

N° 121
REJ.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA



**APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR CON
PANELES FOTOVOLTAICOS EN LAS PLANTAS DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A :

EDGARDO TOVILLA CARRILLO

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO, D. F.

1992



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 está 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.

CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTOS	4
RECONOCIMIENTOS	5
CAPITULO I	
INTRODUCCION	
1.1. El agua	10
1.2. El Sol	13
1.3. Tratamiento de agua y energía solar	16
CAPITULO II	
• ENERGIA SOLAR	
2.1. Conversión de energía y preservación del ambiente	18
2.1.1. Consumo inteligente de la energía disponible	18
2.1.2. La contaminación	20
2.2. La energía del Sol	22
2.2.1. El Sol	22
2.2.2. Radiación solar	23
2.2.3. La constante solar	25
2.2.4. Efecto de la atmósfera	26
2.2.5. El Sol y el clima	27
2.3. Conversión útil de la energía solar	29
2.3.1. Termodinámica	29
2.3.2. Procesos naturales	30
2.3.3. Procesos tecnológicos	31
2.4. Solarimetría	35
2.4.1. Instrumentos de medición	36
Bibliografía del capítulo II	40

CAPITULO III

CONDICIONES GENERALES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA

3.1. Astronomía de posición solar	41
3.1.1. Posición aparente del Sol	42
3.1.2. Coordenadas solares	43
3.1.3. Las estaciones del año	46
3.2. Clima solar en la República Mexicana	49
3.2.1. Antecedentes	49
3.2.2. Clima solar en la República Mexicana	49
3.2.3. Mapas solares	53
Bibliografía del capítulo III	62

CAPITULO IV

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1. Plantas de tratamiento de aguas residuales	63
4.1.1. Tratamiento de aguas residuales	63
4.1.2. Tratamiento primario	66
4.1.3. Tratamiento secundario	68
4.1.4. Tratamiento terciario	76
4.1.5. Tratamiento de lodos	78
4.2. Sistema integrado	79
4.2.1. Plantas de tratamiento de agua residual	79
4.2.2. Paneles fotovoltaicos	80
4.3. Electricidad fotovoltaica	83
4.3.1. Efecto fotovoltaico	84
4.3.2. El panel fotovoltaico	86
4.3.3. Componentes de la instalación fotovoltaica	89
4.3.4. Estructura de soporte y anclaje	91
Bibliografía del capítulo IV	96

CAPITULO V

VENTAJAS TECNICO-ECONOMICAS

5.1. Aspectos técnicos del sistema PTAR-ES	97
5.1.1. Por parte de la planta de tratamiento de agua residual	97

5.1.2. Por parte de la planta de energía solar	.98
5.1.3. Comparación de eficiencias	.99
5.2. Aspectos económicos del sistema PTAR-ES	.101
5.2.1. Datos para presupuesto de una planta solar	.101
5.2.2. Costos de operación de una P.T.A.R.	.103
5.2.3. Costos de instalación de una planta de E.S.	.104
5.3. Ventajas	.106
5.4. Datos técnicos comerciales	.108
5.4.1. Arco solar, Inc. E.U.A.	.108
5.4.2. Atersa Isofoton, España	.109
5.4.3. Solarex, Suiza	.113
5.4.4. BP Solar, España	.115
5.4.5. Telefunken system technik, Alemania	.116
Bibliografía del capítulo V	.117

CAPITULO VI

CONCLUSIONES

6.1. Conclusiones generales	.118
6.2. Evaluación básica en la PTAR de C.U., en la UNAM	.120

BIBLIOGRAFIA GENERAL	.123
----------------------	------

APENDICES	.126
-----------	------

Apéndice A	Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente	.127
Apéndice B	Sistema internacional de unidades	.130
Apéndice C	Factores de conversión de unidades	.131
Apéndice D	Constantes físicas y datos numéricos del Sol y de la Tierra	.132
Apéndice E	Aerogeneradores	.135
	a. La energía del viento	.136
	b. Aerogeneradores	.138
Apéndice F	Evaluación de un sistema PTAR-ES para la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de C.U. en la UNAM	.140
Apéndice G	Planta tipo con sistema de biodisco PTAR-ES	.146

Capítulo I

INTRODUCCION

... Y ASÍ MISMO HABÉIS DE TENER CARGO DE MIRAR POR LA GRANDE LAGUNA, Y LAS ACEQUIAS, OJOS Y MANANTIALES DE LAS AGUAS, Y DENTRO DE LAS SIERRAS Y MONTES, EN LOS LLANOS Y DESIERTOS, PARA QUE VOS MANDÉIS QUE LO HAGAN Y TODO EN SERVICIO DE TETZÁHUITL HUITZILOPOCHTLI...

TEZOZÓMOC, CRÓNICA MEXICANA, P. 271.

1.1. EL AGUA

A partir de los tiempos del México Antiguo y a lo largo de los periodos colonial y moderno, se emprendieron obras para hacer frente a los complejos problemas hidráulicos en México, como el abastecimiento de agua, inundaciones, drenaje y desague del agua.

Un ejemplo de ello son las medidas de auténtica ingeniería hidráulica que bajo la dirección de Nezahualcóyotl, se llevaron a cabo teniendo a la vista la supervivencia y el crecimiento de México-Tenochtitlán.

Bién conocidas son las descripciones que de Tenochtitlán hicieron el propio capitán Hernán Cortes y el soldado Bernal Díaz del Castillo, que han venido a ser de gran valor a la posteridad por dar una idea muy aproximada de lo que era Tenochtitlán en los momentos de su máximo esplendor.



Fig. 1.1 Nezahualcōyotl, señor de Tetzcoco dirigiendo las obras de agua potable. Lámina LXVIII del Códice Mexicanus.

Habiendo transcurrido 500 años; el alarmante problema de la **contaminación** que actualmente vive la República Mexicana ha llevado al gobierno a tomar medidas urgentes de prevención y control de la contaminación del agua debidas al aumento de la población, la industrialización y cualquier otra fuente contaminante.

El control de la contaminación del agua es un elemento esencial para lograr el desarrollo económico y social del país, fundamentalmente para la **salud** de la población, la producción agropecuaria, el desarrollo urbano, la industrialización o para la generación de energía.

Es desde el año de 1970 cuando el Estado Mexicano asumió la responsabilidad de proteger y mejorar el medio ambiente, desde luego, estableciendo medidas técnicas y jurídicas para evitar el deterioro de los cuerpos de agua, suelo y aire. Se crearon dependencias a nivel federal y entraron en vigor ordenamientos jurídicos de los que carecíamos. Sin embargo, los resultados obtenidos están todavía muy distantes de los propósitos fijados.

En la actualidad diversos ordenamientos jurídicos, como son la *Ley General del Equilibrio Ecológico* y la *Protección al Ambiente*, la *Ley Federal de Aguas* y la *Ley General de Salud*, establecen disposiciones importantes para prevenir y controlar la contaminación del agua.

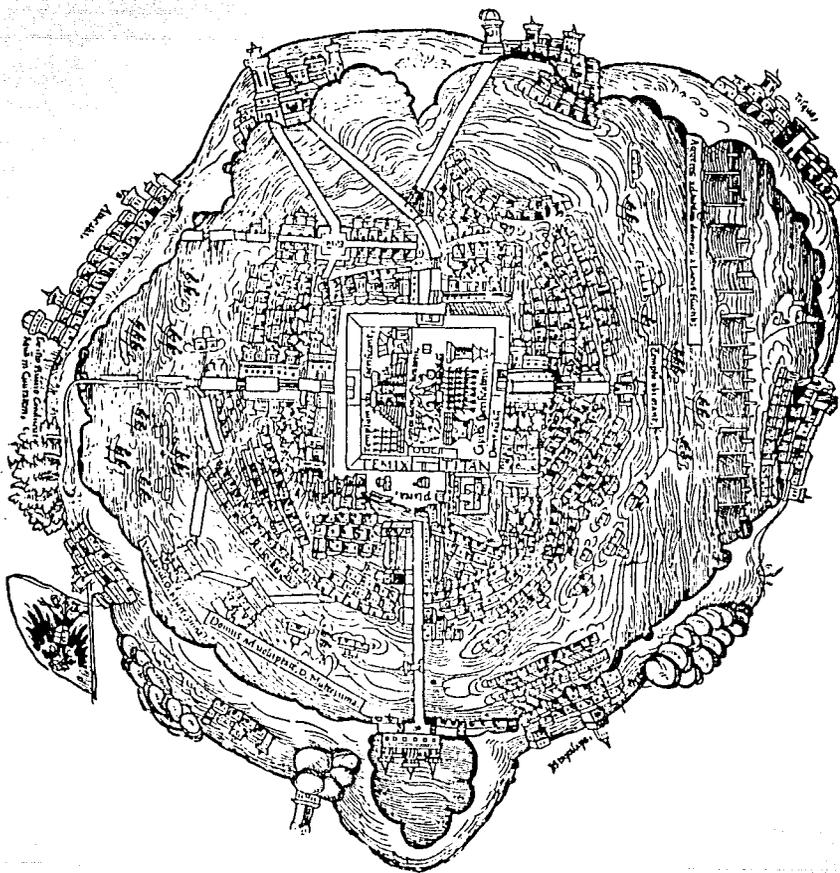


Fig. 1.2 Mapa de México-Tenochtitlan. Publicado en 1524 en una edición de una de las Cartas de Relación de Hernán Cortes. Al centro, el recinto sagrado de donde parten las calzadas de Tepeyac, al norte; de Coyahuacan o Iztapalapan, al sur, y la de Tacuba junto con el acueducto de Chapultepec, al oeste. Al este se ve el albaradón de Netzahualcōyotl.

1.2. EL SOL

La demanda actual de plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel estatal y municipal, tanto en zonas urbanas como rurales de la República Mexicana, hace necesario el contar con equipos y métodos que abaraten los costos de energía, operación, consumos y mantenimiento de dichas plantas.

La energía solar toma especial importancia en este aspecto como una alternativa energética, que debe formar parte en la planeación y el diseño de plantas de tratamiento de agua.

El aprovechamiento energético solar no es un tema que ocupe a la comunidad científica en las últimas décadas; hace casi 2,500 años los antiguos griegos comenzaron a diseñar sus casas para captar la luz solar de invierno. El variado terreno de Grecia y sus colinas en Asia no resultaba siempre tan ideal para la construcción de ciudades solares.

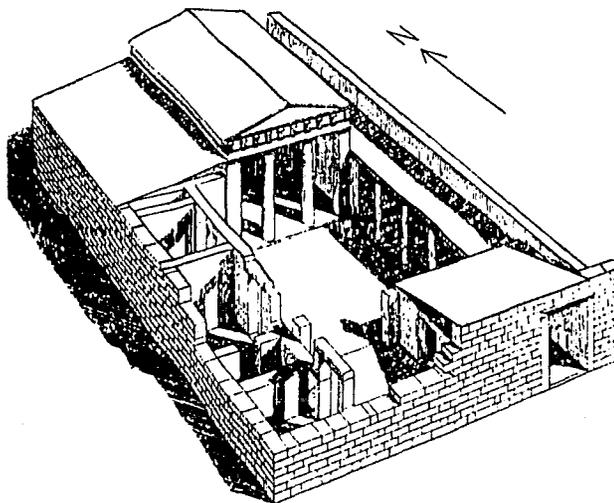


Fig. 1.3 Reconstrucción de una casa griega clásica en la ciudad de Priene. Las habitaciones tras el pórtico se abrían al lado sur del patio.

EN LAS CASAS ORIENTADAS AL SUR, EL SOL PENETRA POR
EL PÓRTICO EN INVIERNO, MIENTRAS QUE EN VERANO EL
ARCO SOLAR DESCRITO SE ELEVA SOBRE NUESTRAS CABEZAS
Y POR ENCIMA DEL TEJADO, DE MANERA QUE HAY SOMBRA.
SOCRATES.

La arquitectura solar de la antigua Grecia no sabía de clases sociales; ciudadanos ricos y pobres, príncipes y reyes, dependían del Sol. Las importantes salas ceremoniales y de estado de los palacios, se orientaban al Sur como hacían igualmente las habitaciones principales.

Los principios de diseño Griegos sirvieron de base a la arquitectura solar de la antigua Grecia desarrollándose ésta en el periodo Helénico en comunidades densamente pobladas como las ciudades de Olinto, Priene y Delos.

Durante el Imperio Romano en el siglo I d.C., se inició la aplicación de técnicas constructivas solares a medida que se agotaban las reservas de madera que utilizaban en los **Hipocaustos** (sistema de calefacción central de sus villas de recreo). Plinio el Joven, describe la manera de aprovechar el Sol para el calentamiento de las habitaciones utilizando vidrio, mica, o selenita en ventanas, bautizándolas como **Heliocaminus** (horno-solar) en el año 65 d.C.. En las termas romanas, la sala caliente o **caldarium** se orientaba hacia la puesta del Sol invernal a fin de absorber tanto calor solar como fuera posible, el muro Sur de sus casas de baños solían estar acristalados para retener el calor solar ejemplo de estos se encuentran en las ruinas de Herculano y Pompeya.

Para el siglo IV d.C. se habían mejorado las técnicas de ahorro energético, el reciclaje del agua de los baños, el aprovechamiento de las propiedades focales de los espejos parabólicos y esféricos, a la caída de Roma, ya se habían creado leyes estableciendo derechos y aprovechamientos del Sol.

Como sucediera con tantos avances de la Antigüedad todo el conocimiento sobre el aprovechamiento de la energía solar se desvaneció en los siglos oscuros de la Edad Media, solamente los árabes conservaron y ampliaron el conocimiento de las propiedades matemáticas de los espejos parabólicos.

Durante el Renacimiento, a principios del siglo XVI, el florentino Leonardo Da Vinci, propuso la construcción de un espejo parabólico para la producción de calor y energía para la industria y el recreo, a diferencia de las ideas bélicas del monje franciscano Roger Bacon que proponía el empleo de la energía solar como arma de guerra.

En los años posteriores, la captación del calor solar se enfocó a la horticultura y fueron los holandeses, flamencos e ingleses en el siglo XVIII los que se preocuparon por el aprovechamiento del calor solar en efectos beneficiosos como fueron los invernaderos, muros frontales, muros inclinados, estufas solares y los primeros captadores solares.

El primer captador solar (caja caliente de De Saussure) sirvió a los científicos del siglo XIX como modelo para demostrar la relación del Sol con la Tierra y su atmósfera. Hombres como Herschel, Langley, etc. demostraron que habían importantes aplicaciones prácticas en las cajas solares..."algún día podrá derivarse alguna utilidad de éste ingenio que en realidad es demasiado pequeño barato y fácil de hacer" dijo De Saussure. Esta modesta esperanza sería más que satisfecha y en el siglo XX se fabricarían colectores capaces de suministrar agua caliente, calefacción y energía para fines industriales y sociales.

Muchos hombres quedan registrados en la investigación de la energía solar: Mauchot, Ericsson, Pope, Thurston, Eneas, Millard, Shuman, Palz, etc. hasta llegar a la electricidad producida a partir de la energía solar con Edmund Becquerel, físico francés que en 1830 descubría la capacidad del Sol para producir electricidad. Casi 50 años después Charles Fritts, inventor americano, obtenía las primeras células solares. Esas delgadas plaquitas eran del tamaño de una moneda, estaban hechas de selenio (elemento derivado del mineral de cobre) y recubiertas de una película transparente de oro, en las que menos del 1% de la luz incidente sobre la superficie de sus células se transformaba realmente en electricidad.

Durante las siguientes décadas, poca gente se interesó por mejorar el rendimiento de las células solares. La física clásica de las postrimerías del siglo XIX no sabía explicar el efecto fotovoltaico y no se le concedía crédito alguno. No fue sino hasta la aceptación de la teoría de relatividad de Einstein, que generó una apertura científica, cuando se comenzó a trabajar nuevamente sobre las células solares. Los científicos describían ahora la corriente eléctrica como un movimiento ordenado de electrones susceptible de desencadenarse por interacción directa con partículas de luz llamadas fotones.

Con el apoyo de estos conocimientos teóricos, los científicos comenzaron a reexaminar el efecto fotovoltaico, descubriendo nuevamente la célula solar de selenio a principios de los años 30. Aparte de unos cambios menores en su diseño, esta célula era prácticamente una copia exacta de la desarrollada por Fritts. Para entonces, era un sueño el producir electricidad para usos comerciales sin necesidad de combustible. Sin embargo, los científicos topaban con las mismas limitaciones que Fritts: la cantidad de electricidad producida era minúscula.

En 1954, los investigadores de Bell Telephone realizaron un descubrimiento casual que revolucionaría la tecnología de la célula solar. Buscaban una fuente energética alternativa fiable para los sistemas telefónicos en áreas rurales. El silicio con ciertas impurezas generaba una importante corriente eléctrica.

Las células solares de silicio se utilizaron por primera vez para alimentar un sistema de redes telefónicas en una zona aislada de Georgia, E.U. El dispositivo incluía una batería acumuladora para suministro eléctrico durante la noche, y operó sin complicaciones.

Precisamente cuando las células solares estaban a punto de ser relegadas al baúl de las curiosidades se inició la carrera del espacio. Los satélites necesitaban una fuente energética autónoma y de larga duración que fuera compacta y poco pesada. Tanto los sistemas de combustible convencionales como las baterías con capacidad suficiente para aportar la energía demandada resultaban demasiado voluminosos.

La administración Nacional de la Aeronáutica y del Espacio (N.A.S.A.) encontró en las células solares la respuesta perfecta. No necesitaban conectarse a ningún sistema acumulador porque en el espacio exterior el sol brilla las 24 horas del día.

El programa espacial norteamericano crearía una verdadera industria de la célula solar. A partir de los años 50's, las células solares alimentaron todos los satélites espaciales americanos de los Vanguard a los Skylab.

1.3. TRATAMIENTO DEL AGUA Y ENERGIA SOLAR

El aprovechamiento de los recursos naturales renovables, el problema de la contaminación y degradación ambiental que son de preocupación internacional, así como el constante aumento en el costo de las fuentes convencionales de energía y la nueva demanda de plantas de tratamiento de agua generada por la reglamentación oficial, motivaron, en la presente tesis, "Aprovechamiento de la energía solar con paneles fotovoltaicos en las plantas de tratamiento de aguas residuales", a estudiar y analizar otras fuentes energéticas que nos ofrece la naturaleza, ya que en la planeación y evaluación de obras de infraestructura, el Ingeniero Civil, debe mantener una constante vinculación **calidad-ambiente-tecnología**, para diseños integrales con equilibrio ecológico.

Los equipos para el aprovechamiento de la energía solar y los de energía eólica, se encuentran en fases avanzadas de investigación y desarrollo, incluso algunos pueden considerarse, en condiciones especiales, competitivos en costos frente a las alternativas energéticas convencionales.

Esto no implica que a corto o mediano plazo su empleo esté generalizado, ni que se haya logrado un dominio de los aspectos teóricos y prácticos involucrados en el aprovechamiento solar. Aún para los equipos más probados se deberán resolver no pocos problemas, de acuerdo a nuevas etapas de desarrollo. Estos problemas están interrelacionados pero pueden agruparse en tres categorías: **Técnicos, Socioeconómicos y Financieros**.

Los primeros se refieren a las características de nueva escala de los equipos, condiciones reales de operación y mantenimiento, uso de materiales locales, fabricación e instalación, etc. El segundo y tercer grupo son los más importantes aún y su solución

requiere del análisis de los factores que influyen en la aceptación y difusión de la tecnología, así como la evaluación de su impacto socioeconómico.

Los nuevos desarrollos de tecnología solar, tienen una atractiva aplicación en los sistemas **PTAR-ES**, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales - Energía Solar, en las zonas rurales de la República Mexicana, al cubrir la demanda energética necesaria para su operación y mantenimiento a un costo reducido.

La presente tesis, pretende hacer un análisis de la conveniencia del aprovechamiento de la energía solar mediante el uso de sistemas fotovoltaicos en las plantas de tratamiento de la República Mexicana, procediendo con el estudio de los conceptos básicos solares, su conversión, la medición; las condiciones para su eficaz aprovechamiento; la situación solar de la República Mexicana; los diferentes procesos de tratamiento del agua residual, así como el análisis de las diversas ventajas del aprovechamiento con sistemas fotovoltaicos.

En el apéndice F se realiza una evaluación básica para determinar la generación fotovoltaica necesaria en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria en la UNAM, atendiendo a las características generales del sistema, que cuenta con tres sistemas diferentes de tratamiento de agua y consecuentemente con tres demandas energéticas diferentes.

Capítulo II

ENERGIA SOLAR

2.1. CONSERVACION DE ENERGIA Y PRESERVACION DEL AMBIENTE

La energía ha llegado a convertirse en una magnitud indicativa de primer orden, como una verdadera moneda universal que cuantifica el grado de desarrollo tecnológico y capacidad económica de los pueblos.

En el siglo pasado los beneficios sociales derivados del uso de la energía superaron cualquier objeción planteada con respecto al impacto ambiental que dicho uso suponía. No así en las últimas décadas, en especial en los últimos 15 años en los que adquiere especial interés el problema de la contaminación y degradación ambiental causado en gran parte por una utilización inadecuada e incontrolada de la energía.

Quizás la disyuntiva no sea cómo llegar a producir cada vez más energía, sino cómo evitar necesitar cada vez mayores cantidades de la misma, aprovechando eficaz y racionalmente las fuentes energéticas renovables que nos ofrece la naturaleza.

2.1.1. CONSUMO INTELIGENTE DE LA ENERGIA DISPONIBLE

El ahorro que se puede lograr conservando la energía puede justificar la inversión de tiempo y dinero. Cuando se piensa en medidas de conservación es necesario comparar el costo con los resultados que se prevén. Deben evitarse los altos costos cuando los resultados son dudosos.

Por el momento, la mejor manera de minimizar los efectos de la escasez de energía consiste en preservar y no desperdiciar las actuales fuentes de combustibles; pero es necesario llegar a disponer de otras nuevas para reponer las que se están agotando.

En los países más industrializados se creó que se puede ahorrar energía y reducir el consumo normal de esta en un 20% sin afectar la producción de bienes; en cambio en los países subdesarrollados y los que están en vías de desarrollo este porcentaje aumenta hasta en un 50%, en ellos el uso ineficiente de la energía se justifica en el uso no eficiente de materiales y equipos.

Uno de los principios básicos de la física dice que, "en un sistema aislado, o sea el que no intercambia masa ni energía con el entorno, la energía total se conserva", por tanto se puede optar por formas diversas y variar la proporción relativa de unas y otras con el transcurso del tiempo pero la suma de todas ellas, es decir la energía total, es siempre constante. Si en vez de un sistema aislado, se tratara de uno abierto (puede haber intercambio con el exterior), también se podrá aplicar el principio de conservación siempre y cuando se tengan en cuenta las cantidades de energía que hayan entrado o salido del sistema.

En 1970 el consumo de energía en los Estados Unidos de América alcanzó la cifra de 70,000,000,000,000,000 BTU¹, al expresar cantidades de energía a 10¹⁵ BTU se le llama por comodidad un quad, de tal forma que:

$$1 \text{ QUAD} = 1\,000\,000\,000\,000\,000 \text{ de BTU}$$

Un QUAD podría equivaler a 7,500 millones de galones de petróleo o 46 millones de toneladas de carbón. Una ciudad del 1^{er} mundo con tres millones de habitantes consume aproximadamente 1 Quad/año.

Cualquier sistema o dispositivo físico capaz de transformar una determinada clase de energía en otra más apropiada para un cierto uso o aplicación particular resulta tecnológicamente interesante. En ese campo, uno de los experimentos de mayor proyección actual es el que se realiza en Odeillo, Francia. Ahí se ha establecido, en los Pirineos, la planta de Themis, lista a entrar en servicio con un potencial de 2.5 megavattios y que será interconectada al sistema francés de electrificación. Los rayos del Sol reflejados por 201 espejos de 54 metros cuadrados en 5 hectáreas, se concentran en un calentador colocado en la cima de una torre de 101 m de alto. El calor concentrado actúa sobre sales disueltas de potasio y sodio que se elevan a temperaturas de 430° C y que transmiten su caudal de calorías a una caldera de agua.

Aún cuando la capacidad de generación de la planta es menor que la de sus similares en otros países, su capacidad de almacenamiento llega a las cinco horas, más

¹ BTU British Térmical Unit = 2.93×10^{-4} Kilowatt · hora = 252 calorías.

alta que cualquiera otra planta de su tipo². El costo actual de los equipos de esa magnitud, resulta altísimo, pero compensado a la larga por el nulo costo del energético primario, la luz solar, y el hecho de que al avanzar la tecnología respectiva y mejorarse los sistemas, el costo se verá reducido.

Hoy por hoy los principales problemas siguen siendo los de **almacenamiento** de la energía, la fragilidad de los dispositivos y la gran superficie que una planta de dicha magnitud ocupa. Algo así como los radios de baterías, antes de la aparición del transistor, pesadas delicadas y caras, pero con un pie en el futuro.

2.1.2. LA CONTAMINACION

Conforme a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, la contaminación es: "La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes, o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico", y contaminante es, "Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural".

El problema de la contaminación empieza con los grandes conglomerados humanos y el advenimiento de la industrialización, debido a que la cantidad de desechos aumenta considerablemente.

La relación del hombre con la degradación ambiental es clara si se observa la definición que da la Organización Mundial de la Salud (OMS) para contaminación de corrientes: "Se considera que una corriente ha sido contaminada por el hombre, cuando ésta contiene elementos físicos químicos y biológicos de tal forma que presenta más dificultad para su uso, que las que presentaría en caso de que estuviese en estado natural".

El esfuerzo conjunto para purificar el ambiente beneficia a todos por igual en muchos aspectos. La invención, construcción, instalación, operación y mantenimiento de los equipos de control de la contaminación requieren grandes sumas de dinero. Desde luego, el costo debería compararse con los costos externos de la contaminación en sí misma, pero no cabe duda que el control es más barato que la contaminación.

Algunos factores tienden a hacer que la reducción de la contaminación parezca más cara de los que es. Los gastos de capital para el control de la contaminación pueden repartirse a menudo en un período de 20 años, pero para aprovechar las ventajas fiscales, la depreciación de equipos anticontaminantes puede reducirse según las nuevas reformas, hasta 5 años o inclusive menos.

² Actualmente: la planta UNO en California, E.U., la de Almería en España y la planta de Crimea en la Confederación de Estados Independientes

Muchos países, unos en mayor o menor grado han establecido acuerdos y normas para dar ventajas fiscales a las empresas que realicen acciones para detener el deterioro del ambiente, por ejemplo, en México existen facilidades de créditos para la adquisición de equipos anticontaminantes para las empresas y fábricas, así como el tiempo de amortización fiscal de los mismos. En California, E.U.A., a las empresas que compren pases de transporte público para sus empleados, el estado proporciona compensaciones fiscales.

2.2. LA ENERGIA DEL SOL

2.2.1. EL SOL

Una de las innumerables estrellas que hay en nuestra galaxia y la más importante para nosotros por su cercanía es el Sol.

El Sol es un enorme globo de gases incandescentes de 1.39 millones de kilómetros de diámetro, lo que equivale aproximadamente a 1.3 millones de veces el volumen de la Tierra, o bien 334,000 veces una masa mayor que la de la Tierra. Su temperatura en el interior es de 8 a 40 millones de grados Kelvin, estimándose en su superficie una temperatura de 5,800 a 5,900 K³.

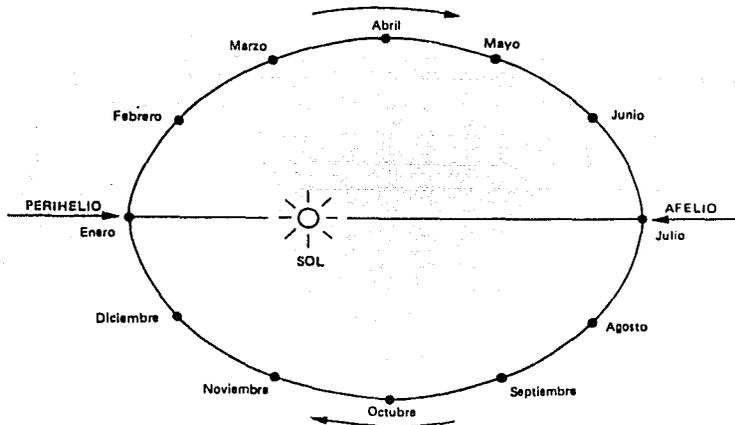


Fig. II.1 Distancia mínima y máxima del Sol a la Tierra.

El Sol se encuentra a una distancia media de 150 millones de kilómetros de la Tierra. La distancia mínima (en el perihelio) se alcanza alrededor del 15 de enero, mientras que la máxima (en el afelio) se tiene a fines de junio, como se aprecia en la figura II.1.

³ La temperatura del espacio exterior es de - 543 K = - 270 Celsius

La energía irradiada en todas direcciones es de 3.7×10^{33} ergios/s⁴ lo que es igual a una potencia de 3.7×10^{23} KW = 8,000 W/cm².

Esta energía proviene de las reacciones de fusión nuclear, según las cuales el hidrógeno se va transformando progresivamente en helio, dando por resultado una aniquilación de masa del 0.70% que se convierte en energía de acuerdo con la famosa fórmula de Einstein $E = mc^2$.

Haciendo el cálculo de equivalencia entre masa y energía, se obtiene que el Sol pierde masa a razón de 4.3 millones de ton/s; según esto, para que se consuma el 10% solamente del hidrógeno contenido en el Sol, han de transcurrir 6,000 millones de años, lo cual nos asegura una fuente de energía a largo plazo.

2.2.2. RADIACION SOLAR

La radiación que sale del Sol y llega al espacio se distribuye en una amplia serie de longitudes de onda, clasificadas en tres bandas: Banda visible, Banda ultravioleta y la Banda infrarroja. En la figura II.2, aparecen representados los porcentajes de radiación solar agrupados en: rayos luminosos o visibles, infrarrojos y ultravioleta.

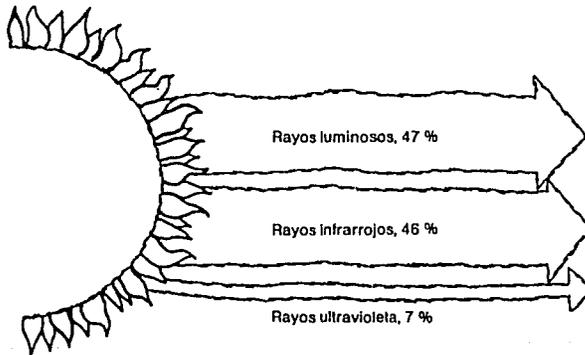


Fig II.2 Representación gráfica de los porcentajes de radiación solar.

⁴ Un ergio = 1×10^7 Julios
1 caloría = 4.184 Julios

En la figura II.3, se aprecia que alrededor de la mitad de la energía solar se irradia con longitudes de onda comprendidas entre 0.35 y $0.75 \mu\text{m}$, es decir, dentro de la banda visible. Por lo tanto, el hombre está capacitado para poder ver el tipo de radiaciones que más abundan en las producidas por el Sol. Dentro de la banda ultravioleta, con longitud de onda menor de $0.35 \mu\text{m}$ hay muy pocas radiaciones aunque hay más dentro de la infrarroja, por encima de la banda visible, que contribuyen a la sensación de calor, aunque no podamos apreciarla visualmente.

La distribución de energía es muy similar a la del clásico "cuerpo negro" para una temperatura de $5,800 \text{ K}$.

La denominación **cuerpo negro** se refiere a un cuerpo ideal, perfecto emisor, y absorbente de radiación que obedece a ciertas leyes. El cuerpo negro emite radiación, no de una única longitud de onda (o frecuencia) sino de muchas simultáneamente, aunque no con la misma intensidad para todas ellas. El Sol, cuya temperatura superficial es aproximadamente de 5900 K emite radiaciones con un espectro energético representado en la figura II.3.

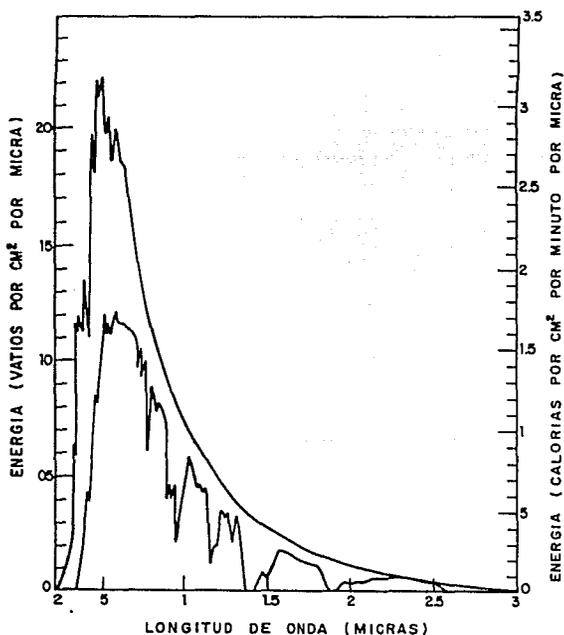


Fig. II.3 Espectro solar fuera de la atmósfera (curva superior) y al nivel del mar (curva inferior).

La radiación total captada por la superficie que presenta al Sol el planeta es de 173×10^{12} KW. Según W. Palz del total de energía que recibe la Tierra del Sol en un año, es 10 veces mayor que el total de fuentes fósiles, incluyendo las fuentes no descubiertas, no explotadas y las no recuperables. Si tenemos en cuenta que la energía total que se consume actualmente en un año en toda la Tierra es del orden de 60×10^{12} kWh, con lo que se puede ver que el Sol proporciona unas 25,000 veces más.

2.2.3. LA CONSTANTE SOLAR

La constante solar (I) se define como la cantidad de energía por unidad de tiempo que recibe del Sol una superficie de área unitaria perpendicular a la radiación, en el espacio y a la distancia media del Sol a la Tierra. Generalmente la constante solar se expresa en W/m^2 , en la figura II.4, se aprecia su variación en un año en una latitud de 40° N aproximadamente.

Se han realizado numerosas mediciones directas e indirectas de la constante solar; el valor normal o estándar propuesto por Thekaekara y Drummond es de $1,353 W/m^2$ equivalente a $1.940 \text{ cal/min-cm}^2$, 428 BTU/h-pie^2 , $1.940 \text{ langley/min}$.

La constante solar se encuentra distribuida según distintas longitudes de onda, sin embargo la radiación solar extraterrestre adquiere valores significativos entre 0.2 y $4.0 \mu\text{m}$.

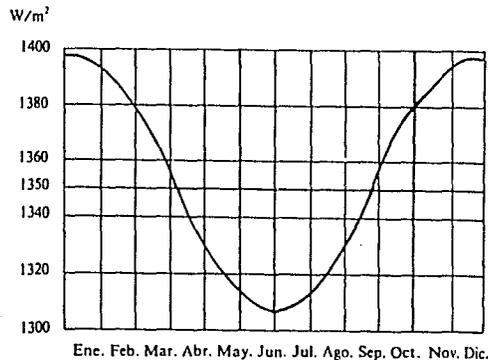


Fig. II.4 Variación de la constante solar en un año.

En realidad tanto la energía radiante solar como la de cualquier otra fuente de ondas electromagnéticas no es rigurosamente continua. La física cuántica ha demostrado

que las ondas viajan en pequeñas agrupaciones llamadas fotones a los que se puede aplicar, a efectos prácticos, los conceptos de longitud de onda, frecuencia y energía. Así hablamos de fotones ultravioletas o fotones infrarrojos según sea su longitud de onda.

CADA FOTÓN POSEE UNA DETERMINADA ENERGÍA QUE PUEDE TRANSMITIR A LOS CUERPOS SOBRE LOS QUE INCIDE. ESTE HECHO ES EL FUNDAMENTO DE LA CONVERSIÓN FOTOVOLTAICA.

2.2.4. EFECTO DE LA ATMOSFERA

Alrededor de ocho minutos después de abandonar la superficie del Sol, su radiación, transmitiéndose a una velocidad de 300,000 km/s alcanza la órbita de la Tierra. A continuación atraviesa una superficie que tiene 150 millones de km de radio.

Durante su camino, la energía solar, sufre diferentes absorciones y reflexiones que van mermando su intensidad inicial. Así al llegar a nuestro planeta su valor ha disminuido mas o menos un 30% del total radiado que se ha proyectado de nuevo al exterior, y solo el 70% que resta es absorbido por la Tierra. Esta absorción se traduce en el calentamiento de la parte afectada, en donde se producirá un aumento de la temperatura.

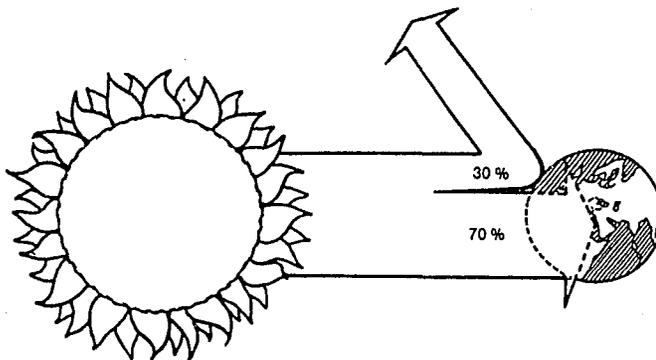


Fig II.5 Reducción de la energía solar en su camino a la tierra.

De ese 70% que es absorbido por la Tierra, todavía falta restar energía que no llega a la superficie terrestre debido a una serie de complejas interacciones como se aprecia en la figura II.6.

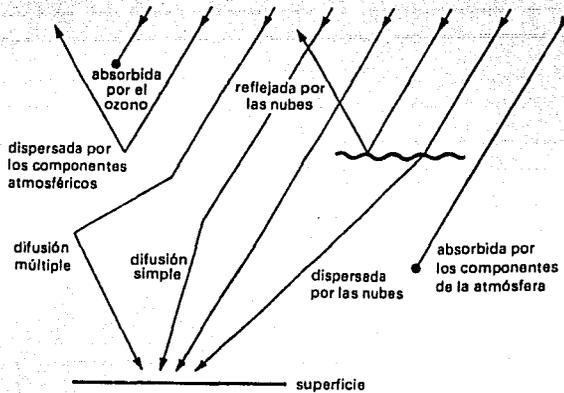


Fig II.6 Interacciones en la atmósfera que reducen la intensidad de la radiación solar.

Estas interacciones con la atmósfera reducen la intensidad de la radiación solar en la superficie de la Tierra a poco más de la mitad de su intensidad en la alta atmósfera. Además producen variaciones en la distribución espectral de la energía, por absorción y en la dirección en la que la energía llega a la superficie, por difusión. Estos efectos dependen de la composición local de la atmósfera, variando de forma muy significativa de un lugar a otro.

La contaminación atmosférica en las proximidades de los centros de población así como el alto contenido de vapor de agua cerca de la costa y la variabilidad de la cubierta nubosa, son factores que dificultan la predicción de las intensidades energéticas.

2.2.5. EL SOL Y EL CLIMA

La energía solar, bajo las diferentes formas en que se convierte, es la responsable de una serie de alteraciones de la atmósfera, algunas de ellas con carácter periódico, que condicionan los valores de las variables físicas características de nuestro hábitat natural: presión, temperatura, humedad, etc.

Así por ejemplo, la energía térmica, producida en mayor cuantía en las zonas ecuatoriales y templadas del globo, mantiene la circulación atmosférica impulsando los vientos (energía eólica), formando tormentas y proyectando las lluvias y nieves que

afectan de forma directa nuestra forma de vivir.

La esfericidad del planeta determina de por sí grandes diferencias de temperatura en las distintas latitudes. Esto es debido al desigual ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie, lo que implica una intensidad de radiación también diferente. En condiciones favorables, de cielo claro y atmósfera limpia, en las horas centrales del día puede recibirse aproximadamente 1 kW de potencia por cada metro cuadrado de superficie horizontal.

Otros factores influyen en la climatología de las distintas zonas del globo, entre los que cabe citar la humedad atmosférica causada por la proximidad de grandes masas de agua, las extensas zonas de vegetación, las cadenas montañosas y el propio hombre, el cual, a través de sus muchas realizaciones, es capaz de alterar el delicado equilibrio natural.

En la tabla II.1 se presenta la intensidad de radiación total sobre superficie horizontal en un típico día claro, para diversas alturas solares⁵.

Altura (°)	I (W/m ²)
10	107
20	294
30	473
40	635
50	773
60	886
70	969

Tabla II.1 Intensidad de la radiación total en W/m² para diferentes alturas solares.

⁵ Angulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. A veces es llamado tambien ángulo cenital o distancia cenital se trata en el capítulo III.

2.3. CONVERSION UTIL DE LA ENERGIA SOLAR

Uno de los aspectos más característicos de la energía es que puede pasar fácilmente de una forma a otra. Una piedra que cae convierte su energía potencial en cinética a medida que va cayendo. Un dinamo que carga un acumulador eléctrico convierte la energía cinética del rotor en energía química de las sustancias del interior del acumulador, el cual a su vez la podrá convertir posteriormente en energía eléctrica, etcétera.

La mayor parte de las máquinas y aparatos que utilizamos convierten la energía de una forma a otra más apropiada para satisfacer unas necesidades específicas.

La energía es la magnitud que permite conocer la mayor o menor capacidad de un ente físico para producir trabajo; por lo que se desprende que las unidades de energía son las mismas que las de trabajo.

2.3.1. TERMODINAMICA

Es la rama de la física que se ocupa del estudio de los procesos y de los cambios energéticos de un sistema cuando interviene el calor. Según Oropeza y Nuñez, la termodinámica es la parte de la física que estudia a la energía y sus manifestaciones, la dirección y las formas de transmisión de ésta, y las propiedades que guardan alguna relación con dicha energía.

El calor se considera únicamente como una manifestación particular de la energía en aquellos procesos que implican transferencia de ésta de unos cuerpos a otros. De acuerdo a este concepto el calor se puede medir en las mismas unidades en que se miden el trabajo y la energía.

$$1 \text{ cal} = 4,184 \text{ Julios}$$

Tanto el trabajo como el calor son conceptos dinámicos que siempre se refieren a energía que se transmite de un lugar a otro.

Un dispositivo capaz de absorber calor y de convertir parte de ese calor en trabajo útil se le conoce como MAQUINA TERMICA.

En la figura II.7, se muestra el diagrama general de una máquina térmica, donde se observa, el calor absorbido Q_2 que entra a la máquina térmica y su salida en forma de calor útil aportado T , y el calor desprendido Q_1 , donde:

$$T = Q_2 - Q_1$$

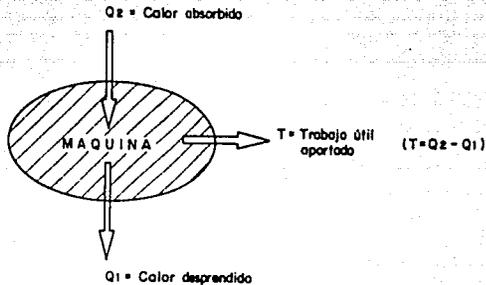


Fig. II.7 Esquema elemental de una máquina térmica.

2.3.2. PROCESOS NATURALES

A continuación se presentan los procesos naturales de conversión útil de la energía solar y su porcentaje de energía radiante incidente por el Sol.

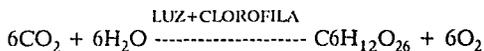
Proceso Natural	% de energía radiante incidente por el Sol
Es devuelto al espacio por reflexión	30
Se convierte en calor al ser absorbida por la atmósfera, suelo y mares.	47
Se invierte en la evaporación del agua de los océanos, lagos y ríos, así como en el ciclo hidrológico completo.	23
Es responsable de los movimientos de circulación atmosférica y oceánica.	0.2
Se utiliza en la producción de materia viviente al ser capturada por las hojas verdes de las plantas. (*)	0.02

(*) Este último es un proceso natural que además de otros procesos fotoquímicos de menor cuantía utilizan la radiación solar directamente sin necesidad de convertirla previamente en energía térmica, considerando la importancia de este proceso directo, se hará una breve descripción del mismo.

Fotosíntesis

Las plantas verdes, gracias al pigmento llamado clorofila son capaces de utilizar los fotones de luz comprendidos entre unos determinados límites en cuanto a su longitud de onda para efectuar reacciones de síntesis de hidratos de carbono partiendo del CO₂ atmosférico y del agua, produciendo también O₂.

La reacción fotoquímica se puede escribir así:



La energía solar queda almacenada en los hidratos de carbono formados, los cuales liberarán su energía al descomponerse, cuando la hoja se destruye. De esta forma se establece un equilibrio energético.

2.3.3. PROCESOS TECNOLÓGICOS

El objetivo es aprovechar al máximo los efectos físicos de la radiación solar, adecuando los dispositivos de captación de la misma a fin de obtener la energía en la forma que se precise para cada necesidad.

La conversión tecnológica la podemos dividir en dos grupos: Directa e Indirecta.

La conversión es directa cuando ésta se realiza en una sola etapa, es decir cuando se pasa en un solo proceso de la energía de radiación electromagnética que transporta la luz solar a la forma final de energía utilizable, e **indirecta** cuando la forma final de energía proviene de la energía solar a través de dos o más procesos intermedios.

Por conversión directa la energía solar es capaz de transformarse en energía térmica o en energía eléctrica.

Indirectamente, la energía solar puede producir energía útil a través de procesos intermedios, como el viento, cuya energía llamada eólica, se puede utilizar para diversos fines. También podrían citarse varios procesos termoeléctricos y termodinámicos.

En estos últimos, la energía solar se convierte en energía térmica y ésta a su vez en cinética, normalmente de rotación, para producir finalmente energía eléctrica.

Un ejemplo de procedimiento dinámico indirecto de conversión de la energía solar en eléctrica lo constituyen los generadores eólicos, ya que, la energía del viento proviene de la diferencia de temperatura entre masas de aire, producida en principio por la energía solar incidente sobre la atmósfera.

Los aerogeneradores, figura 11.8 cuya gama de potencias oscila entre 0.1 kW y 0.1 MW, tienen la ventaja de funcionar también por la noche, siempre que exista un viento mínimo, por lo que pueden constituir un interesante complemento de las instalaciones fotovoltaicas.

En el apéndice E se trata en forma muy breve los conceptos básicos de la energía eólica y los aerogeneradores.



Fig. 11.8 Aerogenerador.

2.3.3.1 Procesos térmicos directos

Es un hecho conocido que la radiación solar calienta los cuerpos sobre los que incide. Así, un cuerpo con una superficie altamente reflectante devolverá la mayor parte de la radiación que reciba y, por tanto no se calentará demasiado al exponerlo al Sol. Por el contrario, los cuerpos poco reflectantes aprovecharán casi toda la energía radiante que les llegue, convirtiéndola en térmica.

Puede optimizarse la eficacia de cualquier captador mediante diversas técnicas basadas en efectos físicos, entre los que destaca el **efecto invernadero**, el cual evita que la energía térmica vuelva a escaparse del captador, y que es aprovechado en la mayoría de los colectores solares térmicos que existen. En la figura II.9 se observa el esquema del efecto invernadero sobre una superficie cubierta por un vidrio, la radiación captada se queda atrapada.

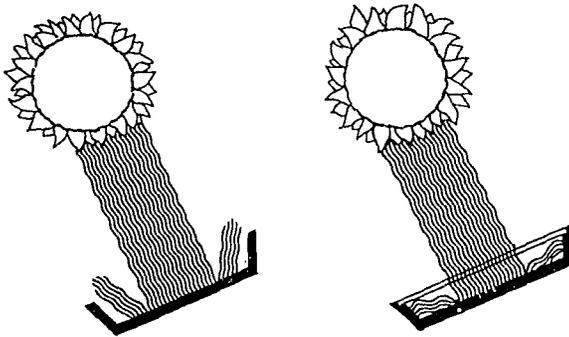


Fig. II.9 Esquema del efecto invernadero. A la izquierda, la radiación captada vuelve. A la derecha, la radiación es atrapada.

2.3.3.2 Procesos térmicos directos de conversión eléctrica

La luz está formada por un gran número de entidades físicas llamadas fotones, los cuales participan tanto de las propiedades de los corpúsculos materiales como de las ondas.

Los fotones son capaces de interactuar con los electrones de los cuerpos sobre los que inciden de dos formas principales llamadas: efecto fotoeléctrico externo y efecto fotovoltaico.

El efecto fotoeléctrico externo

Dicho efecto descubierto por Hertz en 1887, consiste en un desprendimiento de electrones de la superficie de los metales, al chocar con dicha superficie fotones de suficiente energía, dando lugar a una corriente eléctrica denominada fotoeléctrica. Las células fotoeléctricas se basan en ese efecto.

El efecto fotovoltaico

Este efecto es mucho más interesante desde el punto de vista práctico de la obtención de energía eléctrica directa a partir de la radiación solar. Las células fotovoltaicas suministran un voltaje que es proporcional a la intensidad de la radiación incidente, aunque no todas las longitudes de onda de la misma son aprovechables. Estas aplicaciones del efecto fotovoltaico se tratarán en el Capítulo IV⁶.

⁶ Tema 4.2. Electricidad fotovoltaica.

2.4. SOLARIMETRIA

La solarimetría estudia la interpretación, medición y cuantificación de la energía proporcionada por el Sol en forma de radiación electromagnética.

La importancia de la solarimetría radica en diversas áreas de la ciencia, ya que tiene utilidad práctica para las siguientes aplicaciones:

Agricultura
Biología Marina
Estructura Atmosférica
Energía solar

Para poder diseñar y evaluar de manera óptima los sistemas de captación y conversión solar es necesario contar con datos confiables sobre varios aspectos de la radiación solar en el lugar donde se pretenden instalar estos sistemas:

Intensidad total
Radiación directa
Radiación difusa
Espectro de radiación
Angulo de incidencia
Nubosidad

Estos datos deben registrarse en función del tiempo durante periodos seleccionados y, de ser posible, con valores máximos y mínimos. Los valores máximos son necesarios para determinar la capacidad del sistema, mientras que su rendimiento en un periodo largo dependerá de la intensidad promedio y sus variaciones con el tiempo.

En la tabla II.2, se enlistan los aspectos meteorológicos que proporcionan datos importantes para la determinación de diversos diseños de energía solar.

Tabla II.2 Aspectos meteorológicos de importancia para diseños solares.

ASPECTO	DETERMINACION
La probabilidad de los periodos de nubosidad con duración específica	Requerimientos de almacenamiento o respaldo de energía
Intensidad de la radiación solar sobre un plano paralelo	Para diseñar equipos colectores térmicos
El ángulo de incidencia de la radiación solar	Pérdidas por reflexión

Energía solar incidente sobre planos verticales (directa y difusa)	Diseños de helioarquitectura
El espectro de la energía solar	El rendimiento de las celdas fotovoltaicas

Tabla II.2

2.4.1. INSTRUMENTOS DE MEDICION

Existen distintos instrumentos para medir la radiación solar. Todos ellos la convierten en otra forma de energía, dando como resultado una medida o lectura proporcional a la intensidad de la radiación.

Piranómetro

Este instrumento es el más conocido y se emplea para registrar la radiación total dentro de su campo de vista hemisférico, la figura II.10, presenta una fotografía de un piranómetro típico, y en la figura II.11, se muestra el registro de radiación solar mediante un piranómetro mecánico.

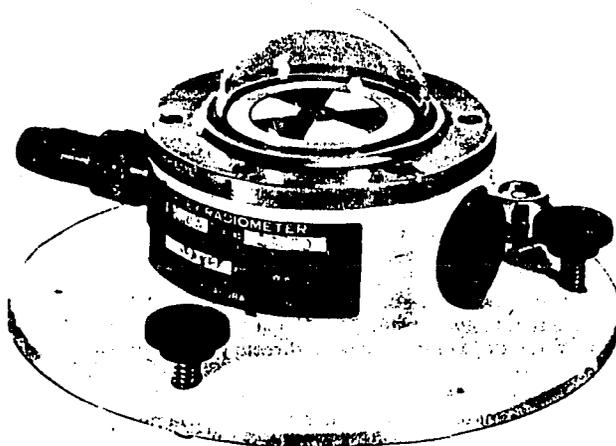


Fig. II.10 Piranómetro (cortesía de Enviroment Marketing Laboratory).

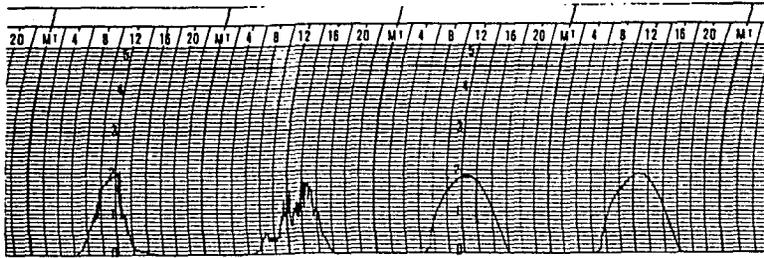


Fig. II.11 Registro de radiación solar mediante un piranógrafo mecánico (cortesía de **Enviroment Marketing Laboratory**).

El aparato se coloca usualmente sobre una superficie horizontal, y registra en consecuencia la radiación global en un sitio dado. La señal eléctrica generada puede servir para obtener gráfica o digitalmente la radiación solar como función del tiempo, o bien, procesada en un integrador electrónico, puede servir además para obtener el total de la energía incidente en un periodo de tiempo dado, cada hora o cada día.

Periheliómetro

Un segundo instrumento también muy común que sirve para medir la radiación directa normal que proviene del Sol se denomina periheliómetro. El campo de vista para este instrumento es igual a $5^{\circ}43'30''$. El periheliómetro cuenta generalmente con un dispositivo electrónico que le permite seguir al Sol en forma continua, por lo que se puede llevar a cabo un registro de la radiación directa normal a lo largo del día.

Los registros de radiación global y horas de asoleamiento en un lugar dado se pueden llevar a cabo en una tabla como la mostrada en la figura II.12:

Estación: _____
 Latitud: _____
 Longitud: _____
 Altura: _____
 Mes: _____

1 J = 4.186 cal.
 Constante del instrumento: _____ (K).
 Radiación (cal/min·cm²) = K × Valor
 de la carta.
 Radiación diaria total (kJ/m²·día)
 2 511.6 K Σ(Lect.,)

Radiación Solar																Total kJ/m ² ·día	Insolación, horas
Intervalos Horarios																	
Día	05 06	06 07	07 08	08 09	09 10	10 11	11 12	12 13	13 14	14 15	15 16	16 17	17 18	18 19	19 20		
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	

Fig. II.11 Registro de radiación solar mediante un piranógrafo mecánico (cortesía de Environment Marketing Laboratory).

Albedómetro

Mide la radiación que refleja el suelo en comparación con la que refleja el cielo.

Balanza radiométrica

Instrumento diseñado para la estimación cuantitativa del balance radiactivo Tierra-Atmósfera-Sol, de la radiación nocturna y de algunas otras componentes de la radiación de longitud de onda larga.

Difusómetro

Mide la radiación solar difusa.

Batirradiómetro

Mide la radiación solar en el mar.

Estereopiranómetro

Consta de 5 elementos sencibles en 5 planos diferentes, empleado en arquitectura solar y fisiología vegetal.

Heliógrafo

Mide la insolación diaria. El rayo solar pasa através de un lente, lo concentra y provoca una quemadura constante en una gráfica.

Los instrumentos mencionados, se acoplan a un integrador y a un graficador, por lo que es posible instalar estaciones solarimétricas en lugares remotos y recoger la información en periodos de hasta un mes.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO II

1. J. A. Manrique, "Energía solar, fundamentos y aplicaciones", Harper Row Latinoamericana, México D.F., 1984, págs. 3-4, 25-35
2. R.H. Montgomery, "The solar decision book", John Wiley & Sons Inc., New York, 1986, págs. 3-15
3. CENSOLAR, "Energética solar", PROGENSA, Sevilla España, 1990, págs. 51-67
4. J. Acosta R., "Energía solar, utilización y aprovechamiento", Paraninfo, Madrid, España, 1983, págs. 26-28, 31-32
5. B. J. Brinkworth, "Energía solar para el hombre", Hermann Blume, Madrid, España, 1981, págs. 25-28
6. A. Castellanos, M. Escobedo, "La energía solar en México, situación actual y perspectivas", C. Ecodesarrollo, 1980, págs. 54-55
7. C. Vauge, "Le choix solaire, une énergie qui entre dans la vie quotidienne", Tchou, Paris, Francia, 1979, págs. 37, 41-43, 67
8. A. Turk, J. Turk, J. T. Wittes, R. E. Wittes, "Tratado de ecología", Interamericana, México, 1981, págs. 8,13
9. A. Deffis C., "La basura es la solución", E. Concepto, México, 1989, págs. 12-13
10. The Earth works group, "50 simple things your business can do to save the Earth", Earthworks press, Berkeley, California, E.U.A., 1991, págs. 28-29
11. R. Gonzalez, F. Nuñez, "Apuntes de principios de energética", F.I., UNAM, México, 1985, pág. 51

Capítulo III

CONDICIONES GENERALES PARA EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA

3.1. ASTRONOMIA DE POSICION SOLAR

Es una experiencia cotidiana observar al Sol salir por el Este, elevarse más o menos en el cielo según la época del año y finalmente ocultarse por el Oeste; como se sabe en realidad no es el Sol el que se mueve, sino que su aparente movimiento se debe a que la Tierra gira sobre sí misma, efectuando una revolución cada 24 horas.

Las características más importantes del complicado movimiento de la Tierra son su traslación alrededor del Sol una vez al año y su rotación una vez al día. Aunque la órbita de la Tierra es, hablando con precisión, una elipse, su excentricidad es tan pequeña que apenas se puede distinguir de un círculo.

El radio medio tiene alrededor de 150 millones de km, lo cual define la unidad de distancia en astronomía; las variaciones máximas con respecto a este valor a lo largo del año solo representan el 1.5%.

3.1.1. POSICION APARENTE DEL SOL

La máxima cantidad de radiación solar se capta cuando una superficie está situada perpendicularmente a los rayos solares; cuanto más oblicuo esté, las pérdidas serán mayores o lo que es lo mismo, la radiación que realmente recibe la superficie será menos intensa.

La cantidad de energía debida a la radiación directa que una superficie expuesta a los rayos solares puede interceptar, dependerá del ángulo formado por los rayos y la superficie en cuestión. Si la superficie es perpendicular a los rayos este valor es máximo, disminuyendo a medida que lo hace dicho ángulo.

Si esa superficie fuese un colector solar, en forma ideal debería ir rastreando continuamente la ruta del Sol y su trayectoria diaria y su altura, que varían a lo largo de las estaciones del año pero un mecanismo capaz de ello resultaría muy complicado y caro.

Es evidente que la intensidad de la superficie varía en la misma proporción que lo hace la energía E , por lo que se llama I a la intensidad sobre la superficie inclinada e I' a la intensidad radiante,

$$I = I' \cos \alpha$$

Este efecto de inclinación es la causa por la que los rayos solares calientan mucho más al mediodía, que en las primeras horas de la mañana (o en las últimas de la tarde), ya que en estos últimos casos el ángulo que forma el rayo con la normal a la superficie es grande y por tanto, el factor $\cos \alpha$ hace que la intensidad sea pequeña.

La diferente inclinación de los rayos solares es asimismo la causa por la que las regiones de latitud alta (más cercanas a los polos) reciben mucha menos energía que las más cercanas al ecuador, como se aprecia en la figura III.1 y III.2.

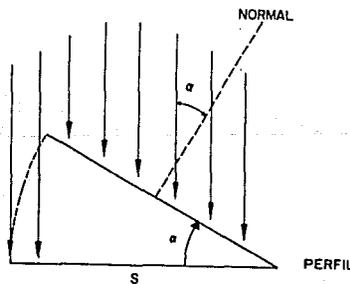


Fig. III.1 Diferente irradiación según las latitudes geográficas.

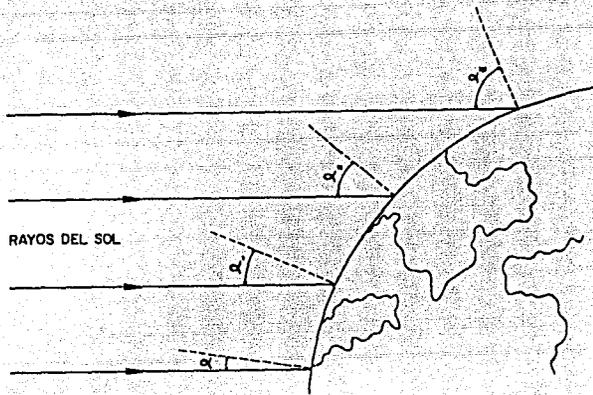


Fig. III.2 Ángulo formado por los rayos solares y la superficie en cuestión.

Cabe citar la radiación de albedo, que es la reflejada por los cuerpos celestes iluminados o situados alrededor de la superficie sobre la que interesa evaluar la radiación, este tipo de radiación en los cuerpos es tanto mayor cuanto más claro sea el color de los mismos.

Sin embargo la influencia de la radiación de albedo en el entorno sobre la radiación incidente en un colector solar, suele ser despreciable y tan solo en casos de ubicaciones muy particulares, como por ejemplo cuando existen paredes de color claro detrás de los colectores de gran tamaño se puede suponer una pequeña ganancia adicional de energía.

3.1.2. COORDENADAS SOLARES

Para definir con precisión la posición del Sol en cada instante con respecto a un observador hipotético que se encontrase inmóvil en un plano horizontal, se utilizan dos coordenadas, llamadas altura solar h y azimut solar A .

La altura solar (h) es el ángulo que forman los rayos solares sobre la superficie horizontal. A veces también se usa el llamado ángulo cenital o distancia cenital, que es el ángulo que forma el rayo solar con la vertical, es decir, el complemento de la altura, como se aprecia en la figura III.3.

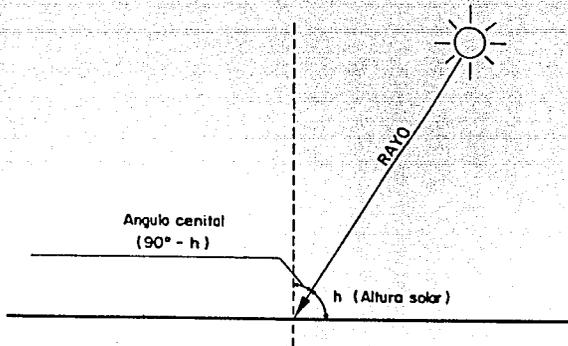


Fig. III.3 Angulo cenital y altura solar. El cenit es el punto del cielo que le corresponde verticalmente otro de la Tierra.

Azimut Solar (A)

El azimut A o ángulo azimutal, es el ángulo de giro del Sol medido sobre el plano horizontal mediante la proyección del rayo sobre dicho plano y tomando como origen el Sur. En la figura III.4 se representa la altura y el azimut. Por tanto, la altura y azimut solar en un instante dado serán distintos para dos observadores situados en diferentes lugares del planeta, por lo que, al usar tablas que expresen estas coordenadas hay que fijarse para qué latitud geográfica están calculadas.

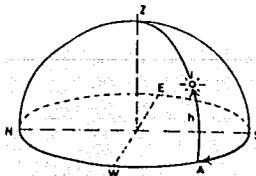


Fig. III.4 Representación gráfica de la altura y azimut.

Horas de Sol teóricas

El número de horas de Sol teóricas será el lapso transcurrido entre el orto (amanecer) y el ocaso (puesta del Sol), instantes ambos en que la altura solar vale cero, es decir, el número de horas que el Sol esta sobre el horizonte, siendo visible, a no ser que lo impidan las nubes. Esta duración del día (que no hay que confundir con el periodo de 24 horas que dura una revolución terrestre) depende del punto geográfico considerado y de la época del año.

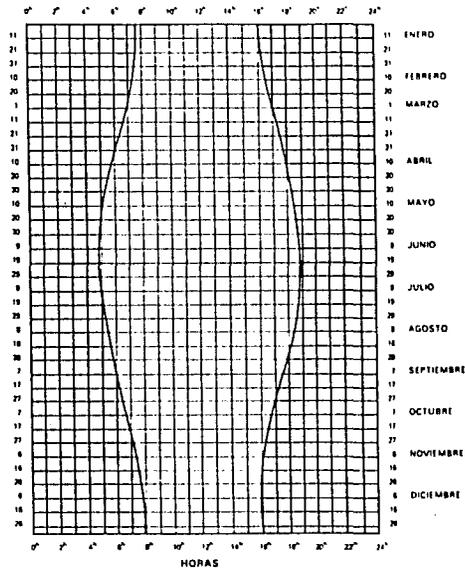


Fig. III.5 Duración del día durante el año (latitud aproximada 40°)

Angulo de inclinación de paneles solares

Existe un ángulo de inclinación favorable para la colocación de paneles solares, hay opiniones que sostienen que la inclinación ideal es igual a la latitud de su emplazamiento más 10 o 15 grados. Pero zonas de abundante nubosidad esta simplificación puede inducir a errores, por ejemplo en la Cd. de Londres, que está situada en la latitud 52°N, el colector que mayor radiación recibe es el que tiene una inclinación de tan solo 34°, según se ha comprobado experimentalmente, esta

discrepancia se debe al hecho de que casi la mitad de la energía captada no procede directamente del sol, sino de la radiación difusa del manto nuboso y este ocupa todo el hemisferio celeste.

3.1.3. LAS ESTACIONES DEL AÑO

El plano en que está contenida la órbita terrestre, a través de la cual se mueve alrededor del Sol, se llama plano de eclíptica, figura III.6.

El eje de rotación de la Tierra, es decir, la recta que une los polos Norte y Sur, forma un ángulo de 23.5° con la normal al plano de la eclíptica, siendo este hecho de una especial relevancia, ya que es el responsable de la diferente duración del día según la época del año, dando lugar al fenómeno de las estaciones.

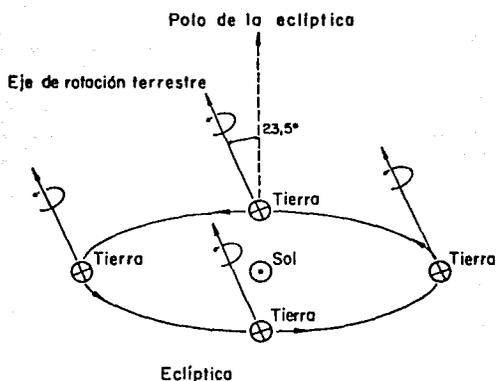


Fig. III.6 Representación del polo de la eclíptica.

En la figura III.7, se muestran ampliadas las posiciones de la Tierra en los puntos extremos (solsticio de invierno y de verano) izquierdo y derecho respectivamente. Un observador situado en el hemisferio Norte tiene mucho más tiempo de Sol en junio que en diciembre ya que el Sol ilumina en dicho hemisferio una zona más amplia. Lo contrario sucede en el hemisferio Sur.

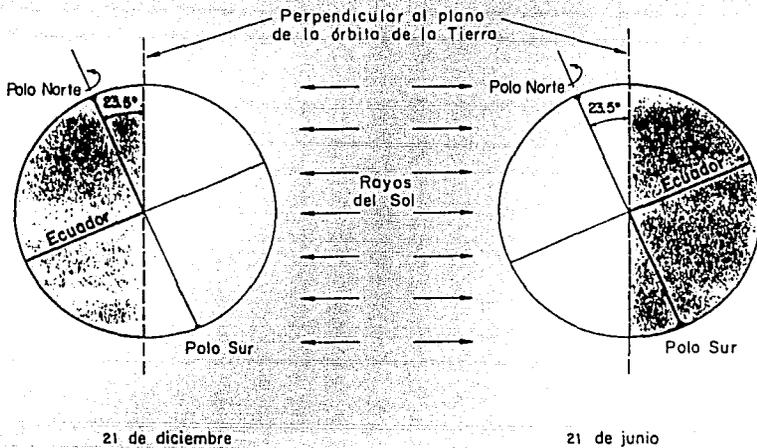


Fig. III.7. Solsticio de invierno y de verano.

Los dos momentos del año en que la duración del día es igual a la de la noche (12 horas) se denominan equinoccios y aproximadamente suceden el 21 de marzo (equinoccio de primavera) y el 21 de septiembre (equinoccio de otoño), figura III.8.

El día de más duración del año coincide con el solsticio de verano (21 de junio en el hemisferio Norte) y el de menor duración con el de invierno (21 de diciembre en el hemisferio Norte).

Las estaciones son los cuatro períodos del año delimitados por los dos equinoccios y los dos solsticios. En el verano el Sol describe una trayectoria muy amplia y elevada sobre la bóveda celeste y está mucho tiempo sobre el horizonte. Lo contrario sucede en invierno.

Por lo anterior es necesario optimizar el sistema durante la primavera y el otoño.¹

¹ En México, país que recibe la mayor parte de su radiación solar directamente, cuya latitud fluctúa entre los 15° y 30°N aproximadamente, podemos aceptar en este caso el rango de 30 a 50 grados para el ángulo de inclinación de paneles solares, sin perjuicio de un análisis más preciso, acorde con las características climáticas de cada región.

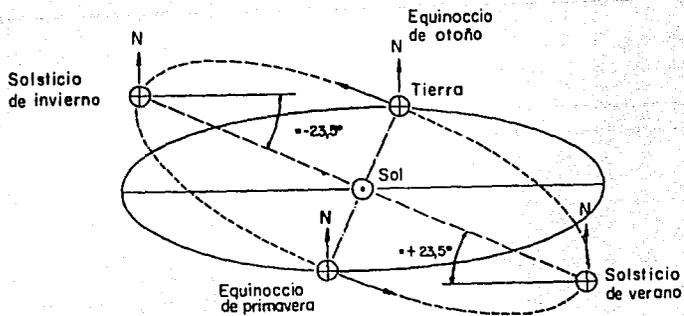


Fig. III.8 Posición de la tierra en las diferentes estaciones del año.

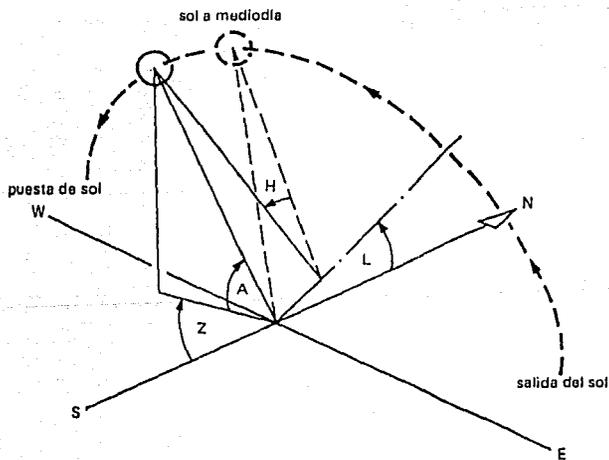


Fig. III.9 Movimiento aparente del sol en la latitud L del hemisferio Norte.

3.2. CLIMA SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA

3.2.1. ANTECEDENTES

Los estudios de radiación solar se iniciaron en México en el Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya, de mayo de 1911 a octubre de 1917 y se continuaron en el Observatorio Meteorológico Central de Tacubaya de enero de 1923 a junio de 1928, siendo analizados los datos y publicados los resultados por el Dr. L. Gorczyński.

Fue con motivo del año Geofísico Internacional que se reanudaron las observaciones de la radiación solar en México, en julio de 1957, esa vez en la Ciudad Universitaria como Observatorio Central y la cd. de Veracruz y Altzomoni (en las faldas del volcán Iztaccihuatl) como estaciones secundarias. En 1960 se retiró la estación de Altzomoni y se instaló una nueva en la ciudad de Chihuahua.

Actualmente, se cuenta con el Observatorio Central de Ciudad Universitaria en donde se miden todas las componentes del campo de radiación y en las ciudades de Chihuahua y Orizabita, (desde 1968) midiéndose en ambas radiación global y radiación directa total y espectral.

Los estudios de radiación en la República Mexicana, no solamente son útiles sólo para la investigación de la circulación atmosférica, sino para la planeación agrícola y la utilización de la energía solar como energético primario.

3.2.2. CLIMA SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA

Como ocurre en la mayor parte de los fenómenos terrestres, los atmosféricos se realizan gracias a la transformación de la energía que se recibe del Sol transmitida por los rayos solares; debido a ello, es muy importante el conocimiento del estado del tiempo que permite que estos rayos lleguen a la superficie de la Tierra y no encuentren obstáculo en su paso.

Se llama **insolación**, al periodo durante el cual los rayos llegan a la superficie de la Tierra y es costumbre valorarla respecto al tiempo, sea día, mes o año.

Los valores máximos absolutos de radiación solar total se pueden ordenar de tres formas distintas a lo largo de un año. En la República Mexicana la radiación solar se indica en forma mensual, estacional y anual.

VALORES MAXIMOS ABSOLUTOS DE RADIACION SOLAR

Mensualmente

Durante mayo y junio (700 ly/día)² en el Norte del Estado de Chihuahua.

Estacionalmente

En la misma región durante el verano (650 ly/día).

Anualmente

En el Valle del Mezquital, Hgo. (525 ly/día).

Los valores máximos anuales son importantes también en el norte del Estado de Chihuahua, Baja California Sur, noroeste y costa suroeste de Sonora, Bolsón de Mapimí y la región comprendida por el Estado de Aguascalientes y noroeste de Jalisco (500 ly/día).

VALORES MINIMOS ABSOLUTOS DE RADIACION SOLAR

Los valores mínimos absolutos de radiación solar total ordenados de la misma forma que los anteriores son:

Mensualmente

En diciembre en las regiones de Córdoba, Ver., y San Pedro Mártir, B.C.N. (250 ly/día).

Estacionalmente

Durante el invierno en Córdoba, Ver. (250 ly/día).

Anualmente

En Córdoba, Ver. (325 ly/día).

La distribución de la radiación solar en el país está fuertemente influenciada por los sistemas montañosos, asimismo la insolación se acentúa a finales de primavera y durante el verano, periodo que corresponde a la temporada de lluvias en el país; este gradiente decrece durante el invierno, es decir, durante la temporada de secas.

UNIDADES OROGENICAS

Las unidades orogénicas (sistemas montañosos) más importantes de la República Mexicana son las enlistadas en el cuadro III.1:

² Ly = Langley = 1 cal/cm² = 0.001163 W/cm²

Sistemas Montañosos
1. Sierra Madre Occidental
2. Sierra Madre Oriental
3. Cordillera Neovolcánica
4. Sierra Madre del Sur
5. Sierra Madre de Oaxaca
6. Sierra Atravesada
7. Sierra Madre de Chiapas
8. Meseta Central de Chiapas
9. Plataforma Yucateca
10. Sistema Californiano

Cuadro III.1

En la figura III.10, se observa la ubicación geográfica de los principales sistemas montañosos en nuestro país.

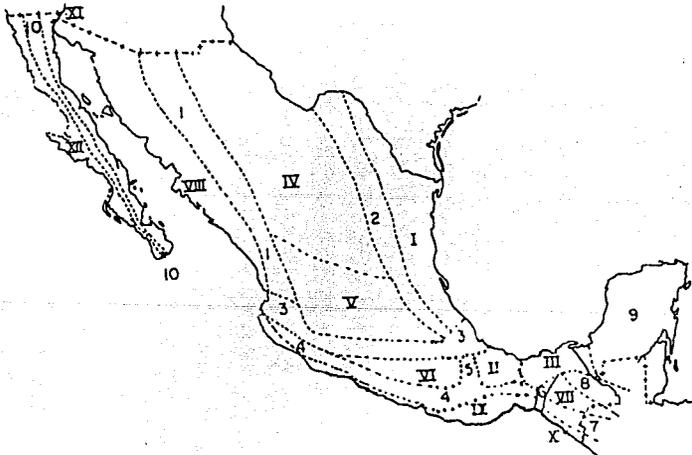


Fig. III.10 Localización de los sistemas montañosos, y regiones del país, según Tamayo.

DESCRIPCION GENERAL DEL CLIMA SOLAR EN LA REPUBLICA MEXICANA

El gran frente que presenta la Sierra Madre Oriental a la corriente de los vientos alisios intensifica la insolación hacia la planicie costera (VIII) debido a que **nubes orográficas** empiezan a formarse a más temprana hora del día. Un gradiente también fuerte es observado de la Sierra Madre del Sur hacia la costa; aquí la orografía se combina con la influencia de los ciclones tropicales que durante el verano son frecuentes en esta zona. Durante el invierno se observan valores inferiores de intensidad de radiación total en la Vertiente del Golfo de México (I,II,III) en relación con los valores observados en la Vertiente del Pacífico (IX), esto puede ser atribuido a la presencia de los frentes fríos llamados **nortes**, que frecuentemente invaden la vertiente del Golfo y la Península de Yucatán en ésta época del año, trayendo consigo nubosidad y precipitación ligera, quedando la costa del Pacífico Sur libre de la influencia de los sistemas fríos por el hecho de encontrarse a Sotavento³ de la invasión de los mismos.

Desde fines de primavera y durante el verano se tienen altos valores de intensidad de radiación total en el norte de Chihuahua y en el noroeste de Sonora (IV), esto es debido a la influencia de una alta latitud relativa, ya que los días son más largos durante ésta época del año y a la ausencia de sistemas orográficos importantes.

En la región del Estado de Hidalgo centrada en el Valle del Mezquital (V), tenemos un máximo de incidencia relativa durante todo el año, esto se debe a que durante el verano esta región queda protegida por la Sierra Madre Oriental, es decir, a sotavento de la corriente de los alisios, y así como la región central de México comprendida por el Estado de Aguascalientes y el noroeste de Jalisco (VI), queda relativamente alejada de la influencia de los ciclones tropicales. Durante el invierno la baja latitud relativa de estas regiones hace que la reducción de la duración del día sea ligera. Esta baja latitud relativa aunada a factores orográficos disminuye la influencia de los frentes fríos en esta época del año.

En la región centrada de Monterrey (I), se encuentra un mínimo relativo de radiación que persiste casi todo el año, este mínimo es básicamente de carácter orográfico, así como los observados en las distintas sierras del país.

Existe una fuerte insolación en la parte norte de la Península de Yucatán desde la primavera hasta mediados del otoño siendo máxima la incidencia de radiación en el noroeste de la Península y disminuyendo hacia el centro de la misma. Esto es debido a la divergencia ocasionada por el flujo de alisios que corre paralelo a la costa norte de la Península, favoreciendo una mayor frecuencia de cielos despejados hacia el noroeste de la misma; también el mayor calentamiento del aire en el interior de la Península propicia los movimientos convectivos y así mismo el aumento de la nubosidad.

³ En contra del viento

Son regiones de alta insolación durante fines de la primavera y todo el verano en especial: El Bolsón de Mapimí (XI), la mayor parte de la Península de Baja California (XII) y la costa suroeste de Sonora (V). Los factores físicos que intervienen son varios: su ubicación distante a la zona de influencia de las masas de aire marítimo tropical, la ausencia de sistemas orográficos importantes, su latitud, la presencia de una corriente marítima fría y la influencia del anticiclón⁴ subtropical.

La insolación alrededor de la Sierra de Chihuahua y Durango disminuye durante el invierno, porque además de encontrarse esta estación dentro de una temporada relativamente seca, se tiene la influencia de los sistemas polares, los cuales inducen su propia nubosidad, restándole así importancia al factor orográfico y tendiendo a uniformizar el campo horizontal de radiación.

3.2.3. MAPAS SOLARES DE LA REPUBLICA MEXICANA

A continuación se presentan dos mapas con la radiación global diaria promedio de un mapa mundial en dos meses representativos del año, (Junio y Diciembre) y 12 mapas de la República Mexicana con la radiación global diaria promedio para cada mes del año y un último mapa con la representación anual para la República Mexicana.

La unidad de radiación que se utiliza en los mapas, es: cal/cm²-día

⁴ Contrario a ciclón, área de gran presión barométrica.

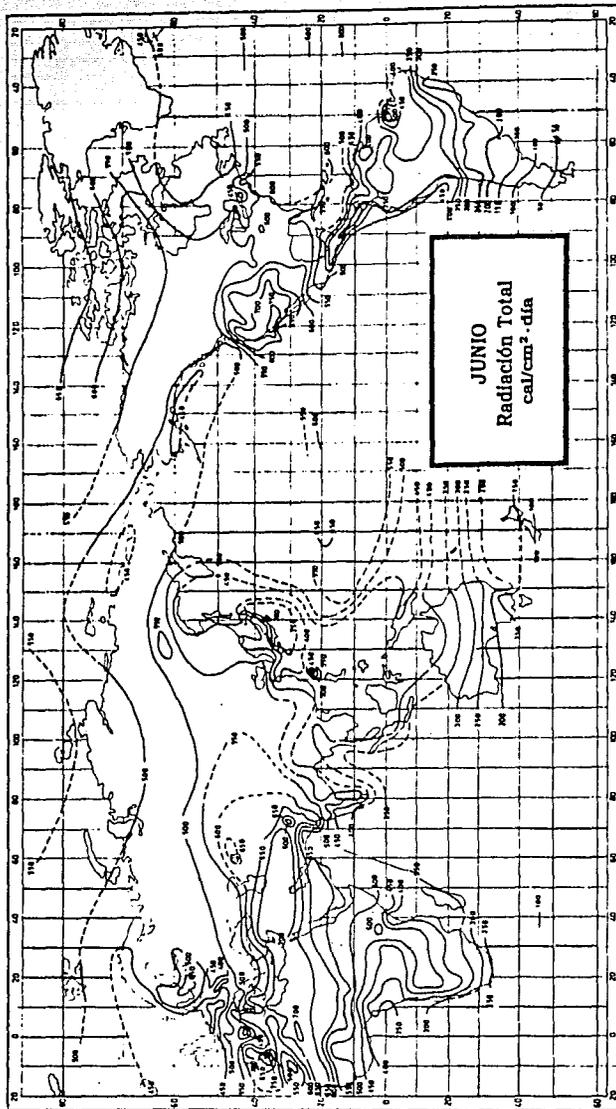


Fig. III.11 Radiación solar en Junio.

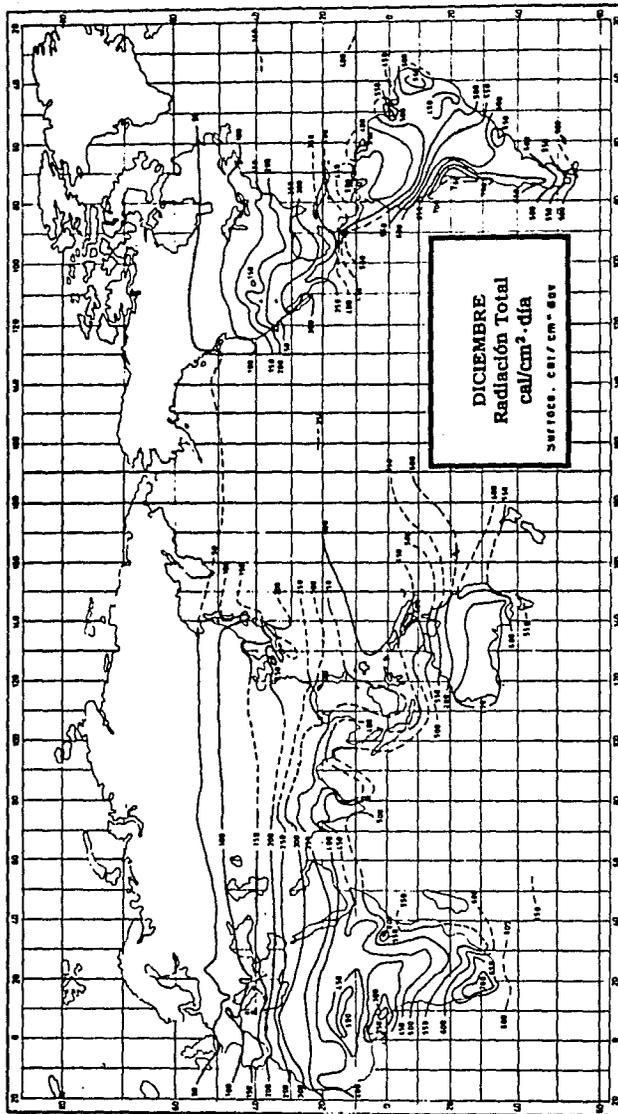


Fig. III.12 Radiación solar en Diciembre.



Fig. III.13 Radiación global diaria promedio en el mes de Enero



Fig. III.14 Radiación global diaria promedio en el mes de Febrero



Fig. III.15 Radiación global diaria promedio en el mes de Marzo



Fig. III.16 Radiación global diaria promedio en el mes de Abril

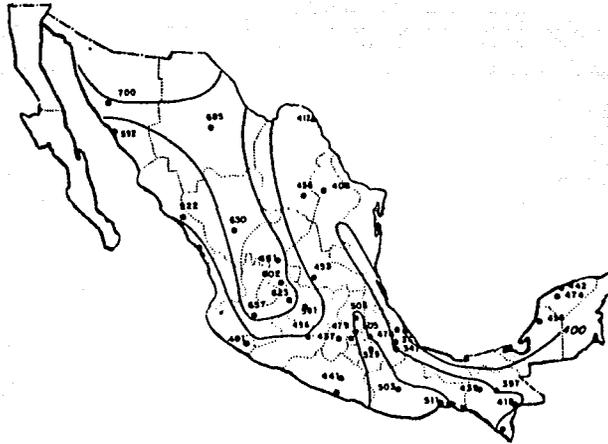


Fig. III.17 Radiación global diaria promedio en el mes de Mayo



Fig. III.18 Radiación global diaria promedio en el mes de Junio



Fig. III.19 Radiación global diaria promedio en el mes de Julio



Fig. III.19 Radiación global diaria promedio en el mes de Agosto



Fig. III.22 Radiación global diaria promedio en el mes de **Noviembre**

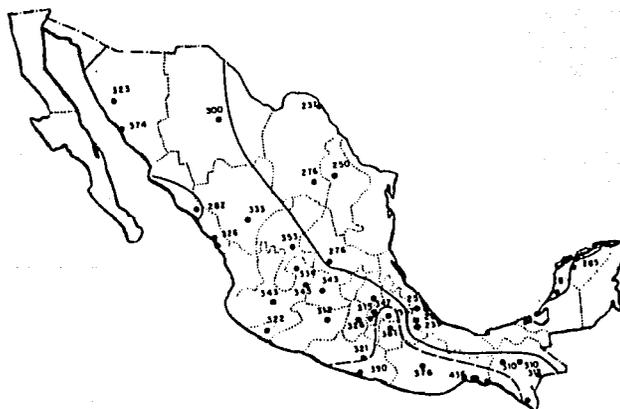


Fig. III.23 Radiación global diaria promedio en el mes de **Diciembre**



Fig. III.24 Radiación global diaria promedio en el año

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO III

1. I. Galindo A. Chávez, "Estudio del clima solar en la República Mexicana", Instituto de Geofísica UNAM, México, 1987, págs. 3-5, 15-20
2. K. McCartney, B. Ford, "Agua caliente solar", Hermann Blume, Madrid, España, 1982, págs. 15-17
3. CENSOLAR, "Energética solar", PROGENSA, Sevilla, España, 1990, págs. 55-61
4. J. L. Tamayo, "Geografía moderna de México", Trillas, México, 1990, págs. 42-50, 83
5. J. K. Page, "The estimation of monthly values of daily total short - wave radiation from sunshine records for latitudes 40°N-40°S", Conferencia Nuevos recursos de Energía, ONU, 1961, págs. 5, 35-98

Capítulo IV

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS Y SU APROVECHAMIENTO EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Hace 33 años se inició el reúso de aguas en la República Mexicana. En el año de 1956 se inauguró la primera planta de tratamiento de aguas residuales en el Bosque de Chapultepec, en la Ciudad de México, regando con sus aguas renovadas las áreas verdes del bosque y llenando sus lagos.

El constante aumento de la demanda de agua y de las inversiones cada vez mayores para satisfacerla hacen atractivo el reúso de agua, principalmente en la industria.

Con el uso del agua tratada se han liberado volúmenes importantes de agua potable que se hacía indispensable para otros usos prioritarios, así como el control de la contaminación a los cuerpos de agua donde se descargaban estas aguas contaminadas.

4.1.1. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de las aguas residuales consiste en la separación de los elementos sólidos y líquidos que le son agregados al agua potable al ser utilizada en las distintas actividades humanas, aunque técnicamente se puede tratar el agua residual a tal grado de volverla potable nuevamente, actualmente resulta muy costoso hacerlo. Por lo anterior

el tratamiento normalmente se realiza con el fin de reducir la concentración de los elementos que puedan causar algún tipo de contaminación al medio o que representen riesgos para la salud humana.

El mejoramiento del agua contaminada, se puede llevar a cabo de dos formas, una natural y otra en la que interviene la acción del hombre:

Autodepuración natural del agua
Autodepuración artificial del agua

Esta última no es más que la aceleración del proceso que nos brinda la naturaleza.

Autodepuración natural del agua

La autodepuración natural del agua es un proceso en el que la naturaleza actúa proporcionando los elementos necesarios para este fin. Frecuentemente se afirma que el agua se autopurifica al fluir en cierta distancia o que la aeración natural que tiene lugar en las cascadas o caídas, oxidará o matará las bacterias; en realidad la distancia en sí no tiene relación directa con la autodepuración, pero sí, ésta combinada con el tiempo de trayecto. Es cierto que la aeración y el tiempo son los factores más importantes pero también los son otros:

Las condiciones adecuadas de temperatura
La luz solar
La velocidad del flujo, y
Las características químicas y biológicas del cuerpo receptor.

La contaminación del agua por las descargas de desechos o por otras sustancias contaminantes, pone en movimiento un ciclo bien definido, difícil de observar en el agua estancada y fácil de ver en una corriente.

En una corriente contaminada se distinguen cuatro zonas:

1. Zona de degradación
2. Zona de descomposición activa
3. Zona de recuperación
4. Zona de agua limpia

Zona de degradación

Se encuentra generalmente cerca de los puntos de descarga de alcantarillados. El primer efecto que se observa es que el agua se enturbia dificultando el paso de la luz solar a las capas más profundas del agua.

Zona de descomposición activa

Se caracteriza por la ausencia de oxígeno y por condiciones sépticas; la zona se distingue por su color gris negro, olores desagradables debidos al sulfuro de hidrógeno, depósitos de lodos negros y burbujas de gas.

Zona de recuperación

Tiene una actividad inversa a la zona de degradación desarrollándose en mayor extensión; se distingue una clarificación gradual del agua por un cambio de los depósitos fangosos a depósitos granulares, y por la ausencia de burbujas de gas.

Zona de agua limpia

Sus características son casi similares a la del agua limpia natural por haber recuperado su aspecto atractivo; también puede haber la presencia de peces útiles para la pesca comercial.

Autodepuración artificial del agua

La variedad de operaciones de tratamiento que dan por resultado la purificación del agua es amplia y la multiplicidad de los fenómenos de que se debe ocupar el control de la calidad de las aguas es casi interminable. Sin embargo, es posible adaptar, aceptablemente, las respuestas básicas del agua al tratamiento dentro de cierto molde común. Este molde común, en la práctica profesional se le define en tres niveles o grados de tratamiento.

Primario
Secundario
Terciario

Nivel primario

En el nivel primario sólo se logra tratar parcialmente las aguas, y se utiliza preferentemente cuando los efluentes tratados se pueden disponer en un cuerpo o una corriente de agua que garantice la suficiente dilución para mantener la concentración de los elementos contaminantes, a tal grado que no causen perjuicios, además que en esas corrientes se continúa el tratamiento aprovechando los procesos naturales.

Nivel secundario

En el nivel secundario, el tratamiento se considera aceptable para poder disponer las aguas tratadas en el suelo superficial o subterráneamente o a través de dilución sin muchos riesgos de contaminación, e incluso es posible el reuso en varias actividades que no impliquen su consumo directo, siendo el riego de áreas verdes uno de los mayores usos que se le ha dado en México.

Este nivel de tratamiento es el que normalmente se considera en el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales y es el exigido por las autoridades Federales que tienen a su cargo la prevención y el control de la contaminación ambiental en México¹.

Nivel terciario

El nivel terciario o avanzado se utiliza para obtener efluentes de mayor calidad que la que se obtiene en el tratamiento secundario, sin embargo, su práctica es muy limitada, inclusive en países altamente desarrollados, por su alto costo, y el destino de las aguas es básicamente para recarga de acuíferos, y en la industria en usos específicos. En la actualidad no se ha dado un uso directo para el consumo en forma extensiva.

4.1.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

En este nivel se lleva a cabo el proceso de tratamiento de las materias sedimentables; a este nivel de tratamiento es común dividirlo en dos partes, aunque hay algunos autores que prefieren su estudio por separado:

Tratamiento preliminar
Tratamiento primario

Tratamiento preliminar

El agua residual tiene cantidades variables de sólidos flotantes y suspendidos, algunos de tamaño considerable. Materiales como trapos, pedazos de madera, metal, plásticos, cascajo y otros desechos que están fuera del alcance de una planta de tratamiento.

Los trabajos iniciales en una planta de tratamiento incorporan dispositivos de medición como el medidor Parshall y dispositivos mecánicos o sistemas físico-químicos para remover los sólidos flotantes, arena y posiblemente grasas.

¹ El Apéndice A, "Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente", se hace un extracto de los principales artículos que reglamentan este aspecto.

Las diferentes estructuras iniciales o de entrada a la planta de tratamiento de aguas residuales, son las siguientes:

Desarenadores

Una porción de los sólidos suspendidos en las aguas provenientes del alcantarillado municipal consisten en materia inorgánica inerte, como arena, fragmentos de metal, cascarones de huevo, etc. Todo este material puede provocar insuficiencia del equipo posterior, por lo cual, los desarenadores con ayuda de la fuerza de gravedad, logran reducir en gran medida este material.

Tanques de preaeración

La aeración del agua residual antes del tratamiento primario ofrece muchas ventajas; modestamente es removida la grasa, los olores sépticos son reducidos, ocurre en cierto grado la floculación y los sólidos son mantenidos en suspensión uniforme.

Cárcamos de bombeo

Estos cárcamos son necesarios para el bombeo del agua y su posterior tratamiento primario.

Medidor Parshall

Este medidor es una garganta con contracción vertical que se usa para medir los gastos incluyendo los diversos materiales contenidos en el flujo. Existen medidores Parshall prefabricados para ciertos gastos, de sencilla instalación.

Rejas y cribas de barras

Las plantas grandes utilizan un sistema mecánico de limpieza de rejillas y cribas de barras que a su vez eficientiza la operación de una planta. Las plantas pequeñas utilizan generalmente rejas de limpieza manual.

Desmenzadores

Los desmenzadores reducen en tamaño los sólidos suspendidos que serán removidos en el proceso de sedimentación de tal forma que no dañen el equipo subsecuente. Los desmenzadores consisten de un dispositivo que permite la entrada del agua y unas navajas en movimiento.

Tratamiento primario

El tratamiento primario implica el proceso de sedimentación con el objeto de remover los sólidos suspendidos orgánicos. A veces se usan productos químicos en el

clarificador primario para ayudar a remover los sólidos coloidales o para precipitar el fósforo. Los procesos principales en esta etapa son dos:

Sedimentación primaria
Desinfección (clarificador)

Sedimentación primaria

En este proceso un parámetro determinante es el **tiempo de retención** del agua en el tanque sedimentador, ya que a mayor tiempo de retención, mayor será el porcentaje de remoción de sólidos, pero también aumenta la capacidad del tanque con su consecuente costo.

Desinfección

El objeto de este proceso es el reducir las materias patógenas. El método químico con cloro es el más usado en este nivel de tratamiento. Para plantas de gran gasto, se usa el cloro gas y para las pequeñas en compuesto (sales granulares).

Para plantas de tratamiento de nivel primario solamente es indispensable este proceso. Cuando la planta cuenta con un tratamiento a nivel secundario, algunos diseñadores prefieren omitir este proceso para llevarlo a cabo al final del nivel secundario.

4.1.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

En términos generales a este nivel de tratamiento, lo conforman:

Tratamiento primario (como antecedente necesario)
Proceso biológico (reactor biológico)
Clarificador y/o desinfección.

En el tratamiento secundario de aguas residuales existe una diversidad de procesos, sin embargo, todos se basan en la acción bacteriológica por lo cual se le denomina a este conjunto **procesos biológicos**, aunque en el tratamiento también intervienen procesos físico-químicos.

Procesos biológicos

Los procesos biológicos tienen su base en que una población mixta de microorganismos utiliza como nutrientes sustancias que contaminan el agua. Este es el

mecanismo por el cual las corrientes naturales de agua como los ríos y los lagos, se autopurifican. Los microorganismos forman un microsistema ecológico de bacterias, hongos y algas, que a su vez forma parte de una cadena alimentaria para otros organismos como protozoarios, insectos, gusanos y peces.

En el proceso de purificación las materias orgánicas se descomponen finalmente en compuestos simples como anhídrido carbónico o metano y los microorganismos aumentan en número. De éste modo los contaminantes orgánicos se eliminan de la corriente de agua, en parte por descomposición bioquímica y en parte por conversión en células microbianas.

Los nutrientes disueltos causan contaminación cuando entran en una corriente de agua en cantidades suficientes para destruir la autopurificación de esa agua.

Los microorganismos se pueden dividir en aquellos que necesitan oxígeno para su crecimiento y los que no lo necesitan. Los microorganismos que requieren oxígeno se denominan como **aerobios**. Los que crecen en su ausencia se llaman **anaerobios**.

Los procesos aerobios son bioquímicamente eficientes y rápidos y generan productos secundarios que casi siempre son químicamente simples y están altamente oxidados como el anhídrido carbónico y el agua. Los procesos anaerobios son bioquímicamente ineficientes y lentos y dan origen a productos secundarios químicamente complejos, frecuentemente malolientes.

Estos procesos biológicos se pueden clasificar fundamentalmente en procesos de flóculos suspendidos y de película fija. Los más utilizados se enlistan a continuación:

Procesos de flóculos suspendidos

- Lodos activados *
- Reactor anaerobio *
- Flujo a contra corriente
- Lagunas de oxidación *
- Zanjas de oxidación

Procesos de película fija o de biomasa fija:

- Filtros percoladores *
- Discos biológicos rotatorios (biodiscos)

* Con variantes

Existen otros métodos menos utilizados como el tratamiento a través del suelo y la acuicultura. Cada tipo de proceso tiene ventajas y desventajas, y la selección de alguno de estos estará en función de las condiciones particulares de cada caso. Las principales variables a considerar en la selección del proceso son:

- Eficiencia
- Economía
- Grado de dificultad de la operación
- Area de terreno disponible
- Personal calificado para su operación

Un resumen de las características principales de cada caso son las siguientes:

PROCESOS DE FLOCULOS SUSPENDIDOS

Lodos activados

Es uno de los métodos más ampliamente utilizados, y quizá uno de los más estudiados, es también uno de los procesos con los que dió inicio el tratamiento de aguas residuales en forma controlada.

El procedimiento consiste en provocar el desarrollo de un cultivo bacteriano disperso en forma de flóculos (lodos activados) en un depósito agitado y aireado (tanque de aeración) y alimentado con el agua que ha de depurarse. Figura IV.1.

En este depósito, la agitación tiene por objeto evitar sedimentos y homogeneizar la mezcla de los flóculos bacterianos y el agua usada (licor mezclado); la aeración, que puede hacerse partiendo del oxígeno del aire de un gas enriquecido en oxígeno, o incluso con oxígeno puro, tiene por objeto disolver este gas en el licor mixto, con el fin de hacer frente a las necesidades de las bacterias depuradoras aerobias.

Después de un tiempo de contacto suficiente, el licor mezclado se envía a un clarificador, denominado también decantador secundario, destinado a separar el agua depurada de los fangos. Estos últimos se recirculan al depósito de aeración, para mantener en el mismo una concentración suficiente de bacterias depuradoras. El excedente (lodos en exceso) se extrae del sistema y se evacúa hacia el tratamiento de lodos.

El término "lodo activado" se aplica a un conglomerado floculento formado por microorganismos, materia orgánica e inorgánica. Las superficies de estos flóculos son altamente activas para absorber las partículas coloidales y suspendidas que se encuentran en el agua residual. La degradación de residuos orgánicos por los flóculos se efectúa a través de una serie compleja de reacciones químicas.

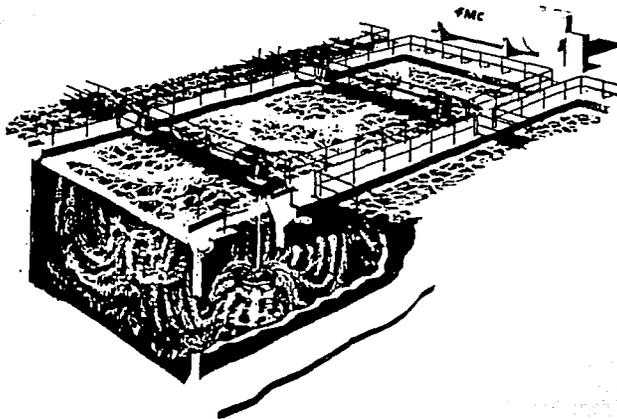


Fig. IV.1 Proceso de lodos activados. Reactor abierto.

Dentro de las ventajas, se encuentran las siguientes:

- a. Soporta variaciones de carga orgánica e hidráulica, sin destabilizarse completamente el sistema.
- b. En condiciones normales de operación la calidad del efluente tiene poca variación.
- c. Puede soportar paros totales de hasta 24 horas sin sufrir importantes reducciones de biomasa.

Dentro de las desventajas de este proceso, se encuentran las siguientes:

- a. El consumo de energía es alto.
- b. Requiere de un constante mantenimiento.
- c. Su operación requiere de personal especializado.
- d. La producción de lodos excedentes es bastante significativa.

Reactor anaerobio

La digestión anaerobia es una fermentación en ausencia de oxígeno que estabiliza las materias orgánicas transformándolas, en el mayor grado posible, en gas metano y gas carbónico. Un primer grupo bacteriano, constituido por bacterias productoras de ácidos, transforma los compuestos orgánicos complejos en otros más simples los cuales, a su vez, sirven de alimento a un segundo grupo, las bacterias metánicas, estas últimas son los organismos clave de la digestión anaerobia, se desarrollan lentamente y son muy sencibles a las variaciones de temperatura y de pH del ambiente. Estructuralmente, el proceso requiere una unidad de activación y una de digestión, un tanque desgasificador y separador de lodos y en su caso, bombas de recirculación de lodos.

Tiene como ventajas las siguientes:

- a. Prácticamente no requiere operación y mantenimiento.
- b. No requiere de energía eléctrica (con suficiente carga hidráulica).
- c. El sistema de tratamiento es muy simple.
- d. Es apropiado para abatir altas cargas orgánicas.
- e. Escasa producción de lodos.

Cuenta con las siguientes desventajas:

- a. La eficiencia del tratamiento es variable y en promedio no tan alta comparada con otros procesos.
- b. Escasa flexibilidad para el control del proceso.
- c. Escasa flexibilidad para aceptar variaciones en la carga hidráulica.
- d. Producción de gases tóxicos y combustibles (CO₂, metano, otros gases).

Flujo a contra-corriente

Es un proceso, que como su nombre lo indica, manda el flujo de aguas residuales a contra-corriente. Consta de un sistema difusor de oxígeno instalado en el tanque de flujo, cuyo sentido de difusión es contrario al de las aguas residuales.

Dentro de sus ventajas, están las siguientes:

- a. Alta eficiencia del tratamiento.
- b. Posibilidad de reducir el consumo de energía.
- c. Considerable reducción de nutrientes.
- d. Escasa producción de lodos.
- e. Flexibilidad en el proceso de control.

Dentro de sus desventajas, están las siguientes:

- a. Alto costo de inversión inicial (en México).
- b. Requiere de personal especializado para su operación y control del proceso.

Lagunas de oxidación

Generalmente este proceso requiere de gran área de terreno y es muy sensible a los cambios de temperatura. El propósito principal es de eliminar la materia orgánica soluble a través del metabolismo microbiano. Cuando el tiempo de retención es largo, se logra una buena remoción de materia orgánica.

El empleo de lagunas de oxidación es óptimo en climas cálidos y soleados, ya que la energía solar es necesaria en este proceso, son poco profundas (1 m). El tiempo de retención es de varias semanas generándose un cultivo mixto de algas y bacterias.

El proceso es de fácil operación; no existe recirculación de sólidos o efluentes. Las altas concentraciones de desechos pueden ser manejadas fácilmente debido al área del reactor.

El proceso tiene las siguientes ventajas:

- a. Requiere poco o nada de equipo.
- b. Requiere escaso mantenimiento.
- c. Puede tratar agua con elevada carga orgánica.
- d. Interacción directa de los rayos solares.

El proceso tiene estas desventajas:

- a. Requiere una amplia extensión de área.
- b. Puede generar olores desagradables.
- c. Puede producir infiltraciones al subsuelo si no se cuenta con terreno impermeable o impermeabilizado artificialmente.

Zanjas de oxidación

Las zanjas de oxidación constituyen un proceso que puede considerarse como una variante de lodos activados, que ha demostrado ser una alternativa flexible y económica. Este proceso resulta apropiado cuando las variaciones del flujo de agua a tratar son importantes y también en donde la temperatura ambiente sea baja.

En su operación, la aeración se puede efectuar de forma continua, con rotores horizontales o verticales, de tipo turbina; o bien, de forma intermitente en la cual las aguas residuales tratadas se descargan después de un determinado tiempo de retención, procediéndose entonces a extraer los lodos almacenados en el fondo de la zanja mediante una trampa de lodos y una bomba para su desecación.

Como ventajas tiene:

- a. Menor consumo de energía.
- b. Alta eficiencia en el tratamiento.
- c. Tiene las mismas ventajas que el proceso de lodos activados (de hecho este es un proceso de lodos activados).
- d. Menor producción de lodos excedentes.

Como desventajas tiene:

- a. Requiere de una extensión de área considerablemente mayor a la de lodos activados.
- b. Requiere de personal especializado para su operación y control del proceso.
- c. Tiene poca flexibilidad para soportar variaciones de carga orgánica e hidráulica.
- d. Emanación de olores desagradables al operarse deficientemente.
- e. Limitación en la remoción de la materia orgánica soluble.
- f. Pérdida significativa de biomasa al ocurrir un paro total del sistema por más de 24 horas.

PROCESOS DE PELICULA FIJA O DE BIOMASA FIJA

Filtros percoladores

Este sistema se clasifica entre los procesos aerobios de biomasa fija. También es llamado filtro bacteriano, filtro rociador o biorrotor; este sistema consta de una torre empacada, con filtros que generalmente son de plástico corrugado que soportan a los microorganismos en su través, el reactor está arreglado de tal forma que permite el paso del aire en el interior de la torre. Los filtros percoladores pueden llegar a tener una altura de 7 m.

El agua a tratar, lo recorre en forma de capas delgadas sobre el material, donde los microorganismos se encuentran fijos y están creciendo. Los microorganismos aprovechan la materia orgánica soluble como una fuente de energía para su crecimiento.

El agua entra a la torre percoladora y asciende por una columna central de concreto armado en cuya parte superior se encuentra el sistema rociador. El agua al escapar por las boquillas empuja al sistema rociador y lo hace girar en sentido contrario a la salida del agua. Con las boquillas se logra la dispersión del agua y que ésta moje toda la superficie del empaque en el cual están adheridas las bacterias.

Cuenta con las siguientes ventajas:

- a. Bajo consumo de energía.
- b. Flexibilidad en el proceso de control.
- c. Calidad adecuada del efluente.
- d. Existe flexibilidad para el control del proceso en todo el tren de tratamiento.

Presenta las siguientes desventajas:

- a. Requiere mantenimiento constante.
- b. Susceptible a desestabilizarse con variaciones fuertes en carga orgánica.
- c. En paros por más de 24 horas existe una importante reducción de biomasa.
- d. Su operación requiere de personal especializado.

Discos biológicos rotatorios o biodiscos

El proceso de biodisco, consiste en una serie de discos de plástico corrugado, colocados sobre un eje horizontal y puesto sobre un tanque de concreto. La superficie del medio está sumergida aproximadamente un 40% y gira a 1.5 r.p.m.. Al estar girando los discos, inmediatamente los microorganismos presentes en las aguas residuales se adhieren a la superficie de cada disco. Una vez adheridos comienzan a crecer y reproducirse, alimentándose de la materia orgánica contenida en el agua.

El oxígeno que requieren los microorganismos lo absorben del aire a través de la película de agua que se forma al estar girando los discos. Así, la llamada biomasa satisface sus requerimientos de oxígeno y remueve la materia orgánica disuelta en el agua residual.

El oxígeno disuelto que no es utilizado se incorpora al agua residual que contiene el tanque, por lo que se mantiene una concentración adecuada de oxígeno en las aguas residuales en proceso de tratamiento.

Cuando hay exceso de biomasa, parte de ésta se desprende y se incorpora al flujo de agua; la biomasa despreñida de los discos se separa en un sedimentador del mismo tipo que el utilizado en el sistema de filtro percolador.

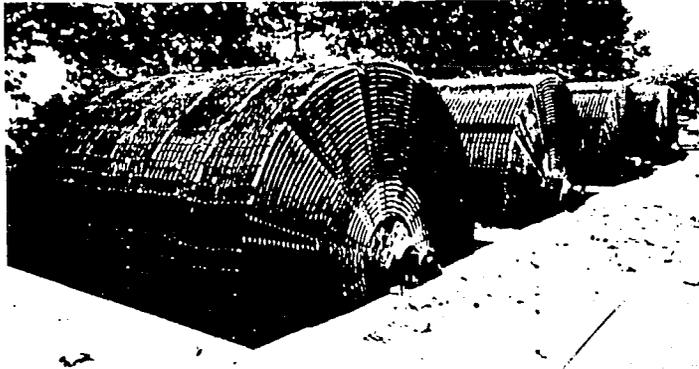


Fig. IV.2. Discos biológicos en serie al aire libre.

Entre sus ventajas están:

- a. Alta eficiencia en la remoción de DBO_5 .
- b. Bajo consumo de energía.
- c. Poco mantenimiento.
- d. Fácil operación.
- e. Flexibilidad en el control del proceso.
- f. Requiere poca área en gastos menores.

Entre sus desventajas posiblemente sólo esta:

- a. Vulnerable en cambios de temperatura.

4.1.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

Para lograr el propósito de remover aquellos contaminantes que permanecen en el agua después de recibir un tratamiento secundario, éste nivel de tratamiento avanzado lo comprenden los siguientes procesos:

Coagulación
Filtración
Osmosis inversa
Electrodialisis
Ultrafiltración
Intercambio iónico
Carbón activado
Luz ultravioleta
Otros

A continuación se hace una breve descripción de algunos de ellos

Coagulación

En el campo del tratamiento de aguas, la coagulación es, el fenómeno de la desestabilización de las partículas coloidales, que puede conseguirse especialmente por medio de la neutralización de sus cargas eléctricas. Se llama coagulante al producto utilizado para esta neutralización.

Filtración

La filtración es un procedimiento en el que se utiliza el paso de una mezcla sólido-líquido a través de un medio poroso (filtro) que retiene los sólidos y deja pasar los líquidos, si las materias en suspensión que deben separarse tienen una dimensión superior a la de los poros de la superficie del filtro.

Osmosis inversa, Electrodialisis y Ultrafiltración

Son procedimientos de separación por membranas, bajo el efecto de una presión. Estos procesos, en los que se utilizan las propiedades de semipermeabilidad de ciertas membranas (permeables al agua y a ciertos solutos, pero impermeables a otros, así como a toda partícula) constituyen la continuación de los procesos clásicos de filtración, acercándose hacia separaciones cada vez más afinadas.

La ósmosis inversa hace posible la eliminación de las últimas trazas de productos orgánicos disueltos y de sales que subsisten después de los tratamientos clásicos (físico-químico, biológico, adsorción).

Puede citarse el caso de la Water Factory 21 en Ornage Country, en E.U.A., en la que la ósmosis inversa permite realimentar aguas que se utilizan para el consumo humano, partiendo de aguas residuales domésticas sometidas a tratamiento primario y secundario.

Intercambio iónico

Los intercambiadores de iones son sustancias granulares insolubles, capaces de permutar, sin modificación aparente de su aspecto físico y sin alteración alguna o solubilización, los iones positivos o negativos, fijados previamente por otros iones del mismo signo, que se encuentran en solución en el líquido puesto en contacto con ellos. Esta permutación denominada intercambio iónico, puede modificar la composición iónica del líquido objeto de tratamiento, sin alterar el número total de iones existentes en este líquido, al iniciarse el intercambio.

Carbón activado

El carbón activo es un adsorbente, que es la propiedad de ciertos materiales de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida o gaseosa en la que se encuentran sumergidos. Se trata por tanto, de una transferencia de masa de la fase líquida o gaseosa hacia la superficie sólida en la que el compuesto orgánico tiende a unirse con una energía de unión.

Luz ultravioleta

Con los rayos ultravioleta se obtiene una buena desinfección y una eliminación completa de los virus, a condición de que apliquen sobre una capa de agua de poco tirante, con una potencia suficiente y renovando las lámparas antes de que acusen pérdida de su poder emisor.

4.1.5. TRATAMIENTO DE LODOS

Son procesos complementarios que se utilizan para el tratamiento de la materia sedimentada y recolectada en los diferentes procesos de tratamiento, mismo que se conoce como "tratamiento de lodos". Todos los lodos necesitan una u otra forma de tratamiento: estabilización, espesamiento, deshidratación, secado, incineración o combinación de uno o varios de estos métodos, antes de su vertido al medio natural.

4.2. SISTEMA INTEGRADO

4.2.1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA

Como se mencionó en el Capítulo 1, los diseños integrales de una planta de tratamiento de aguas residuales se deben hacer con una constante vinculación calidad-ambiente-tecnología; y con la problemática actual de nuestro país para resolver la contaminación del agua, se hace necesaria la planeación y evaluación de alternativas energéticas no convencionales. Un sistema Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-Energía Solar (PTAR-ES) puede ser una buena alternativa para disminuir los costos de operación en energía eléctrica que en algunas plantas llega a representar hasta el 65% de los gastos. En la tabla IV.1. se muestran los porcentajes de costo en energía eléctrica con respecto a los costos de operación de diferentes plantas de tratamiento.

Planta de Tratamiento	%
Cerro de la Estrella	35
San Luis Tlaxiátemalco	40
Ciudad Universitaria	45
Madin (Pta. Potabilizadora)	65

Cuadro IV.1 Influencia del costo de la energía eléctrica en los costos de operación

Tomando en cuenta los diferentes procesos de tratamiento de aguas residuales, las características más importantes a considerar en el sistema integrado, son las siguientes:

1. Energía demandada por el tipo de tratamiento.
2. Topografía del lugar.
3. El área disponible (ampliaciones futuras).
4. Clima solar del lugar.
5. Costo de la energía en la región.
6. Perspectivas de la energía disponible en la región.
7. Daños en el ambiente por dicha energía.
8. Ampliaciones futuras de la planta de tratamiento.
9. Posibilidad de un sistema combinado de energías aprovechables.

La consideración y evaluación de los puntos antes mencionados, determinará la mejor integración del sistema "Planta de tratamiento de agua residual - Energía solar" (PTAR-ES).

La adecuación o modificaciones necesarias en cuanto a los procesos de tratamiento no se ven afectadas en ninguna de sus partes por las integración de una

planta solar, salvo en el requerimiento de suficiente área de terreno.

El funcionamiento efectivo del sistema integrado dependerá básicamente de la buena operación y mantenimiento de ambas plantas.

4.2.2. PANELES FOTOVOLTAICOS

Los paneles solares fotovoltaicos se emplazan en paredes, tejados, terrazas o en un terreno liso, montados sobre bastidores adecuados, pero siempre orientados al Sur. Debe dársele la inclinación adecuada para potenciar su capacidad colectora, como se trató en el apartado 4.2.4, y libres de cualquier proyección de sombras, evitando en lo posible zonas arboladas, pues la vegetación verde absorbe la luz solar en perjuicio del rendimiento de los paneles.

La orientación cara al Sur está en función de aprovechar al máximo la radiación solar, la cual varía según la latitud de la zona. Por ello deben encararse debidamente ayudándose de brújula y nivel topográfico, para asegurar la instalación más favorable. El ángulo de inclinación estará en función del suelo horizontal.

Es importante que, siempre que se conecten varios módulos, ya sea en serie o en paralelo, todas las unidades guarden idénticas características. Los agrupamientos por más de cuatro módulos se denominan plantas solares. En la figura IV.3 apreciamos el arreglo de una planta solar con caseta de acumuladores.

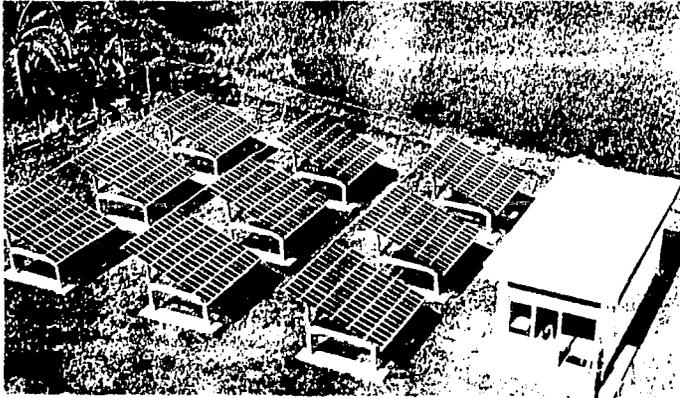


Fig. IV.3 Planta solar con caseta para albergar a los acumuladores y al resto del equipo.

El buen funcionamiento de la instalación fotovoltaica depende de que el operador comprenda al menos sus principales puntos básicos, para lo cual la compañía instaladora proporcionará las explicaciones necesarias por escrito.

Un esquema o croquis explicativo situado en lugar visible puede resultar útil para el caso de varios usuarios distintos. En cualquier caso, es obligada la confección de un pequeño Manual o Guía de instalación, que debe contener al menos, la información siguiente:

- 1 Datos generales
 - 1.1 Director del proyecto
 - 1.2 Compañía instaladora

- 2 Consumos esperados
 - 2.1 Consumos diarios de cada uno de los equipos de la instalación.
 - 2.2 Consumos mensuales de cada uno de los equipos de la instalación.

- 3 Características del sistema de acumulación
 - 3.1 Tipo de batería.
 - 3.2 Tensión nominal.
 - 3.3 Capacidad en amperios-hora.
 - 3.4 Profundidad máxima de descarga.
 - 3.5 Ciclaje máximo diario.
 - 3.6 Tiempo máximo de trabajo al 50% del estado de carga.
 - 3.7 Voltaje máximo de carga.
 - 3.8 Temperatura de congelación del electrolito.
 - 3.9 Rango de temperaturas de funcionamiento.

- 4 Características del sistema de regulación-control
 - 4.1 Tipo de regulador.
 - 4.2 Tensión de alimentación nominal y máxima.
 - 4.3 Intensidad máxima de carga.
 - 4.4 Tensión máxima de carga.
 - 4.5 Potencia consumida.
 - 4.6 Tensión de reconexión.
 - 4.7 Rango de temperaturas de actuación.

- 5 Características del convertidor (transformador)
 - 5.1 Tensión de entrada nominal.
 - 5.2 Tensión de entrada de operación.
 - 5.3 Tensión de salida nominal.
 - 5.4 Potencia nominal.
 - 5.5 Frecuencia nominal.

- 5.6 Sobrecarga admisible.
- 5.7 Resistencia a cortocircuito.
- 5.8 Rango de temperaturas de actuación.

6 Funcionamiento de la instalación

7 Recomendaciones

- 8 Eventuales y posibles averías. Actualmente parte del operador.

Se recomienda, no obstante, que los operarios sean electricistas experimentados, que sabrán resolver los pequeños inconvenientes que siempre surgen en la operación cotidiana, aunque siguiendo unas sencillas normas y utilizando elementos normalizados, cualquier persona con la capacitación y el instrumental adecuado puede ejecutar la operación de una planta solar. En las figuras IV.3 y 4, se ilustra una planta solar y el arreglo de su caseta de control.

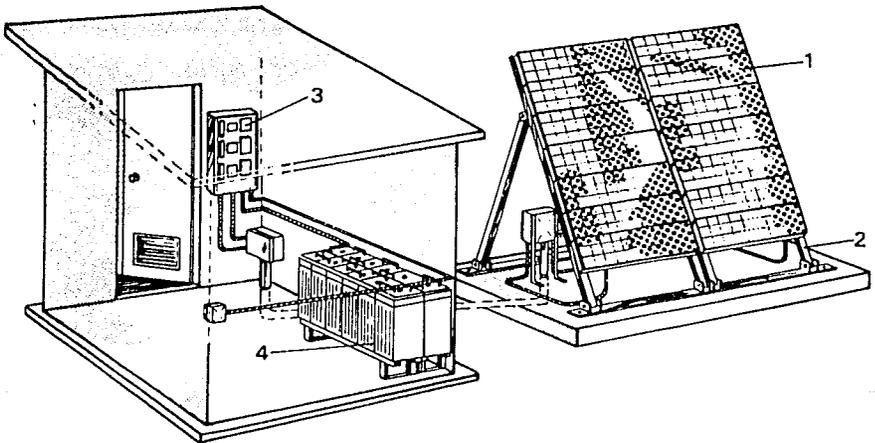


Fig. IV.4 Caseta de regulación y control. 1. Módulos fotovoltaicos, 2. Estructura de soporte, 3. Regulación y control, 4. Batería de acumuladores.

4.3. ELECTRICIDAD FOTOVOLTAICA

La electricidad es una de las formas de energía más versátil y que mejor se adapta a cada necesidad. Su utilización está tan extendida que hoy difícilmente podría concebirse una sociedad tecnológicamente avanzada que no hiciese uso de ella. Miles de diferentes aparatos están diseñados para funcionar alimentados con energía eléctrica, bien en forma de corriente continua de pequeña tensión o de corriente alterna a tensiones mayores, por ello resulta muy interesante la posibilidad de producir electricidad mediante una fuente energética segura y no contaminante, como es la energía solar.

La base de los sistemas fotovoltaicos son las llamados **paneles solares fotovoltaicos** formados por células solares, figura IV.5, mediante los cuales se puede disponer con total independencia de cualquier red de suministros eléctricos, de corriente continua (DC) en cualquier lugar, con la posibilidad de convertirla en corriente alterna (AC). El funcionamiento de estos paneles se describe en los siguientes párrafos.

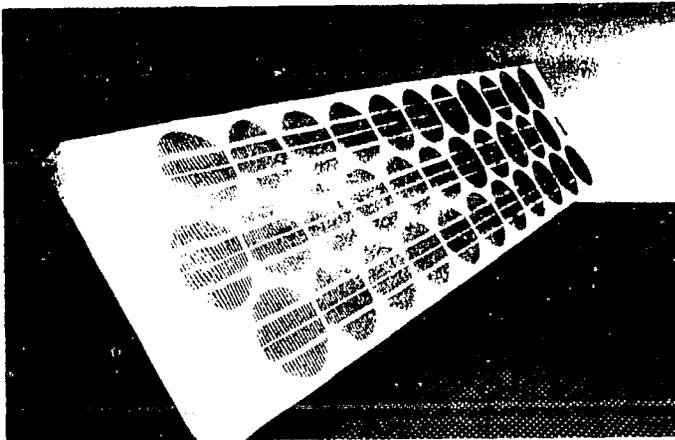


Fig. IV.5 Panel fotovoltaico formado por 33 células solares.

Los paneles solares fotovoltaicos están formados por un conjunto de células solares, capaces de transformar los rayos luminosos en corriente eléctrica. En el cuadro IV.2, se aprecia el avance fotovoltaico en la producción mundial de módulos, y en la figura IV.6 la evolución de la venta de módulos.

Producción mundial de módulos fotovoltaicos en MW

Año	Potencia
1986	26
1987	28
1988	35
1989	44

Cuadro IV.2

4.3.1. EFECTO FOTOVOLTAICO

Al final del capítulo II se describió brevemente el fundamento del efecto fotovoltaico, el cual consiste en esencia en la conversión de la energía que transportan los **fotones** de luz incidentes sobre materiales **semiconductores** convenientemente tratados en energía eléctrica capaz de impulsar los electrones desprendidos a través de un circuito exterior, realizando un trabajo útil.

Un especial tratamiento del material semiconductor es necesario porque, en principio la energía originalmente cedida por el fotón a los electrones de dicho material está destinada a convertirse en calor inútil, tras unos cuantos choques del electrón en su movimiento a través de la red atómica.

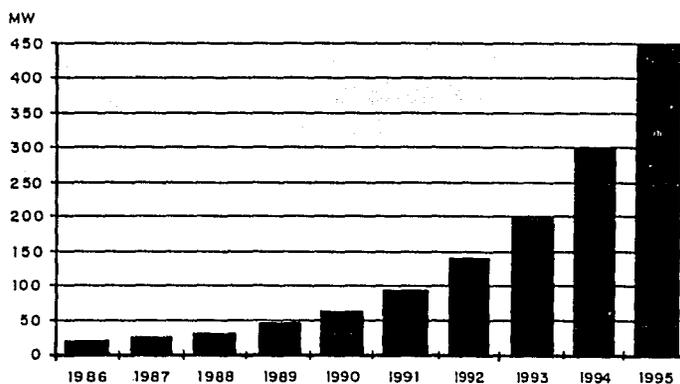


Fig. IV.6 Evolución de las ventas de módulos fotovoltaicos (Censolar, España).

La clave para producir una corriente útil está en lograr extraer los electrones liberados fuera del material antes de que estos vuelvan a recombinarse con los "huecos" (lugares vacíos que dejan los electrones). Una forma de lograr esto es introducir en el material semiconductor elementos químicos que contribuyan a producir un exceso de electrones y de huecos. Dichos elementos, que alteran significativamente las propiedades intrínsecas de los semiconductores, se denominan **dopantes** y el proceso de su incorporación al semiconductor se llama dopado.

Un dopante adecuado para el silicio es el boro, el cual tiene un electrón de enlace menos que el silicio y, por tanto, cada átomo de boro puede unirse con sólo tres átomos de silicio, dejando un hueco en el lugar donde existiría el cuarto electrón de enlace, en el caso de que el átomo fuese, al igual que los demás que lo rodean, también de silicio. La estructura así creada se denomina semiconductor de **tipo P** (positivo).

Otro posible dopante para el silicio es el fósforo. En este caso al tener un electrón de enlace más que el silicio y sustituir un átomo de fósforo y un átomo de silicio en la red cristalina, el electrón sobrante queda libre y el semiconductor se llama de **tipo N** (negativo).

Nótese que en ambos casos la carga eléctrica neta del cristal sigue siendo rigurosamente cero, ya que cada átomo tiene igual número de protones que de electrones, equilibrándose sus cargas. Los nombres de "positivo y negativo" hacen referencia a una carga aparente que queda libre en la red cristalina pero no a un estado eléctricamente descompensado.

Si ambas regiones, la P y la N, se disponen adyacentes una a la otra, algunos de los electrones libres de la región N pueden difundirse hasta la zona P, atravesando la frontera entre ambas y ocupando los huecos libres de la misma. Así, la zona inmediata a la frontera de separación queda ahora cargada negativamente en el semiconductor P y positivamente en el N. Se crea así una típica unión P-N en la cual el campo eléctrico creado como consecuencia del paso de las cargas antes mencionadas establece una barrera de potencial que impide que el proceso de paso de electrones continúe indefinidamente.

En estas condiciones, si incide luz y los fotones comunican energía a los electrones del semiconductor, algunos de estos electrones pueden atravesar la barrera de potencial siendo expulsados fuera del semiconductor, a través de un circuito externo, y vuelven a entrar en el semiconductor por la cara opuesta.

El material semiconductor en ningún momento almacena energía eléctrica como lo haría por ejemplo, un acumulador electroquímico, sino que lo único que hace es generarla, o mejor, transformar la energía radiante únicamente cuando ésta incide sobre él.

No todos los fotones se comportan del mismo modo en la producción de electricidad por el efecto fotovoltaico. Unas frecuencias son más apropiadas que otras para producir el efecto, según los tipos de materiales semiconductores utilizados.

La respuesta espectral es una medida de la eficiencia con que en un determinado dispositivo fotovoltaico se produce la conversión para una determinada frecuencia:

Energía luminosa --- Energía eléctrica

Como la luz solar que llega hasta nosotros está formada por una mezcla de fotones de frecuencia diferentes, dentro de un amplio rango, la eficiencia de conversión será la conjunción de la respuesta espectral para cada frecuencia, dando un resultado global para cada material utilizado.

La Física Cuántica predice una eficiencia máxima teórica para la célula a base de silicio de un 23%, valor cercano al obtenido en laboratorio, pero para las células comerciales obtenidas en procesos industriales dicho valor no supera actualmente el 16%. Para otros materiales el rendimiento es incluso menor, aunque puede aumentarse elevando la intensidad de la radiación incidente mediante algún dispositivo concentrador.

En cualquier caso, aunque se rozacen en el futuro los máximos rendimientos teóricos alcanzables, sólo una pequeña parte de la energía solar incidente podría ser convertida en energía eléctrica, a diferencia de lo que ocurre en los procesos solares térmicos directos en los que, si las condiciones son favorables, los colectores solares térmicos pueden trabajar con rendimientos de hasta el 80%. Este hecho impone una primera limitación a la potencia eléctrica obtenible.

4.3.2. EL PANEL FOTOVOLTAICO

La célula fotovoltaica

Una célula fotovoltaica es una unidad formada por materiales semiconductores capaces de producir, mediante una unión P-N, una barrera de potencial que haga posible el efecto fotovoltaico. El tamaño de cada célula, que depende fundamentalmente del proceso de fabricación, varía normalmente desde unos pocos centímetros cuadrados hasta 100 cm² o más, y su forma es circular, cuadrada o derivada de estas dos geometrías. Los rendimientos de las células solares, han variado con el tiempo, como se aprecia en la figura IV.8.

El panel fotovoltaico

Las células se interconectan en serie, en un grupo de 4 a 6 formando un panel, con este arreglo los electrones expulsados de una son recogidos por la siguiente comunicándoles energía adicional, a fin de lograr una diferencia de potencial para el circuito exterior que sea adecuada a efectos prácticos².

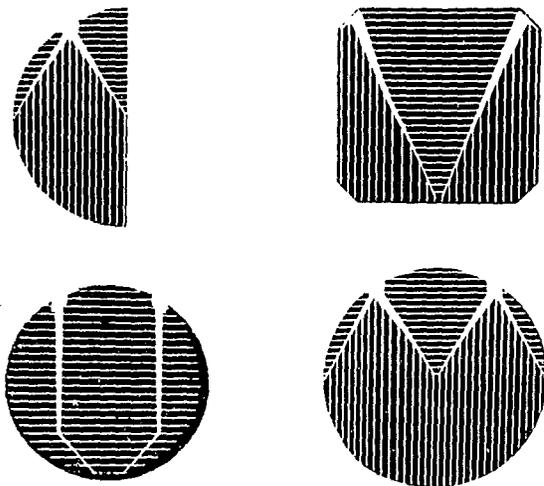


Fig. IV.7 Diferentes diseños de la parrilla conductora de una célula solar.

Tipos de células

Atendiendo a la naturaleza y características de los materiales semiconductores que las forman, las células fotovoltaicas pueden clasificarse en varios grupos.

silicio puro monocristalino
silicio policristalino cuadrado
arseniuro de galio

El tipo de célula más común, y también el primero que se produjo industrialmente, es el formado por **silicio puro monocristalino**. Otro tipo es derivado del

² Normalmente una diferencia de potencial entre 6 y 24 V.

proceso de fabricación del primero, las células policristalinas cuadradas, estas células han alcanzado una amplia comercialización aunque sus rendimientos son algo menores que las monocristalinas pues su precio es también inferior. Por último otro tipo es la célula de **arseniuro de galio**, que con un dispositivo concentrador alcanza eficiencias teóricas de hasta 31%. La figura IV.8 muestra la evolución de los rendimientos de las células.

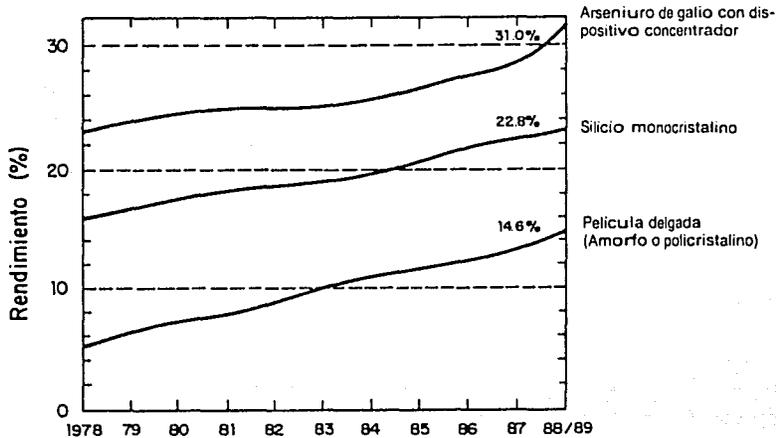


Fig. IV.8 Evolución de los rendimientos (en laboratorio) de las células solares.

La célula final producida tiene un rendimiento aproximadamente igual a la mitad del máximo teórico del material de que está construida. Esta pérdida de rendimiento se debe a tres causas principalmente:

1. Pérdidas por reflexión, las cuales, aunque han sido reducidas, nunca es posible hacerlas desaparecer totalmente.
2. Los fotones que inciden sobre la rejilla metálica en vez de sobre el material semiconductor se pierden, no produciendo el efecto fotovoltaico.
3. Al circular la corriente a través de la célula se produce una pequeña pérdida por efecto Joule.

Por lo anterior, el rendimiento de una célula monocristalina de silicio no suele superar el 15%. El proceso de conexión de las células es automático, efectuándose mediante soldaduras especiales que unen el dorso de una célula con la cara frontal de la adyacente.

Para producir un panel de 12 voltios nominales usualmente se necesita un número de células entre 30 y 40, según las características de las mismas.

Las pruebas que cada panel debe pasar satisfactoriamente antes de ser definitivamente destinado al comercio son muy rigurosas, pues no ha de olvidarse que éste elemento estará expuesto durante muchos años a las más duras condiciones de intemperie, que pueden variar desde un calor extremo hasta temperaturas de frío glacial, pasando por vientos huracanados, atmósferas húmedas, etc.

Es pues necesario garantizar un perfecto comportamiento frente a todos estos agentes, asegurando que el panel generará electricidad con un rendimiento óptimo durante al menos 20 años consecutivos sin necesidad de reparación y con un mínimo mantenimiento.

Algunos paneles destinados a usos especiales deben resistir también una serie de pruebas adicionales, como la de inmersión en agua salada a presión, el impacto contra el suelo dejados caer de una cierta altura, sometidos a vibraciones, etc.

4.3.3. COMPONENTES DE LA INSTALACION FOTOVOLTAICA

Acumuladores o baterías

Una batería es un dispositivo acumulador, en el cual la energía eléctrica es convertida en energía química, almacenándose en ésta y siendo convertida en energía eléctrica para su uso.

Las principales aplicaciones de los acumuladores son:

1. Suministrar una potencia instantánea, o durante breves momentos, superior a la que el campo de paneles podría generar aún en los momentos más favorables posibles.
2. Mantener un nivel de tensión estable.

Las baterías están formadas por un conjunto de celdas conectadas en serie para obtener el voltaje deseado. Una celda con alta eficiencia, es aquella en la cual la energía eléctrica entregada cuando se descarga, es similar a la energía química transformada en la celda. Por lo que el proceso electroquímico deberá ser lo más reversible posible.

La capacidad de una batería, está en función de los amperes-hora que puede entregar continuamente por un tiempo determinado antes de que el voltaje de salida empiece a decaer de cierto valor mínimo. Este valor mínimo depende del tipo de batería y del fabricante. Para baterías estacionarias, la capacidad está basada en proporción a ocho horas de descarga (para baterías de vehículos a seis horas de descarga).

Reguladores

El regulador, como elemento de seguridad y protección de la batería, siempre es recomendable. Sin embargo, hay casos en que puede no resultar imprescindible. En instalaciones en las que la relación entre la potencia de los paneles y la capacidad de la batería es muy pequeña (caso de baterías sobredimensionadas por razones de seguridad u otras razones), la corriente de carga difícilmente podrá llegar a producir daños a la batería.

Transformadores

Los transformadores son dispositivos capaces de alterar la tensión y características de la corriente eléctrica que reciben, transformándola de manera que resulte más apta para los usos específicos a que va destinada en cada caso.

Los transformadores que reciben corriente continua a un determinado voltaje y la transforman en corriente continua pero a un voltaje diferente reciben la denominación de convertidores CC-CC y los que transforman corriente continua en alterna se denominan convertidores CC-CA.

Los transformadores CC-CA permiten transformar la corriente continua de 12 o 24 V que producen los paneles y almacenarla en corriente alterna de 125 o 220 V, como la que normalmente se utiliza en los lugares donde llega la corriente eléctrica convencional.

Otros elementos

Además de los tres elementos característicos de la mayoría de las instalaciones fotovoltaicas, existen varios accesorios, que aunque no estrictamente imprescindibles, son recomendables en aras de una mayor seguridad o control de la instalación. A menudo estos elementos vienen presentados por los distintos fabricantes en carcasas que agrupan varios de ellos para facilitar su montaje. Los más característicos son:

- Alarmas y desconectores por bajo voltaje
- Programadores horarios³

³ Admiten programar conexiones del servicio de un mínimo de media hora a lo largo de las 24 hrs del día.

Temporizadores⁴
Dispositivos de control y medida
Fusibles y elementos de protección
Elementos de iluminación

4.3.4. ESTRUCTURA DE SOPORTE Y ANCLAJE

Importancia

El bastidor que sujeta al panel, la estructura soporte del mismo, y el sistema de sujeción son tan importantes como el propio panel, pues un fallo en estos elementos conlleva la inmediata paralización de la instalación.

Muchas veces los fabricantes del panel suministran los elementos necesarios para proceder a un complejo montaje. Otras, es el propio proyectista quien, haciendo uso de los elementos que se encuentran en el mercado, construye una estructura adecuada para el panel.

El principal enemigo para determinar esta estructura, no es el peso de los paneles, sino la fuerza del viento que, puede llegar a ser muy considerable.

Si, debido a un viento huracanado, se desprenden algunos paneles, es casi seguro que al caer al suelo resultarán rotos o muy dañados, habiendo de ser sustituidos. Dado el elevado costo de estos elementos, se comprende la necesidad de cuidar que la estructura de soporte y sujeción sea lo suficientemente segura y sólida, aún a riesgo de parecer exageradamente fuerte. En cualquier caso, la estructura deberá resistir vientos de, como mínimo, 150 km/h.

Inclinación

La estructura también cumple la importante misión de fijar la inclinación que tomarán los colectores (que se instalarán siempre mirando al Sur) y que es recomendable sea la siguiente:

De 15° a 20° mayor que la latitud del lugar.
En México, que fluctúa en el orden de los 15° a 25°N,
es recomendable entre 30° y 40° de inclinación.

⁴ Para que suene una alarma o encienda una luz cuando una célula fotoeléctrica detecte el paso de una persona, únicamente el tiempo justo para permitir la visión de un transeúnte.



Fig. IV.9 Estructura de soporte de vigas de acero.

La razón de aumentar un poco más la inclinación de los paneles fotovoltaicos se debe a que se hace preciso intentar captar toda la energía posible en los meses más desfavorables (invierno).

Tipos de estructuras de sujeción

Según los casos y las características de la instalación, los paneles fotovoltaicos pueden instalarse en estructuras que descansen sobre el suelo, sobre un paramento vertical, sobre el tejado, terraza, etc. En la figura IV.10, se observa el perfil y alzado posterior de una estructura modular con capacidad para nueve paneles en cada módulo.

En grandes instalaciones fotovoltaicas es recomendable, debido a la cantidad de paneles, que las estructuras descansen sobre el suelo o bien en un paramento vertical.

En el suelo, la estructura deberá permitir una altura mínima del panel de 30 cm, la cual en zonas de montaña o donde se produzcan abundantes precipitaciones de nieve deberá de ser superior, a fin de evitar que los paneles sean parcial o totalmente cubiertos por las sucesivas capas de nieve depositadas en invierno.

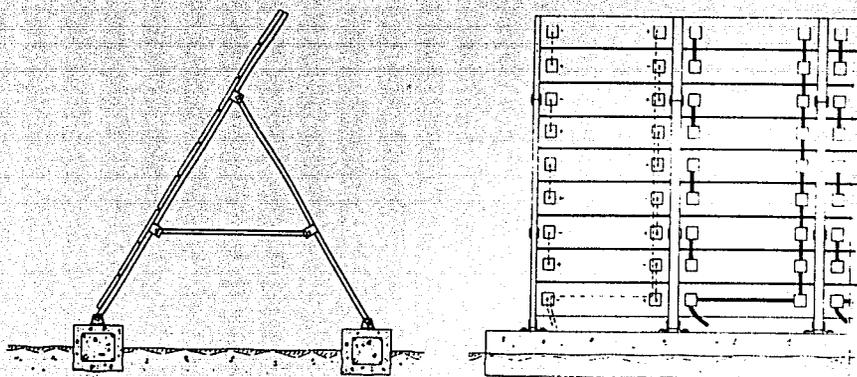


Fig. IV.10 Perfil y alzado posterior de una estructura modular con capacidad para nueve paneles en cada módulo.

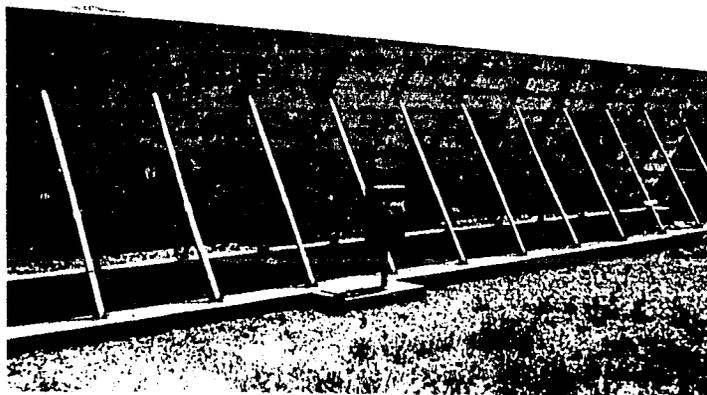


Fig. IV.11 Estructura modular de fácil transporte hasta el lugar de la instalación.

Si la base donde descansa la estructura es de concreto, es conveniente reforzarlo en sus extremos mediante varillas de acero. El procedimiento más empleado en instalaciones fotovoltaicas, es el de anclar la estructura sobre la base de concreto consiste en utilizar unas piezas metálicas que se introducen en el momento de colar el concreto y al fraguar quedan firmemente sujetas.

Cargas a considerar en el diseño

Los requerimientos estructurales más importantes en la instalación del equipo de energía solar son las siguientes:

- cargas muertas
- cargas vivas
(nieve, hielo, granizo)
- cargas por viento
- cargas sísmicas
- cargas dinámicas
(paneles tipo "seguidor de Sol")

Los componentes del sistema de energía solar deben de estar contruidos e instalados correctamente, para que puedan soportar todas las cargas a las que pueden estar sujetos. Debido a la magnitud de las cargas a considerar, donde las de mayor importancia son las de viento, es a ésta a la que se le debe conceder un factor de seguridad de al menos 1.5, ya que debido a la fragilidad de las células, resultaría muy costoso que la estructura de soporte fallara.

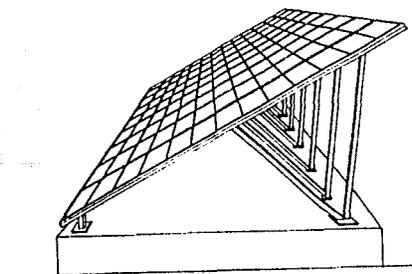


Fig. IV.12 Diseño de estructura para grandes instalaciones apoyadas en zapatas de concreto armado.

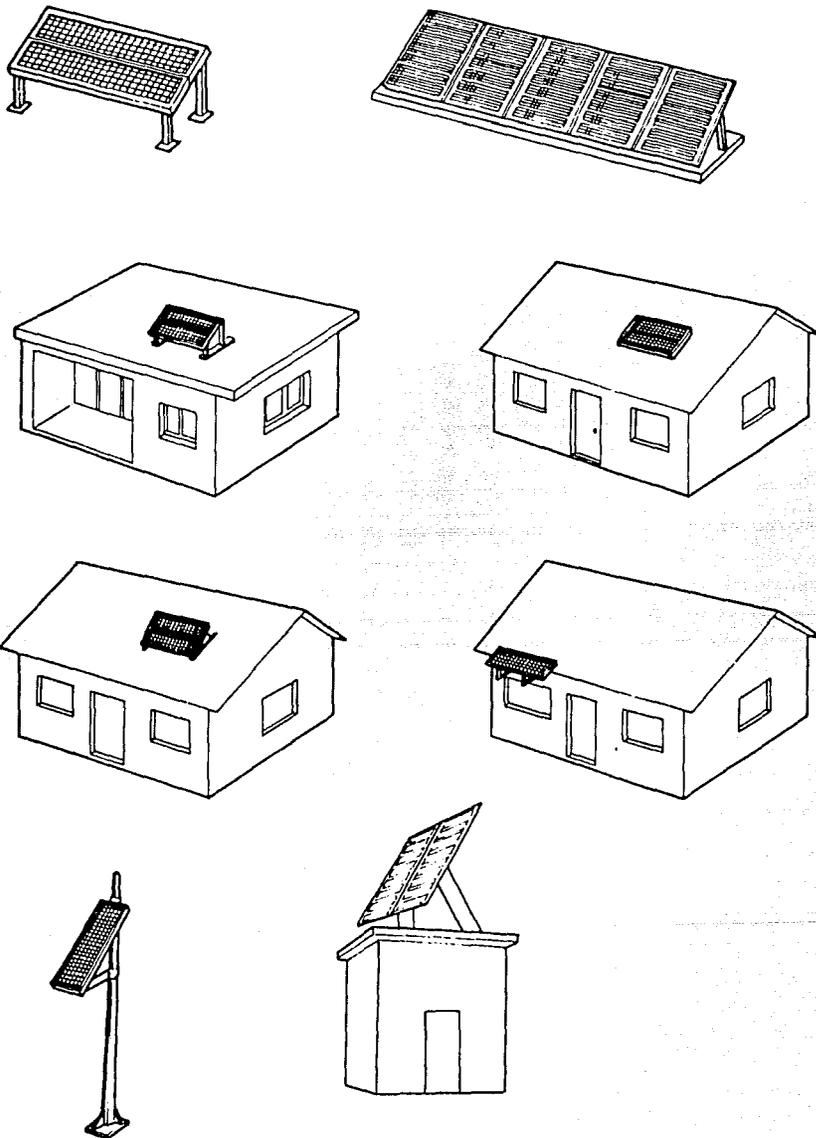


Fig. IV.13 Diferentes posibilidades de donde y como situar los paneles fotovoltaicos.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO IV

1. E. Murguía, "Evaluación, efectos y solución de la contaminación del agua", F.I., México, 1983, págs. 122-124
2. E.W. Steel, T.J. McGhee, "Water Supply and sewerage", McGraw-Hill, E.U., 1979, págs. 438-442, 456-470
3. G.M. Fair, J.Ch. Geyer, D.A. Okun, "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, Volumen II", Limusa Noriega, México, 1989, págs. 87
4. J. Béchaux, "Manual técnico del agua / Mémento technique de l'eau", Degrémont, España, 1979, págs. 105, 211-215, 328-331, 341, 349-351, 427
5. Apuntes de la clase "Tratamiento de aguas residuales", del M.enl. C. Gutierrez, F.I., U.N.A.M., México, 1992
6. R.L. Bailey, "Direct solar - electric research and development", Ann Arbor Science, Michigan, E.U., 1980, págs. 102-108
7. C.C. Cobarg, "Energía solar, bases y aplicaciones", Madrid, España, 1983, págs. 22-80
8. C. Vauge, "Le choix solaire, une énergie qui entre dans la vie quotidienne", Tchou, Francia, 1979, págs. 131-152
9. M. García G., "Energía cólica", Progensa, Sevilla, España, 1987, págs. I 3-5
10. F.L. Brown, "Engineering Mechanics", John Willey & Sons, Inc., E.U.A., 1949, págs. 129-130
11. Meli Piralla, "Diseño Estructural", Noriega Editores Limusa, México, 1991, págs 201-207

Capítulo V

VENTAJAS TECNICO-ECONOMICAS

El estudio y análisis para determinar la conveniencia de proveer de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos a una planta de tratamiento de aguas residuales, conlleva a un estudio minucioso de los factores y variables que intervienen para ello.

En este capítulo se pretende enunciar cuales son algunos de esos factores, así como el proporcionar información adecuada para la realización de estudios más detallados.

5.1. ASPECTOS TECNICOS DEL SISTEMA PTAR-ES

La viabilidad técnica en un sistema PTAR-ES (Planta de Tratamiento de Agua Residual - Energía Solar), la componen las características técnicas, tanto de las plantas de tratamiento de aguas residuales, como de las correspondientes a una planta solar fotovoltaica.

Estos aspectos tienen muchas consideraciones y variables, algunas de las más importantes en cada planta son las siguientes:

5.1.1. POR PARTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

- 1: Gasto (caudal) de diseño de aguas residuales a tratar en la planta de tratamiento.

-
2. Calidad de las aguas residuales y grado de contaminación.
 3. Tipo de procesos a utilizar en el tren de tratamiento del agua residual. En este punto toma especial importancia la calidad del agua a tratar y la cantidad, ya que debido a estos dos factores principalmente se definirá el proceso de tratamiento.
 4. Demanda de energía eléctrica del equipo necesario en los diferentes procesos de tratamiento.
 5. Topografía del lugar para dimensionar las diferentes áreas del proceso. Son preferibles los lugares sin accidentes topográficos severos.
 6. Planes de ampliación y expansión de la planta en el futuro.

5.1.2. POR PARTE DE LA PLANTA DE ENERGIA SOLAR

1. Area superficial suficiente para la instalación del equipo requerido, así como de la indispensable para evitar sombras a los equipos.
2. Clima solar del lugar donde se proyecta instalar la planta de energía solar.
3. Condiciones atmosféricas locales. Necesarias para el adecuado diseño de la estructura de soporte y las protecciones al sistema. En especial el viento.
4. Considerar la posibilidad de aumento de la potencia instalada, conforme vayan siendo mayores las necesidades del sistema.

Una vez analizados y cuantificados los factores antes mencionados, puede ser una posible guía de partida para determinar la viabilidad técnica de la instalación del sistema PTAR-ES.

El concepto de rentabilidad de una instalación fotovoltaica adquiere matices distintos al de cualquier otra instalación energética, el cual conviene precisar.

En una instalación solar fotovoltaica, el factor de más peso a la hora de decidir si ésta resulta o no viable es el ahorro potencial que la misma produciría durante sus años de vida útil, lo cual se refleja en ciertos índices que miden su rentabilidad. Aunque no en todos los casos el factor económico es determinante.

Una instalación autónoma de generación de electricidad puede resultar necesaria por dos razones:

1. Por ser precisa una autonomía de abastecimiento total, como puede ser el caso de ciertas instalaciones que no pueden depender de una alimentación externa de energía.
2. Por no llegar hasta el lugar en que se precisa el consumo la red general de distribución de electricidad.

En el primer caso, habría que valorar todos los factores concretos que afecten a cada aplicación, teniendo en cuenta los condicionantes impuestos tomando la decisión que se considere oportuna una vez analizadas toda la información y posibilidades.

En el segundo caso se tienen a su vez dos opciones claramente diferenciadas: optar por la instalación de una subestación eléctrica, o por el tendido de una línea nueva de distribución desde el punto más cercano de la red general.

En la valoración de la energía fotovoltaica es preciso tener en cuenta que en la mayoría de las aplicaciones habituales se habla de consumo en W·h y de potencia en W, mientras que estamos acostumbrados a hacerlo en kW·h y en kW cuando nos referimos a consumos de energía eléctrica proveniente de la red general.

5.1.3. COMPARACION DE EFICIENCIAS

El investigador W. Palz en 1978 elaboró una tabla de comparación de eficiencias entre los paneles solares fotovoltaicos y otros métodos de producción de electricidad (Tabla V.1). Los avances tecnológicos han logrado superar estas eficiencias algunos puntos porcentuales, pero los márgenes de diferencia entre uno y otro no han tenido grandes variaciones.

METODO	EFICIENCIA
Plantas fotovoltaicas	5 - 10
Centrales solares receptoras	6 - 10
Plantas parabólicas solares	6 - 10
Plantas de conversión eólica	3 - 7
Plantas hidroeléctricas	50 - 70
Plantas de combustóleo	11

Plantas de carbón	20
Plantas nucleares	19
Automotores de combustión interna	5

Tabla V.1 Comparación de eficiencias entre varios metodos de producción de electricidad.

5.2. ASPECTOS ECONOMICOS DEL SISTEMA PTAR-ES

En el caso de una instalación fotovoltaica, no siempre resulta posible cuantificar en términos económicos la rentabilidad de una instalación, pues el factor económico no es el principal determinante para decidirse o no por su realización. Pensemos por ejemplo, en el caso de lagos o lagunas que conformen un paisaje turístico o que integren un desarrollo turístico y de descanso, o bien, rios que confluyan para su posterior potabilización para el consumo humano; estos ejemplos, trascienden a cualquier consideración económica.

Por otra parte, también existen otros casos, como islas o poblaciones rurales en lugares remotos, en que no existe ninguna otra alternativa viable para producir electricidad de forma segura y duradera, por lo que no es posible efectuar comparaciones de costos con otras energías convencionales.

En la valoración de la energía fotovoltaica es preciso tener en cuenta la limitación de consumo que esta opción conlleva. No obstante, una instalación fotovoltaica como complemento o incluso como única fuente energética para un sistema PTAR-ES es apreciablemente viable y aconsejable por las ventajas que representa frente a otras posibles alternativas.

5.2.1. DATOS PARA PRESUPUESTO DE UNA PLANTA SOLAR

Para la elaboración del presupuesto es preciso actualizarse en los precios de mercado en la fecha de elaboración del mismo de todos los componentes de la instalación, que no son numerosos.

Las partidas más importantes corresponderán lógicamente a los correspondientes paneles y a la batería de acumuladores. Los precios unitarios mínimos a desglosar son los siguientes:

- Paneles
- Estructura de paneles
- Obra de albañilería necesaria
- Cableado
- Reguladores
- Acumuladores (baterías)

- Transformadores (convertidores)
- Otros sistemas de control y regulación
- Elementos de consumo (luminarias)
- Otros elementos auxiliares del circuito de consumo (interruptores, llaves, etc)
- Transporte
- Mano de obra

Según W.Palz, el costo de una planta solar fotovoltaica puede ser estimado tomando en cuenta que el costo de la planta en términos de Pesos por Kilowatt (kW) de potencia instalada, puede ser desglosado en 3 factores:

1. La relación de costo-arreglo por unidad de área contra la potencia por unidad de área.
2. El costo por almacenamiento.
3. El costo de transformación del voltaje

Quedando una ecuación de la siguiente forma:

$$\begin{array}{r}
 \text{Costo de} \\
 \text{la Planta} = \\
 (\$/kW)
 \end{array}
 =
 \frac{\text{Costo del arreglo por m}^2}{\text{Eficiencia de la planta} \times \text{Insolación por m}^2}
 (\$/kW)
 +
 \text{Costo por almacenamiento}
 (\$/kW)
 +
 \text{Costo por Transform.}
 (\$/kW)$$

5.2.2. COSTOS DE OPERACION DE UNA P.T.A.R.

Según un análisis de costos para la producción de un metro cúbico de agua tratada, realizado por dos importantes plantas de tratamiento de aguas residuales en México, se llegó a los siguientes porcentajes de afectación:

Planta de San Luis Tlaxialtemalco

CONCEPTO	\$/mes	%
Sueldo del personal	9 x 10 ⁶	19.7
Fondo revolvente	5 x 10 ⁶	10.9
Energía eléctrica	18 x 10 ⁶	40.0
Lubricantes, combustible	2.5 x 10 ⁶	5.4
Gas - cloro	4 x 10 ⁶	8.8
Mantenimiento y conservación	7 x 10 ⁶	15.2
TOTAL	45.5 x 10⁶	100.0

Los precios son de Octubre de 1991,

La planta trata un gasto de 75 l/s = 0.075 m³/s = 6,480 m³/día

Trata un gasto por mes de 150,060 m³,

El precio resultante es de \$ 303.33 /m³

Planta de Cerro de la Estrella

CONCEPTO	\$/mes	%
Sueldo del personal	25.5 x 10 ⁶	21.5
Fondo revolvente	0.2 x 10 ⁶	0.2
Energía eléctrica	40.8 x 10 ⁶	35.0
Cloro	0.2 x 10 ⁶	0.2
Vehículos	1.6 x 10 ⁶	1.1
Mantenimiento y conservación	49.5 x 10 ⁶	42.0
TOTAL	117.8 x 10⁶	100.0

Los precios son de Octubre de 1990,
 La planta trata un gasto de 3000 l/s = 3.0 m³/s
 Y un volúmen mensual de 1'814,400 m³,
 El precio resultante es de \$ 65.42 /m³

Como se aprecia, en la primera planta, la erogación máxima la representa la energía eléctrica, y al aumentar las instalaciones de la planta para un caudal mayor, (de 3 m³/s) aumenta el mantenimiento y la conservación.

5.2.3. COSTOS DE INSTALACION DE UNA PLANTA DE E.S.

Con estadísticas de CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar, España), se tiene en la tabla V.2. para las partidas indicadas, los porcentajes del costo sobre el costo total de instalación de una planta de energía solar fotovoltaica.

Tabla V.2 Costos de instalación de una planta de energía solar fotovoltaica

PARTIDA	%
Módulos fotovoltaicos	32.4
Estructura de soporte de aluminio	1.3
Baterias fotovoltaicas plomo-ácido	21.3
Regulador	1.3
Sistemas de regulación y control	7.1
Cableado	3.4
Elementos de consumo	1.0
Transformador	2.5
Elementos auxiliares del circuito	2.9
Transporte de material	3.2
Mano de obra	6.5
Imprevistos	1.0
Honorarios Técnicos	5.0
Control de calidad	1.0
Impuestos (10% IVA)	10.0
TOTAL	100.0

Para México dichos porcentajes sobre el costo total de instalación de una planta de energía solar corresponden a los siguientes valores aproximados mostrados en la tabla V.3.

Tabla V.3 Costos de instalación de una planta solar fotovoltaica en México

PARTIDA	%
Módulos fotovoltaicos	42.0
Estructura de soporte de fierro	2.0
Baterías fotovoltaicas plomo-ácido	18.2
Regulador	2.0
Sistemas de regulación y control	7.0
Cableado	2.1
Elementos de consumo	1.0
Transformador	2.0
Elementos auxiliares del circuito	2.5
Transporte de material	2.0
Mano de obra	3.1
Imprevistos	1.0
Honorarios Técnicos	5.0
Control de calidad	0.1
Impuestos (10% IVA)	10.0
TOTAL	100.0

5.3. VENTAJAS

En cuanto a las ventajas de un sistema fotovoltaico frente a otros sistemas autónomos, como los tradicionales generadores eléctricos por combustible líquido, o los más recientes aerogeneradores, han de buscarse en las excepcionales cualidades que los paneles solares presentan y que en síntesis son:

- Pocas posibilidades de averías y un mínimo de mantenimiento, ya que es el único sistema autónomo que carece de partes móviles.
- No hay que preocuparse del suministro de combustible (ni de pagar su costo).
- Ausencia de emisión de contaminantes al medio.
- Ausencia de contaminación por ruidos molestos.
- Resistencia a condiciones atmosféricas duras.
- Instalación relativamente simple.
- Posibilidad de ir aumentando la potencia instalada a voluntad, conforme vayan siendo mayores las necesidades del sistema.

No obstante, existen zonas de abundante viento en que los generadores eólicos resultan apropiados en combinación con la instalación fotovoltaica. En el apéndice E se tratan brevemente algunos conceptos de los aerogeneradores eólicos.

Los generadores de gasolina presentan su máxima competencia en aquellos casos en que la potencia necesaria es lo suficientemente grande como para que la opción fotovoltaica requiera un número de paneles demasiado elevado (con el consiguiente aumento en el costo).

En este rango de aplicación todavía puede resultar rentable la adopción de un generador convencional, aún sin las ventajas citadas para los paneles de energía solar fotovoltaica.

Por supuesto, la mayor o menor insolación de la región es otro factor determinante para decidir una u otra opción.

Es conveniente justificar la conveniencia de una instalación fotovoltaica con un pequeño estudio de comparación frente a otras posibles alternativas, en el que se tendrán en cuenta tanto los factores de tipo económico como de otra naturaleza, como el de la contaminación, etc., un argumento importante a favor de la energía fotovoltaica es su compatibilidad con el ambiente natural.

5.4. DATOS TECNICOS COMERCIALES

5.4.1. ARCO SOLAR, INC CA. E.U.

Módulo solar G4000

Potencia	30.0 Watts
Voltaje	16.5 Volts
Corriente de cortocircuito	2.2 Amperios
Voltaje de circuito abierto	23.0 Volts
Peso	8.1 kg
Largo	128.0 cm
Ancho	41.0 cm
Espesor	1.0 cm

Módulo solar G100

Potencia	5.0 Watts
Voltaje	14.5 Volts
Peso	1.7 kg
Largo	34.7 cm
Ancho	33.0 cm
Espesor	1.0 cm

Módulo solar G50

Potencia	2.5 Watts
Voltaje	14.5 Volts
Peso	0.8 kg
Largo	26.0 cm
Ancho	25.2 cm
Espesor	1.0 cm

Módulo solar G25

Potencia	1.0 Watts
Voltaje	14.5 Volts
Peso	0.45 kg
Largo	19.8 cm
Ancho	18.0 cm
Espesor	1.0 cm

5.4.2. ATERSA - ISOFOTON Madrid, España

Módulo solar M 40 L ¹

Potencia	39.5 Watts
Voltaje	16.0 Volts
Corriente de corto	2.8 Amperios
Intensidad media de carga	2.6 Amperios
Eficiencia del módulo	9.8 %
Peso	5.2 kg
Largo	122.2 cm
Ancho	32.8 cm
Espesor	5.2 cm

Características del módulo:

Células solares de silicio monocristalino.

Células texturizadas químicamente que mejoran su comportamiento antirreflexivo.

¹ Las especificaciones son en condiciones de prueba estandar de: 1000 W/m², temperatura de la célula de 25°C y una masa de aire de 1.5

Circuito laminado entre dos capas de Etilen-Vinil-Acetato con máxima protección contra la humedad.

Cara activa protegida con vidrio templado de alta transmisividad con tratamiento antirreflexivo.

Cara posterior protegida con un laminado de Tedlar-Poliester-Tedlar opaco, de color blanco o negro.

Marco de perfil de aluminio anodizado.

Dos cajas de conexión intemperie con regleta de conexión múltiple y accesorios pasamuros.

Toma de tierra exterior.

Probado en el laboratorio para unas condiciones de trabajo muy amplias de -40°C a 90°C y entre 0 y 100% de humedad relativa.

Garantía de 5 años contra todo defecto de fabricación.

Autorizado por el Ministerio de Industria y Energía.

Módulo solar M 45 L Autoregulado ²

Potencia	36.0 Watts
Voltaje	14.5 Volts
Corriente de cortocircuito	2.8 Amperios
Voltaje de circuito abierto	17.6 Volts
Eficiencia del módulo	10.2 %
Peso	4.7 kg
Largo	108,5 cm

² Las especificaciones son en condiciones de prueba estandar de: 1000 W/m^2 , temperatura de la célula de 25°C y una masa de aire de 1.5

Ancho	32.8 cm
Espesor	5.2 cm

Características del módulo:

30 Células solares conectadas en serie.

Células solares de silicio monocristalino.

Células texturizadas químicamente que mejoran su comportamiento antirreflexivo.

Circuito laminado entre dos capas de Etilen-Vinil-Acetato con máxima protección contra la humedad.

Cara posterior protegida con un laminado de Tedlar-Poliéster-Tedlar opaco, de color blanco o negro.

Marco de perfil de aluminio anodizado.

Dos cajas de conexión intemperic con regleta de conexión múltiple y accesorios pasamuros.

Toma de tierra exterior.

Probado en el laboratorio para unas condiciones de trabajo muy amplias de -40°C a 90°C y entre 0 y 100% de humedad relativa.

Garantía de 5 años contra todo defecto de fabricación.

Autorizado por el Ministerio de Industria y Energía.

Módulo solar M 75 L de alta eficiencia ³

Potencia	47.0 Watts
Voltaje	16.0 Volts
Corriente de cortocircuito	3.3 Amperios
Voltaje de circuito abierto	19.9 Volts
Eficiencia del módulo	11.8 %
Peso	5.2 kg
Largo	122.2 cm
Ancho	32.8 cm
Espesor	5.2 cm

Características del módulo:

33 Células solares de alta eficiencia de silicio monocristalino para la conversión tanto de la luz directa como difusa en electricidad.

Células con revestimiento antireflector y eléctricamente aparcadas para un mismo módulo.

Circuito laminado entre dos capas de Etilen-Vinil-Acetato con máxima protección contra la humedad.

Cara activa protegida con vidrio templado de alta transmisividad con tratamiento antireflexivo.

Cara posterior protegida con un laminado de Tedlar-Poliéster-Tedlar opaco, de color blanco o negro.

Marco de perfil de aluminio anodizado.

Diseño compacto para mayor facilidad de

³ Las especificaciones son en condiciones de prueba estandar de: 1000 W/m², temperatura de la célula de 25°C y una masa de aire de 1.5

instalación.

Dos cajas de conexión intemperie con regleta de conexión múltiple y accesorios pasamuros.

Toma de tierra exterior.

Probado en el laboratorio para unas condiciones de trabajo muy amplias de -40°C a 90°C y entre 0 y 100% de humedad relativa.

Garantía de 5 años contra todo defecto de fabricación.

Autorizado por el Ministerio de Industria y Energía.

5.4.3. SOLAREX Gland, Suiza

ESPECIFICACIONES PRELIMINARES DE LOS PANELES SOLARES ELECTRICOS SERIE SX

Solarex combina la técnica revolucionaria del silicio semicristalino con un proceso altamente avanzado en la producción de células solares, para presentar la nueva generación en la tecnología fotovoltaica: los paneles serie SX. Las células solares de silicio semicristalino de los paneles SX representa el primer avance comercial desde que se desarrolló la tecnología de las células de silicio monocristalino, tecnología aprendida de la industria de los semiconductores.

Cada panel solar eléctrico SX consta de 40 células semicristalinas anticorrosivas de 10 cm x 10 cm, conectadas en serie, encapsuladas en silicona y protegidas por un cristal templado en la cara exterior. El panel está montado sobre una estructura de aluminio anodizado con guías para simplificar su instalación.

Las 40 células conectadas en serie de los paneles SX, proporcionan unas características de operación superiores a las normales en climas calientes. a temperaturas elevadas de las células, como ocurre en climas desérticos, los paneles SX suministran un voltaje y una corriente de forma ininterrumpida a la batería de carga. Esta característica ofrece una gran ventaja sobre los paneles tradicionales los cuales poseen un menor número de células conectadas en serie. El voltaje adicional permite a su vez una mayor flexibilidad de sistema al poder ser mayores las pérdidas por tensión en cables, controles y conectores. Este margen de seguridad en el voltaje permite una mejor actuación del sistema bajo diversos climas y condiciones de diseño.

CARACTERISTICAS

- La célula solar de silicio semicristalino es sumamente eficaz bajo sombras debido a su gran poder de disipación del calor.
- La capa antirreflexiva a base de óxido de tantalio (método patentado por Solarex), permanece estable durante largo tiempo y asegura un máximo rendimiento de las células.
- Las soldaduras de níquel poseen elevada resistencia contra la corrosión y permiten un gran desarrollo de potencia.
- 40 células de silicio semicristalino de 10 x 10 cm conectadas en serie a temperaturas elevadas de más de 50°C.
- Caja de conexiones de aluminio UL de alta durabilidad en climas extremos.
- La estructura es de aluminio anodizado contra la corrosión. La parte posterior de la estructura contiene 2 guías una para la unión de los paneles y su montaje y la otra para una cobertura protectora adicional si se desea.

Características Eléctricas	SX100	SX110	SX120
Potencia (Watts)	32	36	40
Voltaje (Volts)	17	17.6	18.4
Corriente de cortocircuito (A)	2.2	2.3	2.4
Voltaje (V) de circuito abierto	22	22	22
Intensidad media de carga	2	2.2	2.3
Peso (kg)	9	9	9
Largo (cm)	110.5	110.5	110.5
Áncho (cm)	45.1	45.1	45.1
Espesor (cm)	2	2	2

5.4.4. BP SOLAR ESPAÑA Madrid, España

Modelo BP245 y BP250

Potencia (W)	45	50
Voltaje (V)	16.5	16.5
Voltaje de circuito abierto	20.5	20.5
Intensidad media de carga	2.75	3.03
Largo (cm)	95.6	95.6
Peso (kg)	5.2	5.2
Ancho (cm)	43.1	43.1
Espesor	3.9	3.9

Características del módulo:

Células fotovoltaicas cuadradas de silicio monocristalino altamente eficaces.

Altamente resistente al agua, la abrasión, el granizo, el impacto y otros factores climatológicos.

Bastidor ligero de aluminio anodizado con junta periférica de silicona acrílica.

Temperatura de funcionamiento de -55°C a +90°C.
humedad de funcionamiento de 0 a 100%.

Resistencia al viento hasta de 200 km/h.

5.4.5. TELEFUNKEN SYSTEM TECHNIK
Wedel, Holstein, Alemania

Módulo Solar PR 50/40/02 AEG

Potencia	19.2 Watts
Voltaje	12 Volts
Voltaje de circuito abierto	22 Volts
Corriente de cortocircuito	1.21 Aperiros
Peso	3.85 kg
Ancho	49,5 cm
Espesor	1.1 cm

Características de operación admisibles:

Temperatura de -50°C a +90°C

Anticorrosivo en ambientes marítimos.

Presión admisible de viento de 240 km/h

Resistente a impactos con piedras de granizo de hasta 200 mm de diámetro con una velocidad de choque de 25 m/seg.

Módulo totalmente aprobado por el Joint Research Center Ispra de la comisión de la CE según la norma de pruebas 501 para generadores solares.

Vida útil mínima de 20 años.

BIBLIOGRAFIA DEL CAPITULO V

1. CENSOLAR, "Sistemas de conversión eléctrica", Progensa, Sevilla, España, 1990, págs. 174-184, 194-196
2. W. Palz, "Solar electricity, an economic approach to solar energy", Butterworths, UNESCO, Paris, Francia, 1978, págs. 244-250
3. R.H. Montgomery, "Energía solar", Limusa, México, 1986, págs. 21.1-21.4
4. ARCO SOLAR, INC., Manuales técnicos, Camarillo, CA., E.U., 1992
5. ATERSA - ISOFOTON, Manuales técnicos, Madrid, España, 1992
6. ISOFOTON SA, Manuales técnicos, Málaga, España, 1991
7. SOLAREX, Manuales técnicos, Gland, Suiza, 1992
8. BP SOLAR ESPAÑA, Manuales técnicos, Madrid, España, 1988
9. TELEFUNKEN SYSTEM TECHNIK, Manuales técnicos, Wedel (Holstein), Alemania, 1992

Capítulo VI

CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES GENERALES

Las posibilidades casi ilimitadas que brinda la aplicación de la energía solar como energético primario, han llevado a técnicos e investigadores mexicanos a la realización de proyectos de investigación de nuevas tecnologías en el área de energéticos en donde la radiación solar y su conversión útil juegan un papel primordial.

El problema de los energéticos en los países del tercer mundo constituye un reto de desmesuradas proporciones, la exportación de los hidrocarburos genera divisas, pero los recursos naturales son finitos.

La estrategia recae en la utilización de nuevas fuentes de energía, que nos impulsa, en el medio rural sobre todo, a la adecuación de tecnologías propias de bajo costo susceptibles de ser transferidas de un lugar a otro con mano de obra barata y la utilización de materiales de la región.

Las energía solar aplicada al medio rural es una promesa inmediata, la adecuación de su uso trae consigo una concepción más realista y más apegada a la naturaleza misma.

Las ventajas técnico-económicas tratadas en el capítulo V, hacen concluir que esta aplicación energética en un sistema PTAR-ES es viable y aconsejable; y que el análisis económico comparativo frente a otras posibles alternativas, así como el análisis ecológico son necesarios para la toma de decisiones.

En las pequeñas localidades rurales aisladas de la República Mexicana, precisamente por su situación geográfica y la magnitud de la demanda, es donde son o serán primero competitivas las tecnologías solares. Pero los equipos resultan inaccesibles para una localidad rural, y es donde la intervención del Estado en su difusión y financiamiento sería un medio para hacer accesible esta tecnología.

Para estudiar la viabilidad y los impactos de la tecnología solar en pequeñas localidades debe considerarse que:

1. Su adopción, no representaría una erogación energética que afecte a los servicios públicos, incorporaría la utilización de la energía solar en procesos productivos.
2. Una comparación ventajosa en los costos de operación y mantenimiento de los equipos solares frente a otras alternativas.

Por las demandas de energía eléctrica tan bajas, se aprecian más convenientes para un sistema PTAR-ES los procesos de tratamiento de agua residual de reactor anaerobio, lagunas de oxidación, las zanjas de oxidación y los discos biológicos.

La desventaja principal de un sistema de reactor anaerobio es su baja capacidad de remoción de contaminantes con eficiencias de 50 a 70% en remoción de la DBO_5 . En cuanto a los procesos de lagunas de oxidación y zanjas de oxidación tienen el inconveniente de el área requerida tan grande, resultaría poco costeable un proceso de este tipo para gastos pequeños y otra desventaja es la similitud en cuanto a su eficiencia de remoción de la DBO_5 .

Queda como una opción más viable el sistema de biodisco por los consumos bajos de energía, por requerir de una pequeña área de terreno para su proceso de tratamiento y por su alta eficiencia en la remoción de materia orgánica, 95% en la DBO_5 . El inconveniente es que ésta última a diferencia de las tres primeras, a un gasto moderado (no mayor a 25 l/s) con el fin de evitar que el costo por almacenamiento de energía se dispare. En resumen, es aconsejable la opción de un sistema PTAR-ES con un proceso de biodisco por las siguientes razones:

1. Es uno de los sistemas que tiene mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica.
2. Requiere de poca área en gastos menores. Quizá ésta sea la principal vinculación que presenta, ya que, al requerir la planta fotovoltaica una extensa área de terreno y la limitante de grandes producciones de energía para grandes gastos, se realiza una adecuada compensación.
3. Bajo consumo de energía del sistema de biodisco.
4. Fácil operación del sistema de biodisco y fácil operación del sistema fotovoltaico, con lo que no se requiere de personal altamente calificado.
5. El sistema de biodisco tiene gran flexibilidad para el control del proceso.
6. Tanto el sistema de biodisco como el solar requieren de poco mantenimiento.

6.2. EVALUACION BASICA EN LA PTAR DE C.U., EN LA UNAM

Con el propósito de obtener resultados para establecer conclusiones palpables y cercanas a la realidad, se realizó una pequeña evaluación básica para calcular el número de paneles solares fotovoltaicos en la implantación de un sistema PTAR-ES en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria, en la UNAM., detallada en el apéndice F.

Dicha evaluación, se fundamenta en las bases, información y principios que se tratan a lo largo de los Capítulos I a V de ésta tesis.

El apéndice F contiene la información de partida, los términos de referencia tanto de la Planta de tratamiento de agua de C.U. como de sistema fotovoltaico seleccionado para la realización de dicha evaluación básica.

Resultados

La PTAR de C.U. para un tratamiento de 40 l/s (3'456,000 l/día), demanda un total de 33.0 kW-h de energía eléctrica, que se divide en tres procesos biológicos, los cuales tratan diferente gasto y les corresponde diferente cantidad de energía eléctrica como se aprecia en la tabla VI.1:

Tabla VI.1 Datos básicos de operación de la planta de tratamiento de aguas residuales en C.U.

SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE AGUA RESIDUAL	GASTO (l/s)	ENERGIA ELECTRICA	EFIC. DE REM. DE DBO ₅ ¹
Lodos Activados	20	18.7 kW	80 - 90
Biodiscos	10	5.3 kW	80 - 90
Filtro percolador	10	9.0 kW	60 - 75
TOTAL	40	33.0 kW	

Para producir 33 kW de energía eléctrica, la planta solar fotovoltaica la conformarían 660 paneles solares, donde cada panel cuenta con una potencia de 50 Watts iguales a 0.050 kiloWatts, que equivalen a 0.06705 HP (caballos de fuerza) y un voltaje de 16.5 Volts.

¹ Eficiencia de remoción de DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días). Indica la cantidad de materia orgánica que contiene el agua.(Grado de contaminación).

Por lo cual, a cada sistema biológico le corresponde la siguiente cantidad de paneles solares señalados en la tabla VI.2.:

Tabla VI.2. Cantidad de paneles solares por sistema de tratamiento biológico en la PTAR - CU.

SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	PANELES SOLARES	HP	kW
Lodos Activados	375 * (188)	25.0	18.7
Biodiscos	105	7.0	5.3
Filtros percoladores	180	12.0	9.0
TOTAL	660	44.0	33.0

* Tomando en cuenta que el sistema de lodos activados trata el doble de aguas residuales que los otros dos sistemas, para efectos comparativos se considerará para dicho sistema, una cantidad de 188 paneles para un gasto equitativo de 10 l/s.

Se aprecia la substancial diferencia en cuanto a paneles solares requeridos por el sistema de biodiscos con lodos activados y filtros percoladores. Con el primero (lodos activados), sólo se necesitan el 56% de 188 y con el segundo (filtros percoladores) se necesitan el 58% de los 180 paneles. Orden de demanda de paneles por cada sistema biológico:

Biodiscos
Filtros percoladores
Lodos activados

Observando la eficiencia de remoción de la DBO_5 en los tres sistemas biológicos, el de lodos activados y biodiscos tienen la mayor eficiencia comprendida en una remoción del 80 al 90% y añadiendo la baja cantidad de paneles solares requeridos para producir los 4 kW necesarios para su operación, el sistema de biodiscos se aprecia el más adecuado para un sistema PTAR-ES.

El área requerida para la instalación de los paneles de la planta solar es, según cálculo en el Apéndice F, para un arreglo de tres paneles, de 4.09 m², entonces el área demandada por cada sistema biológico sería el que se muestra en la tabla VI.3.:

Tabla VI.3. Área requerida para la instalación de los paneles solares por cada sistema de tratamiento en la PTAR - C.U.

SISTEMA DE TRATAMIENTO BIOLÓGICO	ÁREA REQUERIDA (m ²)
Lodos activados	511 (256)*
Biodiscos	143
Filtros percoladores	245
TOTAL	900 (644)

* El área por el sistema de lodos activados de 511 m² es para el gasto de 20 l/s, y el área de 256 m² es considerando la mitad, es decir 10 l/s.

El área que acualmente ocupa la PTAR de C.U. es de aproximadamente de 4,240 m², lo que quiere decir que ocuparía un total de 0.5044 Ha. Es indispensable que en la orientación Sur de los paneles solares, a una distancia de 100 a 500 m, no exista ni se pretenda planear construcciones de más de 15 a 50 m de altura en el futuro, para no afectar la insolación en las instalaciones.

El ahorro en los costos de operación de una planta de tratamiento de aguas residuales, así como en los beneficios potenciales en economía, financiamiento, protección ambiental y con el bienestar social que tendría la decisión de la construcción de una planta de tratamiento de agua operada con energía solar, son muy atractivos para desarrollos turísticos, para pequeñas industrias y para comunidades rurales que requieran del tratamiento de sus aguas residuales con gastos pequeños. Para satisfacer la demanda actual y de los próximos años en el tratamiento de aguas residuales, la energía solar resulta una opción viable y ecológica.

BIBLIOGRAFIA GENERAL

1. M. León-Portilla, Cronista de la Cd. de México, "MEMORIA de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal", Tomo II, México, 1975
2. J.A. Manrique, "Energía solar, fundamentos y aplicaciones", Harper Row Latinoamericana, México, D.F., 1984
3. CENSOLAR, "Energética solar", Progensa, Sevilla, España, 1990
4. CENSOLAR, "Sistemas de conversión eléctrica", Progensa, Sevilla, España, 1990
5. C. Vauge, "Le choix solaire, une énergie qui entre dans la vie quotidienne", Tchou, Paris, Francia, 1979
6. R.H. Montgomery, "The solar decision book", John Wiley & Sons Inc., New York, 1986
7. J. Acosta, "Energía solar, utilización y aprovechamiento", Paraninfo, Madrid, España, 1983
8. B.J. Brinkworth, "Energía solar para el hombre", Hermann Blume, Madrid, España 1981
9. A. Castellanos, M. Escobedo, "La energía solar en México, situación actual y perspectivas", Centro de Ecodesarrollo, 1980
10. A. Turk, J. Turk, J.T. Wittes, R.E. Wittes, "Tratado de ecología", Interamericana, México, 1981

-
11. A. Deffis, "La basura es la solución", E. Concepto, México, 1989
 12. The Earth Works Group, "50 Simple things your business can do to save the Earth", Earthworks press, Berkeley, California, E.U.A., 1991
 13. R. Gonzalez, F. Nuñez, "Apuntes de principios de energética", F.I., UNAM, México, 1985
 14. K. Butti, J. Perlin, A. Lovins, "Un hilo dorado, 2500 años de arquitectura y tecnología solar", Hermann Blume, Madrid, España, 1980
 15. I. Galindo, A. Chávez, "Estudio del clima solar en la República Mexicana", Instituto de Geofísica UNAM, México, 1987
 16. K. McCartney, B. Ford, "Agua caliente solar", Hermann Blume, Madrid, España, 1982
 17. J.L. Tamayo, "Geografía moderna de México", Trillas, México, 1990
 18. J.K. Page, "The estimation of montly values of dailay total short-ware radiation from sunshine records for latitudes 40°N - 40°S", Conferencia Nuevos Recursos de Energía, ONU, 1961
 19. E. Murguía, "Evaluación, efectos y solución de la contaminación del agua", F.I., México, 1983
 20. E.W. Steel, T.J. McGhee, "Water supply and sewerage", McGraw-Hill, E.U.A., 1979
 21. G. Fair, J. Geyer, D. Okun, "Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales, Volumen II", Limusa Noriega, México, 1989
 22. J. Béchaux, "Manual técnico del agua / Mémento technique de l'eau", Degrémont, España, 1979
 23. Apuntes de la clase "Tratamiento de aguas residuales", del M.I. C. Gutierrez, F.I., UNAM, México, 1992
 24. R.L. Bailey, "Direct solar - electrics research and development", Ann Arbor Science, Michigan, E.U.A., 1980
 25. C. Cobarg, "Energía solar, bases y aplicaciones", Madrid, España, 1983
 26. M. García, "Energía eólica", Progensa, Sevilla España, 1987

-
27. W. Palz, "Solar electricity, an economic approach to solar energy", Butterworths, UNESCO, Paris, Francia, 1978
 28. Arco solar, Inc., Manuales técnicos, Camarillo, California, E.U.A., 1992
 29. Atersa - Isofoton, Manuales técnicos, Madrid, España, 1992
 30. Isofoton, Manuales técnicos, Málaga, España, 1991
 31. Solarex, Manuales técnicos, Gland, Suiza, 1992
 32. BP solar España, Manuales técnicos, Madrid, España, 1988
 33. Telefunken System Technik, Manuales técnicos, Wedel (Holstein), Alemania, 1992
 34. J. Cádiz, J. Ramos, "La energía eólica, tecnología e historia", Hermann Blume, Madrid, España, 1984
 35. United Nations Environment Programme, "Environmental data report", U.K. Department of the Environment, London, 1991
 36. W. Corson, "The global ecology handbook, What you can do about the environmental crisis", Beacon press, Boston, E.U.A., 1990
 37. F.L. Brown, "Engineering Mechanics", John Willey & Sons, Inc., E.U.A., 1949
 38. Meli Piralla, "Diseño Estructural", Noriega Editors Limusa, México, 1991

APENDICE

Apéndice A

Ley general del equilibrio ecológico y
la protección al ambiente

Apéndice B

Sistema internacional de unidades

Apéndice C

Factores de conversión de unidades

Apéndice D

Constantes físicas y datos numéricos del Sol
y de la Tierra

Apéndice E

Aerogeneradores

Apéndice F

Evaluación de un sistema PTAR-ES para planta
piloto de tratamiento de aguas residuales de
C.U. en la UNAM

Apéndice G

Planta tipo con sistema de biodisco PTAR-ES

APENDICE A

LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE

TITULO PRIMERO

Capitulo I

ARTICULO 1 La presente ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

Capitulo IV

ARTICULO 15 ... el Ejecutivo Federal observará los siguientes principios:

VI.- El aprovechamiento de los recursos naturales renovables debe realizarse de manera que se asegure el mantenimiento de su diversidad y renovabilidad.

TITULO TERCERO

Capitulo I

ARTICULO 92 Con el propósito de asegurar la disponibilidad del agua y abatir los niveles de desperdicio, las autoridades competentes promoverán el tratamiento de aguas residuales y su reúso.

TITULO CUARTO

Capitulo II

ARTICULO 117 Para la prevención y control de la contaminación del agua se considerarán los siguientes criterios:

III.- El aprovechamiento del agua en actividades productivas susceptibles de producir su contaminación, conlleva la responsabilidad del tratamiento de las descargas, para reintegrarla en condiciones adecuadas para su utilización en otras actividades.

IV.- Las aguas residuales de origen urbano deben de recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, cuencas, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, incluyendo las aguas del subsuelo.

ARTICULO 118 Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán considerados en:

I.- El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.

ARTICULO 119 Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponderá:

I.- A la Secretaría:

- g) Promover el reúso de aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales.
- h) Determinar los procesos de tratamiento de las aguas residuales...

II.- A la Secretaría, en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la de Salud:

- a) Expedir normas técnicas ecológicas para el uso o aprovechamiento de aguas residuales.
- c) Expedir normas técnicas ecológicas que deberán observarse para el tratamiento de aguas residuales de origen urbano que se destinen a la industria y a la agricultura.

V.- A los estados y municipios:

- a) El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado.
- b) Requerir a quienes generen descargas a dichos sistemas y no satisfagan las normas técnicas ecológicas que se expidan, la instalación de sistemas de tratamiento.
- c) Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva pueda llevar a cabo el tratamiento necesario, y en su caso, proceder a la imposición de las sanciones a que haya lugar.

ARTICULO 120 Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a

regulación federal o local:

I.- Las descargas de origen industrial.

II.- Las descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas.

III.- Las descargas derivadas de actividades agropecuarias.

ARTICULO 121 No podrán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en suelo o subsuelo, aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y el permiso o autorización de la autoridad federal o local en los casos de descargas en aguas de jurisdicción local o a los sistemas de drenaje y alcantarillado de los centros de población.

ARTICULO 129 El otorgamiento de asignaciones, autorizaciones, concesiones o permisos para la explotación, uso o aprovechamiento de aguas en actividades económicas susceptibles de contaminar dicho recurso, estará condicionado al tratamiento previo necesario de las aguas residuales que se produzcan.

Capítulo VII

ARTICULO 155 Quedan prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen los límites máximos contenidos en las normas técnicas ecológica.

APENDICE B

SISTEMA INTERNACIONAL DE UNIDADES

Unidades seleccionadas

CANTIDAD	NOMBRE	SIMBOLO
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Fuerza	newton	N (= 1 kg·m/s ²)
Momento de fuerza	newton-metro	N·m
Presión, esfuerzo	pascal	Pa
Temperatura	grado celsius	°C
Temp. termodinámica	kelvin	K
Energía, Trabajo, Calor	joule	J
Potencia, flujo calor	watt	W
Angulo plano	radián grado	rad °

APENDICE C

FACTORES DE CONVERSION DE UNIDADES

UNIDAD	FACTOR DE x CONVERSION	= UNIDAD
Kilowatt-hora	3413	Btu
Btu	2.93×10^{-4}	Kilowatt-hora
Caballo de fuerza	2455	Btu/hora
Pies cúbicos	7.48	Galones
Galones	0.134	Pies cubicos
Libras	454	Gramos
Btu	252	Calorías
Btu/hora	0.293	Watts
Btu/hora	293	Kilowatts
Btu/hr-pic ²	3.154	Watts/m ²
Btu/hr-pic ²	0.075	Calorías/cm seg
Btu/pic ²	0.271	Langleys
Btu/hr-pic ²	0.00452	Langleys/min
Caballo de fuerza	745.7	Watts
Caballo de vapor	632.838	Kilocaloría/hora
Caballo de vapor	735.499	Watts
Caballo de vapor	0.986317	Caballo de fuerza
Caloría gramo	1.16222×10^{-6}	Kilowatt hora

APENDICE D

CONSTANTES FISICAS Y DATOS NUMERICOS DEL SOL Y DE LA TIERRA

Constante de irradiación solar (fuera de la atmósfera terrestre) I_{cs}

(1 Ly = 1 langley = 1 cal/cm²)

$$\begin{aligned} I_{cs} &= 1\,353 \text{ W/m}^2 \\ &= 1.940 \text{ Ly/min} \\ &= 8.12 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{min} \\ &= 428 \text{ Btu/pie}^2 \cdot \text{h} \end{aligned}$$

Distancia media del Sol a la Tierra (radio medio de la órbita terrestre) D_{ST}

$$\begin{aligned} D_{ST} &= 1.496 \times 10^8 \text{ km} \\ &= 149.6 \text{ Gm (gigametros)} \\ &\approx 150 \times 10^6 \text{ km} \end{aligned}$$

Diferencia entre los valores máximo y mínimo de la distancia Tierra-Sol (en enero y julio)

$$= 4.98 \times 10^6 \text{ km}$$

Parelaje solar (ángulo según el cual se vería el radio terrestre desde el Sol)

$$= 8.8''$$

Límite del sistema solar (radio orbital medio de Plutón)

$$\begin{aligned} &= 5.8 \times 10^9 \text{ km} \\ &= 5.8 \text{ Tm (terametros)} \end{aligned}$$

Radio medio de la Tierra

$$R_T = 6,372.15 \text{ km}$$

Radio medio del Sol

$$\begin{aligned} R_S &= 6.96 \times 10^5 \text{ km} \\ &\text{(110 veces mayor que } R_T) \end{aligned}$$

Área superficial del Sol (aprox.)

$$\begin{aligned} A_S &= 6.087 \times 10^{12} \text{ km}^2 \\ &\text{(11,930 veces mayor que } A_T) \end{aligned}$$

Volumen del Sol (aprox.)

$$\begin{aligned} V_S &= 1.412 \times 10^{18} \text{ km}^3 \\ &\text{(1'304,000 veces mayor que } V_T) \end{aligned}$$

Masa del Sol	$M_S = 1.99 \times 10^{30} \text{ kg}$ (333,000 veces mayor que M_T)
Densidad solar media	$\delta = 1.409 \times 10^{12} \text{ kg/km}^3$ (0.25 veces la de la Tierra)
Inclinación del eje solar (con respecto a la normal al plano de la órbita terrestre)	= $7^\circ 15'$
Velocidad orbital de la Tierra (en su revolución alrededor del Sol)	= 30 km/s
Edad del Sol (aprox.)	= 5×10^9 años
Temperatura en la superficie solar	= 5,776 K
Temperatura en el centro del Sol	= 16×10^6 K
Espesor de hielo (capa esférica) que en la superficie solar se derretiría en 1min)	= 14.75 m
Emisión de energía en la superficie solar	= 630 MW/m ²
Energía total emitida por el sol en 1 año	= 1.2×10^{34} J
Tiempo en que la energía solar recorre D_{TS}	= 8 min 18 seg
Reflexión de la radiación solar incidente en la Tierra (en promedio)	= 39%
Presencia de los elementos químicos en el Sol (valor relativo en proporción a 1 millón):	
Hidrógeno (H)	1000
Helio (He)	150
Oxígeno (O)	0.7
Carbono (C)	0.3
Neón (Ne)	0.3
Nitrógeno (N)	0.1
Magnesio (Mg)	0.03
Silicio (Si)	0.03
Azufre (S)	0.016
Hierro (Fe)	0.008
y unos 50 elementos más en menores proporciones	

Regiones solares:

Fotosfera	450 km de espesor
Cromosfera	9,000 km de espesor
Corona	espesor no delimitable

Gravedad terrestre normal $g = 9.8066 \text{ m/s}^2$

Presión atmosférica normal $p = 1.013 \text{ bar}$
 $= 101.3 \text{ kPa}$
 $= 1.033 \text{ kgf/cm}^2$
 $= 14.696 \text{ lbf/plg}^2$

Unidades deersas para distancias siderales:

1 a (unidad astronómica)	$= 149.6 \times 10^6 \text{ km}$
1 pc (parsec)	$= 30.86 \times 10^{12} \text{ km}$
1 año-luz	$= 9.46 \times 10^{12} \text{ km}$

APENDICE E

AEROGENERADORES

Las diversas ventajas que tiene la energía eólica, puede ser un interesante complemento para las instalaciones fotovoltaicas.

La energía eólica aprovecha la parte de la radiación solar que es absorbida por la atmósfera y transformada en energía cinética. Se estima que la energía contenida en los vientos es aproximadamente el 2% del total de la energía solar que alcanza la tierra, lo que supone 2.5×10^{12} tcc/año (toneladas equivalentes de carbón al año). aunque en la práctica solo podría ser utilizada una parte muy pequeña de esa cantidad, la energía eólica reúne buenas características para un aprovechamiento rentable.

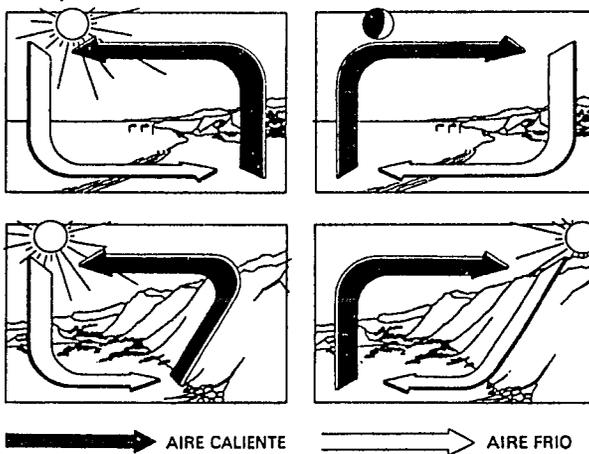


Fig. E.1 Esquema de la circulación del aire, producido por las diferencias de insolación recibidas en las costas y en las montañas.

De todas las energías renovables, la energía solar y la eólica son las que se encuentran mejor distribuidas, lo que supone una importante ventaja para un aprovechamiento en gran escala.

Desde el punto de vista económico, la producción en masa de aerogeneradores eólicos es la clave para que los precios reulten competitivos con otras fuentes de energía.

La mayor dificultad de las aplicaciones de tipo solar y eólico radica en la irregularidad de su producción energética, que obliga a disponer de sistemas de almacenamiento para adaptar su suministro a las exigencias de la demanda.

A. LA ENERGIA DEL VIENTO

El viento es una consecuencia de la radiación solar. Las diferencias de insolación entre distintos puntos del planeta generan diferentes áreas térmicas, y los desequilibrios de temperatura se traducen en variaciones de presión. El aire, como cualquier gas, se mueve desde las zonas de alta presión a las de baja presión. En la figura G 1 se esquematizan estas interacciones.

La radiación solar sobre la tierra se traduce en una elevación de la temperatura, tanto de la corteza terrestre como del aire circundante. El aire caliente se dilata, pierde presión y es remplazado por el aire fresco que viene del mar.

A una escala planetaria, la zona ecuatorial recibe la máxima radiación solar, mientras que en las zonas polares apenas se perciben sus efectos. En una Tierra sin rotación, las diferencias térmicas y de presión entre la zona ecuatorial y las polares producirían un movimiento circulatorio del aire. El aire de las zonas cálidas ascendería a las capas altas de la atmósfera, siendo remplazado por aire más frío proveniente de los polos. El aire cálido a su vez se desplazaría hacia los polos por las capas altas de la atmósfera, completando la circulación.

La orografía del emplazamiento es muy importante para determinar la velocidad del aire en un punto localizado. El aire que se desplaza en la proximidad de la corteza terrestre debe sortear los innumerables obstáculos que se encuentra a su paso, alterando en mayor o menor grado las líneas de corriente y sus velocidades correspondientes en la superficie.

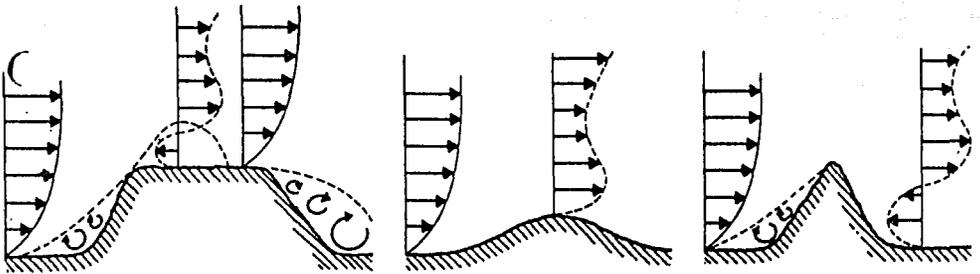


Fig. E.2 Distribución de velocidades del viento en diferentes emplazamientos.

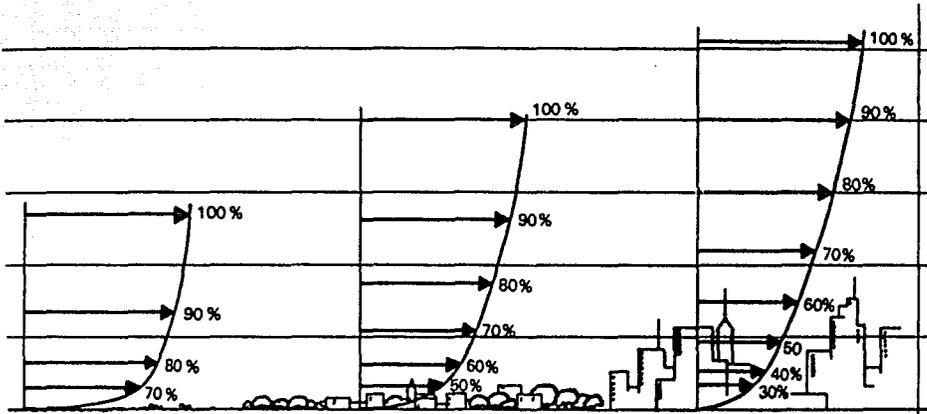


Fig. E.3 Perfiles de velocidades del viento en función de las características topográficas del terreno.

B. AEROGENERADORES

Las máquinas eólicas han sido estudiadas por el hombre de una forma intensiva y dentro de ellas existen de muy diversos tipos. Una clasificación de las máquinas eólicas podría ser la siguiente:

Aeroturbinas de eje horizontal
Aeroturbinas de eje vertical
Sistema giromill
Sistemas difusores
Sistemas tipo tornado

Dentro de ellas, las aeroturbinas de eje horizontal son las que se encuentran en la actualidad mas desarrolladas, tanto desde el punto de vista técnico como comercial.

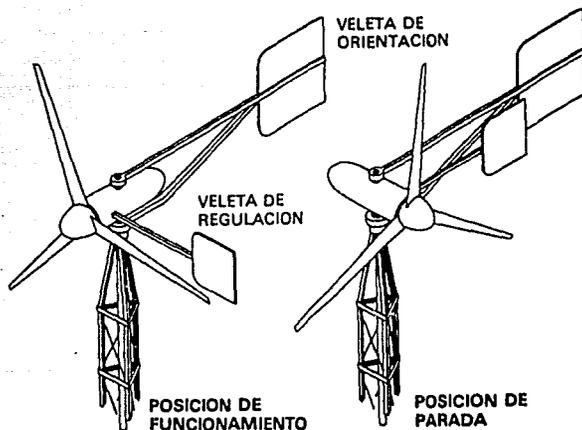


Fig. E.4 Posiciones de operación de un aerogenerador de eje horizontal.

BIBLIOGRAFIA

- 1. M. García G., "Energía eólica", Progensa, Sevilla, España, 1987, págs. I 1-13, II, VI**
- 2. J.C. Cádiz, "La energía eólica, tecnología e historia", Hermann Blume, Madrid, España, 1984, págs. 21-23, 64**

APENDICE F

EVALUACION DE UN SISTEMA PTAR-ES PARA LA PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE C.U. EN LA UNAM

La planta de Ciudad Universitaria es una planta piloto experimental que cuenta con tres líneas principales de proceso que son reactores microbiológicos de tipo aerobio conectados en paralelo de tal manera que pueden operar tanto simultáneamente como independientemente.

La planta se terminó de construir en el año de 1982, y empezó a operar en octubre del mismo año, siendo diseñada para manejar un gasto de 40 l/s (equivalentes a 3'456,000 l/día), provenientes de diversas zonas de Ciudad Universitaria (CU) y de la colonia de Copilco el Alto. Consecuentemente el agua residual a tratar es de tipo doméstico.

El tratamiento de las aguas residuales en la planta, consta de las siguientes etapas:

1. Captación de aguas residuales.
2. Pretratamiento.
3. Sistema de lodos activados.
4. Sistema de biodisco.
5. Sistema de filtro percolador.
6. Sedimentadores secundarios.
7. Filtros de arena.
8. Cárcamo de aguas tratadas y cloración.

DESCRIPCION DEL PROCESO

La llegada del agua a la planta se realiza a través de tres colectores localizados dentro del tanque regulador de tormentas.

Las bombas utilizadas en la captación, tienen la función de enviar el agua hacia la zona de pretratamiento. Son bombas centrífugas de 15 HP y están sumergidas en el fondo del cárcamo. Su control de operación se efectúa en forma automática mediante el uso de electroneveles.

Pretratamiento

El pretratamiento tiene un sistema de rastras que giran a 1.5 revoluciones por minuto y conducen los depósitos a una cámara de colección donde son recogidos por un tornillo sin fin y transportados a una caja de escurrimiento, en donde hay tres medidores Parshall que están colocados en paralelo para permitir la distribución del flujo a los tres sistemas de tratamiento.

Lodos Activados

El sistema de lodos activados fué diseñado para tratar 20 l/s y consta de las siguientes partes:

- Tanque de aireación
- Sedimentador secundario
- Cárcamo de recirculación de lodos
- Caja partidora

El sistema de aireación mecánica consiste en dos aireadores que están totalmente sumergidos y acoplados cada uno a un motor de 10 HP.

El puente giratorio del sedimentador secundario, tiene en su parte inferior un sistema de rastras que separan a los sólidos sedimentados y los envían al cárcamo de recirculación. Así mismo, tiene una rastra a la altura del nivel del líquido que remueve los sólidos que flotan en la superficie hacia un desnatador para ser desechados.

En el cárcamo de recirculación de lodos, 2 bombas centrífugas sumergibles de 10 HP que funcionan alternadamente, envían los lodos provenientes del sedimentador a una caja partidora que divide el flujo hacia la línea de recirculación o bien al sistema de drenaje.

Biodisco

El disco biológico contenido en el tanque, gira a 1.5 rpm. y fué diseñado para tratar un gasto de 10 l/s. Los discos instalados son de poliestireno de 3.6 m de diámetro. Tiene una cubierta de plástico provista de ventanas con el objeto de protegerlo de la lluvia y bajas temperaturas en época de frío, o del desarrollo de insectos y malos olores en época de calor.

Al estar girando los discos, inmediatamente los microorganismos presentes en las

aguas residuales se adhieren a la superficie de cada disco. Una vez adheridos comienzan a crecer y reproducirse, alimentándose de la materia orgánica contenida en el agua. El oxígeno que requieren los microorganismos lo absorben del aire a través de la película de agua que se forma al estar girando los discos.

Filtro percolador

Este sistema está diseñado para tratar un flujo de agua de 10 l/s. Consta de:

Dos cárcamos de bombeo
Torre percoladora
Caja partidora
Sedimentador

El primer cárcamo tiene 2 bombas centrífugas sumergidas de 5 HP de potencia. El otro cárcamo utiliza dos bombas de 2 HP de potencia. Las bombas en cada cárcamo funcionan alternadamente.

El sistema rociador de la torre percoladora consiste en una serie de 4 tubos provistos de 4 boquillas cada uno, montados en forma horizontal y sostenidos con cables de acero. El agua al escapar de las boquillas empuja al sistema rociador y lo hace girar en sentido contrario a la salida del agua.

La caja partidora está formada por tres compartimentos. El primero recibe el efluente del filtro percolador. Los otros dos comunican respectivamente con el cárcamo de alimentación y con el cárcamo del efluente. El flujo se regula mediante la apertura de una puerta corrediza accionada en forma manual.

El sedimentador es del mismo tipo que el sistema de lodos activados y recibe el efluente de la torre percoladora, pero los sólidos sedimentables se desecan y el agua clarificada llega a los filtros de arena.

Filtros de arena

El agua proveniente de los sedimentadores penetra a la cámara de filtración, atraviesa una cámara de 30 cm de arena, una capa menor de antracita y por último una capa de grava para salir a través de un falso fondo hacia el cárcamo de aguas tratadas.

Cárcamo de aguas tratadas y de cloración

La cloración se realiza en el cárcamo de aguas tratadas, cuya función es de acumular el agua clorada para ser bombeada a los tanques de almacenamiento que componen el sistema de irrigación de Ciudad Universitaria.

ENERGIA REQUERIDA POR EL SISTEMA

La energía eléctrica que demanda la planta de tratamiento de aguas residuales de C.U. se divide en dos partes: la requerida por los procesos mismos de tratamiento que suman 44 HP. y la utilizada por las bombas que envían el agua tratada a las cisternas en Ciudad Universitaria que es de 90 HP, sumando 134 HP de potencia total; para efectos de la presente evaluación, se hace la consideración de la potencia suministrada para los procesos de tratamiento de agua que de acuerdo a los párrafos anteriores son los mostrados en la tabla A.F.1.:

Tabla A.F.1. Energía requerida por la planta de tratamiento de aguas residuales de C.U.

SISTEMA DE TRATAMIENTO	Σ DE HP	HP	KW
Lodos activados	10+10+7.5	27.5	20.5
Biodiscos	2+3.7	5.7	4.3
Filtros percoladores	5+2+3.8	10.8	8.0
TOTAL		44.0	32.8

PANEL FOTOVOLTAICO

Las características de panel solar fotovoltaico seleccionado para la evaluación, mostradas en la tabla A.F.2., es de la empresa BP SOLAR ESPAÑA.

Tabla A.F.2. Características del panel solar fotovoltaico seleccionado para el sistema.

CARACTERISTICAS	BP 250
Potencia	50 Watts
Voltaje	16.5 Volts
Peso	5.2 kg
Largo	95.6 cm
Ancho	43.1 cm
Espesor	3.9 cm

Módulo formado por 40 células de silicio monocristalinas.
Resistencia al viento de 200 km/h
Temperatura de funcionamiento -55°C a + 90°C
Bastidor ligero de aluminio anodizado con junta periférica de silicona acrílica.
Potencia de 50 Watts equivalente a 0.0670510 HP (caballos de fuerza).

$$\frac{44 \text{ HP}}{0.0670510 \text{ HP/panel}} = 656.5 \text{ paneles} \approx 660 \text{ paneles}$$

AREA REQUERIDA

Cálculo del área unitaria por grupo de 3 paneles por estructura de soporte conjunta.

$$0.956 \times 0.431 = 0.412 \text{ m}^2 \text{ por panel horizontal}$$

tomando en cuenta la inclinación del panel:

latitud Cd. de México: 20° N
inclinación de diseño: 15°

$$\Sigma \quad \underline{\quad} \quad 35^\circ$$

$$\text{sen } 35^\circ = \text{co}/h$$

$$\text{co} = h \text{ sen } 35^\circ = 0.956 \text{ sen } 35^\circ$$

$$\text{co} = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{ca} = h \text{ cos } 35^\circ = 0.956 \text{ cos } 35^\circ$$

$$\text{ca} = 0.783 \text{ m}$$

considerando 0.50 m periféricos por cada estructura para evitar sombras y permitir el tránsito humano.

$$\text{Area} = 2.293 \times 1.783 = 4.09$$

$$\text{Area} = 4.09 \text{ m}^2/3 \text{ paneles}$$

Area total requerida para la PTAR-ES de C.U.

$$\begin{array}{rcl} 660 \text{ paneles} / 4.09 \text{ m}^2/3 \text{ paneles} & = & 900 \text{ m}^2 \\ \text{área aproximada de la PTAR-CU} & = & 4,240 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$\Sigma \underline{5,140 \text{ m}^2}$$

Los paneles no deberán ser afectados por obstáculos naturales o artificiales en su dirección al Sur, de acuerdo a lo indicado en la tabla A.F.3., para evitar sombras y disminuir la eficiencia de los paneles solares.

Tabla A.F.3. Altura permisible para evitar obstáculos a los rayos solares.

DISTANCIA HORIZONTAL AL SUR (m)	ALTURA PERMISIBLE (m)
25	15
50	20
100	30
250	45
500	50

APENDICE G

PLANTA TIPO CON SISTEMA DE BIODISCO PTAR-ES

En base a los resultados y conclusiones planteadas en la presente tesis se diseñó una planta tipo de tratamiento de agua residual, operada con energía solar con sistema de biodisco para un gasto de 10 l/s con una capacidad de ampliación a 20 l/s.

En la tabla A.G.1. aparecen los datos de proyecto, así como las áreas y zonas requeridas por la planta tipo.

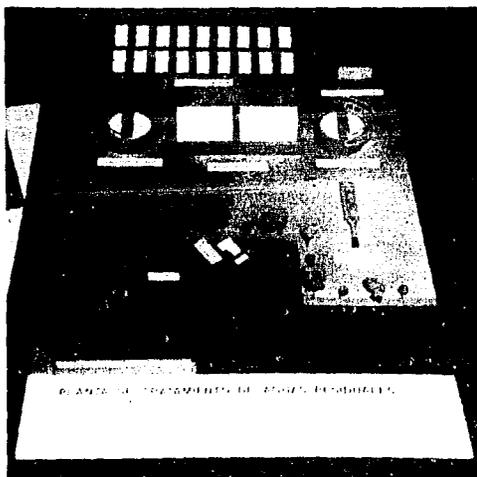
Datos de Proyecto	
Capacidad de la planta	10 l/s
Potencia requerida	7 HP
Area de captación solar	45 m ²
Zona de paneles solares	143 m ²
Area total de la planta tipo	1,872 m ²

Tabla A.G.1. Datos de Proyecto

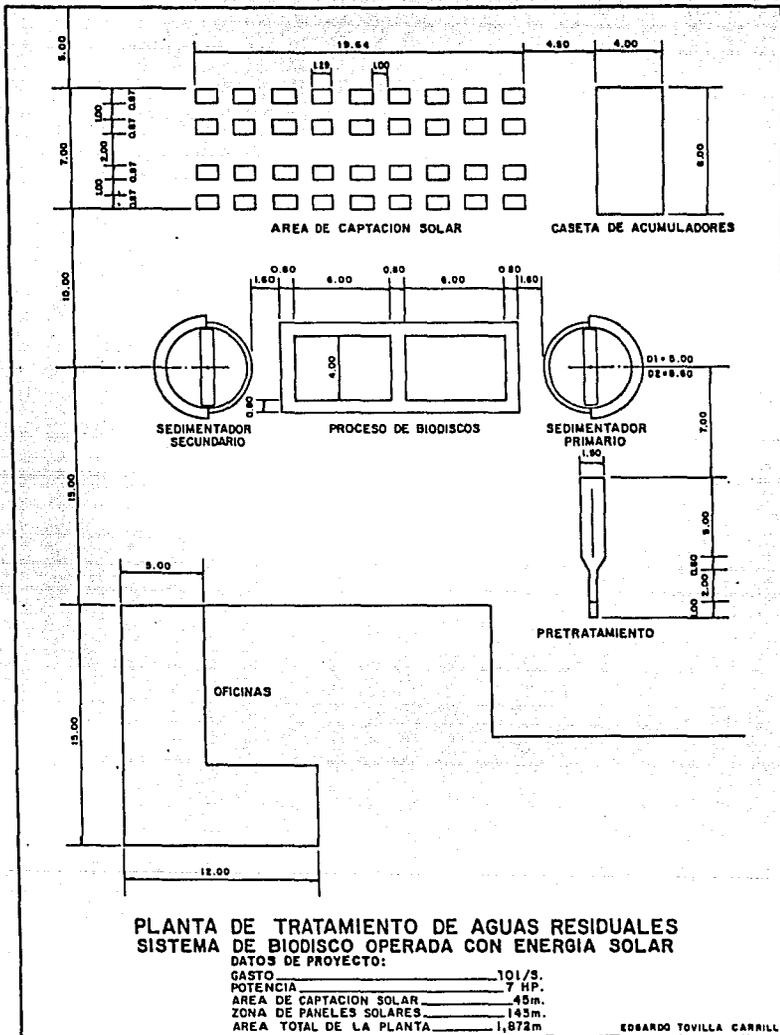
La planta tipo esta diseñada considerando futuras ampliaciones hasta para un gasto de 20 l/s y una potencia de hasta 15 HP, el área requerida en el futuro está contemplada dentro del área total de la planta de 1,872 m².

Se ha considerado para el diseño un terreno plano y para una latitud de 20°N aproximadamente a la ciudad de México.

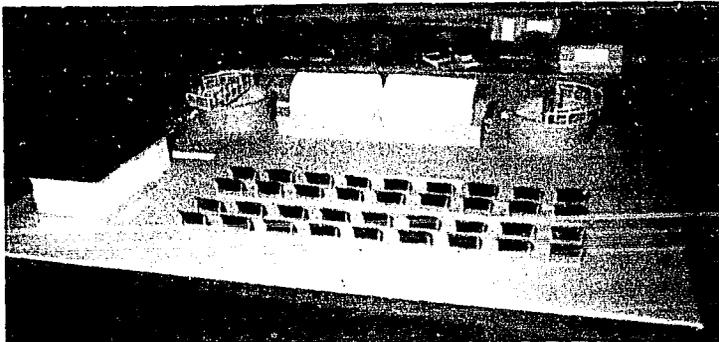
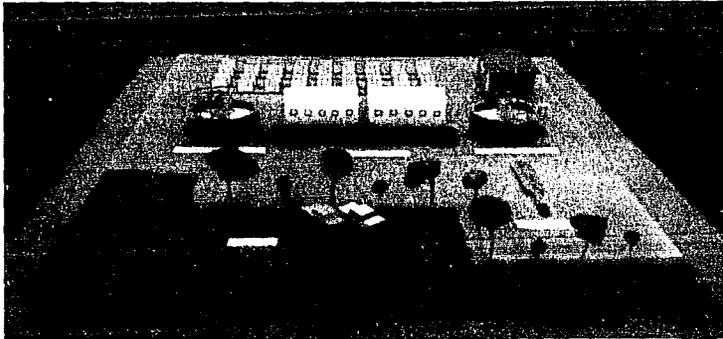
De acuerdo a los procedimientos de diseño señalados en el apéndice F para un sistema PTAR-ES, el plano anexo indica la ubicación y dimensionamiento de las instalaciones. La fotografía de la maqueta ayuda a tener una visión más completa de una planta accionada por energía solar.



Fotografía de la maqueta de la planta de tratamiento de agua residual



Plano del conjunto de la planta de tratamiento de agua residual



Fotografía de la maqueta de la planta de tratamiento de agua residual



Fotografía de la maqueta de la planta de tratamiento tipo.