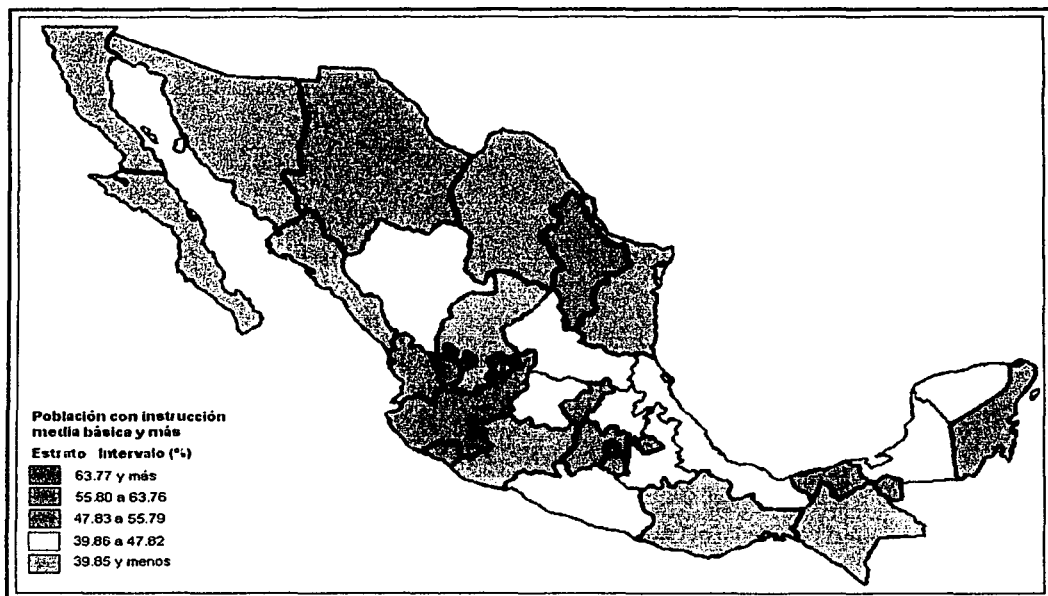


Fig 4.17 Población mayor a 15 años con instrucción media básica y más (Fuente: INEGI, 2001)

De manera similar, en el Distrito Federal, Baja California Sur y Nuevo León, se localizan los habitantes con mayor preparación y en Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Michoacán, Zacatecas, Guanajuato e Hidalgo sólo el 22% de la población posee educación media superior (ver figura 4.18).

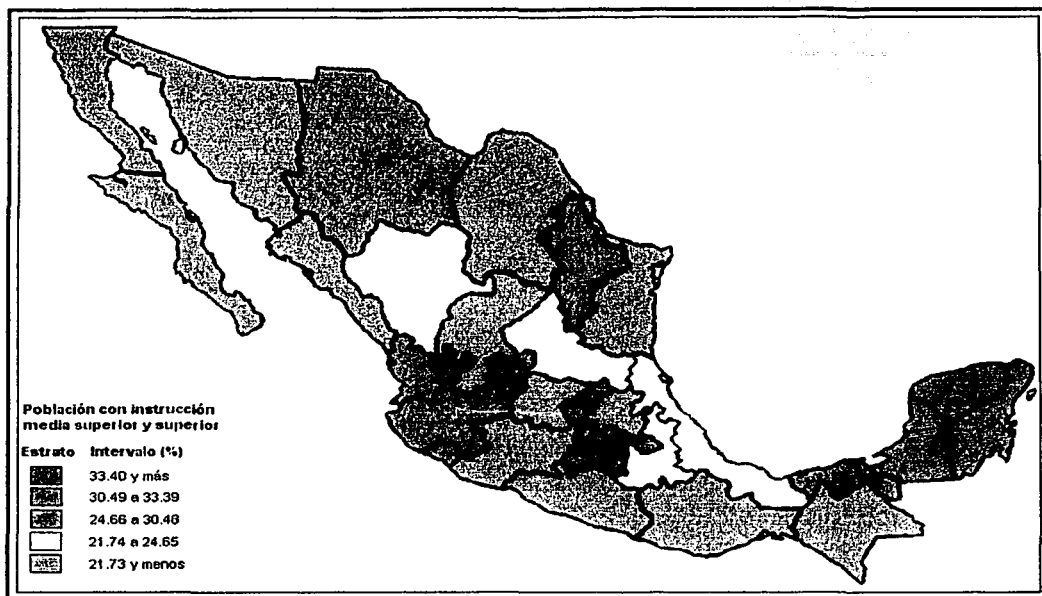


Fig 4.18 Población mayor a 15 años con instrucción media superior y superior (Fuente: INEGI, 2001)

4.2.5 Población ocupada y percepción económica

En promedio, en la República Mexicana el 35% de la población está ocupada, es decir, realiza alguna actividad económica al menos una hora a la semana a cambio de un sueldo, salario u otro tipo de pago en dinero o especie. Los Estados que presentan un mayor número de habitantes ocupados son el Estado de México, el Distrito Federal, Jalisco y Veracruz, mientras que Baja California Sur, Colima, Campeche y Nayarit son las entidades que cuentan con el menor porcentaje (ver tabla 4.3).

Sin embargo, la información anterior no representa un claro indicador del nivel de bienestar de la población porque el hecho de que una persona esté ocupada, no implica que obtiene un sueldo suficiente para cubrir sus necesidades. Para los fines del presente trabajo se torna necesario analizar información respecto a la percepción económica de la población.

Los Estados que presentan un porcentaje mayor de población ocupada que gana más de cinco salarios mínimos, y que se considera cuenta con un nivel medio de bienestar son: Baja California Norte, el Distrito Federal, Nuevo León y Quintana Roo. En contraste, los Estados con menor porcentaje son Tlaxcala, Guerrero, Chiapas y Oaxaca.

Es evidente que la instalación y mantenimiento de dispositivos ecológicos implica una inversión que varía dependiendo del equipo necesario. En el capítulo 3 se indica la percepción mínima recomendada para estar en condiciones de costear estos dispositivos.

Tabla 4.3 Distribución de la población ocupada por entidad federativa según ingreso mensual*

Entidad	Total	No recibe (%)	Uno o menos (%)	De 1 a 2 (%)	De 2 a 3 (%)	De 3 a 5 (%)	De 5 a 10 (%)
Estados Unidos Mexicanos	33 730 210	8.35	12.3	30.3	17.6	14.1	11.9
Aguascalientes	331 083	4.48	6.72	31	21.6	17.7	14.1
Baja California	906 369	1.25	2.94	18	23.6	25.1	22.1
Baja California Sur	169 014	2.84	6.22	26.8	22.2	20.6	16.0
Campeche	243 323	13.1	22.4	28.6	10.6	11.1	10.6
Coahuila	822 686	2.51	4.96	27.2	24.6	19.6	15.7
Colima	199 692	5.18	11	31.9	18.5	17.1	12.4
Chiapas	1 206 621	22.5	33.1	20.3	6.58	7.09	5.55
Chihuahua	1 117 747	4.62	3.8	29.3	21.6	18.7	15.9
Distrito Federal	3 582 781	2.16	8.44	31.8	19.0	14.2	18.1
Durango	443 611	9.71	7.77	32.6	18.9	15.1	11.1
Guanajuato	1 460 194	7.44	8.96	30.9	19.7	15.7	10.5
Guerrero	888 078	20	16	30.2	12.7	10.5	5.78
Hidalgo	728 726	12.8	20.9	31.6	12.3	10.6	7.16
Jalisco	2 362 396	5.64	8.12	27.2	24.7	16	12.7
México	4 462 361	4.6	9.14	35.7	18.8	14.5	11.1
Michoacán	1 226 606	12.3	13.5	31.6	15.8	12.5	8.62
Morelos	550 831	7.18	12.2	34.9	17.4	13.1	9.95
Nayarit	318 837	11.3	13.1	31.9	17.9	13.5	9.49
Nuevo León	1 477 687	2.41	3.55	23.0	29.5	18.3	18.1
Oaxaca	1 066 558	28.2	19.7	24.0	8.95	9.52	5.09
Puebla	1 665 521	14.2	18.8	30.9	12.6	11.1	7.69
Querétaro	479 980	5.89	6.56	29.3	19.2	17.0	15.7
Quintana Roo	348 750	8.42	7.58	24.4	19.0	20.7	16.0
San Luis Potosí	715 731	12.4	16.6	29.8	13.3	12.3	9.95
Sinaloa	880 295	4.48	7.3	36.9	19.0	16.1	11.4
Sonora	810 424	2.26	6.74	32.0	24.5	15.5	13.8
Tabasco	600 310	11.7	25.9	24.7	11.5	10.8	11.2
Tamaulipas	1 013 220	4.05	8.11	34.6	19.3	15	13.6
Tlaxcala	328 585	11.8	15.6	36.0	14.6	11.1	6.26
Veracruz	2 350 117	12.7	23.6	32.3	9.8	9.42	7.75
Yucatán	618 448	9.24	23.6	34.7	10.5	9.26	8.91
Zacatecas	353 628	15.2	11.4	32.3	14.6	11.7	9.33

* Ingreso mensual en salarios mínimos; en el Apéndice B se puede consultar mayor información sobre los salarios mínimos y las áreas geográficas donde se aplican.

Fuente: INEGI, 2000

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

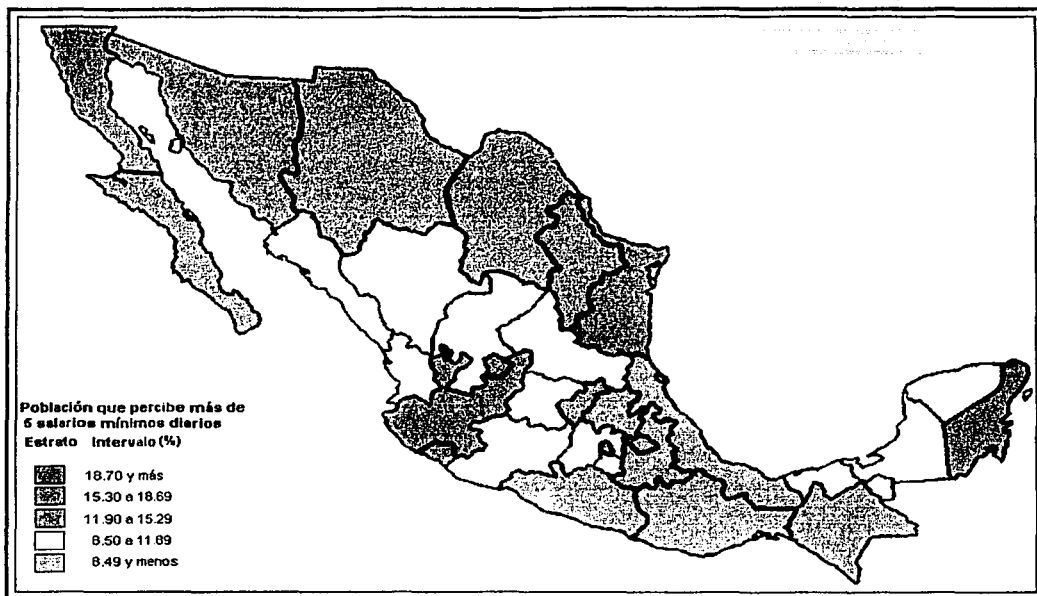


Fig 4.19 Población que percibe más de 5 salarios mínimos diarios (Fuente: INEGI, 2001)

En el siguiente capítulo se aplica la información presentada en el presente para la determinación de las zonas que poseen las características mínimas necesarias para el emplazamiento de módulos ecológicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Capítulo 5

Mapas de localización

El propósito de este capítulo es mostrar las zonas aptas para la instalación de los diferentes módulos ecológicos atendiendo a las condiciones mínimas necesarias planteadas en el capítulo 3; para ello, se utilizará información de las características físicas de la región, económicas y de nivel de instrucción de la población. Adicionalmente se proponen recomendaciones a partir de datos de disponibilidad de servicios, disponibilidad de agua, etc., que si bien no son determinantes, podrían influir en la selección del emplazamiento.

Es de suma importancia hacer notar que para la utilización de los mapas presentados en el capítulo 4 se realizan una serie de consideraciones sobre el porcentaje de la población de los Estados que debe cumplir con el nivel de instrucción y la percepción mínima recomendada para considerar viable la aplicación de los diferentes módulos.

Para determinar en que Estados se posee la escolaridad considerada adecuada para la instalación y mantenimiento de cada uno de los módulos ecológicos, se recurrió a los mapas 4.16, 4.17 y 4.18, seleccionando los dos rangos superiores de entre los cinco empleados para la clasificación. De esta manera, para el caso de fotoceldas y aerogeneradores se seleccionaron las entidades con más de 30.49% de la población con estudios medios superiores; para la instalación de calentadores solares y humedales el valor empleado es de 55.8% (nivel medio básico) y para los captadores de lluvia es de 64.38% (nivel básico); en este último caso se amplió la selección a los tres rangos superiores por considerarse que la preparación requerida es mínima.

De manera similar se manejaron los datos estadísticos correspondientes al ingreso per capita de la población. A partir de la información del mapa 4.19 se estableció que para los módulos de calentadores solares, captación de agua de lluvia y humedales las zonas aptas serían aquellas donde al menos el 11.9% de la población reciba 5 salarios mínimos o más; mientras que las entidades con una percepción mayor a 8 salarios (considerados necesarios para la instalación de fotoceldas y aerogeneradores), serían en los que más del 15.3% reciben 5 salarios mínimos o más.

Después de analizar la información disponible, es claro que en todos los Estados se pueden encontrar sectores de la población que tienen tanto la capacidad económica como la preparación adecuadas para la implantación de los dispositivos; sin embargo, desde una perspectiva global, existen entidades que son más atractivas que otras como se verá a continuación.

5.1 Zonas aptas para módulos para ahorro y aprovechamiento de energía

5.1.1 Zonas aptas para la instalación de calentadores solares

Para determinar las zonas aptas para la instalación de calentadores solares es necesario ubicar en primera instancia las regiones de la República Mexicana que reciben una radiación solar mayor o igual a $19 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ en cada una de las estaciones del año.

En la figura 5.1 se puede observar que son muy escasas las zonas donde se presenta esta radiación durante todo el año, pero es posible hacer uso de sistemas de esta naturaleza a lo largo de varios meses disminuyendo con ello la afectación al ambiente. Para efectos de este trabajo se considera que un emplazamiento es adecuado desde el punto de vista físico si presenta estos niveles de radiación en por lo menos dos estaciones (ver figura 5.2).

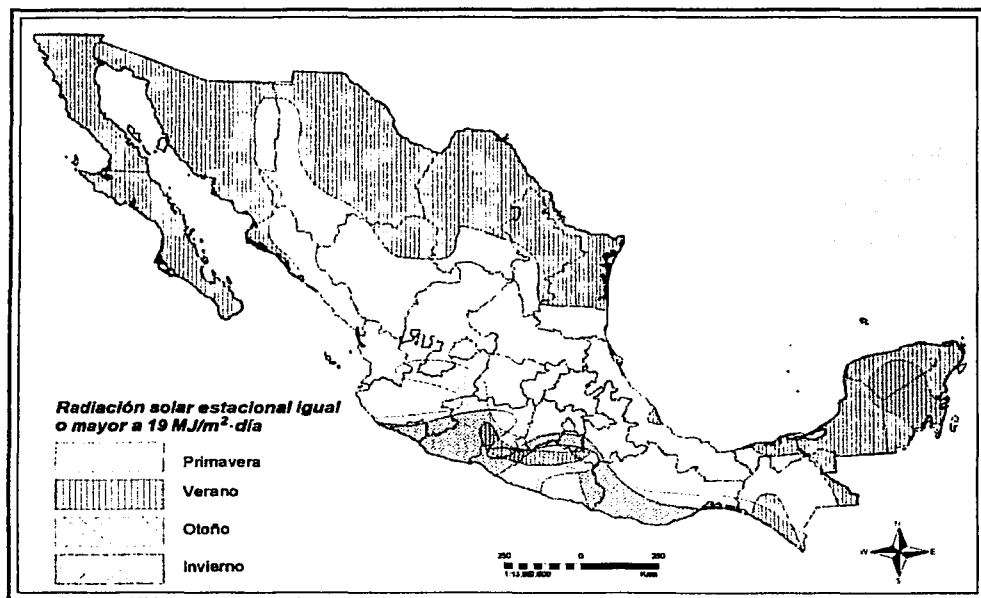


Fig 5.1 Radiación solar estacional igual o mayor a $19 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$

Además de las características físicas, el emplazamiento debe cumplir con requerimientos de nivel de instrucción y de percepción de los habitantes de la vivienda que para este módulo son: al menos nivel medio básico (a partir del 55.80% de la población del Estado) y percepción igual o mayor a 5 salarios mínimos (a partir del 11.90% de la población del estado), respectivamente. Estos tres parámetros deben conjuntarse para estar en posibilidad de afirmar que una región es adecuada para la instalación de calentadores solares (ver figura 5.3).

TRABAJO CON
MATERIA DE OSEFIN

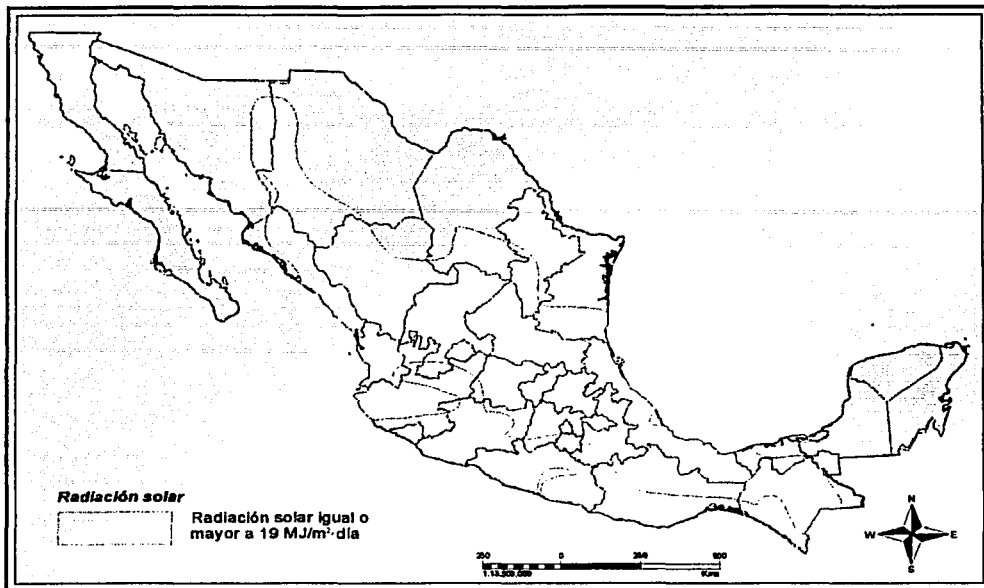


Fig 5.2 Radiación solar igual o mayor a 19 MJ/m²·día en al menos dos estaciones



Fig 5.3 Condiciones necesarias para la instalación de calentadores solares

TESIS CON
SALA DE ORIGEN

Finalmente, las zonas de la República Mexicana donde las condiciones son idóneas para el exitoso funcionamiento de estos dispositivos de acuerdo a las necesidades planteadas son: *Baja California Norte, Baja California Sur, Quintana Roo y Morelos, así como gran parte del territorio de Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas*. En el apartado 5.4 se presenta el mapa con estas regiones claramente definidas; lo mismo sucede con el resto de los módulos.

5.1.2 Zonas aptas para la instalación de sistemas de fotocelda

Para determinar las zonas aptas para la instalación de sistemas de fotocelda se localizaron las regiones de la República Mexicana que reciben una radiación solar mayor o igual a $19 \text{ MJ/m}^2\text{-día}$ en cada una de las estaciones del año (ver figura 5.1), y por la misma razón expuesta para el módulo de calentadores solares, se considera que un emplazamiento es adecuado desde el punto de vista físico si presenta estos niveles de radiación en por lo menos dos estaciones (ver figura 5.2).

Además de las características físicas, el emplazamiento debe cumplir con requerimientos de nivel de instrucción y de percepción de los habitantes de la vivienda que para este módulo son: al menos nivel medio superior (a partir del 30.49% de la población del estado) y percepción igual o mayor a 5 salarios mínimos (a partir del 15.30% de la población del estado), respectivamente.

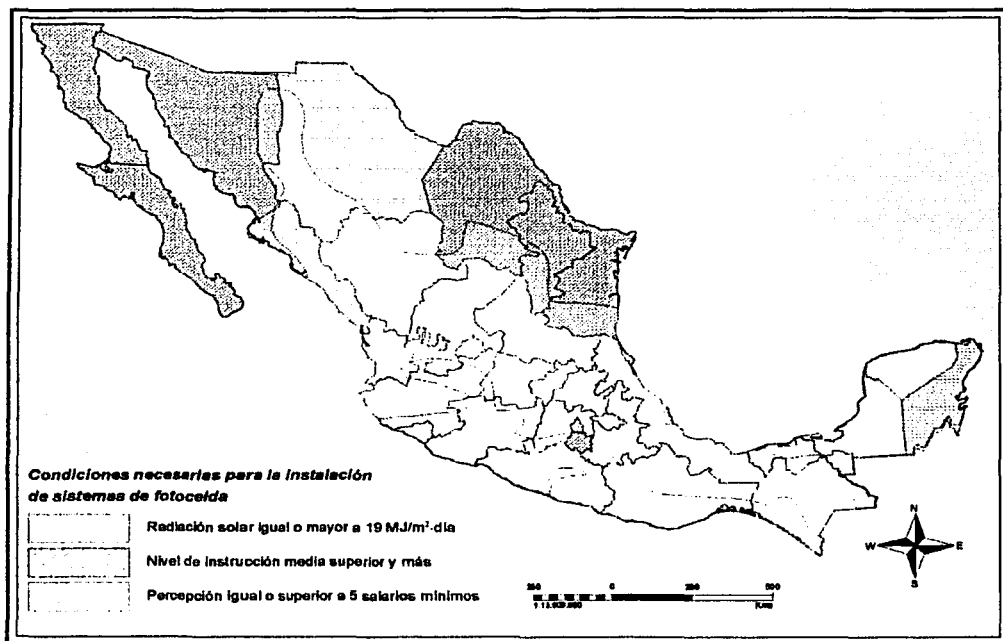


Fig 5.4 Condiciones necesarias para la instalación de sistemas de fotocelda

Al conjuntar esta información (ver figura 5.4), se obtiene que las zonas de la República Mexicana donde las condiciones son adecuadas para el funcionamiento de estos dispositivos de acuerdo a las necesidades planteadas son: *Baja California Norte, Baja California Sur y Morelos, así como gran parte del territorio de Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas*. Además, como se observa en la figura 4.11, en entidades como Baja California Sur y Tamaulipas el nivel de electrificación en viviendas particulares habitadas está dentro de los más bajos del país, porque lo que es altamente recomendable la utilización de este tipo de sistemas.

5.1.3 Zonas aptas para la instalación de sistemas de aerogeneradores

Para identificar las áreas aptas para la instalación de sistemas de aerogeneradores para producción de energía eléctrica es necesario conocer las regiones de la República Mexicana que presentan una velocidad promedio del viento de al menos 5.4 m/s o bien, una potencia obtenible mínima de 20.95 W/m² (ver figura 5.5).

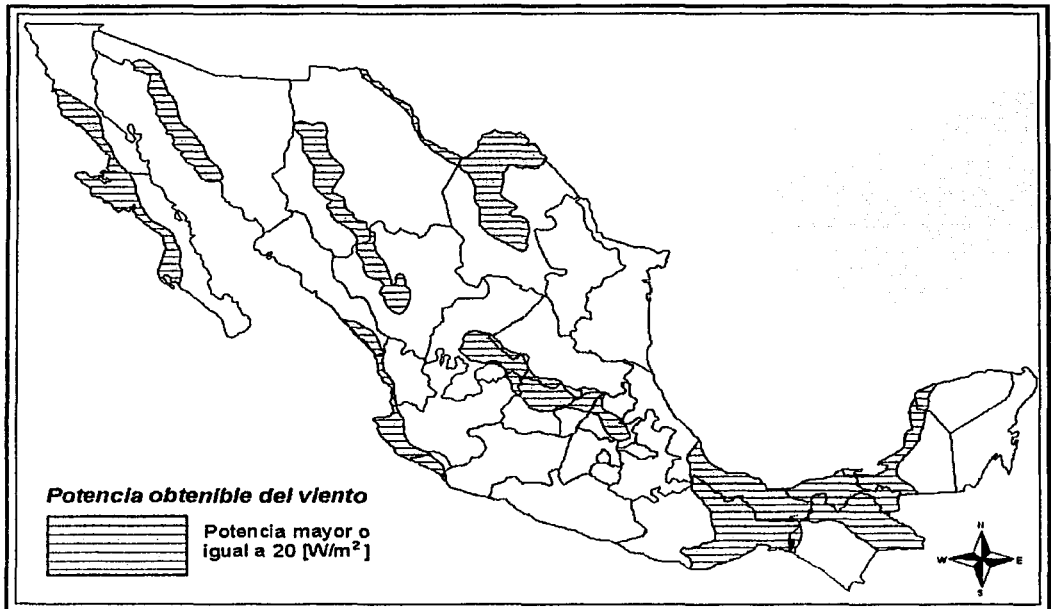


Fig 5.5 Potencia obtenible del viento mayor o igual a 20 W/m²

Además, el emplazamiento debe cumplir con requerimientos de instrucción de al menos nivel medio superior (a partir del 30.49% de la población), y de percepción igual o mayor a 5 salarios mínimos (a partir del 15.30% de la población del Estado).

En la figura 5.6 se muestran los emplazamientos que cumplen con estos requisitos: *parte del territorio de Coahuila, Baja California Norte y Baja California Sur*. Además (ver figura 4.11), en Baja California Sur el nivel de electrificación en viviendas particulares habitadas está dentro de los más bajos del país, porque lo que es altamente recomendable la utilización de este tipo de sistemas.

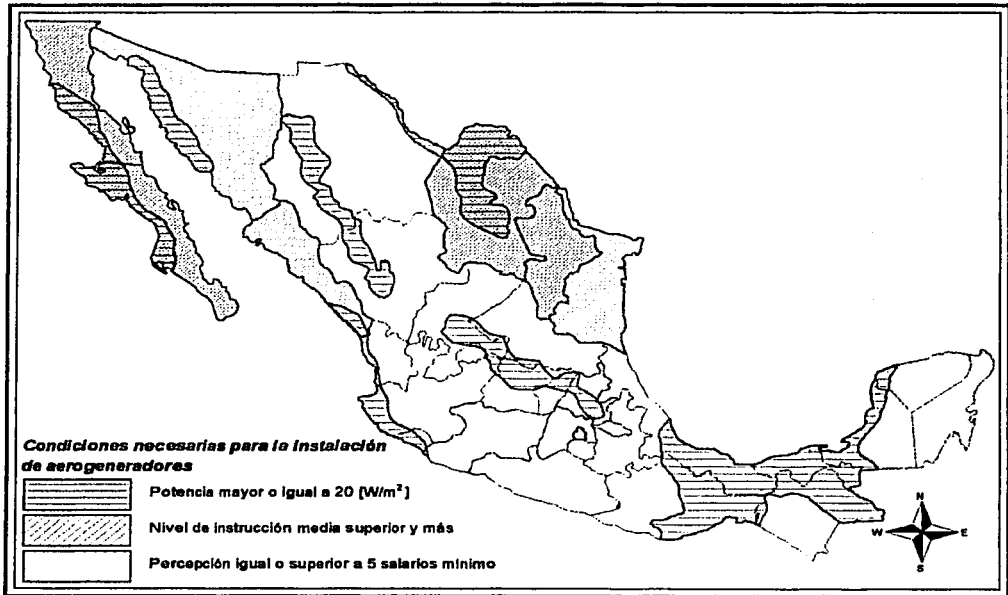


Fig 5.6 Condiciones necesarias para la instalación de aerogeneradores

5.1.4 Zonas aptas para la instalación de dispositivos para ahorro de energía

La utilización de lámparas ahorradoras de energía no depende de ninguna característica física del emplazamiento, ni de determinados niveles de instrucción o percepción económica de los habitantes de la vivienda, por lo que se puede afirmar que *en cualquier región del país puede instalarse este módulo*.

5.2 Zonas aptas para módulos para ahorro y tratamiento de agua

5.2.1 Zonas aptas para la instalación de humedales artificiales

Para determinar las zonas aptas para la instalación de sistemas de tratamiento de aguas residuales por medio de humedales artificiales es necesario ubicar en primera instancia las regiones de la República Mexicana que presentan una temperatura promedio no menor a los -3.79°C en el mes más frío (ver figura 5.7).



Fig 5.7 Temperatura promedio del mes más frío

Además de esta característica, el emplazamiento debe cumplir con requerimientos de nivel de instrucción y de percepción de los habitantes de la vivienda que para este módulo son: al menos nivel medio básico (a partir del 55.80% de la población del Estado) y percepción igual o mayor a 5 salarios mínimos (a partir del 11.90% de la población), respectivamente.

Al conjuntar los parámetros físicos y socioeconómicos se puede afirmar que las regiones adecuadas para la instalación de estos sistemas (ver figura 5.8) son: *Quintana Roo, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California Sur y la mayor parte de los territorios de Sonora y Baja California Norte.*

La disposición de drenaje en viviendas particulares habitadas en el país es un tema importante a mencionar al hablar de sistemas de tratamiento doméstico de aguas residuales. La instalación de humedales en viviendas que cuentan con drenaje permite arrojar descargas con menor grado de contaminación a la red municipal, simplificando su posterior tratamiento en plantas que el gobierno destina para tal fin.

En el caso de las regiones donde existen problemas en la disposición de este servicio el módulo adquiere especial atractivo porque las descargas domésticas no tienen la posibilidad de ser depuradas antes de conducirse al suelo o a los cuerpos de agua nacionales; además, resulta evidente que es más económico

construir un humedal que realizar las obras de infraestructura necesarias para dotar con el servicio a las comunidades que así lo requieren. Un humedal no puede suplir de ninguna manera las funciones del drenaje, pero permite disminuir la afectación al entorno.

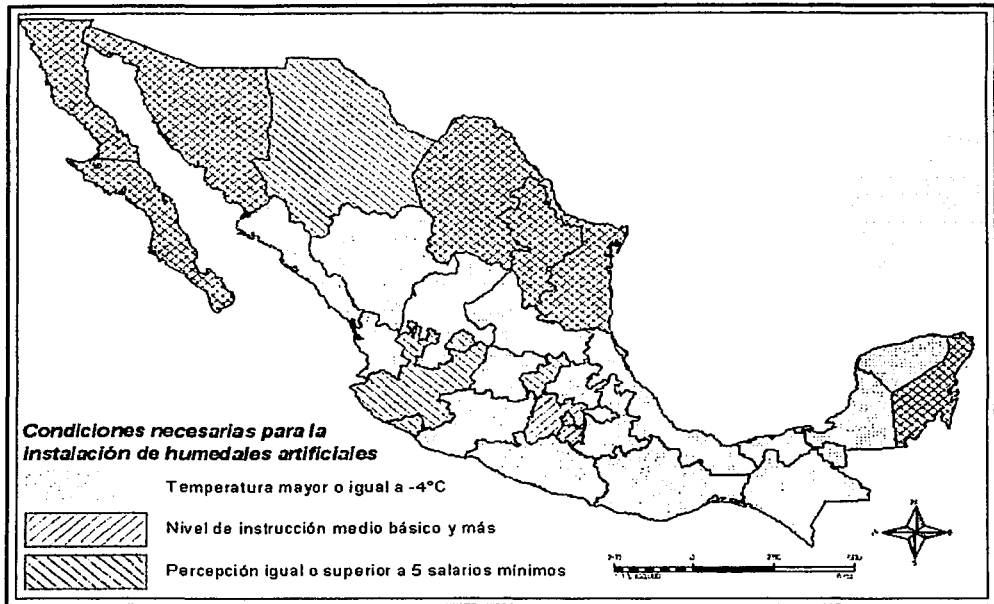


Fig 5.8 Condiciones necesarias para la instalación de humedales artificiales

Como se observa en la figura 4.13, las entidades que presentan bajo porcentaje de casas habitación con disposición de drenaje (menos del 72%) son: Yucatán, Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí y Zacatecas; todas estos Estados poseen las características físicas necesarias para la implantación de este módulo, pero fueron descartadas de la selección final por no cumplir con los requerimientos de percepción y nivel de instrucción de la población. Es entonces evidente que es precisamente en esas zonas donde se debe buscar la forma de facilitar los medios para instalar humedales.

5.2.2 Zonas aptas para la instalación de dispositivos ahorradores de agua

Para la utilización de los dispositivos ahorradores de agua tratados en el presente trabajo no existe ninguna restricción física del emplazamiento, ni en el nivel económico o de instrucción de la población, por lo que es posible aseverar que *todo el territorio es apto para su instalación*. Sin embargo, en entidades como el Distrito Federal, el Estado de México, Puebla, San Luis Potosí, Aguascalientes,

Guanajuato, Querétaro, Durango, Coahuila, Zacatecas, Nuevo León, Chihuahua, Sonora, Baja California Norte y Baja California Sur, donde se tienen serios problemas de disponibilidad de agua o de sobreexplotación de acuíferos (ver figuras 4.6 y 4.7) es mayormente recomendable el uso de ahorradores.

5.2.3 Zonas aptas para la instalación de sistemas de captación de lluvia

Para determinar las zonas aptas para la instalación de sistemas de almacenamiento y captación de agua de lluvia es necesario ubicar las regiones de la República Mexicana que presentan una precipitación total anual mayor o igual a 1217.64 mm (ver figura 5.9).

Además de esta característica, el emplazamiento debe cumplir con requerimientos de instrucción y de percepción, al menos nivel básico (más del 64.38% de la población del Estado) y por lo menos 5 salarios mínimos (más del 11.90% de la población), respectivamente.



Fig 5.9 Precipitación total anual mayor o igual a 1200 mm

Las zonas de la República donde las condiciones son adecuadas para el exitoso funcionamiento de este módulo de acuerdo a las necesidades planteadas son: *la mayor parte del territorio de Quintana Roo y pequeñas regiones de Jalisco, Colima, Chihuahua y Tamaulipas* (ver figura 5.10).

Es importante resaltar que las entidades mencionadas no presentan graves problemas de disposición de agua entubada en viviendas particulares habitadas, pero eso no significa que la utilización de captadores de agua no contribuya a la disminución del impacto al ambiente. En contraposición, en Oaxaca, Guerrero, Tabasco, Veracruz, San Luis Potosí y Puebla se tienen serias dificultades en este aspecto y se cuenta además con una precipitación anual adecuada para cubrir las necesidades estimadas, razón por la cual es recomendable buscar los medios necesarios para instalar este módulo a pesar de que las condiciones económicas puedan ser adversas.



Fig 5.10 Condiciones necesarias para la instalación de sistemas de captación pluvial

5.3 Zonas aptas para el módulo de aprovechamiento, reutilización y reciclaje de residuos sólidos

Como se plantea en el apartado 3.5.1 no existen limitaciones físicas del emplazamiento o económicas y de instrucción de la población para la realización de composteo y separación de residuos sólidos; la única condición que debe cumplirse es que la vivienda cuente con terreno para hacer el hoyo composta o espacio para situar el tambo en su defecto. Es por ello, que puede afirmarse que prácticamente todo el territorio de la República Mexicana es apto para la implantación de este módulo.

5.4 Resumen

Finalmente, en los siguientes mapas se resume el resultado de este trabajo mediante la localización de los sitios de emplazamiento específicos para la instalación de los módulos ecológicos considerados.

FESIS CON
 DE ORIGIN

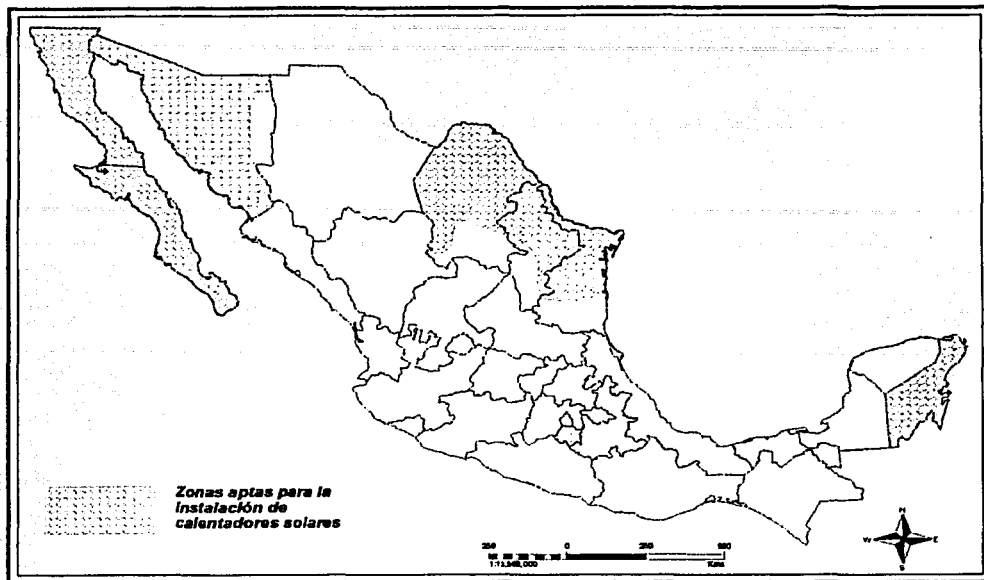


Fig 5.11 Zonas aptas para la instalación de calentadores solares



Fig 5.12 Zonas aptas para la instalación de sistemas de fotocelda

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

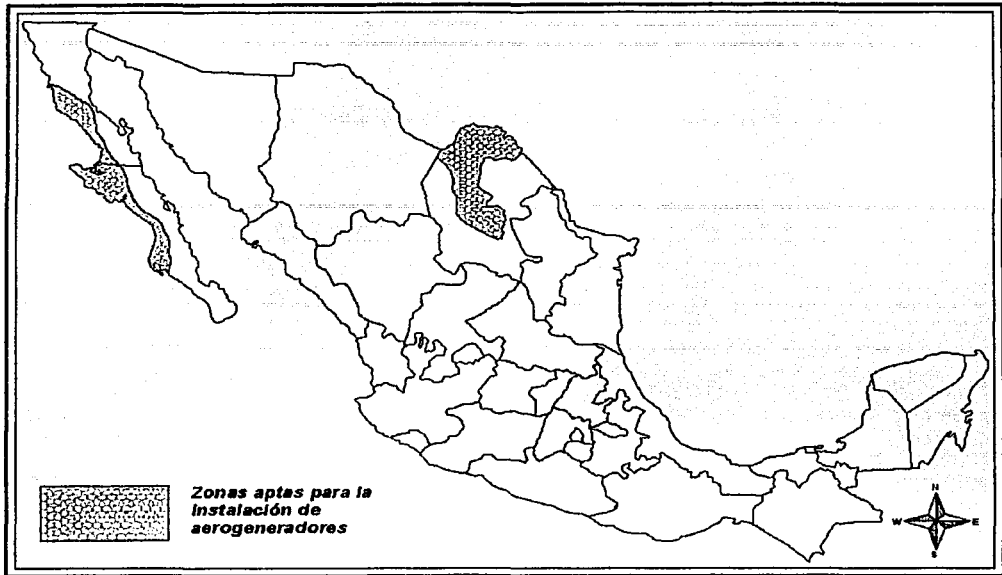


Fig 5.13 Zonas aptas para la instalación de aerogeneradores

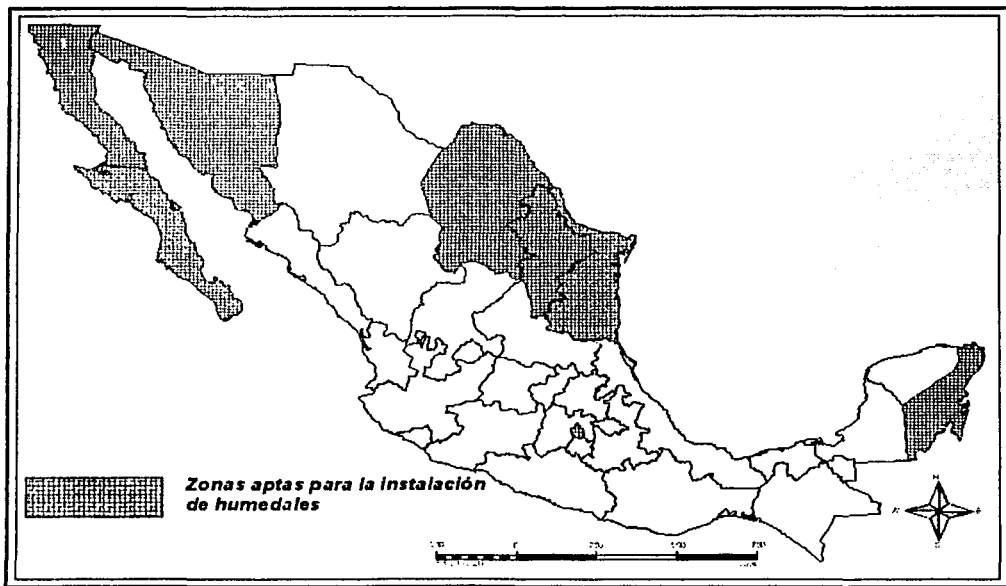


Fig 5.14 Zonas aptas para la instalación de humedales artificiales

TESIS CON
FOLIA DE ORIGEN

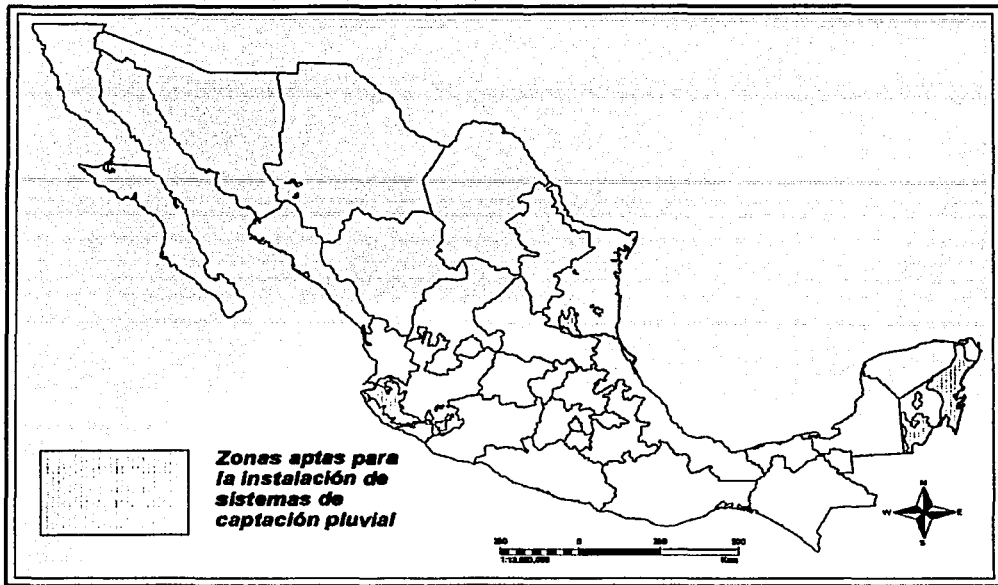


Fig 5.15 Zonas aptas para la instalación de sistemas de captación pluvial

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conclusiones y recomendaciones

A partir del desarrollo del presente trabajo se desprenden una serie de reflexiones, recomendaciones y conclusiones que a continuación se presentan:

- Las regiones de la República donde las condiciones son adecuadas para el exitoso funcionamiento de sistemas de captación pluvial son: *la mayor parte del territorio de Quintana Roo y pequeñas regiones de Jalisco, Colima, Chihuahua y Tamaulipas; alrededor del 6% del país.*
- En el caso de los sistemas de aerogeneración, las zonas aptas se localizan en: *Coahuila, Baja California Norte y Baja California Sur; aproximadamente 9% del territorio nacional.*
- Las regiones de la República Mexicana donde las condiciones son adecuadas para el buen funcionamiento de los sistemas de fotocelda son: *Baja California Norte, Baja California Sur y Morelos, así como gran parte del territorio de Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas; alrededor de 22% de la superficie del país.*
- Las zonas aptas para la instalación de calentadores solares de acuerdo a las necesidades planteadas son: *Baja California Norte, Baja California Sur, Quintana Roo y Morelos, así como gran parte del territorio de Sonora, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, lo que representa aproximadamente el 25% del territorio nacional.* La diferencia en la extensión entre los sistemas de fotocelda y los calentadores solares radica primordialmente en que los primeros son más costosos, por lo que el poder adquisitivo necesario de la población es mayor y en consecuencia, la zona de aprovechamiento menor.
- Las zonas aptas para la construcción y uso de humedales artificiales son: *Quintana Roo, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Baja California Sur y la mayor parte del territorio de Sonora y Baja California Norte; que representa prácticamente el 25% de la República Mexicana.*
- Los dispositivos para el ahorro de agua y energía *no presentan limitaciones del emplazamiento* y son por ello las alternativas más fáciles de implantar; el mayor atractivo es su bajo costo y facilidad de instalación, lo que las convierte definitivamente en la opción más viable que coadyuva a la disminución del impacto al ambiente en el corto plazo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Desde una perspectiva integral, las regiones más atractivas se encuentran en Baja California Norte, Baja California Sur y Coahuila, Estados en los que existen las condiciones necesarias para la instalación de cuatro módulos ecológicos: calentadores solares, sistemas de fotocelda, aerogeneradores y humedales para tratamiento de aguas residuales. Le sigue el estado de Quintana Roo, que presenta condiciones suficientes para la instalación de tres módulos: captadores solares, sistemas de humedales y de captación pluvial; otros Estados con tres módulos son Chihuahua, Nuevo León y Tamaulipas donde es posible ubicar los sistemas de humedales, calentadores solares y fotoceldas. El estado de Morelos permite la instalación de dos módulos: calentadores solares y fotoceldas. Finalmente, Jalisco y Colima pueden albergar un sólo módulo, captación pluvial; asimismo el Distrito Federal tiene las condiciones necesarias para la instalación de humedales.
- Los sistemas de fotocelda y aerogeneradores son las alternativas que pueden pensarse para aquellas zonas que carecen de suministro eléctrico; de esta manera, además de disminuir fuentes de contaminación, pueden contribuir a resolver un problema de infraestructura en el país.
- En cualquier región de la República es posible instalar por lo menos uno de los módulos abordados en el presente trabajo; desde esta perspectiva no hay razón para no plantearse seriamente la idea de hacer ecológica la vivienda.
- En aquellas zonas donde se tiene mayor necesidad de vivienda, así como las que presentan grandes concentraciones de población (ver figuras 4.9 y 4.15), es conveniente se fomente el uso de dispositivos ecológicos debido a que es precisamente en esas regiones donde tiende a presentarse los mayores índices de contaminación.
- Los dispositivos que permiten reducir el impacto al ambiente de una vivienda son, en este momento, demasiado costosos e incluso difíciles de adquirir porque el nivel de utilización en el país es bajo; esto es resultado del desconocimiento por parte de la población de la gravedad de los problemas ambientales y de las diferentes alternativas existentes para paliar los efectos nocivos.
- En México existen un sinnúmero de zonas, que por sus condiciones físicas, son aptas para la instalación de los diferentes módulos ecológicos, sin embargo, se reducen drásticamente al tomar en cuenta el poder adquisitivo

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

de la población; es evidente que es éste el factor limitante en la selección del emplazamiento. Los casos más patentes de esta situación se observan en los Estados de Guerrero, Oaxaca y Chiapas, donde los niveles de radiación solar y precipitación son suficientes para el buen funcionamiento de los equipos y son además las regiones que mayores problemas presentan en disposición de servicios públicos; no obstante, una y otra vez fueron excluidos de la selección final por no cumplir los requerimientos de percepción económica.

- El nivel de instrucción de la población, si bien no es un problema tan drástico como el poder adquisitivo, también representa una fuerte restricción en la identificación de las zonas.
- El estudio de las condiciones del emplazamiento es un paso indispensable en la concretización del concepto casa ecológica; si no se conocen con precisión las características naturales de la región y la situación económica y educativa de la población, los módulos ecológicos podrían funcionar de manera inadecuada e inhibir con ello la búsqueda de opciones realmente eficaces para la zona.
- La aportación principal del trabajo es analizar los componentes (módulos) de las llamadas *casas ecológicas*, y los requerimientos necesarios en el proceso para dotar a México de este tipo de infraestructura a gran escala; este estudio permite orientar los esfuerzos de manera eficaz hacia las regiones potencialmente atractivas.
- El protagonista de la siguiente etapa de este proceso, de existir, es el gobierno y sus órganos de planeación, quienes son los más indicados para instrumentar programas enfocados a la difusión de los beneficios de los módulos ecológicos y acciones cuya finalidad sea proporcionar incentivos económicos para su adquisición. En la actualidad los programas que se encuentran ya en operación son los referentes al ahorro de agua y energía porque son evidentemente los más rentables, los de siguiente aplicación se recomienda sean calentadores solares, humedales para tratamiento de aguas residuales y sistemas de fotocelda por que son, de acuerdo a este estudio, los que tienen mayores áreas de aplicación y contribuyen a la solución de dos de los problemas ambientales más graves en el país, la contaminación de agua y aire.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Apéndice A
Localización geográfica de ciudades seleccionadas

Ciudad	Latitud norte	Longitud oeste	Referencia de medición
Acapulco, Gro.	16° 51' 21"	99° 53' 46"	Centro
Aguascalientes, Ags.	21° 52' 50"	102° 17' 53"	Centro
Campeche, Camp.	19° 50' 47"	90° 32' 14"	Puerta de la catedral
Celaya, Gto.	20° 31' 24"	100° 48' 55"	Torre iglesia El Carmen
Ciudad de México, D.F.	19° 25' 59"	99° 07' 58"	Torre (E) de la catedral
Ciudad Delicias, Chih.	28° 11' 27"	105° 28' 24"	Centro
Ciudad Guzmán, Jal.	19° 42' 13"	103° 27' 53"	Patio Presidencia Municipal
Ciudad Juárez, Chih.	31° 44' 19"	106° 29' 15"	Torre de la parroquia
Ciudad Madero, Tamps.	22° 15' 06"	97° 50' 00"	Centro
Ciudad Mante, Tamps.	22° 44' 32"	98° 58' 18"	Centro
Ciudad Obregón, Son.	27° 29' 49"	109° 56' 00"	Centro
Ciudad Victoria, Tamps.	23° 44' 06"	99° 07' 51"	Torre (S) catedral
Coatzacoalcos, Ver.	18° 08' 56"	94° 24' 40"	Monumento Capitanía
Colima, Col.	19° 14' 29"	103° 43' 47"	Torre (NE) de la catedral
Córdoba, Ver.	18° 53' 34"	96° 55' 52"	Torre de la parroquia
Cuernavaca, Mor.	18° 55' 08"	99° 14' 03"	Centro
Culiacán Rosales, Sin.	24° 47' 36"	107° 22' 20"	Centro
Chesumal, Q. Roo	18° 29' 39"	88° 17' 56"	Torre del reloj
Chihuahua, Chih.	28° 38' 12"	106° 04' 42"	Torre de la catedral
Chilpancingo, Gro.	17° 33' 06"	99° 30' 04"	Centro
Durango, Dgo.	24° 01' 31"	104° 40' 11"	Torre (E) de la catedral
Ensenada, B.C.	31° 51' 48"	116° 36' 47"	Centro
Gómez Palacio, Dgo.	25° 34' 00"	103° 30' 00"	Centro
Guadalajara, Jal.	20° 40' 32"	103° 23' 09"	Poste del observatorio
Guanajuato, Gto.	21° 01' 01"	101° 15' 20"	Torre de la iglesia la comp.
Guaymas, Son.	27° 55' 28"	110° 53' 31"	Torre de la parroquia
Hermosillo, Son.	29° 04' 29"	110° 57' 36"	Palacio de Gobierno
Heroica Nogales, Son.	31° 19' 49"	110° 56' 42"	Puerta de la aduana
Heroica Puebla, Pue.	19° 02' 30"	98° 11' 48"	Torre sur de la catedral
Heroica Zamora, Mich.	19° 59' 00"	102° 17' 07"	Centro
Irapuato, Gto.	20° 40' 28"	101° 20' 51"	Puerta de la parroquia
La Paz, B.C.S.	24° 09' 00"	110° 18' 21"	Centro
León, Gto.	21° 07' 22"	101° 41' 00"	Torre (O) de la catedral
Los Mochis, Sin.	25° 47' 21"	108° 59' 06"	Centro
Matamoros, Tamps.	25° 52' 01"	97° 30' 00"	Centro
Mazatlán, Sin.	23° 11' 55"	106° 25' 20"	Torre (O) de la catedral
Mérida, Yuc.	20° 58' 00"	89° 37' 19"	Centro
Mexicali, B.C.	32° 40' 00"	115° 27' 00"	Centro
Minatitlán, Ver.	17° 58' 47"	94° 32' 27"	Pilar central de la aduana
Monclova, Coah.	26° 54' 14"	101° 25' 08"	Cúpula de la parroquia

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Ciudad	Latitud norte	Longitud oeste	Referencia de medición
Monterrey, N.L.	25° 40' 11"	100° 18' 26"	Torre de la catedral
Morelia, Mich.	19° 42' 06"	101° 11' 37"	Centro
Nvo Laredo, Tamps.	27° 28' 57"	99° 31' 03"	Centro
Oaxaca, Oax.	17° 03' 43"	96° 43' 18"	Torre (NO) de la catedral
Orizaba, Ver.	18° 50' 58"	97° 05' 47"	Torre de la parroquia
Pachuca, Hgo.	20° 07' 44"	98° 43' 54"	Centro
Poza Rica, Ver.	20° 31' 55"	97° 27' 30"	Centro
Reynosa, Tamps.	26° 04' 26"	98° 17' 13"	Centro
Salamanca, Gto.	20° 34' 22"	101° 11' 39"	Torre (N) iglesia de S. Antonio
Saltillo, Coah.	25° 26' 37"	100° 59' 22"	Ateneo Fuente
S.L.P., S.L.P.	22° 09' 10"	100° 58' 38"	Catedral
Santiago de Qro, Qro,	20° 35' 36"	100° 23' 11"	Torre de la catedral
Tampico, Tamps.	22° 17' 00"	97° 51' 19"	Torre (E) de la parroquia
Tapachula, Chis.	14° 54' 32"	92° 15' 50"	Centro
Tepic, Nay.	21° 30' 47"	104° 53' 42"	Puerta de la catedral
Tijuana, B.C.	32° 31' 40"	117° 02' 03"	Centro
Tlaxcala, Tlax..	19° 19' 04"	98° 14' 09"	Torre de la parroquia
Toluca, Méx.	19° 17' 33"	99° 39' 38"	Palacio de Gobierno
Torreón, Coah.	25° 32' 18"	103° 27' 55"	Catedral
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	16° 45' 20"	93° 06' 46"	Asta bandera de la aduana
Uruapan, Mich.	19° 25' 24"	102° 03' 44"	Centro
Veracruz, Ver.	19° 12' 02"	96° 08' 13"	Torre ex-faro Benito Juárez
Villahermosa, Tab.	17° 59' 05"	92° 55' 09"	Centro
Xalapa, Ver.	19° 31' 35"	96° 54' 51"	Torre de la catedral
Zacatecas, Zac.	22° 46' 30"	102° 34' 45"	Torre (O) de la catedral

NOTA: Se incluyen las capitales de los estados, así como aquellas ciudades que por el número de habitantes y su desarrollo económico (industrial y/o turístico) se consideran relevantes.

Fuente: INEGI, 2001.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Apéndice B
Salario mínimo general nacional y según área geográfica

2000				
Del 1o. de enero al 31 de diciembre	35.12	37.90	35.10	32.70
2001				
Del 1o. de enero al 31 de diciembre	37.57	40.35	37.95	35.85
2002				
A partir del 1o. de enero	39.74	42.15	40.10	38.30

^a Promedio ponderado de las tres áreas geográficas.
 Fuente: CNSM, 2002

Área A	
Baja California	Todos los municipios del estado.
Baja California Sur	Todos los municipios del estado.
Chihuahua	Guadalupe, Juárez y Praxedis G. Guerrero.
Distrito Federal	Todas las delegaciones.
Guerrero	Acapulco de Juárez.
México	Atizapán de Zaragoza, Coacalco de Berriozábal, Cuautitlán, Cuautitlán Izcalli, Ecatepec, Naucalpan de Juárez, Tlalnepantla de Baz y Sultitlán.
Sonora	Agua Prieta, Cananea, Naco, Nogales, General Plutarco Elías Calles, Puerto Peñasco, San Luis Río Colorado y Santa Cruz.
Tamaulipas	Camargo, Guerrero, Gustavo Díaz Ordaz, Matamoros, Mier, Miguel Alemán, Nuevo Laredo, Reynosa, Río Bravo, San Fernando y Valle Hermoso.
Veracruz-Llave	Agua Dulce, Coatzacoalcos, Cosoleacaque, Ixhuatlán del Sureste, Las Choapas, Minatitlán, Moloacán y Nanchital de Lázaro Cárdenas del Río.
Área B	
Jalisco	El Salto, Guadalajara, Tlajomulco de Zúñiga, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.
Nuevo León	Apodaca, San Pedro Garza García, General Escobedo, Guadalupe, Monterrey, San Nicolás de los Garza y Santa Catarina.
Sonora	Altar, Atil, Bácum, Benito Juárez, Benjamín Hill, Caborca, Cajeme, Carbo, Cucurpe, Empalme, Etchojoa, Guaymas, Hermosillo, Huatabampo, Imuris, La Colorada, Magdalena, Navjoa, Opodepe, Oquitoa, Pitiquito, San Ignacio Río Muerto, San Miguel de Horcacitas, Santa Ana, Sáríc, Suaqui Grande, Trincheras y Subutama.
Tamaulipas	Aldama, Altamira, Antiguo Morelos, Ciudad Madero, Gómez Farías, González, El Mante, Nuevo Morelos, Ocampo, Tampico y Xicoténcatl.
Veracruz-Llave	Coatzintla, Poza Rica de Hidalgo y Suxpam.
Área C	
Todos los municipios de los estados de:	Aguascalientes, Campeche, Coahuila de Zaragoza, Colima, Chiapas, Durango, Guanajuato, Hidalgo, Michoacán de Ocampo, Morelos, Nayarit, Oaxaca, Puebla, Querétaro de Arteaga, Quintana Roo, San Luis Potosí, Sinaloa, Tabasco, Tlaxcala, Yucatán y Zacatecas. Más todos los municipios de los estados de Chihuahua, Guerrero, Jalisco, México, Nuevo León, Sonora, Tamaulipas y Veracruz-Llave, no comprendidos en las áreas A y B.

Fuente: CNSM, 2002

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Apéndice C Tarifas de agua y energía eléctrica en la República Mexicana

a) Tarifas domésticas para agua potable [\$/m³]

Tarifas para uso doméstico por ciudades principales, 1998

Ciudad	Tarifa	Ciudad	Tarifa
Acapulco, Guerrero	1.74	Mexicali, Baja California	1.26
Cuernavaca, Morelos	0.87	Monterrey, Nuevo León	3.07
Culiacán, Sinaloa	1.15	Puebla, Puebla	1.94
Distrito Federal	1.67	Querétaro, Querétaro	0.91
Guadalajara, Jalisco	2.29	San Luis Potosí, S.L.P.	2.45
Juárez, Chihuahua	1.57	Tijuana, Baja California	4.66
Mérida, Yucatán	2.22	Toluca, Estado de México	1.48

Fuente: SEMARNAP, 1999

b) Tarifas domésticas energía eléctrica [\$/kWh]

A continuación se muestran las tarifas que se aplican al servicio de energía eléctrica. Para determinar los cargos que se realizan en una localidad específica es necesario identificar la tarifa de suministro que se localiza en el recibo de pago y remitirse a continuación a este apartado.

Tarifa 1

Para consumo hasta 140 kWh mensuales

Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio	0.560	0.564	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600

Para consumo superior a 140 kWh mensuales

Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio 76-125	0.654	0.669	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 250 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Tarifa 1A

Temporada de verano: El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada fuera de verano.

Para consumo hasta 150 kWh mensuales

Básico 1-100	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442
Intermedio	0.485	0.488	0.491	0.494	0.497	0.500	0.503	0.506	0.509	0.512	0.515

Para consumo superior a 150 kWh mensuales

Básico 1-100	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442
Intermedio 101-150	0.515	0.527	0.539	0.551	0.564	0.577	0.590	0.604	0.618	0.632	0.647
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Cuando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 300 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Temporada fuera de verano

Para consumo hasta 150 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502	
Intermedio	0.560	0.564	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600	

Para consumo superior a 150 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502	
Intermedio 76-125	0.654	0.669	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820	
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749	

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 300 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Tarifa 1B

Temporada de verano: El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de verano.

Para consumo hasta 225 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Básico 1-125	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442	
Intermedio	0.485	0.488	0.491	0.494	0.497	0.500	0.503	0.506	0.509	0.512	0.515	

Para consumo superior a 225 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Básico 1-125	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442	
Intermedio 126-200	0.515	0.527	0.539	0.551	0.564	0.577	0.590	0.604	0.618	0.632	0.647	
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749	

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 400 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Temporada fuera de verano

Para consumo hasta 175 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502	
Intermedio	0.560	0.564	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600	

Para consumo superior a 175 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Intermedio 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502	
Intermedio 76-150	0.654	0.669	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820	
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749	

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 400 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Tarifa 1C

Temporada de verano: El período de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada fuera de verano.

Para consumo hasta 300 kWh mensuales

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Básico 1-150	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442	
Intermedio	0.485	0.488	0.491	0.494	0.497	0.500	0.503	0.506	0.509	0.512	0.515	

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Para consumo superior a 300 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-150	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442
Intermedio 151-450	0.515	0.527	0.539	0.551	0.564	0.577	0.590	0.604	0.618	0.632	0.647
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 850 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Temporada fuera de verano

Para consumo hasta 175 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio	0.560	0.564	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600

Para consumo superior a 175 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio 76-150	0.654	0.669	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 850 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Tarifa 1D

Temporada de verano: El periodo de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de verano.

Para consumo hasta 400 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-175	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442
Intermedio	0.485	0.488	0.491	0.494	0.497	0.500	0.503	0.506	0.509	0.512	0.515

Para consumo superior a 400 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-175	0.412	0.415	0.418	0.421	0.424	0.427	0.430	0.433	0.436	0.439	0.442
Intermedio 176-600	0.515	0.527	0.539	0.551	0.564	0.577	0.590	0.604	0.618	0.632	0.647
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 1,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Temporada fuera de verano

Para consumo hasta 200 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio	0.560	0.564	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600

Para consumo superior a 200 kWh mensuales

Rango de consumo	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio 76-175	0.654	0.669	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 1,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Tarifa 1E

Temporada de verano: El periodo de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada fuera de verano.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Para consumo hasta 750 kWh mensuales

Rango de consumo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Básico 1-300	0.336	0.338	0.340	0.342	0.344	0.346	0.348	0.350	0.352	0.354	0.356	
Intermedio	0.439	0.442	0.445	0.448	0.451	0.454	0.457	0.460	0.463	0.466	0.469	

Para consumo superior a 750 kWh mensuales

Rango de consumo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Básico 1-300	0.336	0.338	0.340	0.342	0.344	0.346	0.348	0.350	0.352	0.354	0.356	
Intermedio 301-900	0.466	0.477	0.488	0.499	0.510	0.522	0.534	0.546	0.559	0.572	0.585	
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749	

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 2,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Temporada fuera de verano

Para consumo hasta 250 kWh mensuales

Rango de consumo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502	
Intermedio 76-200	0.560	0.564	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600	
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749	

Para consumo superior a 250 kWh mensuales

Rango de consumo	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Básico 1-75	0.472	0.475	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502	
Intermedio 76-200	0.654	0.669	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820	
Excedente	1.634	1.645	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749	

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 2,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

Tarifa 1F

Temporada de verano: El periodo de aplicación de esta tarifa comprende los 6 meses más cálidos del año, de acuerdo a las observaciones de las estaciones termométricas que rijan en cada área. Los 6 meses restantes se aplican los precios de la temporada Fuera de verano.

Para consumo hasta 750 kWh mensuales

Básico 1-300	0.340	0.342	0.344	0.346	0.348	0.350	0.352	0.354	0.356
Excedente	0.445	0.448	0.451	0.454	0.457	0.460	0.463	0.466	0.469

Para consumo superior a 750 kWh mensuales

Básico 1-300	0.340	0.342	0.344	0.346	0.348	0.350	0.352	0.354	0.356
Intermedio 301-1,200	0.488	0.499	0.510	0.522	0.534	0.546	0.559	0.572	0.585
Excedente	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Temporada fuera de verano

Para consumo hasta 250 kWh mensuales

Básico 1-75	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio 76-200	0.568	0.572	0.576	0.580	0.584	0.588	0.592	0.596	0.600
Excedente	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Para consumo superior a 250 kWh mensuales

Básico 1-75	0.478	0.481	0.484	0.487	0.490	0.493	0.496	0.499	0.502
Intermedio 76-200	0.684	0.700	0.716	0.732	0.749	0.766	0.784	0.802	0.820
Excedente	1.656	1.667	1.678	1.689	1.701	1.713	1.725	1.737	1.749

Quando el consumo mensual promedio registrado en los últimos 12 meses sea superior a 2,000 kWh/mes, se reclasificará el servicio en la Tarifa Doméstica de Alto Consumo (DAC) que corresponda, de acuerdo a la localidad. Fuente: CFE, 2002.

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

Referencias

Banco de México (2002a), "Información financiera y económica. Mercado de cambios", <http://www.banxico.org.mx/lBusqueda/FsBusqueda.html>, fecha de consulta: noviembre, 2002.

Banco de México (2002b), "Información financiera y económica. Indicadores económicos", http://www.banxico.gob.mx/elInfoFinanciera/FrinfoFinanciera.asp?liga=INFLACION_ACUM ULADA, fecha de consulta: noviembre, 2002.

CEPIS (2002), "Evaluación de mediados de la década sobre agua potable", Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsacg/e/evalua.html>, fecha de actualización: 11 noviembre, 2002.

CFE (2002), "Tarifas domésticas, 2002", Comisión Federal de Electricidad, http://www.cfe.gob.mx/www2/Tarifas/tarifas.asp?seccion=canalotrosgiros&seccion_id=2158&seccion_nombre=Conoce+tu+tarifa, fecha de consulta: diciembre, 2002.

CNSM (2002), "Sistema de salarios mínimos", Comisión Nacional de los salarios mínimos, <http://www.conasami.gob.mx/indice.htm>, fecha de consulta: noviembre, 2002.

CONABIO (1998), "Metadatos y cartografía en línea", Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, <http://conabioweb.conabio.gob.mx/metacarto/metadatos.pl>, fecha de actualización: 9 abril, 2002.

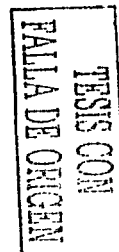
CONAE (2002a), "Aparatos electrodomésticos", Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1667>, fecha de actualización: 15 noviembre, 2002.

CONAE (2002b), "¿Qué espacios y qué aparatos consumen más energía en mi casa?", Comisión Nacional para el Ahorro de Energía, <http://www.conae.gob.mx/wb/distribuidor.jsp?seccion=1658>, fecha de actualización: 15 noviembre, 2002.

Deffis Caso, Armando (1994), "La casa ecológica autosuficiente", Editorial Árbol, México, D.F.

Energía Alternativa de México S.A. de C.V. (2002), "Whisper H40". <http://www.enalmex.com/pagProAbaWhiH40.htm>, fecha de consulta: noviembre, 2002.

Facultad de Ingeniería (1979), "Manual de normas de proyecto para obras de aprovisionamiento de agua potable en localidades urbanas de la República



Mexicana", Departamento de Ingeniería Civil, Topográfica y Geodésica, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

FAO (1992), "Biogas processes for sustainable development", Food and Agriculture Organization, <http://www.fao.org/docrep/T0541E/T0541E00.htm>, fecha de consulta: noviembre, 2002.

Henry, J. Glynn, Heinke, Gary W. (1999), "Ingeniería ambiental", Editorial Prentice Hall, México, D.F.

Hermosillo Villalobos, Jorge (1995), "Notas sobre el curso de energía solar", Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, <http://witss.gdl.iteso.mx/solar/solar.zip>, fecha de consulta: octubre, 2002.

Hough, Michael (1995), "Naturaleza y Ciudad", Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España.

INEGI (2000), "XII Censo general de población y vivienda 2000. Estados Unidos Mexicanos", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI (2001), "Sistema para la consulta del anuario estadístico SICAM. Estados Unidos Mexicanos", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.

INEGI (2002), "Anuario de estadísticas por entidad federativa", Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.

Instituto de Geografía (1990), "Atlas Nacional de México. Vol. II", Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

Jarabo Friedrich, Francisco (2000), "Energías renovables", Editorial SAPT, Madrid, España.

Khandelwal, K.C., Mahdi, S.S. (1993), "Biogas technology. A practical handbook", Editorial Mc. Graw-Hill, Nueva Delhi, India.

Metcalf & Eddy, Inc. (1996), "Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización", Editorial Mc. Graw-Hill, México, D.F.

Mompin Poblet, José (Coordinador) (1983), "Energía solar fotovoltaica", Editorial Marcombo, Barcelona, España.

Montgomery, Richard H. (1986), "Energía solar : selección del equipo, instalación y aprovechamiento", Editorial Limusa, México, D.F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

PROFECO (2002), "Lámparas ahorradoras de energía. Revista del Consumidor No. 280", Procuraduría Federal del Consumidor, <http://www.profeco.gob.mx/new/html/revista/pdf/lamparas.pdf>, fecha de consulta: noviembre, 2002.

Reed Sherwood C. et al (1995), "Natural systems for waste management and treatment", Editorial McGraw-Hill, México, D.F.

Sánchez Campos, Teodoro (1997), "Algunos elementos sobre la energía eólica", <http://www.itdg.org.pe/Programas/energia/articulos/aeslee.pdf>, fecha de consulta: octubre, 2002.

SEDESOL (2000), "Situación actual del manejo integral de los residuos sólidos en México", Secretaría de Desarrollo Social, <http://www.fundacionica.org.mx/EXPERIENCIAS/parte1.htm>, fecha de consulta: octubre, 2002.

SEDESOL (2001), "Programa Sectorial de Vivienda 2001-2006", Secretaría de Desarrollo Social, http://www.sedesol.gob.mx/sectorial_viv/02.psv.lcomoesta.pdf, fecha de consulta: noviembre, 2002.

SEMARNAP (1999), "Estadísticas del medio ambiente", Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca, Editado por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México, D.F.

SEMARNAT (2001), "Biblioteca digital geográfica. Galería de mapas", Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, <http://www.infoteca.semarnat.gob.mx>, fecha de consulta: diciembre, 2002.

Otra bibliografía consultada

Concheiro, Antonio A., Rodríguez, Luis (1985), "Alternativas energéticas", Editorial Fondo de Cultura Económica, México, D.F.

Le Gourières, Désiré (1982), "Energía eólica", Editorial Masson, Madrid, España.

Lucena, Antonio (1998), "Los residuos sólidos", Editorial Acento, Madrid, España.

Seoanez Calvo, Mariano (1997), "Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento", Editorial Mundi – Prensa, Madrid, España.

Vale, Brenda (1981), "La casa autónoma", Editorial Gustavo Gili, Barcelona, España.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Directorio de empresas

Calentador solar de agua

Sunway de México, S.A. de C.V.
Av. Ejército Nacional No. 1162 PB. Col. Polanco, México, D.F.
C.P. 11570 Tel/Fax: 53 95 57 71
web: <http://www.sunwaymx.com/>
e-mail: sunwaymx@infosel.net.mx

Módulo Solar, S.A de C.V.
Lauro Ortega No. 22. Col. Otilio Montaña, Jiutepec, Morelos.
C.P. 62386 Tel. (01) 777 3 21 59 62 al 64
web: <http://www.modulosolar.com.mx>
e-mail: modulo@modulosolar.com.mx

SOLARMEX, S.A. de C.V.
Poniente 148 No. 519. Col. Industrial Vallejo, México D.F.
C.P. 02300 Tel. 53 68 49 29 / 53 68 13 55

SAECSA Energía Solar S.A. de C.V.
Av. San Francisco No. 2218. Col. San Manuel, Puebla, Puebla.
Tel. (222) 231 54 50
web: <http://saecsaenergiasolar.com>
e-mail: saecsa@saecsaenergiasolar.com

Sistema de fotocelda

Solartronic, S.A. de C.V.
Av. Morelos Sur No. 90. Col. Chipitlán, Cuernavaca, Morelos.
C.P. 62070 Tel: (+52) 7 318 97 14 Fax: (+52) 7 318 86 09
web: <http://www.solartronic.com>
e-mail: mexico@solartronic.com

Energía Alternativa de México, S.A. de C.V.
Centro Comercial OCASA de Andar Amador No. 104, Local 6. Col. Doctores,
Reynosa Tamaulipas.
Tel. (899) 923 06 62 Fax (899) 923 02 94
web: <http://www.enalmex.com>
e-mail: ocasa@enalmex.com

Alfa Solar S.A. de C.V.
Av. Federalismo Norte No. 1990. Col. Guadalupana, Guadalajara, Jalisco.
C.P. 44220 Tel: (33) 35 85 77 82, 35 85 77 69, 38 25 39 66
web: <http://www.alfasolar.com.mx>
e-mail: alfasolar@aol.com

TESIS CON

Econolux S.A. de C.V.

Av. Ferrocarriles Nacionales No.1. Col. La Laguna, Tlalnepantla, Edo. de México.
C.P. 54190 Tel. 57 14 40 74, 57 14 50 25 y 57 14 41 06 Fax. 57 14 42 69
e-mail: Econolux@conecta.com.mx

Sistema de aerogeneradores

Solartronic, S.A. de C.V. (ver apartado de sistemas de fotocelda)

Energía Alternativa de México, S.A. de C.V. (ver apartado de sistemas de fotocelda)

Soluciones Energeticas S.A de C.V.

Benito Juárez No. 1406. Col. Zitton, Guadalupe, Nuevo León.
Tel. +52 (81) 8398 5310

Micro Power S.A. de C.V.

Avenida 16 de septiembre No. 190. Col. Contadero, México, D.F.
Tel. 50 95 69 23 Fax. 50 95 6926
web: <http://www.micro-power.com>
e-mail: abram.brailovsky@micro-power.net

Humedales artificiales

BIMSA COMUNICACIONES S.A. DE C.V.

Avenida Irrigación No. 108. Col. Irrigación, México D.F.
C.P. 11500 Tel. 55 80 00 50
web: <http://www.bimsa.com.mx/>
e-mail: wmaster@bimsa.com.mx

Sistema de captación y almacenamiento de agua de lluvia

Constructora de Software, S.A. de C.V.

Quito No. 235. Col. Valle Dorado, Tlalnepantla, Edo. de México.
C.P. 54020 Tel: 53 78 04 86, 53 78 03 89
web: <http://www.costonet.com.mx>
e-mail: construsoft@angelfire.com

Materiales Aceros Tucán S.A. de C.V.

Prolongación Av. Miguel Alemán No. 3800. Col. Artículo 123, Veracruz, Veracruz.
C.P. 91947 Tel. (229) 923 00 70
web: <http://www.matusa.com.mx>
e-mail: ventas@matusa.com.mx

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN