

16  
2 Eje.



**Universidad Nacional Autónoma de México**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**SISTEMA FOTOVOLTAICO E INSTALACION ELECTRICA  
PARA LA ENERGIZACION DE UNA UNIDAD MEDICA RURAL**

**T E S I S**

Que para obtener el titulo de:

**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

**P r e s e n t a :**

**JOSE EDUARDO BALLINA VALIENTE**



**Director de la Tesis: ING. JACINTO VIQUEIRA LANDA**

**México, D. F.**

**1985**



## **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

	Introducción,	1
CAPITULO I.	Breve análisis del contexto energético nacional	3
	1.1 Estructura actual del sistema energético nacional. Dependencia de los hidrocarburos	3
	1.2 Crecimiento de la demanda de energía primaria en México	8
	1.3 Duración de las reservas mexicanas de hidrocarburos	10
	1.3.1 Estimación matemática	12
	1.4 Diversificación de las fuentes de energía	14
	1.5 El Plan Nacional de Desarrollo 1984-1988 y el sector energético	15
	1.6 Alternativas energéticas de México	16
	1.7 Energía y economía nacional	23
CAPITULO II.	La energía solar en México	28
	2.1 El recurso solar	28
	2.2 Investigación, desarrollo y aplicaciones	31
	2.3 Fabricación de equipos en México	36
	2.4 Cronología	37

CAPITULO III.	Aspectos teóricos relacionados con la energía solar	51
	3.1 Disponibilidad del recurso solar	51
	3.2 Movimiento aparente del sol	57
CAPITULO IV.	Fundamentos de sistemas fotovoltaicos	63
	4.1 Elementos de un sistema fotovoltaico	63
	4.2 Celdas solares	64
	4.2.1 Efecto fotovoltaico	65
	4.2.2 Curva característica de una celda solar	67
	4.2.3 El factor de llenado (F.F.)	70
	4.2.4 Tipos de celdas solares	71
	4.3 Módulos fotovoltaicos	72
	4.4 Diodo de bloqueo	75
	4.5 Control de carga	75
	4.6 Inversores	76
	4.7 Almacenamiento de energía	78
	4.8 Algunos criterios para la selección de los equipos a ser empleados	79
CAPITULO V.	Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos	82
	5.1 Cálculo de arreglos fotovoltaicos con el método de campo	82
	5.2 Cálculo de las dimensiones del sistema de almacenamiento	87
	5.3 Método de optimización	88

CAPITULO VI.	Diseño de los sistemas fotovoltaicos para las unidades médicas rurales.	
6.1	Características de las unidades	92
6.2	Necesidades electricas de una U.M.R. del IMSS	96
6.3	Diseño por regiones	99
CAPITULO VII.	Diseño de la instalación eléctrica	104
7.1	Configuración	104
7.2	Selección de los conductores	106
7.3	Especificaciones	110
CAPITULO VIII.	Evaluación económica	112
8.1	Costos generales	112
8.2	Costos totales	113
CAPITULO IX.	Conclusiones	115
APENDICE A.	Mapas	117
APENDICE B.	Niveles de iluminación	120
APENDICE C.	Equivalencias	123
	Referencias	126

## INTRODUCCION

El 25 de mayo de 1979 el Instituto Mexicano del Seguro Social suscribió un convenio con la Coordinación General del Plan Nacional de Zonas Deprimidas y Grupos Marginados (COPLAMAR) dando origen al Programa IMSS-COPLAMAR de Unidades Medicas Rurales (U.M.R.) por Cooperación Comunitaria.

Este programa tiene como principal objetivo satisfacer los requerimientos de salud de uno de los grupos marginados más necesitados del país constituido por los habitantes de las comunidades indígenas, cuyo número se estimaba de 10 millones de personas, las que habitan en localidades totalmente alejadas de los sistemas nacionales de comunicación y por ende de nuestro desarrollo socioeconómico.

El IMSS se comprometió a través del convenio mencionado a planear, diseñar y construir en sus primeras dos etapas un total de 2,000 U.M.R. que deberían estar listas para el año de 1981. La Jefatura Coordinadora de Obras y Conservación del Instituto estableció un sistema que permitió poner en operación esas 2,000 unidades el 20 de Noviembre de 1979.

En la actualidad, las funciones realizadas por muchas Unidades Médicas Rurales se encuentran limitadas por la carencia de energía eléctrica. Esto significa que los objetivos fundamentales perseguidos con su creación son logrados sólo en forma parcial. Esa carencia se debe, entre otras cosas, a las grandes distancias existentes entre dichas

unidades y la red eléctrica, lo que hace que su electrificación sea difícil, costosa y en algunos casos poco probable a corto y mediano plazo.

Dado que en los últimos años ha existido gran actividad de investigación, desarrollo y aplicación de tecnología dirigida al aprovechamiento de la energía solar, además de una reducción de los costos de los sistemas fotovoltaicos y por otra parte el interés del Instituto Mexicano del Seguro Social por incorporar en sus proyectos aquellos adelantos que habiendo demostrado su factibilidad técnica y económica permitan resolver algunos problemas planteados, se procedió a elaborar el presente trabajo.

El propósito fundamental de esta tesis es elaborar y hacer la presentación de una propuesta para dotar a las unidades médicas rurales que así convenga con los sistemas fotovoltaicos que permitan satisfacer sus demandas mínimas de energía eléctrica.

Los primeros seis capítulos están enfocados a ubicar al lector en el tema y es el deseo del autor que sean de utilidad a compañeros de futuras generaciones para iniciarse en los conocimientos sobre esta área. Los restantes capítulos constituyen propiamente el diseño de los sistemas en cuestión.

CAPITULO I  
BREVE ANALISIS DEL CONTEXTO  
ENERGETICO NACIONAL.

Con el propósito de ver claramente la posición de la energía solar en nuestro país, es necesario entender el contexto en el que nos situamos, así como la trayectoria que han presentado en México la investigación, el desarrollo y la aplicación de las tecnologías que permiten el aprovechamiento de tan importante recurso renovable.

1.1 Estructura actual del sistema energético de México.

Dependencia de los hidrocarburos.

En la figura 1 presentamos los flujos de energía en México correspondientes al año 1982 [1]. En el lado izquierdo se aprecian las diversas fuentes de energía primaria (comercial) y su participación, en Kcal  $\times 10^{12}$ , en la oferta total de energía. En el extremo derecho se observa el destino final el cual comprende consumo y exportación. En la parte central de la figura se indican las pérdidas.

nota: los números entre corchetes aluden a las referencias

# México: flujos de energía, 1982

(Kilocalorías x 10<sup>11</sup>)

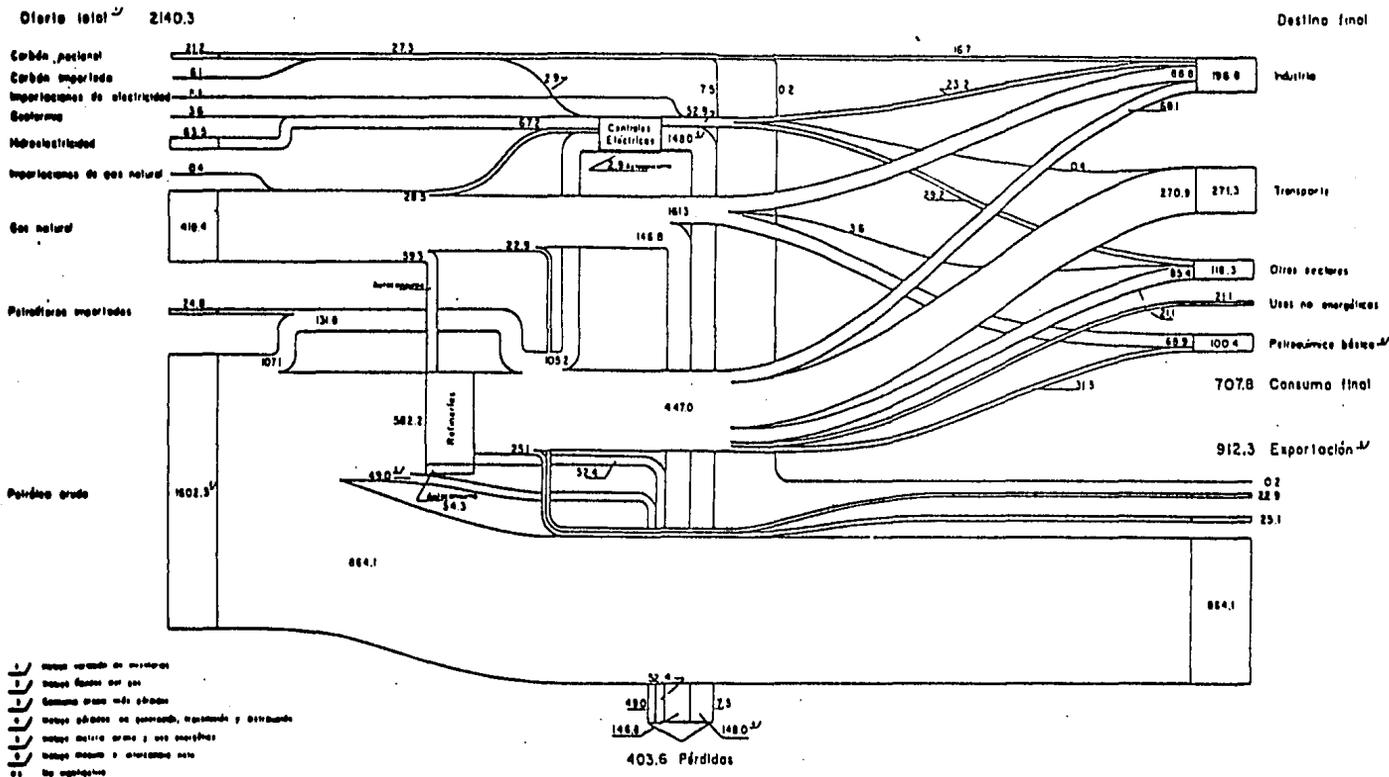


FIGURA 1

El diagrama mostrado fue realizado con las cifras resultantes del balance energético elaborado con la metodología adoptada por la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico - O.C.D.E.

La figura 1 refleja la estructura actual de nuestro sistema energético, tanto en sus fases de producción y consumo, como en la de consumo propio y pérdidas del sector energético. En ella se observa que la fuente predominante de energía primaria es la de los hidrocarburos que representa el 92.32% de la oferta de energía al mercado nacional y el 95.78% de la producción nacional de energía.

Para apreciar la evolución de esta estructura energética y la de la participación de los hidrocarburos en ella, se elaboraron las tablas I y II con datos provenientes de los balances correspondientes al año 1970 y al periodo 1975-1982 [2,3].

En todos estos balances la metodología empleada fue la misma.

PRODUCCIÓN NACIONAL DE ENERGÍA.  
(KCAL x 10<sup>12</sup>)

	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
• PETRÓLEO CRUDO	262.683	425.446	476.768	577.607	708.739	859.645	1,163.157	1,391.535	1,576.077
• GAS	154.896	187.257	185.180	178.659	235.876	271.320	316.559	356.070	418.506
• COMBUSTIBLES SÓLIDOS	10.047	17.140	14.642	16.853	17.829	18.062	17.652	17.551	21.629
• HIDRO - ELECTRICIDAD	48.042	47.239	52.557	56.099	46.577	51.472	47.874	69.937	63.543
• GEOTERMIA	0	1.630	1.781	1.745	1.734	2.940	2.617	2.758	3.628
* TOTAL:	475.668	678.712	730.828	830.963	1,008.755	1,203.339	1,547.659	1,837.871	2,103.460

TABLA I

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LOS HIDROCARBUROS  
EN LA PRODUCCIÓN NACIONAL DE ENERGÍA. (%)

1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
87.79	90.27	90.57	91.01	93.44	93.98	95.60	95.09	95.78

OFERTA DE ENERGÍA AL MERCADO NACIONAL.  
( Kcal x 10<sup>12</sup> )

	1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
• PETRÓLEO CRUDO	263.488	364.243	409.592	467.255	511.243	561.628	692.924	754.090	738.805
• PRODUCTOS PETROLÍFEROS	- 16.633	22.483	18.107	4.260	15.209	10.214	- 18.573	- 31.744	- 0.299
• GAS	144.392	183.978	185.180	178.082	255.876	270.113	290.406	329.119	398.848
• COMBUSTIBLES SÓLIDOS	13.566	21.226	17.027	21.035	24.897	24.026	24.259	22.034	27.048
• HIDRO- ELECTRICIDAD	48.042	47.239	82.567	56.099	46.577	51.472	47.874	69.937	68.943
• ELECTRICIDAD	0.160	0.327	0.240	0.046	0.046	0.062	0.766	0.288	0.008
• GEOTERMIA	0	1.630	1.781	1.745	1.734	2.940	2.617	2.788	3.623
* TOTAL:	453.116	641.126	684.484	728.622	835.582	920.445	1,040.271	1,146.002	1,227.976

TABLA II

PARTICIPACIÓN PORCENTUAL DE LOS HIDROCARBUROS  
EN LA OFERTA DE ENERGÍA AL MERCADO NACIONAL. (%)

1970	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982
86.37	89.01	89.54	89.17	91.21	91.47	92.74	91.71	92.38

Después de haber analizado las tablas anteriores es fácil concluir que nuestra dependencia de los hidrocarburos en materia energética se ha agudizado en los últimos años. En la actualidad esa dependencia es casi total (mayor al 92% en lo referente a la oferta de energía al mercado nacional y al 95% en cuanto a la producción nacional)

El peso otorgado al recurso de los hidrocarburos a lo largo del presente análisis se basa en la dependencia detectada antes mencionada y en el carácter no renovable de tal fuente de energía.

El hecho de que un recurso sea no renovable implica que existe una cantidad finita del mismo. Esto significa, por lo tanto, que su disponibilidad está limitada en el tiempo. Antes de tratar de estimar la duración de los hidrocarburos en México es conveniente hacer algunas observaciones referentes al crecimiento de la demanda de energía a nivel nacional.

## 1.2 Crecimiento de la demanda de energía primaria en México.

La tasa media anual de crecimiento del consumo de energía primaria entre 1960 y 1972 fue de 7.3% [4]. Con esta tasa el consumo se duplica aproximadamente cada 10 años.

Sin embargo, los incrementos de la demanda energética en los últimos años han tenido un comportamiento diferente. Este comportamiento se muestra en la tabla III [3].

TABLA III

	TASAS DE CRECIMIENTO			
	1970-1975	1975-1977	1975-1981	1970-1981
EPT	7.4	6.4	10.1	8.8
PIB	6.5	3.8	6.9	6.7
CFT	8.1	6.1	8.9	8.5
Producción de energía	7.6	10.4	18.0	13.1
Consumo de petróleo	9.6	10.2	10.9	10.3

Nótese que durante el periodo 1975-1981 el incremento en el consumo final total (CFT) fue de 8.9% anual promedio, el de energía primaria total (EPT) de 10.1% y el de consumo de petróleo de 10.9%.

Es oportuno comentar, en este punto, que los incrementos esperados para los próximos años son menores debido a la situación económica que prevalece en nuestro país. El estimarlos acertadamente puede ser tema de una tesis de economía.

Se advierte que, también debido a la situación antes mencionada y a las limitaciones financieras que esta impone, el crecimiento de la oferta de energía para satisfacer la futura

demanda será un reto para el sector correspondiente e implica el buen aprovechamiento de todos los recursos disponibles en el país en la medida en que los diversos factores involucrados (tecnológicos, humanos, económicos y otros) lo permitan.

### 1.3 Duración de las reservas mexicanas de hidrocarburos.

El objetivo de esta sección es estimar el tiempo en el cual, según una serie de suposiciones tomadas como punto de partida, se habrá consumido una cantidad de barriles de petróleo crudo equivalente (bpce) igual a las reservas probadas de hidrocarburos.

De acuerdo con el informe rendido por el director general de Pemex, Lic. Mario Ramón Beteta, el día 18 de Marzo de 1984, nuestras reservas probadas son de 72,500 millones de barriles; la plataforma de producción es de 2.75 millones de barriles diarios de petróleo crudo y 4,300 millones de pies cúbicos por día de gas, de los cuales 1.5 millones de barriles por día y un máximo de 300 millones de pies cúbicos por día se destinarán a la exportación.

Resumiendo:

Producción. 2.75 millones b/d + 4,300 millones pies cu./d que son 3.61 millones de bpce/d y en otras palabras, 1,317.65 millones bpce/año.

nota: 5,000 pies cúbicos de gas = 1 bpce

Esta producción se distribuye de la siguiente manera:

Exportación. 1.5 millones b/d + 300 millones de pies cu./d o sea 1.56 millones de bpce/d o en otras palabras 569.4 millones bpce/año.

Consumo interno. 1.25 millones b/d + 4,000 millones de pies cu./d esto equivale a 2.05 millones de bpce/d, y en otra expresión, 748.25 millones de bpce/año.

Reservas probadas. 72,500 millones de bpce.

Los datos anteriores serán tomados como base para la estimación de la duración de las reservas. Otros datos que deben tomarse en cuenta son: la tasa de crecimiento del consumo interno de hidrocarburos y el crecimiento de la exportación de los mismos.

#### Suposiciones.

1. La exportación de petróleo crudo permanece constante durante los próximos años al nivel actual de 1.5 millones de barriles diarios. La actual política del sector incluye en sus planes este valor como un límite superior.

2. La tasa anual de crecimiento del consumo de hidrocarburos se supone igual a 6.6% para los próximos años. Si recordamos, de la previa sección, que la tasa de crecimiento del consumo de petróleo para el periodo 1975-1981 fue de 10.9%, veremos que la tasa de 6.6% es conservadora.

### 1.3.1 Estimación matemática.

A continuación se detallará el procedimiento matemático seguido para hacer la estimación.

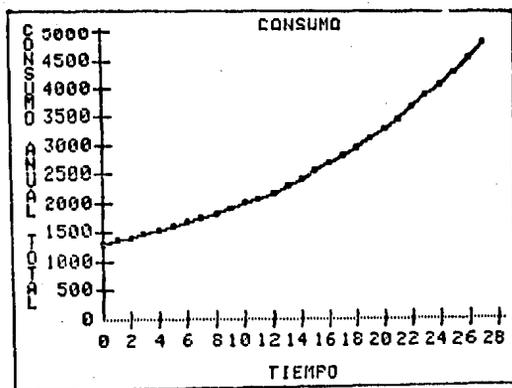
Si el consumo interno inicial, que llamaremos  $C_{I0}$ , aumenta con una tasa de crecimiento  $i$ , entonces, el consumo interno, que llamaremos  $C_I$ , al final del año ' $n$ ' será:

$$C_I = C_{I0} (1+i)^n$$

Además, sabemos que el consumo total es igual al consumo interno más la exportación.

$$C_T = C_{I0} (1+i)^n + E$$

FIGURA 2



La cantidad consumida desde el instante inicial hasta el año 'n' está determinada por el área bajo la curva de la figura 2 y es igual a:

$$(E \times n) + C_{10} \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right]$$

Si igualamos esta ecuación con las reservas probadas, 72,500 millones de bpce, y sustituimos los datos:

$E = 569.4$  millones de bpce/año

$C_{10} = 748.25$  millones de bpce/año

$i = 6.6\%$

podremos ver que que la ecuación se verifica para  $n = 27.635$  es decir, aproximadamente 28. En otras palabras, bajo las suposiciones tomadas como base para el cálculo, para el año 2011 (1984 + 28) ya habremos consumido una cantidad de hidrocarburos igual a la existente en las reservas probadas.

Es de gran importancia resaltar que antes de que las reservas se agoten la producción comenzará a declinar, y por lo tanto, el problema real comenzará no en la fecha mencionada sino en el instante en el cuál la producción sea inferior que la demanda, produciéndose un déficit.

#### 1.4 Diversificación de las fuentes de energía.

Hasta aquí, hemos hecho palpable nuestra fuerte dependencia de los hidrocarburos, demostrado su creciente participación en los últimos años, comentado las tasas de crecimiento de la demanda de energía y estimado el lapso en el cual habremos consumido una cantidad de barriles de petróleo crudo equivalente igual a la que actualmente tenemos en reservas probadas de hidrocarburos.

Todo lo anterior nos conduce en forma inevitable a pensar en la diversificación de las fuentes de energía.

México, afortunadamente, no es un país cuyo único recurso energético sean los hidrocarburos. Contamos con una gran cantidad de opciones energéticas como lo son la energía hidráulica, la nuclear, el carbón, la geotermia, la energía eólica, la solar y la biomasa. Es por lo tanto, deseable, conveniente y necesario aprovechar en forma racional lo que la naturaleza ha puesto en nuestras manos; procurar no dejar al margen ninguna de las alternativas con que contamos e intentar establecer un equilibrio en la participación de todas ellas en el panorama energético nacional.

1.5 El Plan Nacional de Desarrollo 1984 - 1988 y el sector energético.

La situación antes mencionada ha sido detectada por las autoridades correspondientes, de forma tal que en el capítulo sobre energéticos del Plan Nacional de Desarrollo 1984 - 1988 se han incluido las estrategias que permitan resolver tal problemática.

Concretamente, el programa ha establecido como algunos de sus propósitos, contribuir:

- A impulsar el desarrollo nacional, garantizando la autosuficiencia en la producción de energéticos a fin de satisfacer eficiente y oportunamente el consumo presente y futuro del país, incorporar cada vez más a los núcleos de población rural y de zonas urbanas rezagadas a los beneficios que conlleva la disponibilidad de energía, y aprovechar los impactos positivos del sector energético para contribuir al desarrollo regional.

- A fortalecer la independencia económica de México a través de una participación más activa en:

a) el desarrollo y la modernización del aparato productivo nacional, mediante el potencial del sector energético como demandante de bienes de capital, insumos industriales y sus aportes fiscales y de ingresos de divisas, y

b) el fortalecimiento del desarrollo tecnológico propio, con el particular énfasis en la innovación tecnológica para el aprovechamiento de fuentes prioritarias y viables,

convencionales y alternas.

- A consolidar la rectoría del Estado, mediante el aumento de la productividad y la eficiencia técnica, operativa y administrativa de las empresas del sector; estableciendo la disciplina presupuestal, y cumpliendo el compromiso de renovación moral.

- A lograr un equilibrio energético más racional a través de la diversificación de las fuentes, propiciando una transición energética ordenada y la preservación de la dotación de recursos no renovables, y a optimizar los niveles de eficiencia, ahorro y conservación en la producción, distribución y uso de la energía, promoviendo una asignación adecuada de los recursos energéticos, tanto en terminos intersectoriales como intertemporales.\*[5]

#### 1.6 Alternativas energéticas de México.

No es posible dar un panorama completo del contexto energético nacional si no mencionamos la situación actual de las opciones con las que cuenta nuestra nación, en especial después de haber hablado de la diversificación de las fuentes de energía.

Procederemos, entonces, a comentar en forma breve estas opciones.

### Energía nuclear.

Los resultados obtenidos en esta área no han sido los esperados. Los retrasos en el programa nucleoelectrico han sido notorios, las labores de exploración y prospección también han sufrido del mismo mal.

Sin embargo, a pesar de algunos factores, existen elementos que hablan en favor de esta fuente. Aunque las reservas probadas de 9,000 toneladas de  $U_3O_8$  no son de gran magnitud, las reservas probables y potenciales no son de orden despreciable. A finales de 1979 las reservas probables se estimaban de 31,800 toneladas de  $U_3O_8$ .

### Energía hidráulica.

Las experiencias mexicanas en este campo han sido satisfactorias. En la actualidad, una buena porción de la capacidad eléctrica instalada está constituida por plantas hidroeléctricas.

En 1982, 31% del total de generación eléctrica bruta provino de ellas.

No obstante, a pesar de que este recurso ha sido ampliamente explotado, el potencial hidroeléctrico identificado es aun muy amplio. De acuerdo con la revisión más reciente del potencial hidroeléctrico nacional, realizada por la Comisión Federal de Electricidad, se han identificado hasta la fecha 597 proyectos, que representan una generación de 172,193 GWh por año. De esta cantidad un 15% se encuentra en operación y 3.6% en construcción [6].

FIGURA 3

**DISTRIBUCION ESPACIAL DEL POTENCIAL HIDROELECTRICO IDENTIFICADO**



La figura 3 [8] nos indica que el potencial hidroeléctrico se encuentra distribuido en el territorio nacional. El aprovechamiento de este recurso renovable no solo trae beneficios de tipo energético, también permite la creación de sistemas de riego, así como el surgimiento de polos de desarrollo económico que contribuyen a la descentralización del país.

#### Carbón mineral.

La producción de carbón ha sido poco importante; se ha encontrado asociada más con la industria siderometalúrgica que con el sector energía.

En esta área hace falta mayor exploración ya que su potencialidad verdadera no está totalmente definida [3,7]. Sin embargo, este recurso no renovable es prometedor, sobre todo para el sector eléctrico. Las reservas probadas de carbón no coquizable ascienden actualmente a unos 600 millones de toneladas.

La figura 4 [7] nos muestra los lugares conocidos que pueden, en un futuro, llegar a desarrollar su potencial.

#### Geotermia.

Aquí también se han tenido experiencias positivas en nuestro país. Actualmente se cuenta con la planta de Cerro Prieto I, Baja California Norte, cuya capacidad es de 180 MW [8] y con cinco plantas a pie de pozo de 5 MW cada una en Los Azufres, Michoacán.

Se han localizado una gran cantidad de sitios con manifestaciones termales a lo largo de nuestro territorio. La reserva probada con la que contamos es mayor a los 800 MW [8].

#### Energía eólica.

Esta es una de las fuentes que pueden ayudar a llevar energía a puntos con acceso difícil a través de pequeños sistemas descentralizados. Es además un recurso renovable.

No ha sido plenamente identificado su potencial salvo en casos regionales, como lo son las siguientes zonas:

La Ventosa, Oax., La Bufa, Zac., la meseta central y algunas zonas costeras.

#### Energía Solar.

Nuestro país dispone de este recurso en abundancia aunque no se le ha dado la importancia debida. Esperamos poder contribuir en este sentido con la presente tesis. Platicaremos ampliamente sobre este recurso en el siguiente capítulo.

FIGURA 4



FIGURA 5



## 1.7 Energía y economía nacional.

El sector energético no solo es importante como abastecedor de energía. Hoy en día, la importancia de este sector en la economía nacional es incuestionable.

A continuación se citan algunas cifras correspondientes al año de 1982 con el fin de ejemplificar la importancia del sector en algunas áreas.

- \* En ese año cerca del 50% de la inversión pública se canalizó hacia este sector [9].
- \* El empleo directo generado por las ramas de hidrocarburos y energía eléctrica ascendió a 180,000 personas aproximadamente [9].
- \* El 60% de la demanda de bienes de capital correspondió a este sector [9].
- \* Participó en los ingresos fiscales de la nación con un 30% de ellos aproximadamente [9].
- \* Aportó alrededor de 5% del PIB [9].
- \* Cerca del 80% del total de ingresos de divisas al país fueron participación del mismo [9].

Forman parte de este sector: PEMEX, C.F.E., la Cia. de Luz y Fuerza del Centro, el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto de Investigaciones Eléctricas y los organismos nucleares.

De este grupo sobresale PEMEX, que es la empresa de mayor importancia en el país:

- \* Participa en forma directa en los mercados de transporte y energía y en forma indirecta en otros sectores.
- \* En el año de 1983 participó con el 4% del PIB.
- \* El valor de sus exportaciones superó el 76% del total nacional en 1982.

Reconocemos ampliamente las labores que PEMEX ha realizado en algunas áreas, sin embargo, así como ha contribuido fuertemente a los ingresos fiscales de la nación y a la entrada de divisas también ha contribuido en buena medida a la deuda externa nacional. A fines de 1982, la deuda externa de PEMEX ascendía a más de 17,000 millones de dólares, alrededor de 20% del total de la deuda en ese instante [10]. En el caso del sector eléctrico la baja participación nacional en la integración de los costos de las plantas de generación, que se hace crítico en el caso de las plantas nucleares, también ha favorecido al crecimiento de la deuda aunque no en la misma proporción.

Por otra parte, existen muchos otros fenómenos económicos, sociales y de otra índole asociados al sector petrolero que se presentan a nivel regional, pero cuyos efectos atañen a toda la nación, como los que se dan en zonas como Campeche y Tabasco: inflación, abandono de labores agrícolas y contaminación.

Otros fenómenos de tipo económico se han presentado a causa de los subsidios que se manifiestan en forma de bajos precios de los energéticos para el mercado interno.

Algunos efectos asociados a esos subsidios son:

- \* el uso ineficiente de la energía [11].
- \* el contrabando de hidrocarburos en las zonas fronterizas con la consecuente transferencia de recursos al exterior [11].
- \* una descapitalización de las empresas en cuestión (PEMEX, CFE).

Aun cuando el objetivo original de los subsidios era alentar al sector industrial, se ha determinado que no conviene a la economía nacional seguir con una política en la cual los precios internos de los energéticos en general difieran excesivamente de los existentes en el mercado internacional [11,12].

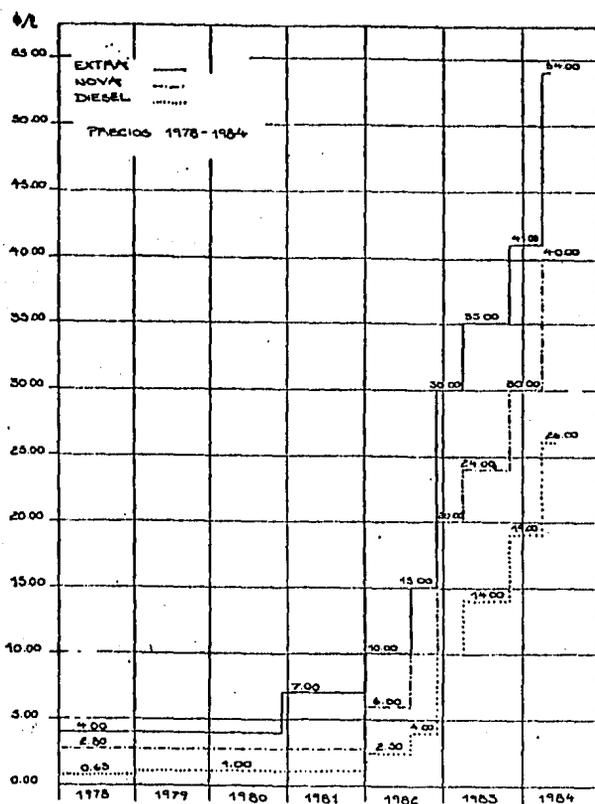
Se ha adoptado, por lo tanto, una política de ajuste de precios para poder reducir los subsidios a un nivel en el cual estos puedan ser absorbidos por la economía nacional.

En la actualidad una meta establecida en el caso de los hidrocarburos es la de llegar al 70% de los precios externos de referencia en cuanto a combustibles industriales y a diesel y a eliminar casi totalmente esa diferencia en el resto de los productos petrolíferos.

El proceso de ajuste para reducir la brecha existente entre los precios actuales y los razonables requerirá de largo tiempo. Esta política es un tanto difícil para quienes toman las decisiones en este renglón. Por una parte, si el aumento es reducido los efectos buscados también serán reducidos a corto plazo; pero, por otra parte, el costo político de tales decisiones puede ser elevado.

Podemos observar en la figura 6 la evolución de los precios de la gasolina Extra, la Nova y el diesel como resultado de la aplicación de esta política. (Nota: la gráfica se realizó a precios corrientes).

FIGURA 6



EVOLUCION DE LOS PRECIOS

DE ALGUNOS ENERGETICOS

1978-1984

## CAPITULO II

### LA ENERGIA SOLAR EN MEXICO

#### 2.1 El recurso solar

De acuerdo con la Asociación Nacional de Energía Solar (A.N.E.S.) la República Mexicana recibe en su superficie alrededor de  $2 \times 10^{12}$  MWH/año en forma de energía solar (\*) [13]. Esta cantidad representa 26,723 veces el total de energía eléctrica bruta generada en nuestro país en el año de 1983, la cual fue de 74.84 TWH.

Para poder llevar a cabo los cálculos de tipo ingenieril asociados con cualquier proyecto de aprovechamiento de energía solar es necesario conocer la disponibilidad de este recurso en la localidad de interés.

Existen dos maneras de obtener esta información:

- a. Tomando mediciones durante varios años.
- b. Haciendo estimaciones por medio de modelos matemáticos.

La primera opción representa la situación ideal. Sin embargo, nuestro país aún está lejos de contar con una red solarimétrica completa.

Por el momento, la mayoría de los cálculos en nuestro país, y en casi todo el mundo, se basan en estimaciones obtenidas con modelos matemáticos que han sido previamente validados y que han mostrado una precisión aceptable (error \* radiación sobre plano horizontal

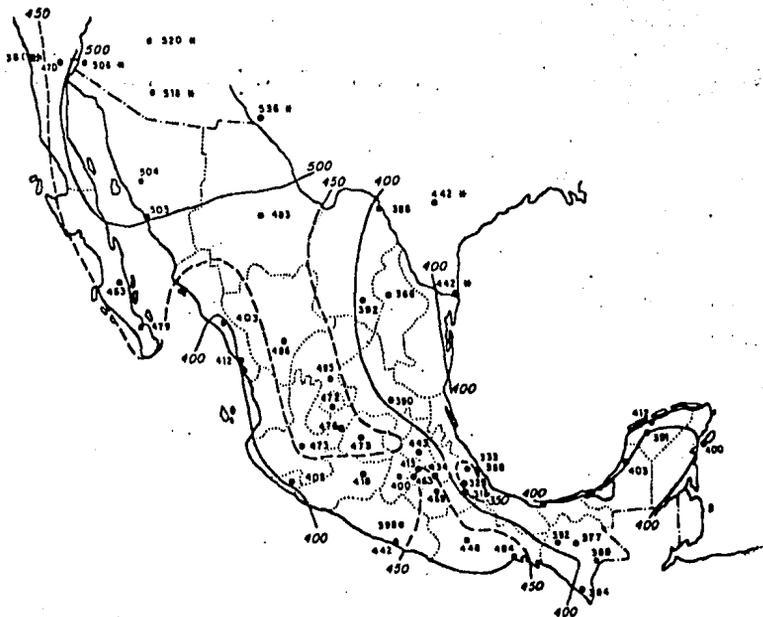
menor a 10%).

Los valores de radiación solar que usaremos en esta tesis provienen de los mapas solarimétricos elaborados por Rafael Almanza y Serafín López en la Universidad Nacional Autónoma de México [14]. Estos mapas proporcionan valores promedio de radiación global sobre planos horizontales por regiones en Langleys/día (1 Langley = 1 cal/cm<sup>2</sup>).

La figura 7 muestra el mapa correspondiente a los valores promedio anual.

Una discusión más profunda del tema se hace en el capítulo III.

FIGURA 7



PROMEDIO ANUAL DE RADIACION

TOTAL DIARIA

EN LY/DIA

## 2.2 Investigación, desarrollo y aplicaciones.

Se han detectado 34 universidades, institutos y centros de investigación vinculados con trabajos en el área [15]. Los que han logrado mayores aportaciones y los temas específicos en los que trabajan o han trabajado son:

Instituto de Investigaciones Eléctricas (I.I.E.)

Ha realizado estudios sobre insolación, sistemas fotovoltaicos, plantas helioeléctricas de torre central, sistemas de concentración, estanques solares, aprovechamiento de otras fuentes renovables de energía.

Instituto de Investigaciones en Materiales. UNAM.

Insolación, sistemas fotovoltaicos, materiales semiconductores para celdas solares, climatización, refrigeración, sistemas evacuados y otros sistemas de aprovechamiento térmico de la energía solar. De especial interés resultan los estudios que han realizado sobre silicio amorfo. A punto de iniciar actividades en el Laboratorio de Energía Solar (L.E.S.) en Temixco, Morelos.

Instituto de Ingeniería.UNAM.

Insolación, refrigeración, sistemas de concentración, colectores planos, enfocándose principalmente al estudio de sistemas térmicos. Este instituto diseñó y construyó una planta helioeléctrica de 10 Kw con 550 M2 de concentradores cilíndrico parabólicos en Ciudad Universitaria, D.F.

Instituto de Geofísica.UNAM.

Las investigaciones sobre radiación solar en este instituto se iniciaron hace más de 20 años. Ha publicado numerosos artículos sobre el tema. Cuenta con un observatorio en Ciudad Universitaria y otro en el Valle del Mezquital en Orizabita, Edo. de Hidalgo, donde se toman diferentes mediciones de la radiación solar.

Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (CINVESTAV).IPN.

Sistemas fotovoltaicos, física de semiconductores. Cuenta con una línea piloto de fabricación de celdas solares de silicio monocristalino. De gran importancia fue su participación, junto con la Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica (ESIME-IPN) y el Instituto Nacional Indigenista, en la instalación de sistemas fotovoltaicos en 122 albergues rurales. Laboró en la instalación de 2 telesecundarias energizadas con

sistemas fotovoltaicos en la Sierra de Puebla, siendo las primeras de su tipo en la República.

Universidad Autónoma Metropolitana.

Unidades Iztapalapa y Azcapotzalco.

Sistemas de refrigeración, bombas de calor, colectores planos y sistemas de aprovechamiento térmico de la energía solar en general.

Existen organismos que han proporcionado apoyo directo a ciertas actividades específicas, por ejemplo:

CONACYT. Ha colaborado económicamente para múltiples investigaciones y proyectos.

INFONAVIT. Ha llevado a cabo varias experiencias de climatización con sistemas pasivos, así como de calentamiento de agua con colectores planos a fin de aplicar estas tecnologías en programas de vivienda. Recientemente patrocinó, junto con la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología el congreso internacional FLEA 1984 con sede en la Ciudad de México (\*).

DIGAASES-SAHOP. (Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar). Creada para impulsar el aprovechamiento de la energía solar, ha ejecutado diversos proyectos en colaboración con la República Federal de Alemania: el proyecto Sonntlan en la

\* FLEA es una organización internacional.

Las siglas significan: Passive Low Energy Architecture

península de Baja California, el proyecto SORO (plantas desaladoras por osmosis inversa solar), el proyecto SNSF (planta desaladora del tipo de evaporación instantánea por etapas) también en la península de Baja California. Actualmente sus funciones son desarrolladas por el Instituto SEDUE.

S.C.T. Ha hecho uso de cientos de sistemas fotovoltaicos para electrificación de señales marítimas.

S.E.P. Televisión educativa. Dos telesecundarias en la Sierra de Puebla dotadas con sistemas fotovoltaicos con la participación del IPN.

Teléfonos de México. Posee una Estación repetidora de micro-ondas con sistema fotovoltaico en Tenayo, Edo. de México.

Servicio Forestal Nacional. Estación repetidora de radio y caseta forestal energizadas con celdas solares para la vigilancia de la zona sur del Distrito Federal.

Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Unidad móvil para erradicar la garrapata dotada de sistema fotovoltaico y calentamiento de agua.

Gobierno del Estado de Hidalgo. En el año de 1982 adquirió los sistemas fotovoltaicos y el equipo necesario para la instalación de 80 teleaulas rurales.

Además de la participación de estos organismos debemos mencionar las actividades de otros grupos importantes en el medio:

**Asociación Nacional de Energía Solar (A.N.E.S.)**

Creada en 1980, reúne a un alto porcentaje de la gente relacionada con la energía solar en México: investigadores, profesionistas especializados, industriales y estudiantes. Publica un boletín y una revista llamada SOLAR, organiza reuniones anuales a nivel nacional y cursos de actualización, propiciando el intercambio y la divulgación de la información.

**Grupo del Sol, Sociedad Civil.**

Este grupo de profesionistas y técnicos está dedicado a la asesoría y a la divulgación de las tecnologías comercialmente disponibles para el aprovechamiento de la energía solar. Cuenta con el centro de experimentación, evaluación y divulgación constituido por las casas solares de Ajusco, propiedad del presidente del grupo, Ing. Roberto Martín Juez. El grupo ha tenido una amplia participación en labores de divulgación recibiendo grupos de universidades, institutos y escuelas en general en las casas de Ajusco al menos una vez por semana, participando en programas de televisión, revistas, seminarios, etc. Por otra parte, ha prestado sus servicios en múltiples proyectos, principalmente del área fotovoltaica, como lo son: repetidoras, sistemas de bombeo, etc.

### 2.3 Fabricación de equipos en México.

Los primeros equipos de aprovechamiento de energía solar que aparecieron comercialmente en nuestro país lo hicieron en la década de los años 40 y correspondieron a colectores planos para calentamiento de agua. Actualmente existe en nuestro país más de una docena de fabricantes de este tipo de equipos, algunos de ellos con muy buena calidad.

Existe, además, un fabricante de equipos de solarimetría. Sus equipos han sido utilizados en diversos centros de investigación.

En cuanto a equipos fotovoltaicos, no existe en nuestro país fabricante alguno (\*) aunque si hay representantes de firmas extranjeras.

En general, la mayor parte de los industriales que han demostrado interés en el área se han concentrado en la fabricación de colectores planos.

\* A nivel comercial. Recordemos la línea piloto del IPN.

## 2.4 Cronología.

Esta cronología intenta incluir algunos de los eventos más significativos para el aprovechamiento de la energía solar en México y hacer breves comentarios objetivos acerca de algunos de ellos. No es, de ninguna manera, exhaustiva.

Se ha intentado ser imparcial en su elaboración, incluyendo aquellos trabajos y actividades que han sido considerados como trascendentales para el aprovechamiento de la energía solar en nuestro país sin importar si han sido realizados por instituciones de investigación, organismos oficiales o firmas de ingeniería. Si existe omisión alguna esta no ha sido intencional.

Por otra parte, debido a los miles de metros cuadrados de colectores planos instalados en el país hasta la fecha, a la existencia de muchos módulos fotovoltaicos dispersos en la República Mexicana y dada la imposibilidad de mencionar todos y cada uno de estos sistemas se seleccionaron aquellos que se consideran importantes por alguna de las siguientes razones:

- Las dimensiones del sistema demuestran que la tecnología comercialmente disponible hoy en día es capaz de hacer grandes aportaciones de energía.
- Tiene o puede tener una amplia labor de divulgación.
- No obstante a que sus dimensiones no la hagan parecer importante ha sido una de las primeras muestras de interés por parte de algún organismo oficial.

- 1911-1917 Se efectúan estudios y mediciones sobre radiación solar en el Observatorio Astronómico Nacional de Tacubaya [16].
- 1923 Se reinician los estudios, ahora en el Observatorio Meteorológico Central de Tacubaya [16].
- 1928 Finaliza este período de observación y análisis. Los resultados obtenidos son publicados el mismo año [16].

\* Con el fin de resucitar una antigua fiesta tradicional de los aztecas en honor al Sol y bajo la influencia de la arqueóloga Zelia Nuttall y del director del Observatorio Nacional, Ing. Joaquín Gallo, se reestablece la llamada "Fiesta del Sol". Esta celebración reportada por Pedro de Alvarado tiene como objeto festejar el paso del Sol por el Zenit, cosa que en la Cd. de México ocurre cada 17 de mayo. La celebración tuvo lugar en la mayoría de los centros educativos de la ciudad, sin embargo, destacaron las actividades desarrolladas en la Escuela Nacional de Maestros, que incluyeron una plática del Ing. Gallo para explicar el fenómeno, observación del mismo, canto de un himno escrito para la ocasión, bailes, etc. Llevado a cabo durante algunos años y siendo olvidado por algún

tiempo, podría considerarse, de alguna manera, antecedente del actual Festival del Sol organizado por el I.P.N. [17,18]

1942 Es bien sabido que los primeros colectores planos comerciales de fabricación mexicana aparecieron en la década de los años 40.

1957 Con motivo del Año Geofísico Internacional se reanuda las observaciones de radiación solar en México, tomando como observatorio central el de Ciudad Universitaria. El grupo de radiación solar del Instituto de Geofísica comenzaría aquí su trayectoria [16].

1966 El Centro de Investigaciones Avanzadas del IPN inicia las investigaciones sobre materiales semiconductores para fabricación de celdas solares. Con estos trabajos se dió principio a la formación de uno de los más importantes grupos de investigación en sistemas fotovoltaicos en el país [19].

1972 Dan principio los estudios de aprovechamiento de energía solar en el actual Instituto de Investigaciones en Materiales de la U.N.A.M. Otro de los grupos más activos de la comunidad solar tuvo su origen en este evento.

1974-1975 La Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente de la Secretaría de Salubridad y Asistencia lleva a cabo el programa "Tonatiuh", proyecto pionero de la

energía solar en México, que consta de 14 plantas de bombeo por conversión térmica de la energía solar adquiridas en Francia e instaladas en diversas localidades de nuestro país. Aunque los fines perseguidos con este proyecto son interesantes, los resultados obtenidos no fueron los esperados. En la actualidad muchas de estas bombas se encuentran fuera de operación por diversas razones.

1975 Con motivo de un eclipse de sol el planetario Luis Enrique Erro organiza una serie de actividades abiertas al público, antecedente del Festival del Sol que año con año toma lugar en sus instalaciones.

\* Empiezan las investigaciones sobre calentamiento de fluidos con energía solar en el Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. Nuevamente se siembra una de las semillas más fructíferas de la comunidad solar en México.

\* El primero de los cuatro conjuntos de mapas solarimétricos de la República Mexicana realizados hasta la fecha aparece en el trabajo "Radiación global en la República mexicana". Este trabajo fue elaborado por Almanza y López del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. basándose en el modelo de Jeevananda. La importancia de este trabajo radica en su utilidad para ser empleado en el dimensionamiento de cualquier sistema de

aprovechamiento de energía solar así como en la cuantificación del recurso [14].

1976 El planetario Luis Enrique Erro organiza su primer Festival del Sol. Cada año, a partir de entonces, se organiza una semana de conferencias, películas, muestras y otras actividades dedicadas al sol, las cuales principian el domingo más cercano al 21 de Marzo.

\* Entra en funcionamiento la casa 1 del proyecto particular Ajusco, primera experiencia de autosuficiencia energética en nuestro país basada en el aprovechamiento de la energía solar aplicada a la vivienda. El proyecto comprende un sistema fotovoltaico de 88 Wp iniciales con almacenamiento de energía eléctrica para 15 días y distribución de la misma en corriente directa, 3.4 m<sup>2</sup> de colectores planos y aprovechamiento de la precipitación pluvial. Este proyecto ha tenido una gran labor de divulgación habiendo recibido a la fecha a más de 6,000 visitantes.

\* Aparece otro trabajo dirigido a la elaboración de mapas solarimétricos de nuestro país: "La distribución de la radiación global en México evaluada mediante la fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites meteorológicos". Tesis de Maestría. Everardo Hernandez. Facultad de Ciencias. Trabajo basado en el

modelo de Angstrom [20].

- \* El trabajo "La radiación global en México" de Jáuregui es publicado en una revista de la Secretaría de Recursos Hidráulicos. También basado en el modelo de Angstrom [21].

1977 La primera reunión anual sobre fuentes no convencionales de energía, antecesora de las actuales reuniones anuales de ANES, toma lugar en las instalaciones de la Universidad Autónoma Metropolitana.

- \* Primera planta de bombeo electrificada con celdas solares en México. Barra de Tecuanapa, Guerrero. Este proyecto contó con una amplia aceptación local.

- \* Se instalan dos telesecundarias con sus respectivos sistemas fotovoltaicos en la Sierra de Puebla. SEP-IPN.

- \* El cuarto conjunto de mapas solarimétricos de nuestro territorio aparece bajo el trabajo "Estudio del Clima Solar en la República Mexicana". Galindo y Chávez. Instituto de Geofísica. U.N.A.M. Basado también en el modelo de Angstrom [16].

1978 Toma lugar la Segunda Reunion Nacional, ahora en las instalaciones del I.I.E. en Palmira, Morelos.

- \* Queda oficialmente constituido el Departamento de Energía Solar del Instituto de Investigaciones en Materiales de la U.N.A.M. Esto permitiría ampliar

el área de acción de la gente del I.I.M. en este campo.

\* Se instala un sistema de colectores planos con una área de captación de 288 m<sup>2</sup> en un hotel ubicado en La Paz, B.C.S. (Hotel Villa Lorena).

\* Da inicio el proyecto Sonntlan, programa de cooperación México - República Federal de Alemania para el aprovechamiento del recurso solar, habiéndose seleccionado las localidades de Las Barrancas y Mexicali en la península de Baja California para el desarrollo del proyecto. Aunque los resultados no han sido los deseados, las partes involucradas en él, así como la comunidad solar, desean que algunos de los errores de la administración anterior sean corregidos y que el proyecto llegue a un fin exitoso.

1978-1980 Se instala una línea piloto de producción de celdas solares de silicio monocristalino en el CINVESTAV del IPN, lo que ha permitido adquirir experiencia en la fabricación de este tipo de dispositivos por una parte y, por otra, demostrar que la capacidad técnica para lograrlo existe en nuestro país [19].

1979 Se lleva a cabo la Tercera Reunión Nacional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Mich. [13]

\* Instalación de un sistema de colectores planos con

una área de 720 m<sup>2</sup> . Centro vacacional Yecapixtla,  
Edo. de Morelos.

\* La SARH incluye un sistema fotovoltaico y un  
colector plano a algunas unidades móviles para  
erradicación de la garrapata.

\* Instalación de un sistema fotovoltaico en una  
caseta forestal, ubicada en la zona del Ajusto, D.F.  
Servicio Forestal Nacional. La confiabilidad mostrada  
por este sistema llevaría a la gente del S.F.N. a  
la decisión de instalar una repetidora en 1983.

1980 Entra en operación un sistema de calentamiento de  
agua con una superficie de 360 m<sup>2</sup> de colectores  
planos en el Instituto Centroamericano de la ciudad  
de México. Dicho sistema presta servicio para una  
alberca.

\* Para poder evaluar objetivamente diversos sistemas  
de climatización pasiva la Universidad de Sonora  
construyó un módulo experimental con la  
colaboración del I.I.M. - U.N.A.M. Este módulo  
también será empleado con fines didácticos  
[22].

\* Se lleva a cabo la IV Reunión Nacional de  
Energía Solar. Esta vez con la coordinación de la  
Universidad Autónoma de San Luis Potosí [13].

\* Se instala un sistema de aire acondicionado por  
absorción con 48 m<sup>2</sup> de colectores planos en las  
oficinas del I.I.E. en Mexicali, B.C.N. con la

colaboración del I.I.M. - U.N.A.M.

\* Entra en funcionamiento la casa 2 del proyecto particular Ajusto. Esta casa incluye sistemas de climatización activos y pasivos (cuenta con 23.8 m<sup>2</sup> de colectores de los cuales 20.4 son apoyo para el sistema activo ), sistema fotovoltaico de 880 Wp iniciales, distribución de la energía eléctrica en corriente alterna, calentamiento de agua por medio de colectores planos y autosuficiencia hidráulica a través del aprovechamiento de la precipitación pluvial. Esta casa, al igual que la casa 1, ha permitido adquirir valiosa experiencia sobre la operación de diversos equipos asociados al aprovechamiento de la energía solar. Podemos citar como ejemplo diferentes tipos de baterías, controles e inversores (tanto de fabricación nacional como de procedencia extranjera).

\* Queda oficialmente constituida la Asociación Nacional de Energía Solar abriendo las puertas para un mayor intercambio de información, así como para la unidad de sus miembros y para la cooperación entre los mismos.

1980 - 1982 En este período se construyen las 6 viviendas del programa piloto INFONAVIT - I.I.M. - U.N.A.M. Dos de ellas se encuentran en San Luis Potosí, S.L.P., otras dos en Cd. Cuauhtemoc, Chih. y las restantes en La Paz, B.C.S. En todas las viviendas se incluyeron

sistemas de climatización pasiva (en las de Cd. Cuauhtemoc se incluyeron, además, sistemas fotovoltaicos) con el fin de evaluar los mismos y demostrar los beneficios que pueden proporcionar en este tipo de localidades [22].

1981 La V Reunión Nacional de Energía Solar se realiza simultánea a la III Reunión Latinoamericana de Energía Solar. En ella se anuncia el reconocimiento de A.N.E.S. como la sección México de la International Solar Energy Society (I.S.E.S.) Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco [13].

\* Se construye una casa autosuficiente como proyecto particular en Cuernavaca, Morelos. La casa incluye un generador fotovoltaico de 1 Kw<sub>p</sub>, distribución de la energía eléctrica en corriente alterna, captación de agua pluvial, sistemas pasivos de climatización y 3.4 m<sup>2</sup> de colectores planos.

1982 En el hotel Presidente de San José del Cabo, B.C.S. se instala el sistema de colectores planos de fabricación nacional de mayores dimensiones reportado en el país. El área de captación es de 1640 m<sup>2</sup>.

\* La Universidad de Guadalajara construye un módulo arquitectónico experimental con apoyo técnico del I.I.M. - U.N.A.M. Los fines perseguidos son tanto didácticos como de investigación [22].

- \* La VI Reunión Nacional de la A.N.E.S. se realiza en La Paz, B.C.S., precedida por un curso de actualización. Los anfitriones fueron la Universidad de B.C.S. y el Instituto Tecnológico de La Paz [13].
- \* La Escuela Internacional de Invierno de Silicio Amorfo toma lugar en la ciudad de Cuernavaca, Morelos [23].
- \* Se inicia la instalación de teleaulas rurales con sistemas fotovoltaicos en el Edo. de Hidalgo.
- \* Se instala un sistema fotovoltaico en una repetidora de micro-ondas propiedad de Teléfonos de México, ubicada en Tenayo, Edo. de México.
- \* Se instala una repetidora de radio con un sistema fotovoltaico de 308 Wp iniciales. Servicio Forestal Nacional. Cerro Pelado, Ajusco, D.F.
- \* 122 albergues rurales en diversas localidades del país son electrificados con celdas solares. I.N.I.-I.P.N. Esto permitió al I.P.N. adquirir una gran experiencia en el desarrollo de este tipo de proyectos, generando además otros trabajos asociados tales como la conversión de televisores b/n y de color de corriente alterna a corriente directa y el diseño de diversos equipos electrónicos [13, 26].
- \* Planta helioeléctrica de 10 Kwe en Ciudad Universitaria. I.I.-U.N.A.M. Aunque no se encuentra

operando en forma total en la actualidad, este proyecto ha permitido adquirir gran experiencia con respecto al diseño, fabricación y empleo de los equipos que una planta de este tipo involucra.

1983 La VII Reunión Nacional de la ANES toma lugar en Saltillo, Coahuila. Anfitrión: Instituto Tecnológico Regional de Saltillo.

\* Ferrocarriles Nacionales lanza una convocatoria para la adquisición de módulos fotovoltaicos.

\* Instalación de 240 m<sup>2</sup> de colectores planos en el Club Deportivo Potosino en San Luis Potosí, S.L.P.

\* Se termina la instalación de un sistema híbrido (sistema fotovoltaico - aerogenerador) para funcionar como la fuente principal de suministro eléctrico de una casa - habitación en plena ciudad de México.

El sistema fotovoltaico tiene una capacidad de 748 Wp y el aerogenerador de 6 Kw. Contreras, D.F. Este sistema permitirá adquirir experiencia e información sobre la operación de un sistema de este tipo y la conveniencia de su empleo [26].

\* Aparece el trabajo "Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana" escrito por Fernández y Estrada del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., que incluye un conjunto de mapas que junto con el modelo propuesto en la misma publicación constituyen una valiosa herramienta para el diseño y para la simulación

de la operación de sistemas solares en nuestro país [27].

1984 Caminos y Puentes Federales de Ingresos instala una red de comunicación para casos de emergencia energizada con sistemas fotovoltaicos en la autopista que va de la Cd. de México a Cuernavaca. Uno de los resultados de este trabajo ha sido la planeación de un sistema similar para la autopista México - Puebla que se piensa instalar a finales de 1984.

- \* Se instalan 633 m<sup>2</sup> de colectores planos en las instalaciones del Club Mediterraneo en Guaymas, Sonora.
- \* Se lleva a cabo el congreso internacional PLEA '84 teniendo como sede a la ciudad de México, siendo patrocinado por INFONAVIT y SEDUE. Este congreso despertó el interés de muchos arquitectos, ingenieros, contratistas y autoridades por el aprovechamiento de la energía solar, especialmente para el calentamiento de agua y la climatización de espacios habitables.
- \* Se concluye la construcción de las instalaciones del Laboratorio de Energía Solar del I.I.M. - U.N.A.M. en Temixco, Morelos.
- \* Un total de 295 m<sup>2</sup> de colectores planos son colocados en el Centro de Extensión Universitaria en Pachuca, Hidalgo. De ellos, 45 m<sup>2</sup> son de tipo cerrado y están destinados al calentamiento de agua

para regaderas, los 250 m<sup>2</sup> restantes calientan agua para una alberca.

- \* La VIII Reunión Nacional de la ANES se realiza junto con un curso de actualización en Cd. Madero, Tamaulipas. El anfitrión en esta ocasión es el Instituto Tecnológico de Cd. Madero.
- \* Se inicia la instalación de 22 postes de alumbrado a base de lámparas de sodio a baja presión con módulos fotovoltaicos en un parque ubicado en Coyoacan, ciudad de México. Debido al tipo de lugar en el cual se encuentra este sistema, la labor de divulgación que estos equipos podrán hacer es potencialmente importante.

CAPITULO III  
ASPECTOS TEORICOS RELACIONADOS CON LA ENERGIA SOLAR

3.1 Disponibilidad del recurso solar.

Tal y como se mencionó en el capítulo anterior, la mejor manera de determinar la cantidad de energía solar disponible en una localidad dada es hacer mediciones durante varios años.

Cuando no contamos con tal alternativa es posible recurrir a modelos matemáticos que nos permiten estimar los valores promedio de radiación solar recibidos en el lugar.

Se han propuesto muchos modelos en diversas partes del mundo, (\*) de ellos el más aceptado en la actualidad es el modelo propuesto por Angstrom en 1924 y modificado por Prescott en 1940.

La expresión propuesta por Angstrom es:

$$H = H_c[a' + (1-a')n/N]$$

\* para una buena recopilación ver la ref. 27

donde

H: radiación total sobre una superficie horizontal tomando en cuenta la nubosidad

Hc: radiación total sobre una superficie horizontal para un día claro

a: constante determinada empíricamente

n: horas reales de insolación (\*\*)

N: horas teóricas de insolación (\*\*\*)

La expresión modificada es:

$$H = H_c(a + b \frac{n}{N})$$

donde

H<sub>0</sub>: radiación solar extraterrestre,

a y b: constantes determinadas experimentalmente

Este último modelo ha sido ampliamente utilizado en muy diversos países, habiendo mostrado muy buenos resultados. Sin embargo, es importante mencionar que su exactitud depende de la bondad de los datos introducidos a la fórmula y de los periodos de tiempo considerados.

En nuestro país contamos, hasta el momento, con cuatro diferentes estudios enfocados a la obtención de mapas

\*\* se puede obtener con un heliógrafo del tipo Campbell-Stokes

\*\*\* la expresión para obtener N se presenta en la sig. sección

solarimétricos de la República Mexicana:

"Radiación solar global en la República Mexicana"

Almanza, R. y López, S.

Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.

1975 [14]

"La distribución de la radiación global en México evaluada mediante la fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites meteorológicos."

Hernández, Everardo

Facultad de Ciencias, U.N.A.M.

1976 [20]

"Estudio del clima solar en la República Mexicana"

Galindo, I. y Chávez, A.

Instituto de Geofísica, U.N.A.M.

1977 [16]

"La radiación global en México"

Jáuregui, E.

Revista Recursos Hidráulicos (S.A.R.H.)

Vol.VII, no.2

1978 [21]

En el primer trabajo el modelo utilizado fue el de Jeevananda, afirmando tener desviaciones menores a 10%. Los otros tres trabajos usan el modelo de Angstrom; la diferencia entre ellos radica en el procedimiento empleado para establecer los valores de  $a$ ,  $b$  y  $n$ .

De los trabajos citados el autor considera como los mejores los de Almanza-López y los de Galindo-Chávez. Aun cuando en el primero se hizo empleo de un modelo diferente al de Angstrom, el manejo de la expresión utilizada parece haber sido correcto. Por otra parte, los valores reportados en ambos conjuntos de mapas no difieren mucho entre sí (véase la tabla IV). En ambos se afirma tener errores menores a 10%.

Por el momento, hasta que no se publique un estudio comparativo profundo y no se haga un número mayor de mediciones representativas en diversas regiones de la República no se objeta el uso de ninguno de estos dos trabajos. A pesar de ello, el autor de la presente tesis tuvo una razón adicional para optar por la utilización de los mapas de Almanza y López: existe un trabajo basado en ellos que nos permite describir en forma aproximada la variación de la intensidad de la radiación solar a lo largo de un día cualquiera y que, por lo tanto, resulta ser muy útil para propósitos de simulación de la operación de un sistema de aprovechamiento de energía solar [24].

TABLA IV

COMPARACION DE ALGUNOS VALORES PROMEDIO ANUAL  
DE RADIACION TOTAL DIARIA OBTENIDOS DEL TRABAJO  
DE GALINDO CON RESPECTO A LOS PROPORCIONADOS  
POR ALMANZA.

CIUDAD	ALMANZA LY/DIA	GALINDO LY/DIA	G/A	DIFERENCIA (%)
AGUASCALIENTES	472	497.9	1.054	+ 5.4
CULIACAN	403	445.8	1.10	+10.0
GUADALAJARA	473	439.6	0.929	- 7.1
JALAPA	333	352	1.057	+ 5.7
LA PAZ	479	507.5	1.059	+ 5.9
MEXICALI	470	481	1.023	+ 2.3
MORELIA	418	402	0.962	- 3.8
OAXACA	446	443.75	0.995	- 0.5
PUEBLA	469	425	0.906	- 9.4

Todos los mapas de los que hemos estado hablando nos reportan la cantidad de energía en forma de radiación solar por unidad de área que se recibe en un día de acuerdo con la época del año y la región en valores promedio mensuales, estacionales o anuales, en unidades tales como Kwh/m<sup>2</sup>-día, cal/cm<sup>2</sup>-día, Ly/día o en unidades equivalentes.

Para poder simular el comportamiento de un equipo solar a lo largo de un día, así como para poder pasar la información de radiación recibida sobre una superficie horizontal a valores correspondientes para una superficie inclinada, es necesario contar con un modelo que nos proporcione valores instantáneos de la radiación solar. Un modelo de fácil empleo ha sido propuesto por Fernández y Estrada [24].

El modelo tiene la siguiente forma: -

$$I_t = H_{tm} \cos^\alpha (\theta\pi/L_d)$$

donde

$I_t$  :valor instantáneo de la radiación solar global

$H_{tm}$ :valor de la radiación máxima total

$\theta$  :hora del día

$L_d$  :longitud del día

$\alpha$  :valor que se toma de tablas

La expresión correspondiente a la radiación directa es del todo similar.

Se han elaborado mapas que nos proporcionan los valores de radiación máxima necesarios para la aplicación de este modelo, estos valores se basan en los reportados por Almanza y López. El apéndice A incluye dos mapas como ejemplo.

Ahora la razón para seleccionar los mapas de Almanza es evidente: resulta más congruente utilizar los mapas de Fernández y Estrada para hacer una simulación después de haber diseñado un sistema con los valores procedentes de los mapas de Almanza.

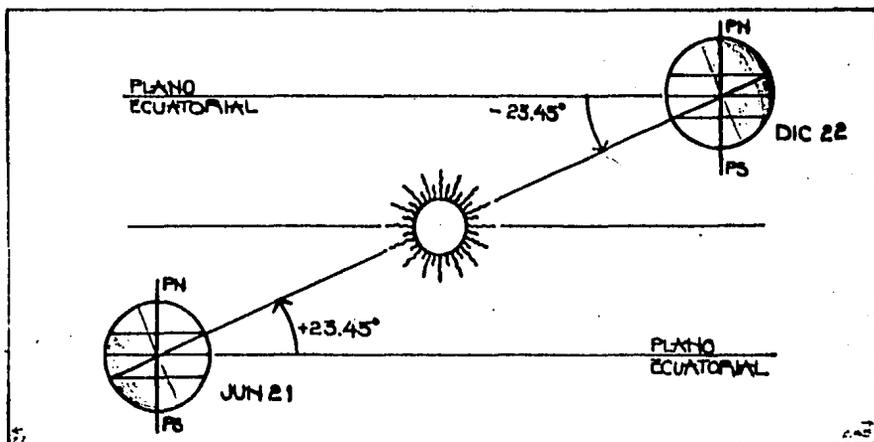
### 3.2 Movimiento aparente del sol.

El conocimiento del movimiento aparente del sol por la bóveda celeste nos proporciona la información necesaria para seleccionar la localización, la orientación y la inclinación más apropiadas para un equipo de aprovechamiento solar, para realizar estudios de sombras, así como para obtener los valores de radiación global sobre un plano cualquiera a partir de los datos correspondientes a un plano horizontal.

El movimiento de la tierra alrededor del sol es de tipo sistemático, lo cual lo hace predecible. Sabemos que la tierra gira alrededor del sol en una trayectoria ligeramente elíptica completando una vuelta en el término de un año. Durante este viaje el ángulo formado por un plano imaginario que pasa por los centros de la tierra y el sol y el plano ecuatorial varía.

Dicho ángulo se denomina 'declinación' y sus valores extremos (23.45 y -23.45 grados) corresponden a los días 22 de diciembre y 21 de junio respectivamente, tal como lo ilustra la figura 8.

FIGURA 8

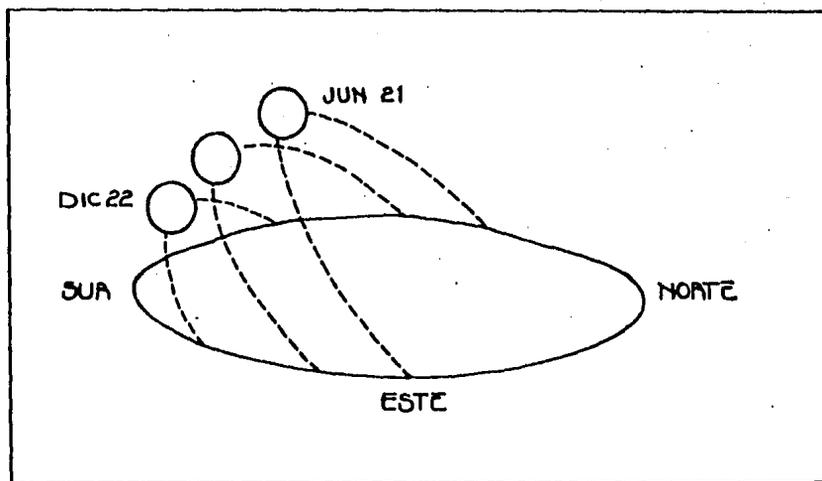


El valor de la declinación para un día 'i' se puede calcular con la expresión:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } \{ 360 (284 + i) / 365 \}$$

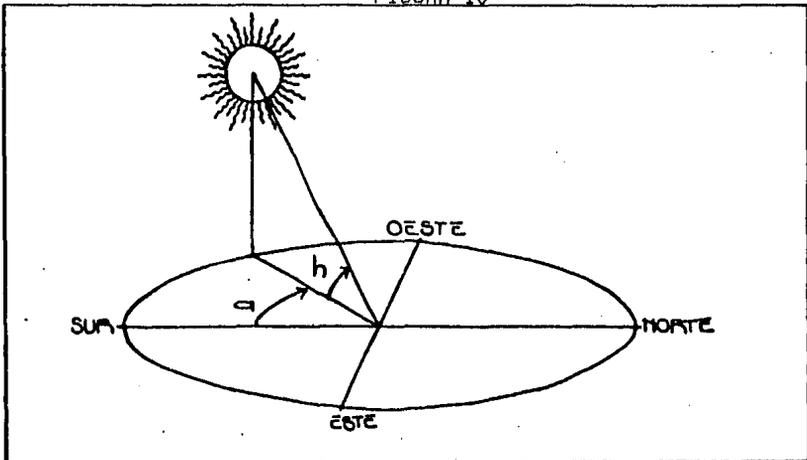
La trayectoria del sol a lo largo del día describe un arco. Este arco se desplaza y modifica su tamaño con el tiempo. La figura 9 ilustra este fenómeno para el caso del hemisferio norte.

FIGURA 9



La posición del sol en la bóveda celeste queda perfectamente identificada por dos ángulos: el azimut ( $a$ ) y la altura solar ( $h$ ). Estos ángulos se muestran en la figura 10 (\*).

FIGURA 10



Estos ángulos se pueden obtener por medio de las siguientes expresiones:

$$h = \text{ang sen} (\text{sen } \delta \text{ sen } \phi + \text{cos } \omega \text{ cos } \delta \text{ cos } \phi )$$

$$a = \text{ang sen} (\text{cos } \delta \text{ sen } \omega / \text{cos } h )$$

donde

$\phi$  = latitud del lugar en cuestión

$\delta$  = declinación

$\omega$  = ángulo horario

\* el azimut se mide con respecto al sur en sentido horario

Podemos de esta manera, definir la posición del sol con respecto a un punto ubicado en una latitud  $\phi$ , para cualquier instante (\*) de cualquier día del año.

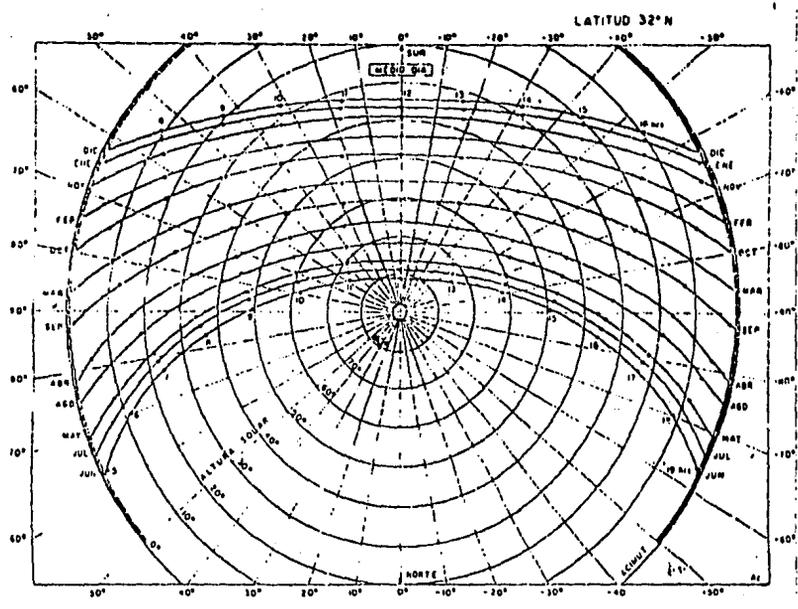
Basándonos en las expresiones presentadas es posible dibujar diagramas como el mostrado en la figura 11 que nos permiten saber si los objetos que rodean a un punto seleccionado producirán sombra alguna sobre él y en caso afirmativo en que época del año lo harán.

Alguna información adicional que podemos extraer del diagrama es la relacionada con las horas de salida y puesta del sol, y por lo tanto con la longitud de un cierto día, aunque esto último lo podemos conocer por medio de la expresión:

$$Ld = N = (2/15) \operatorname{ang} \cos (-\tan \delta \tan \phi)$$

\* los tiempos que se manejan en estas expresiones corresponden a tiempo solar verdadero

FIGURA 11



POSICION RELATIVA DEL SOL  
EN DIFERENTES EPOCAS DEL AÑO  
PARA UN PUNTO DE LATITUD 34 GRADOS NORTE

CAPITULO IV  
FUNDAMENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

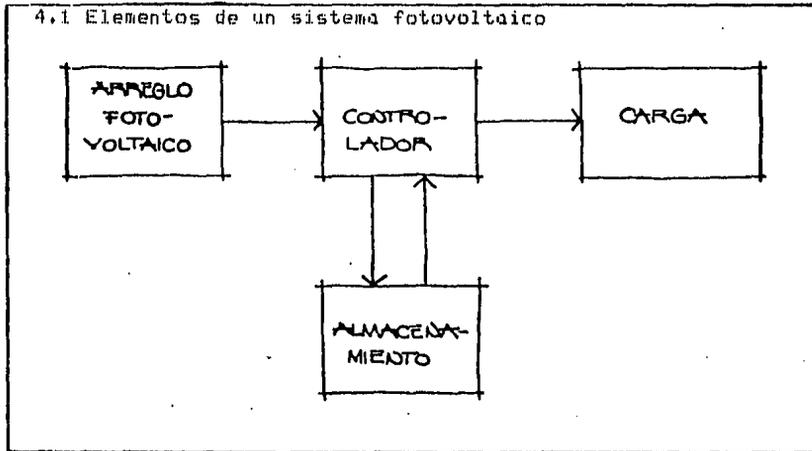


FIGURA 12

El diagrama de bloques de la figura 12, nos muestra los elementos básicos que comprende un sistema fotovoltaico. En algunos casos la complejidad es mayor y el sistema puede incluir elementos adicionales; en otros casos las condiciones permitirán simplificar las cosas pudiendo prescindir de algunos componentes (por ejemplo del controlador o del sistema de almacenamiento eléctrico). Sin embargo, la configuración del sistema siempre podrá representarse por un diagrama similar.

#### 4.2 Celdas solares

Un arreglo es un conjunto de módulos fotovoltaicos, los que a su vez están formados por celdas solares.

Una celda solar es un transductor que nos permite la conversión directa de la energía solar a energía eléctrica gracias a un fenómeno conocido como efecto fotovoltaico.

Para ejemplificar el funcionamiento de una celda y así poder dar una idea del efecto fotovoltaico tomaremos el caso de una celda de silicio tipo p-n.

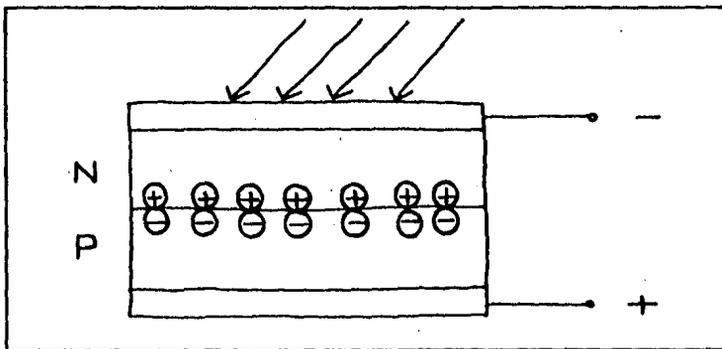


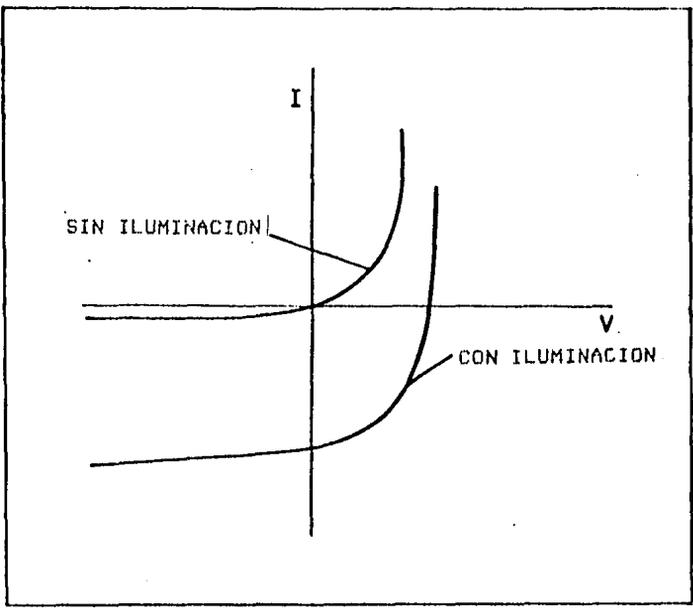
FIGURA 13  
EFECTO FOTOVOLTAICO

#### 4.2.1 Efecto fotovoltaico.

Un fotón que incida en la región de la unión puede hacer que un electrón abandone su órbita, siempre y cuando este fotón reúna las características adecuadas. Se forma así un par electrón - hueco. Debido a la polaridad del campo interno existente en la zona de la unión los electrones y los huecos tienden a agruparse en los extremos de la celda produciendo así una diferencia de potencial. Si conectamos una carga a los contactos de la celda es posible establecer una corriente.

Debido a que la celda es una unión n-p de gran área es de esperarse que bajo condiciones de obscuridad se comporte como un diodo. Efectivamente, si medimos las características I-V de una celda solar sin iluminación nos encontramos con la curva típica de un diodo. Al iluminar la celda el efecto que se presenta es un corrimiento de la curva hacia abajo. La unión se vuelve entonces un generador de energía eléctrica en vez de ser un disipador de la misma.

FIGURA 14  
EFECTO DE LA ILUMINACION SOBRE  
LA CURVA CARACTERISTICA DE UNA CELDA SOLAR.



#### 4.2.2 Curva característica de una celda solar.

Por comodidad, las curvas características de las celdas solares se presentan invertidas para poder trabajar con ellas en un falso primer cuadrante, tal como lo ilustra la figura 15.

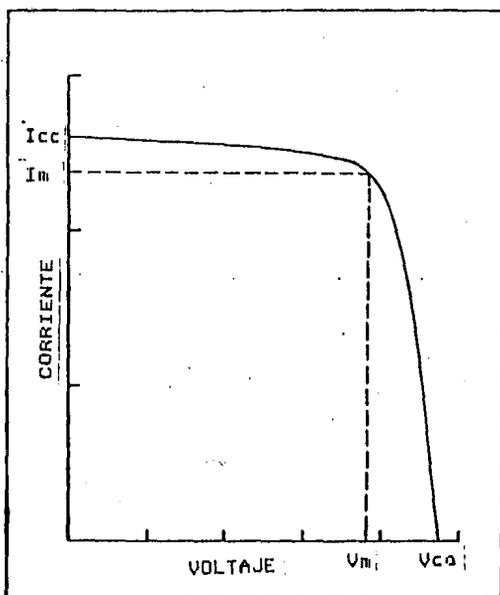


FIGURA 15

CURVA CARACTERISTICA DE UNA CELDA SOLAR

Si aumentamos la potencia incidente sobre la celda la curva continúa desplazándose, como se puede ver en la figura 16.

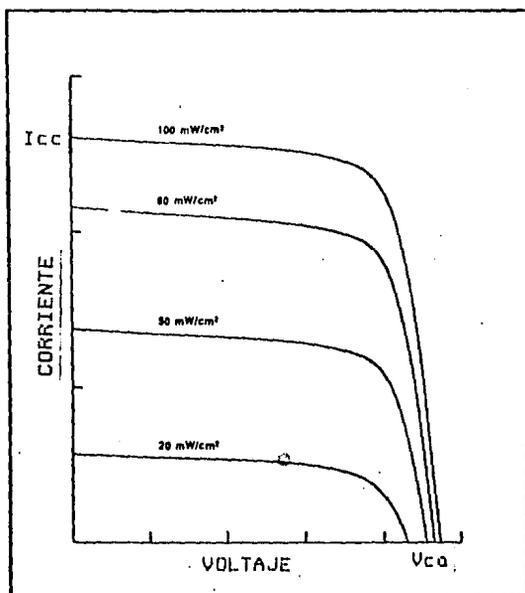


FIGURA 16

FAMILIA DE CURVAS CARACTERISTICAS  
DE UNA CELDA SOLAR A DIFERENTES NIVELES  
DE ILUMINACION

La corriente de corto circuito aumenta linealmente mientras que el voltaje de circuito abierto lo hace en forma logarítmica, [28] lo que se puede apreciar en la figura 17.

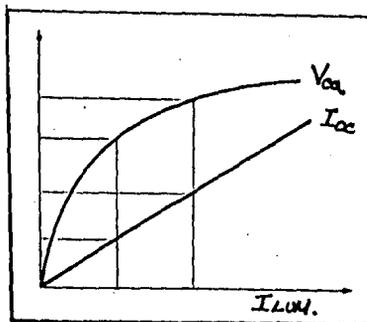


FIGURA 17

VARIACION DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO Y DEL VOLTAJE DE  
CIRCUITO ABIERTO  
CON RESPECTO A LA POTENCIA INCIDENTE

Para poder comparar diferentes celdas bajo un marco de referencia común, se acostumbra proporcionar la curva I-V correspondiente a un nivel de insolación de 100 mW/cm<sup>2</sup> (\*) que es el considerado como estándar para la prueba de equipos solares [29].

\* 1 Kw/m<sup>2</sup>, que bajo las normas americanas corresponde a condiciones atmosféricas AM1.5

#### 4.2.3 El factor de llenado (F.F.)

El factor de llenado o factor de forma (F.F.) es otro parámetro de gran importancia para el ingeniero ya que sirve como punto de comparación entre equipos. Este factor se encuentra directamente de la curva I-V. Para explicarlo en palabras simples, el factor de forma nos indica que tan pronunciada es la rodilla de la curva. Se calcula como

$$F.F. = (V_m \times I_m) / (V_{ca} \times I_{cc})$$

donde:

F.F. = Factor de llenado

$V_m$  = Voltaje en el punto de máxima potencia

$I_m$  = Corriente en el punto de máxima potencia

$V_{ca}$  = Voltaje de circuito abierto

$I_{cc}$  = Corriente de corto circuito

La eficiencia la podemos expresar como

$\eta$  = (potencia de salida) / (potencia incidente)

$\eta$  =  $(V_m \times I_m) /$  (potencia incidente)

$\eta$  =  $F.F. (V_{ca} \times I_{cc}) / (I \times A)$

donde:

- $\eta$  = Eficiencia
- F.F. = Factor de llenado
- $V_m$  = Voltaje en el punto de máxima potencia
- $I_m$  = Corriente en el punto de máxima potencia
- $I$  = Intensidad de la radiación solar ( $Kw/m^2$ )
- $A$  = Area de la celda

Por lo tanto, un factor de forma ideal seria igual a la unidad. En general, las celdas comercialmente disponibles tienen valores de F.F. cercanos a 0.7 [30].

#### 4.2.4 Tipos de celdas solares.

De acuerdo con los materiales empleados una celda solar puede ser:

- Homounión si las diferentes capas que constituyen la celda son del mismo material, por ejemplo una celda de silicio monocristalino tipo p-n, una celda de silicio amorfo p-i-n.
- Heterounión cuando se forma con dos materiales semiconductores diferentes, como en el caso de una celda  $CdS/Cu_2S$ .
- Schottky cuando se hace con un metal y un semiconductor como puede ser GaAs sobre aluminio, Silicio Amorfo sobre platino, etc.
- MIS cuando tiene una estructura metal - aislante - semiconductor.

- SIS cuando la estructura es semiconductor - aislante - semiconductor [29].

Existe una gran variedad de materiales semiconductores que se han investigado para la fabricación de celdas solares, entre ellos podemos mencionar como ejemplo los siguientes: CdTe, Si, Ge, GaAs, CdS; el material de más éxito en la producción comercial de celdas solares ha sido el silicio.

A su vez las celdas de silicio pueden ser de tipo monocristalino, policristalino o amorfo.

Las celdas de silicio monocristalino han dominado el mercado mundial durante más de 20 años. Las de tipo policristalino y amorfo han hecho su aparición en un pasado reciente.

#### 4.3 Módulos fotovoltaicos.

Para tener los voltajes y las corrientes necesarias las celdas se conectan en arreglos serie, paralelo o en una combinación de ambos. Estos arreglos se venden encapsulados en lo que se conoce como un módulo fotovoltaico.

Por lo general nos referimos al tamaño de un módulo fotovoltaico en términos de su potencia pico. Este valor es el correspondiente a la máxima potencia que el módulo nos puede entregar bajo condiciones de insolación estándar ( $1\text{Kw}/\text{m}^2$ ). Podemos obtener este valor de la curva I-V del módulo.

En la actualidad, el medio de almacenamiento de energía

más utilizado en los sistemas fotovoltaicos es el correspondiente a las baterías. Es por ello que los módulos fotovoltaicos normalmente se diseñan para tener entre 15.5V y 17.8V en el punto de máxima potencia (\*).

Si observamos la curva característica de un módulo fotovoltaico podremos notar (i) que éste se comporta prácticamente como una fuente de corriente para valores de voltaje menores a  $V_m$ , que es el voltaje en el punto de máxima potencia (\*\*) y (ii) que después de ese punto a un incremento de voltaje pequeño corresponde un fuerte decremento de corriente.

Si se aprovechan estas características, es posible tener un sistema de autorregulación de carga de baterías en sistemas pequeños, llegando a prescindir de un regulador de carga. Esto será cierto en aquellos casos en los que se haya hecho un acoplamiento cuidadoso entre el arreglo y las baterías por una parte y que además los sistemas no produzcan grandes excesos de energía con respecto a la demanda de la carga.

\* ver la tabla V

\*\* especialmente para valores de F.F. altos

TABLA V  
 CARACTERISTICAS DE ALGUNOS MODULOS FOTOVOLTAICOS.

FABRICANTE	MODULO	F.F.	V <sub>ca</sub> V	I <sub>cc</sub> A	V <sub>m</sub> V	I <sub>m</sub> A	P <sub>p</sub>
ARCO	701	0,734	21,7	2,2	17,1	2,05	35,0
	M51	0,732	21,0	2,6	17,3	2,31	40,0
	M73	0,774	19,8	2,61	16,4	2,44	40,0
	M53	0,735	21,7	2,7	17,3	2,49	43,0
CHRONAR	CPV4090	0,5	20	0,9	-	-	9,0
I.P.N.	MS1722	0,692	20,8	1,2	16,0	1,08	17,2
PHILLIPS	BFX47A	-	-	-	15,7	0,7	11,0
PHOTOWATT	ML2210	0,715	20,5	0,60	16,0	0,55	9,0
	ML3040	0,718	20,5	1,25	16,0	1,15	18,0
	ML5010	0,776	20,5	2,2	16,5	2,12	35,0
MOBIL	RA15	0,723	18,9	1,1	15,5	0,97	15,0
	RA30	0,708	18,9	2,2	15,5	1,90	30,0
SOLAREX	SX100	0,667	22,0	2,2	17,0	1,9	32,0
	SX110	0,693	22,25	2,35	17,25	2,1	36,0
	SX120	0,715	22,25	2,5	17,5	2,3	40,0
SOLEC	S1136	0,697	20,2	0,7	15,4	0,64	9,9
	S3136	0,724	19,6	1,4	15,4	1,29	19,87
	S4134	0,712	20,5	2,4	15,7	2,23	35,0
	S4233	0,698	20,2	4,68	15,6	4,23	66,0
SOLENERGY		0,737	20,5	1,1	16,3	1,02	16,0
		0,728	20,5	1,2	16,3	1,1	18,0
		0,765	20,5	2,15	16,3	2,07	34,0
		0,750	19,5	4,1	15,0	4,0	60,0
TIDELAND		0,738	18,8	2,30	15,5	2,06	32,0
		0,739	20,6	2,30	17,0	2,06	35,0

#### 4.4 Diodo de bloqueo.

Para evitar que la corriente circule de las baterías al arreglo durante la noche se incluye un diodo en serie con los módulos fotovoltaicos. Este puede ser tipo Schottky o del tipo rectificador y se puede incluir en forma discreta o su función puede ser realizada por un control de carga.

La ventaja que presenta el uso de un diodo tipo Schottky es que la caída de voltaje a través de él es menor. Sin embargo, su precio normalmente es mayor.

La selección de un tipo u otro depende del caso en cuestión.

#### 4.5 Control de carga.

Los sistemas que presentan posibilidades de producir importante sobrecarga de las baterías requieren de algún dispositivo que controle la carga de las mismas.

Los reguladores empleados en los sistemas fotovoltaicos pueden ser tipo serie o tipo derivación, teniendo ventajas y desventajas cada uno de ellos.

#### 4.6 Inversores.

Una gran parte de los aparatos eléctricos utilizados por el hombre hoy en día requieren de una alimentación de corriente alterna. Dada la naturaleza de las celdas solares y el tipo de sistemas de almacenamiento comunmente empleado con los sistemas fotovoltaicos resulta necesario en ciertos casos disponer de algún mecanismo que nos permita obtener la corriente alterna que necesitamos. El equipo que nos proporciona c.a. a partir de c.d. es conocido como inversor.

El uso de inversores no es exclusivo de los sistemas fotovoltaicos. Son ampliamente utilizados en equipos de emergencia (como en el caso de computadoras), así como fuentes de c.a. en botes y aviones. Esto nos permite encontrar en el mercado inversores de diversos tamaños y calidades con salida cuadrada o senoidal modificada, construídos con transistores o S.C.R.'s y hasta equipos controlados con microprocesador.

Hablamos de inversores electrónicos, aunque los hay de otros tipos, debido a que son los más comunes en la actualidad debido a su alta eficiencia.(\*)

\* ver la tabla VI

TABLA VI  
 CARACTERISTICAS DE ALGUNOS INVERSORES COMERCIALES

MODELO	FABRICANTE	POTENCIA NOMINAL	EFICIENCIA (%)	SALIDA
452-4-48	ABACUS	500 VA	75 (t)	117 VAC 60 HZ
743C-4-200	"	4000 VA	90 (p)	240 VAC 60 HZ
HF12-1200SX	HEART INTERFACE	1200 VA	93 (M)	117 VAC 60 HZ
HF12-2000	"	2000 VA	95 (M)	117 VAC 60 HZ
INCE-200	INCE	2500 VA	--	120 VAC 60 HZ
1K60-4B	NOVA	1000 VA	75 (t)	117 VAC 60 HZ
SOLAR INVERTER	PHOTOELECTRIC	3000 VA	93 (t) 95 (M)	120 VAC 60 HZ
SUNSINE UI-2000	AMERICAN POWER CONV. CORPORATION	2200 VA	92 (t) 93 (M)	240 VAC 60 HZ
GX2597-23	TOPAZ	2500 VA	80 (m)	115 VAC 60 HZ
PV 400	TRIPP,LITE	400 VA	92.5 (p)	117 VAC 60 HZ
1404-4B-115	WILMORE ELECTRONICS	1000 VA	85 (t)	115 VAC 60 HZ

(t) típico  
 (p) a plena carga  
 (M) máximo  
 (m) mínimo

#### 4.7. Almacenamiento de energía.

A pesar de que hoy en día se conocen diversas alternativas para el almacenamiento de energía (sistemas inerciales, baterías, obtención de hidrógeno, etc.) la más común, por su accesibilidad, es el empleo de bancos de baterías.

De todos los tipos existentes en el mercado, los más empleadas en los sistemas fotovoltaicos son las de plomo - ácido.

Para la selección del tipo de batería a usar debemos tomar en cuenta las características de cada una, principalmente las referentes a carga, descarga, capacidad nominal, mantenimiento, vida útil y costo. La tabla VII muestra valores típicos para algunos tipos de baterías.

TABLA VII

TIPO DE BATERIA	CICLOS DE VIDA	COSTO (*)
PLATA - ZINC	100 - 300	18
NIQUEL - CÁDMIO	300 - 2000	12
PLOMO - ACIDO	1500 - 2000	1

\* en "por unidad", tomando como base el costo de un Kwh almacenado en bat. plomo ácido

4.8 Algunos criterios para la selección de los equipos a ser empleados.

En la sección 4.2.3 se introdujo el concepto de factor de forma o factor de llenado como un elemento de juicio para la selección de un equipo fotovoltaico. Sin embargo, este no es el único factor que se debe tomar en cuenta para escoger un cierto tipo de panel, también será importante hacer consideraciones con respecto a los tamaños disponibles de los paneles (esto se reflejará en una elasticidad para el diseño modular del sistema), a las características físicas del módulo y en especial al costo del mismo.

En el caso de las baterías las consideraciones se deberán hacer con respecto a los tamaños comercialmente disponibles, al tipo de batería (plomo - ácido, níquel - cadmio, para descargas profundas, etc.) y con respecto al precio.

Con respecto a los controles y a los inversores se deberán conocer los tipos, los tamaños y los costos. Para los inversores el conocimiento de la eficiencia es fundamental.

Un caso de especial interés es el referente a la carga. Cuando esté en nuestras manos el poder seleccionar los equipos que se utilizarán en la carga se deberá tratar de escoger aquellos que presenten la mayor eficiencia (sin descuidar los costos). La justificación de esta actitud se basa por una parte en el hecho de que las dimensiones del sistema fotovoltaico dependen fuertemente de la demanda presentada en la carga, y por otra a que el costo de los módulos fotovoltaicos

puede llegar a representar más del 80% del costo total del sistema.

Podemos citar como ejemplo la preferencia que se tiene por la iluminación de tipo fluorescente sobre la de tipo incandescente en estos sistemas (\*). De la energía consumida por un foco de tipo incandescente alrededor de un 12% se transforma en luz mientras que en una lámpara fluorescente la relación es del orden del 25%.

Otro criterio comunmente aplicado es la preferencia de las instalaciones en corriente directa en lugar de corriente alterna en los casos en los que existen ambas alternativas. En aquellas situaciones en que es posible suministrar un servicio con corriente directa y la utilización de la corriente alterna no es indispensable normalmente se opta por la primera. Existen actualmente muchos equipos comercialmente disponibles que trabajan a partir de corriente directa como son televisores, radios, equipos de sonido, equipos de iluminación, etc.

Ya que en muchos lugares remotos las limitaciones de la utilización de la corriente directa se ve superada por los beneficios que puede aportar la disponibilidad de energía eléctrica (como pueden ser los derivados de un sistema de comunicaciones, una planta de bombeo o algún otro servicio de tipo comunitario) y por el precio inferior del sistema con respecto a uno con corriente alterna los sistemas en corriente directa han sido ampliamente utilizados alrededor del mundo.

\* iluminación para interiores, para exteriores se prefiere vapor de sodio

Podemos citar como ejemplo en nuestro país los 122 albergues rurales instalados en la República Mexicana por el Instituto Politécnico Nacional y todas las teleaulas rurales en el territorio nacional que cuentan con sistemas fotovoltaicos.

## CAPITULO V

### DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En el presente capítulo se discuten algunos métodos comúnmente empleados para la determinación de las dimensiones de un arreglo fotovoltaico y del almacenamiento de energía necesario, se comentan y se hacen sugerencias para el mejor uso de ellos y se describe un método computacional de diseño óptimo.

#### 5.1 Cálculo de arreglos fotovoltaicos con el método de campo.

El método más usado en la actualidad es conocido por algunas personas como el método de aproximación cero o método de campo. Los pasos que lo integran son los siguientes:

1. Se calcula el consumo diario de energía en Kwh/día.

2. La cantidad del inciso anterior se divide entre las eficiencias de las etapas por las cuales atravesará la energía para llegar a la carga (baterías, inversor, etc.). El resultado obtenido será la cantidad promedio de energía que nuestro generador fotovoltaico deberá proporcionar en un día.

En este paso es común incluir un factor de seguridad que toma en cuenta la posible desviación de la cantidad de energía recibida en la localidad con respecto a la insolación promedio.

3. Haciendo uso de la información referente a la insolación de la región en cuestión se obtiene el promedio anual de horas equivalentes de sol por día.

4. Dividiendo el valor del inciso 2 entre la cantidad obtenida en el inciso anterior sabremos la potencia pico mínima que deberá tener nuestro generador fotovoltaico.

5. Dividiendo el valor del inciso 4 entre la potencia nominal del módulo seleccionado obtendremos el número de módulos que necesitamos.

6. Finalmente, se hace un ajuste del número de módulos dependiendo del voltaje nominal que se desea tener en el arreglo. Si ese voltaje nominal es de 24 V el número de módulos deberá ser múltiplo de 2, si el voltaje nominal es 48 V entonces deberá ser múltiplo de 4, etc.

Existen ciertos errores en los cuales la gente incurre al emplear este método:

- Normalmente utilizan valores de insolación recibida sobre una superficie horizontal a pesar de instalar los sistemas en un plano diferente.

- El procedimiento supone la operación del sistema en el punto de máxima potencia y una variación lineal de la misma

con respecto a ese punto.

Tal y como se explicó en secciones anteriores, la corriente de un módulo fotovoltaico es proporcional a la intensidad de la radiación solar (irradiancia) recibida en su superficie, sin embargo el voltaje no lo es. Por otra parte, el punto de operación está básicamente definido por el voltaje de la batería, que es diferente al voltaje en el punto de máxima potencia.

Existe una variante del procedimiento anterior que el autor de la tesis considera más correcto. Los pasos de esta variante son los siguientes:

1. Se calcula el consumo promedio diario pero ahora se expresa en Ah/día a cierto voltaje. Este voltaje debe ser el nominal del arreglo fotovoltaico.

2. Nuevamente afectamos la cantidad anterior por las eficiencias en juego y por el factor de seguridad (también llamado factor de variabilidad).

3. La cantidad obtenida se divide entre el promedio anual de horas equivalentes de sol recibidas en la localidad en un día.

4. Dividiendo el valor obtenido entre la corriente nominal del módulo seleccionado tendremos el número de hileras de módulos que deberemos conectar en paralelo.

5. El número de módulos en serie estará determinado

por el voltaje nominal del arreglo fotovoltaico.

6. El número total de módulos será el producto de los módulos en serie por las hileras en paralelo.

Este procedimiento se basa en la premisa del comportamiento lineal de la corriente con respecto a la intensidad de la radiación, lo cual es cierto. Por lo tanto, se considera que un dimensionamiento realizado a través de este último procedimiento de cálculo está más cercano a la realidad [29].

La diferencia porcentual en la potencia pico determinada con el primer procedimiento con respecto a la obtenida con este último es del orden de

$$(1 - V_n / V_m) \times 100\%$$

donde  $V_n$  es el voltaje nominal del arreglo y  $V_m$  es el voltaje en el punto de máxima potencia del mismo. En otras palabras, si usamos el primer método y multiplicamos el resultado por  $(V_m/V_n)$  obtendremos el mismo resultado.

En general la diferencia porcentual estará en el rango 15%-35% dependiendo de las características del módulo seleccionado. El valor  $(V_m/V_n)$  mencionado estará en el rango 1.2 - 1.6.

Sin embargo, este último procedimiento no es el óptimo. Al igual que en el caso anterior, la gente normalmente utiliza valores de radiación sobre planos horizontales a pesar de

instalar las celdas en un plano inclinado.

La finalidad de proporcionarle una inclinación a un equipo fotovoltaico es la de mantener los rayos del sol incidiendo sobre él con un ángulo que se aproxime lo más posible a la perpendicular con respecto a su superficie.

Dado que al inclinar nuestro generador fotovoltaico con el ángulo correcto aumentamos la captación de energía solar el uso de valores de radiación incidente sobre superficies horizontales para el diseño de un sistema nos llevará a sobredimensionar el mismo. Dados los costos actuales de un sistema fotovoltaico, esto podría ser un factor determinante para la aceptación o el rechazo de un proyecto.

La utilización de valores sobre superficies inclinadas para la determinación de las dimensiones de un sistema fotovoltaico no conduce a diferencias muy grandes en sistemas de pequeña escala. Por lo tanto, el autor de la presente tesis considera correcto el uso del último procedimiento de cálculo analizado para el diseño definitivo de sistemas menores a 600 Wp (\*) y como método de aproximación para sistemas mayores.

\* este es un valor arbitrario que deberá verificarse para cada caso

## 5.2 Cálculo de las dimensiones del sistema de almacenamiento.

Es bastante común la selección de la capacidad nominal del banco de baterías del sistema como un múltiplo entero de la cantidad de energía consumida en un día promedio. En el caso de la República Mexicana este valor normalmente oscila entre 5 y 15 días. En algunos casos el diseñador selecciona este valor de una manera arbitraria de acuerdo con su criterio, en otros deja la decisión al cliente diciéndole que esto depende de la autonomía que desee tener. Esto es un error ya que existe una capacidad mínima necesaria para este subsistema, la cual no puede determinarse al azar.

Una metodología de cálculo más formal y apegada a la realidad es la descrita por Bartels y Moffett [29,31].

Ya que para el diseño de nuestro generador fotovoltaico hemos utilizado el valor promedio anual de insolación diaria la capacidad del sistema de almacenamiento quedará definida por los déficits de producción en los meses en los cuales la insolación es menor a la promedio y no por la existencia de días nublados en esa localidad. Es posible que en una cierta localidad prácticamente no existan los días nublados, por ejemplo en un desierto, sin embargo, los valores de insolación variarán a lo largo del año simplemente por dos razones: (i) la variación de la distancia entre el sol y la tierra y (ii) la declinación de los rayos solares. En un caso así, muchas

personas pensarían que debido a la ausencia de días nublados el almacenamiento debería corresponder a la cantidad de energía consumida en un día.

El criterio expresado en los anteriores párrafos es el seguido por el procedimiento propuesto que queda resumido en la siguiente expresión, la cual nos proporciona la capacidad mínima requerida en Ah:[29,31]

$$B = \frac{731.6}{F.P.D.P.} \times \text{carga media} \times \sum_{j=1}^n \frac{D_m - D_j}{D_m}$$

Donde 731.6 es el promedio de horas contenidas en un mes, F.P.D.P. es el factor de profundidad de descarga máxima permisible escogido para el tipo de batería propuesta, la carga media se define como el consumo diario en Ah dividido entre 24 Hrs.,  $D_m$  es el valor de insolación promedio y  $D_j$  son los valores de insolación menores al promedio.

### 5.3 Método de optimización.

En la actualidad uno de los obstáculos para la utilización de los sistemas fotovoltaicos, en muchas aplicaciones, es el factor referente al costo de los mismos. De

aquí la necesidad de hallar las dimensiones del conjunto fotoceldas - sistema de almacenamiento que satisfaga nuestras necesidades con el menor costo posible.

El último método expuesto en la sección 5.1 junto con el descrito en la sección 5.2 nos llevará a un sistema resultante suficiente para satisfacer nuestras necesidades, pero que no será óptimo.

Un algoritmo propuesto para optimizar el costo de un sistema fotovoltaico es el siguiente:

a) Cambiar los valores promedio mensual diario de insolación sobre superficies horizontales a valores sobre un plano con cierta inclinación inicial.

b) Utilización del promedio resultante del paso anterior para el cálculo de las dimensiones del generador fotovoltaico.

c) Usando los valores resultantes del primer paso determinar la capacidad del sistema de almacenamiento.

d) Determinar el costo del conjunto fotoceldas - baterías resultante.

e) Para un nuevo ángulo repetir todos los pasos anteriores y comparar el costo del nuevo conjunto con el anteriormente obtenido.

f) Almacenar los datos de aquel que presente el menor costo.

Se continúa el ciclo variando el ángulo de inclinación con un incremento previamente seleccionado

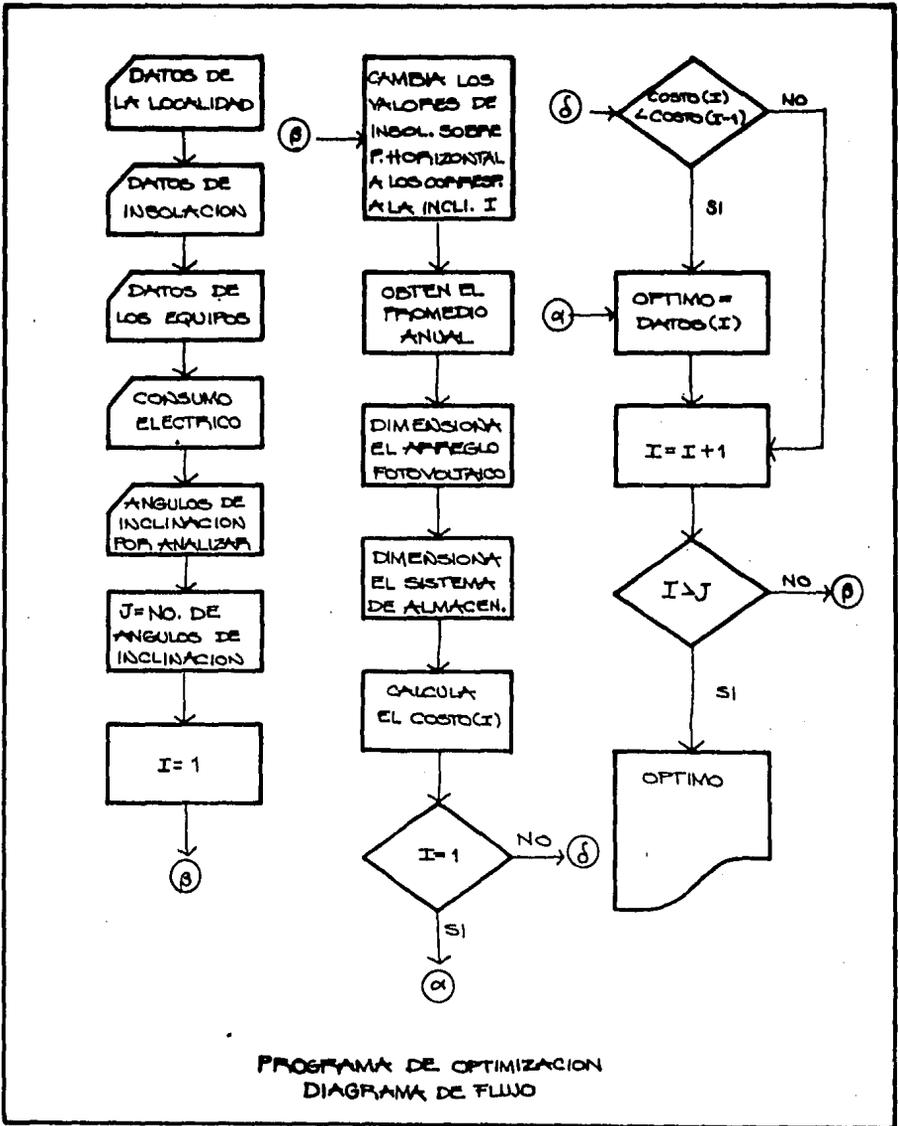
hasta cumplir con el número de iteraciones escogido (estos últimos valores dependerán del grado de optimización deseado).

No debemos olvidar incluir en los pasos correspondientes las eficiencias de los equipos empleados en el sistema: baterías, inversores, controladores de carga, etc., así como el factor de autodescarga de las baterías.

Una regla comúnmente seguida en el ambiente de la energía solar es proporcionar a los equipos de aprovechamiento de energía solar una inclinación igual a la latitud de la localidad en cuestión. Mucha gente tiene la firme creencia de que este ángulo es el óptimo en todos los casos, sin embargo es posible demostrar que dicho ángulo es óptimo exclusivamente desde un punto de vista geométrico con respecto a la trayectoria aparente seguida por el sol. No es, por lo general, un óptimo absoluto. De aquí se deriva la razón por la cual el algoritmo propone la variación de este ángulo.

Debemos mencionar que existen otros programas de cómputo empleados para determinar la salida de un sistema fotovoltaico y que son empleados para el diseño óptimo del mismo, como los descritos en las referencias 32, 33 y 34, aunque siguen criterios diferentes a los aquí expuestos.

FIGURA 18



PROGRAMA DE OPTIMIZACION  
DIAGRAMA DE FLUJO

CAPITULO VI  
DISEÑO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS  
PARA LAS UNIDADES MEDICAS RURALES

6.1 Características de las unidades.

El Instituto Mexicano del Seguro Social se comprometió a proporcionar los siguientes servicios a través de las Unidades Medicas Rurales de Cooperación Comunitaria:

Atención continua e integrada de promoción, protección y recuperación de la salud.

Consulta externa general.

Asistencia farmacéutica.

Atención materno-infantil y planificación familiar.

Educación para la salud.

Orientación nutricional.

Promoción del saneamiento.

Inmunizaciones.

Control de enfermedades transmisibles.

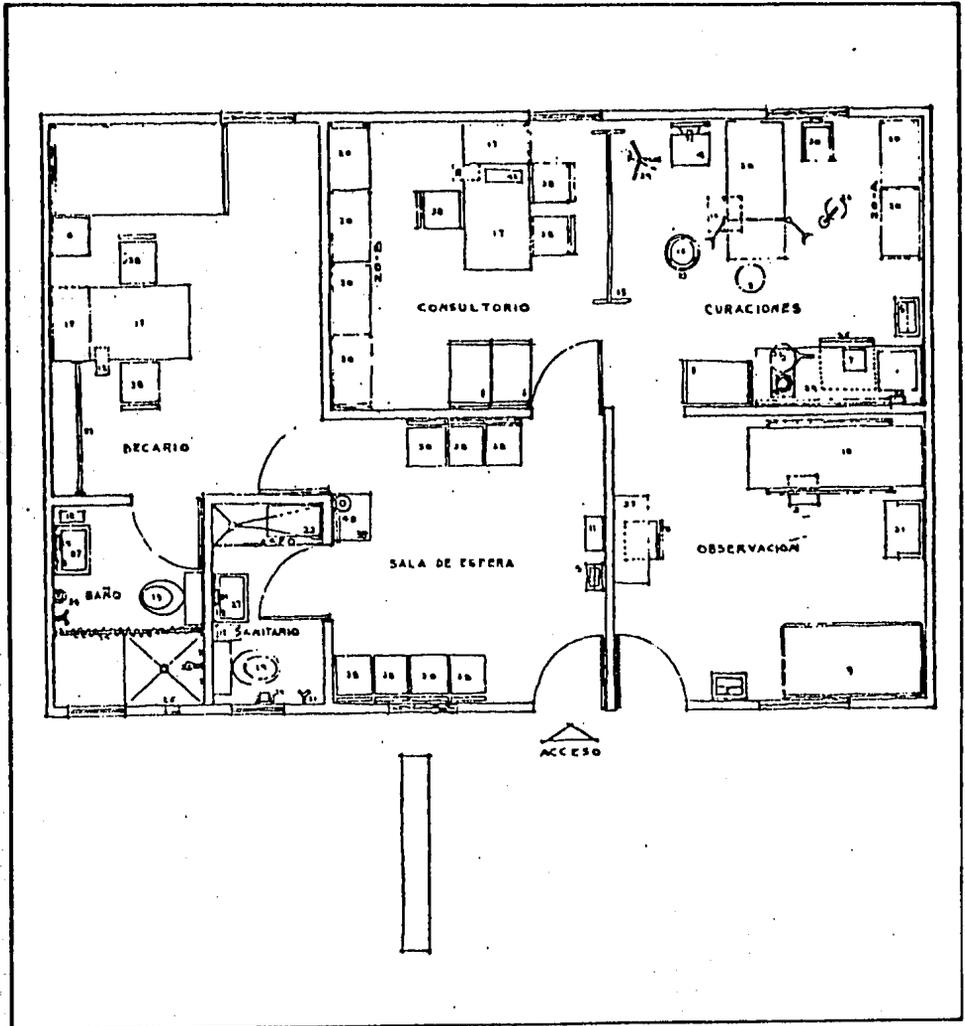
Para cumplir con estos fines se diseñó un módulo arquitectónico único el cual debería cumplir con los requerimientos de funcionamiento médico para todas las zonas marginadas y permitir, entre otras cosas, la aplicación de técnicas de construcción sencillas y la adaptación, por medio de su orientación, a las condiciones locales de iluminación natural y ventilación.

La figura 19 corresponde a la planta de este módulo arquitectónico básico. En ella podemos apreciar las diferentes áreas que le dan forma así como el equipo y mobiliario pensados para las unidades médicas. (\*)

Una característica fundamental en la operación de estas unidades es la cooperación que deben proporcionar las comunidades beneficiadas para el desarrollo de sus funciones así como para su mantenimiento, tal y como se estableció en el convenio IMSS-COPLAMAR.

\* los números de la figura 19 se refieren a la lista de la página 95

FIGURA 19  
PLANTA ARQUITECTONICA  
MOBILIARIO Y EQUIPO



## LISTA DE MOBILIARIO Y EQUIPO

1. Anaqueel guarda expedientes.
2. Banco giratorio sin respaldo.
3. Banqueta de altura.
4. Báscula con estadímetro.
5. Bote de campana.
6. Buró.
7. Caja para gasas y apósitos.
8. Cama con colchón y cojín.
9. Cama pediátrica con colchón y cojín.
10. Carro camilla de recuperación con colchoneta.
11. Cenicero de piso.
12. Cesto de lámina.
13. Cortina biombo.
14. Cortina para baño.
15. Cubeta de acero inoxidable.
16. Escalerilla de dos peldaños.
17. Escritorio librero.
18. Espejo de pared.
19. Excusado.
20. Gabinete con puertas de vidrio.
21. Gancho de pared.
22. Guarda útiles de aseo (tela de alambre).
23. Guardarropa de tubo cromado.
24. Jabonera para pastilla.
25. Jabonera para regadera.

26. Lámpara de pie.
27. Lavabo.
28. Mesa universal de exploración ginecológica.
29. Mesa de trabajo con tarja.
30. Mesa Mayo.
31. Mesa Pasteur.
32. Olla express 20 litros.
33. Porta cubeta de patada.
34. Porta rollo para papel sanitario.
35. Refrigerador de 4.5 pies cúbicos.
36. Regadera.
37. Repisa de apoyo.
38. Sillas.
39. Tripié portavenocclisis.
40. Extinguidor.
41. Parrilla de sobreponer con 2 quemadores.

#### 6.2 Necesidades eléctricas de una unidad médica rural (U.M.R.) del I.M.S.S.

En la planeación original de estas unidades se previó la utilización del siguiente equipo eléctrico para aquellas clínicas que pudiesen disponer de energía eléctrica:

- iluminación interior y exterior ( 8 focos de 100 w en total)
- un equipo de comunicaciones.

- un total de 6 contactos distribuidos en la clínica.
- una lámpara de pie para la sala de curaciones.
- un refrigerador de 4.5 pies cúbicos de capacidad para la conservación de vacunas y otros medicamentos.
- una parrilla eléctrica con 2 quemadores.

En el capítulo IV se mencionó la importancia de la correcta selección de los equipos empleados para la reducción de los costos del sistema fotovoltaico necesario. Es por ello que se hacen los siguientes comentarios y sugerencias:

- hoy en día, en aquellas unidades carentes de electricidad convencional se están empleando refrigeradores de gas. Se recomienda seguir haciendo uso de ellos en las clínicas en las cuales se llegue a instalar un sistema fotovoltaico por dos razones: (i) el consumo eléctrico sería menor requiriendo de un arreglo fotovoltaico de dimensiones más reducidas y (ii) no tendría caso adquirir unidades eléctricas nuevas existiendo las actuales.

- se recomienda el uso de iluminación con tubos fluorescentes debido a su mayor eficiencia en comparación con los focos incandescentes. Para el baño del becarío y para el sanitario se recomienda usar unidades de 20W y para cada una de las áreas restantes unidades de 40W. El apéndice B contiene los cálculos de iluminación correspondientes.

- dado que el consumo de las parrillas eléctricas es bastante alto y tomando en cuenta que existe abastecimiento de gas para otros usos se recomienda el uso de estufas de este último tipo.

- se decide hacer los cálculos para dos opciones: la primera con un voltaje nominal de utilización de 120V en corriente directa y la segunda con un voltaje nominal de 127V en corriente alterna.

Generalmente, en instalaciones fotovoltaicas de pequeñas dimensiones el costo de un inversor puede ser representativo comparado con el costo del resto del sistema. En este caso se cree que la diferencia puede ser realmente pequeña, es por ello que se explorarán ambos casos a fin de determinar la mejor opción al final del trabajo.

- los cálculos se harán con los datos correspondientes al módulo fotovoltaico ARCO M73 (ver la Tabla V) debido a su calidad, precio y relativamente fácil disponibilidad en México. Sin embargo, se recomienda que se explore a nivel institucional la posibilidad de utilizar los módulos fotovoltaicos producidos en la planta piloto del Instituto Politécnico Nacional, que también cumplen con la calidad necesaria.

Una vez establecidos estos criterios podemos proceder a cuantificar las necesidades eléctricas de una unidad médica rural. Para este fin se elaboró la siguiente tabla en la cual se muestra la potencia de cada equipo y su tiempo estimado de utilización promedio diario:

APARATO	POTENCIA	HORAS DE USO	CONSUMO DIARIO
2 tubos			
fluorescentes	20W c.u.	1	40Wh
5 tubos			
fluorescentes	40W c.u.	3	600Wh
1 transceptor	40W	1	40Wh
1 lampara de			
pie	60W	1	60Wh
			-----
CONSUMO TOTAL PROMEDIO DIARIO			740Wh

### 6.3 Diseño por regiones.

La gran cantidad de unidades médicas rurales nos impide hacer un diseño óptimo para cada una ya que se requeriría la inversión de mucho tiempo. Se decidió hacer el diseño para una localidad ubicada dentro de cada una de las regiones indicadas en el mapa de la figura 20. Las regiones corresponden a zonas con promedios anuales de insolación diaria similares, de acuerdo con los mapas de Almanza y López [14]. Las dimensiones de los sistemas fotovoltaicos instalados en una misma región serán semejantes.

Las regiones, sus niveles de insolación promedio y las localidades seleccionadas aleatoriamente son las siguientes:

REGION	PROMEDIO ANUAL [LY/DIA]	LOCALIDAD
A	>500	GUAYMAS, SON.
B	>450	AGUASCALIENTES, AGS.
C	>450	SALINA CRUZ, OAX.
D	>400	TOLUCA, MEX.
E	>350	MONTERREY, N.L.
F	<350	ORIZABA, VER.

nota: 1Kwh/M2  $\approx$  86 Ly

En caso de llevarse esta tesis a la realidad se recomienda hacer los cálculos para un número mayor de localidades por región.

Los datos correspondientes a cada una de las localidades seleccionadas fueron suministradas al programa de diseño descrito en el capítulo V junto con los siguientes valores:

Para la opción A:

Consumo diario promedio:	740 Wh
Voltaje nominal del arreglo:	12 V

Alimentación:	12 V c.d.
Factor de variabilidad:	1.10
Módulo fotovoltaico:	Arco M73
Im:	2.44 A
Costo por módulo:	\$95,760.00
Capacidad nom. de las baterías:	125 Ah
Eficiencia de las baterías:	86%
F.P.D.P.:	0.7
Costo por batería:	\$15,050.00

Los resultados obtenidos son:

REGION	NUM.MODULOS	NUM.BATERIAS
A	5	14
B	6	12
C	6	13
D	7	11
E	8	12
F	9	10

Para la opción B:

Consumo diario promedio:	740 Wh
Voltaje nominal del arreglo:	12 V
Alimentación:	127V c.a.
Factor de variabilidad:	1.10
Módulo fotovoltaico:	ARCO M73
Im:	2.44 A

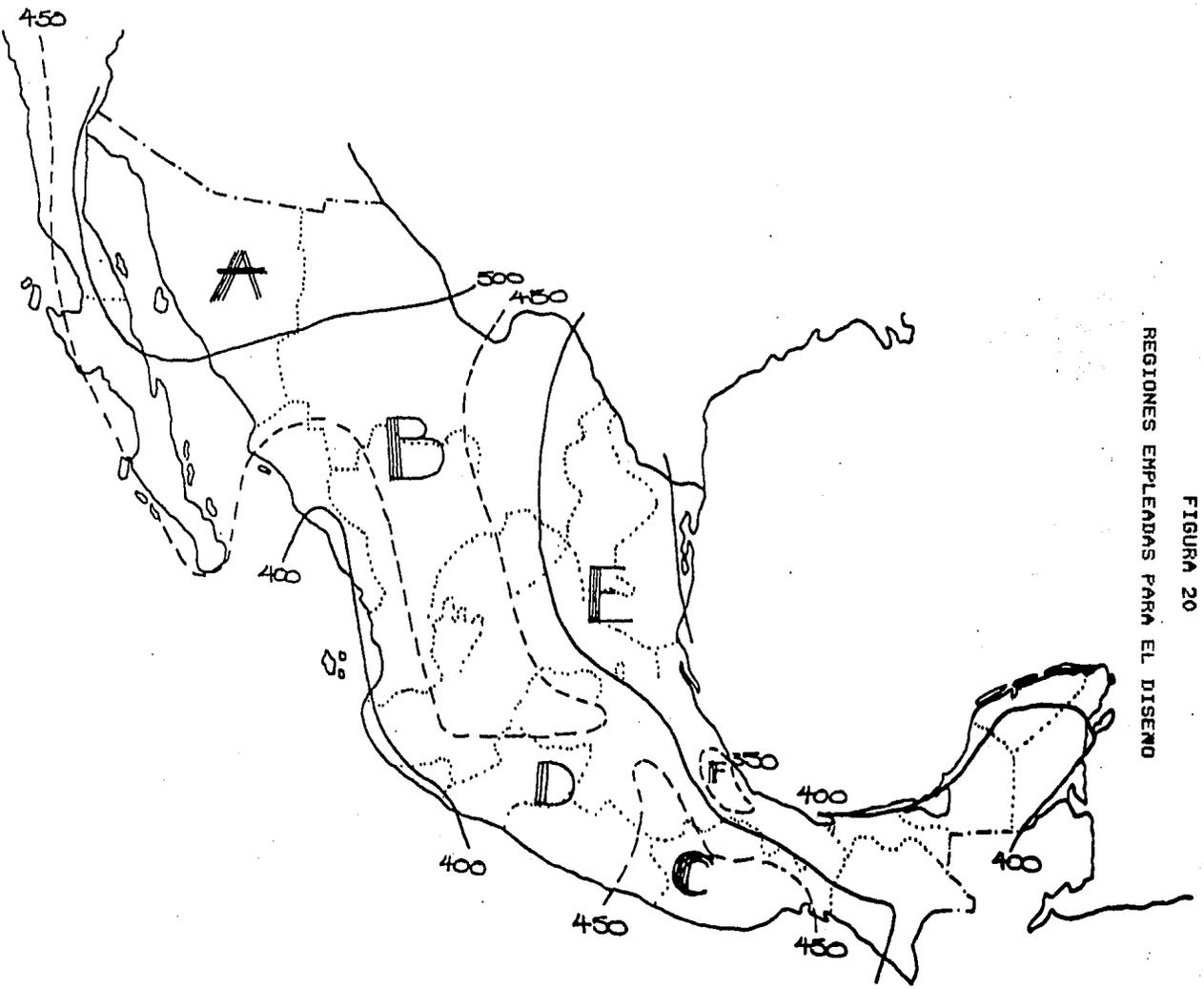
Costo por módulo:	\$95,760.00
Capacidad nom. del inversor:	400 VA
Eficiencia del inversor:	92%
Costo del inversor:	\$50,000.00
Capacidad nom. de las baterías:	125 Ah
Eficiencia de las baterías:	86%
F.P.D.P.:	0.7
Costo por batería:	\$15,050.00

Los resultados para la opción B son:

REGION	NUM.MODULOS	NUM.BATERIAS
A	6	15
B	7	13
C	7	14
D	8	12
E	8	13
F	10	11

nota: precios en pesos m.n. diciembre 1984.

FIGURA 20  
REGIONES EMPLEADAS PARA EL DISEÑO



## CAPITULO VII

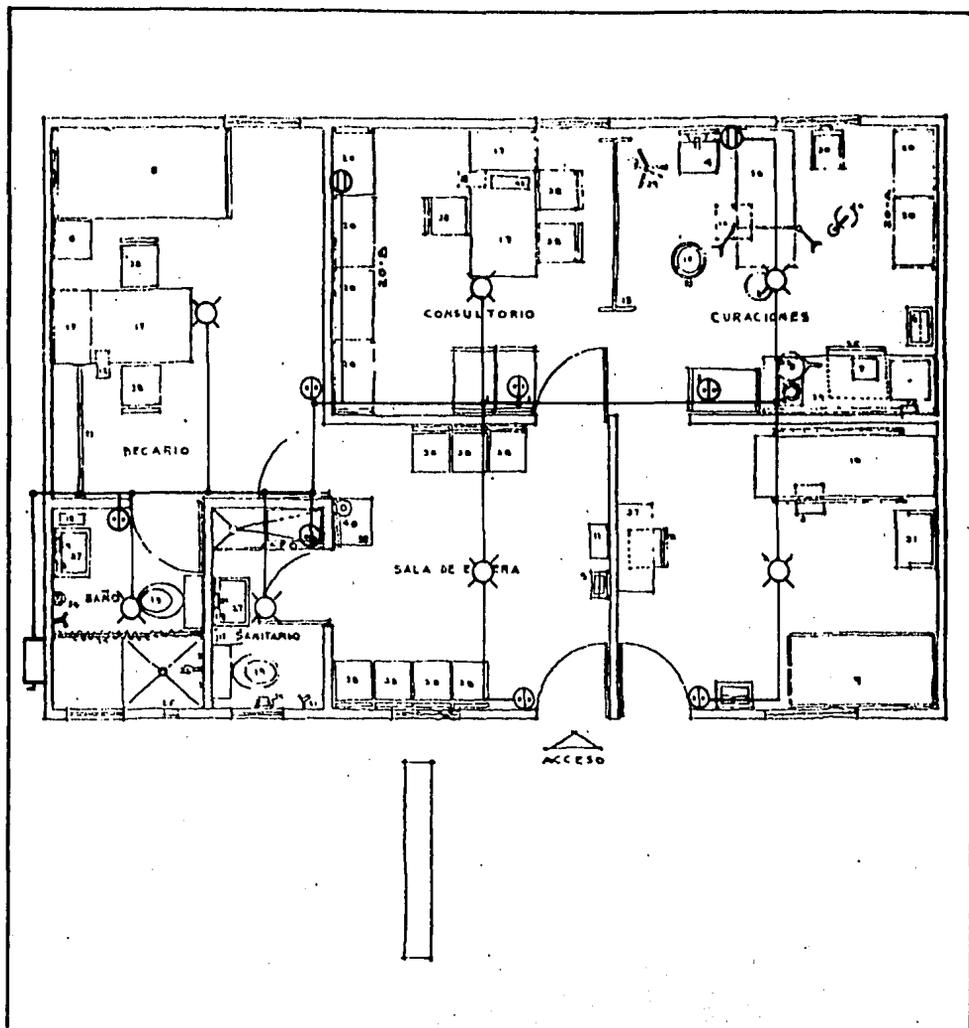
### DISEÑO DE LA INSTALACION ELECTRICA

#### 7.1 Configuración.

El diagrama de la figura 21 muestra la localización de las salidas para lámparas y contactos elegidas para una unidad médica rural típica. Los contactos que aparecen en la sala de curaciones y en el consultorio estarán destinados al uso de una lámpara quirúrgica y de un transceptor en forma correspondiente.

En el isométrico de la figura 22 podemos observar las distancias entre los diversos puntos de la instalación. Para propósitos de diseño estas fueron reflejadas en el dibujo de la figura 23.

FIGURA 21  
ALUMBRADO Y CONTACTOS



## 7.2 Selección de los conductores

Recordando que la sección transversal necesaria para tener una caída de voltaje determinada se puede calcular con las siguientes expresiones:

$$S = (2 \times I_t \times \bar{D}) / (57 \times \Delta V \times V_n)$$

(en el caso de C.D.)

$$S = (2 \times I_t \times \bar{D} \times \cos \phi) / (57 \times \Delta V \times V_n)$$

(en el caso de C.A.)

Donde:

$I_t$  = corriente total

$\bar{D}$  = distancia al centro de carga

$V_n$  = Voltaje nominal en la acometida

A su vez, la distancia al centro de carga se calcula como:

$$\bar{D} = (I_j \times D_j) / I_t$$

Donde  $I_j$  y  $D_j$  son la corriente y la distancia correspondientes al punto  $j$ .

FIGURA 22  
ISOMETRICO

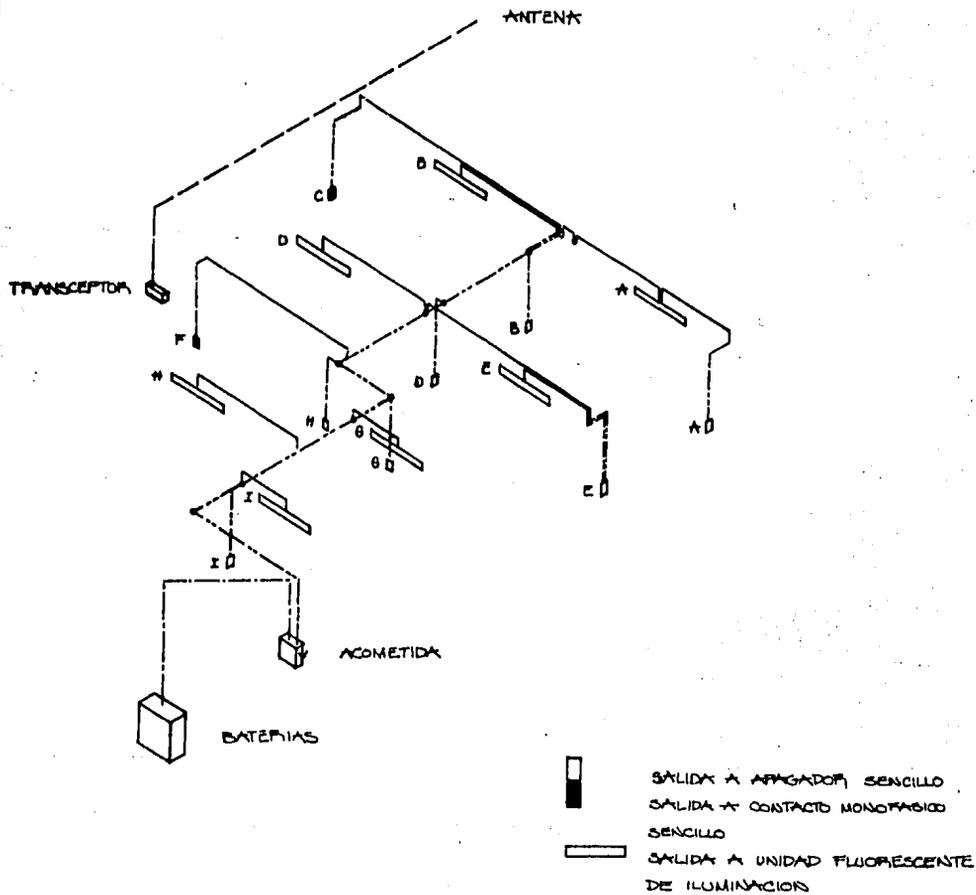
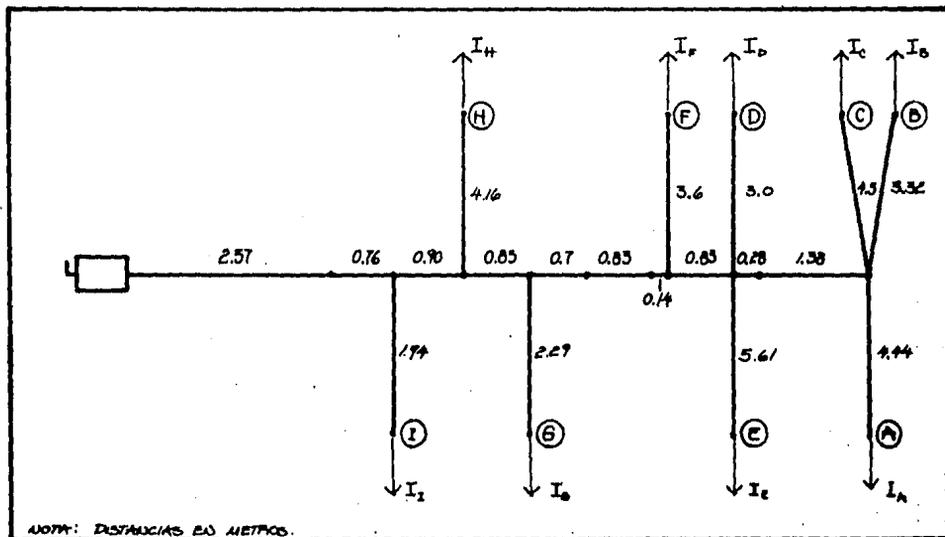


FIGURA 23  
 DISTANCIAS ENTRE LOS PUNTOS DE INTERES.



Para la opción A (corriente directa):

	Dj	Ij	Dj x Ij
A. $2.57+0.76+0.90+0.83+0.7+0.83+0.14+0.83+0.28+1.38+4.44=$	13.66	3.33	45.53
B. $13.66-4.44+3.32=$	12.54	3.33	41.80
C. $13.66-4.44+4.5=$	13.72	5.0	68.60
D. $13.66+4.44-1.38-0.28+3.0=$	10.56	3.33	35.16
E. $10.56-3.0+5.61=$	13.17	3.33	43.86
F. $2.57+0.76+0.90+0.83+0.14+3.60=$	10.33	3.33	34.40
G. $2.57+0.76+0.90+0.83+2.29=$	7.35	1.67	12.25
H. $2.57+0.76+0.90+4.16=$	8.39	3.33	27.94
I. $2.57+0.76+1.94=$	5.27	1.67	8.80
/.....			
TOTAL		28.32	318.34

De donde  $D = 318.34 / 28.32 = 11.24m$

Definiendo una caída máxima de voltaje del 5%, la sección de los conductores debe ser:

$$S = (2 \times 28.32 \times 11.23) / (57 \times 0.05 \times 12) = 18.61 \text{ mm}^2$$

En otras palabras, es necesario utilizar conductor calibre AWG 4 (su sección es de 21.15 mm<sup>2</sup>). Otra alternativa es emplear dos conductores AWG 6 en paralelo (la sección del AWG 6 es 13.30 mm<sup>2</sup>).

Para la opción B (corriente alterna):

	Dj	Ij	Dj x Ij
A. $2.57+0.76+0.90+0.83+0.7+0.83+$ $0.14+0.83+0.28+1.38+4.44=$	13.66	0.31	4.23
B. $13.66-4.44+3.32=$	12.54	0.31	3.89
C. $13.66-4.44+4.5=$	13.72	0.47	4.25
D. $13.66+4.44-1.38-0.28+3.0=$	10.56	0.31	3.27
E. $10.56-3.0+5.61=$	13.17	0.31	4.08
F. $2.57+0.76+0.90+0.83+0.14+3.60=$	10.33	0.31	3.20
G. $2.57+0.76+0.90+0.83+2.29=$	7.35	0.16	2.28
H. $2.57+0.76+0.90+4.16=$	8.39	0.31	2.60
I. $2.57+0.76+1.94=$	5.27	0.16	1.63
/.....			
TOTAL		2.65	29.43

Es fácil ver que para una corriente total tan pequeña un conductor AWG 12 cumple con la sección necesaria.

### 7.3 Especificaciones.

- El arreglo fotovoltaico deberá ser instalado a una altura no menor a 1.80 m sobre el nivel del suelo, contando con una inclinación que dependerá de la latitud del lugar.
- De ser posible, el arreglo será instalado haciendo uso de la estructura metálica de la torre del tinaco, la cual no dista más de 3m de la acometida. Deberá verificarse la conveniencia de hacerlo así usando un diagrama como el mostrado en la figura 19, el cual deberá corresponder aproximadamente a la latitud del lugar.
- En caso de que no sea conveniente montar los módulos en la torre, estos se deberán colocar en una estructura propia, la

cual estará ubicada a la menor distancia posible de las baterías y de la acometida.

- El diseño de las Unidades Medicas Rurales preveía que en caso de utilizarse una planta de emergencia ésta se albergaría en la parte inferior de la torre del tinaco. Por lo tanto, se recomienda alojar las baterías y el inversor en ese lugar. Todo ello deberá contar con una protección adecuada.
- Los contactos y apagadores serán de baquelita con conductores aparentes sujetos a los muros con grapas metálicas.
- Los contactos tendrán una altura de 116 cm sobre el nivel del piso terminado.
- Es necesario adecuar las salidas de alumbrado para que coincidan con los poliductos de los paneles. (Nos referimos a la cubierta tipo 'multipanel' de la clínica).

CAPITULO VIII  
EVALUACION ECONOMICA

En este capítulo se detalla el aspecto económico de las instalaciones diseñadas para cada una de las regiones en ambas opciones.

8.1 Costos generales:

Se consideraron los siguientes precios:

Módulo fotovoltaico ARCO M73	\$95,760.00
Batería plomo - ácido de 125 Ah	\$15,050.00
Inversor de 400 VA	\$50,000.00

El costo de conductores, terminales, apagadores, contactos, lámparas, reactores, caja portafusibles con interruptor y accesorios se cuantificó en \$45,667.15 para la opción A (corriente directa) y \$25,709.00 para la opción B (corriente alterna).(\*)

\* Se está considerando que en general la mano de obra puede ser aportada por la comunidad

## B.2 Costos totales.

Los costos totales para la opción A son:

REGION	COSTO
A	\$735,167.15
B	\$800,827.15
C	\$815,877.15
D	\$881,536.55
E	\$992,347.15
F	\$1,058,007.20

Los costos totales para la opción B son:

REGION	COSTO
A	\$876,019.00
B	\$941,679.00
C	\$956,729.00
D	\$1,022,389.00
E	\$1,037,439.00
F	\$1,198,859.00

La relación entre los costos de la opción B con

respecto a los de la opción A es:

REGION	RELACION
A	1.19
B	1.17
C	1.17
D	1.16
E	1.05
F	1.13

La adición de un inversor al sistema de corriente alterna (opción B) produjo un aumento de 14.5% como promedio general sobre el costo del sistema de corriente directa (opción A).

nota: todos los precios van afectados por el impuesto al valor agregado

CAPITULO IX  
CONCLUSIONES

La elaboración de la presente tesis nos permitió llegar a las siguientes conclusiones:

- Que nuestro país tiene una fuerte dependencia de los hidrocarburos tanto desde el punto de vista energético como económico.
  - Que es necesario diversificar nuestras fuentes de energía.
  - Que la energía solar es una alternativa seria.
  - Que existe en nuestro país interés tanto de instituciones dedicadas a la investigación como de algunos organismos gubernamentales.
  - Que el estado actual de la tecnología relacionada con los sistemas fotovoltaicos nos permite resolver problemas de electrificación en zonas marginadas.
  - Que es posible dotar a las Unidades Médicas Rurales del IMSS de energía eléctrica suficiente para ampliar sus servicios y sus funciones actuales.
  - Que se puede contar con una instalación que opere con corriente directa o corriente alterna.
- Y que la adición de un inversor, para contar con servicio en corriente alterna, incrementa los costos en un 14.5% aproximadamente con respecto a un sistema operando con corriente

directa (en este caso).

Por otra parte se hacen las siguientes recomendaciones:

- Hacer uso de una instalación con corriente alterna ya que las ventajas que esto representa compensan la diferencia en el costo. (Debemos tomar en cuenta, entre otras cosas, que en caso de que la red eléctrica llegue a una localidad en la cual se encuentre una Unidad Médica Rural la instalación eléctrica no requerirá prácticamente ninguna modificación para ser incorporada a la red convencional. El equipo fotovoltaico podrá ser desplazado hacia alguna otra localidad donde se requiera su servicio).

- Investigar a nivel institucional la posibilidad de un convenio con el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional para el suministro de módulos fotovoltaicos y las condiciones de este convenio. Esto permitiría aprovechar la experiencia de esta institución en esta área y, quizás, modificar los costos positivamente.

- Aprovechar la experiencia del Instituto de Investigaciones en Materiales de la Universidad Nacional Autónoma de México en el área de sistemas fotovoltaicos e inversores.

**APENDICE A****MAPAS**

ENERO

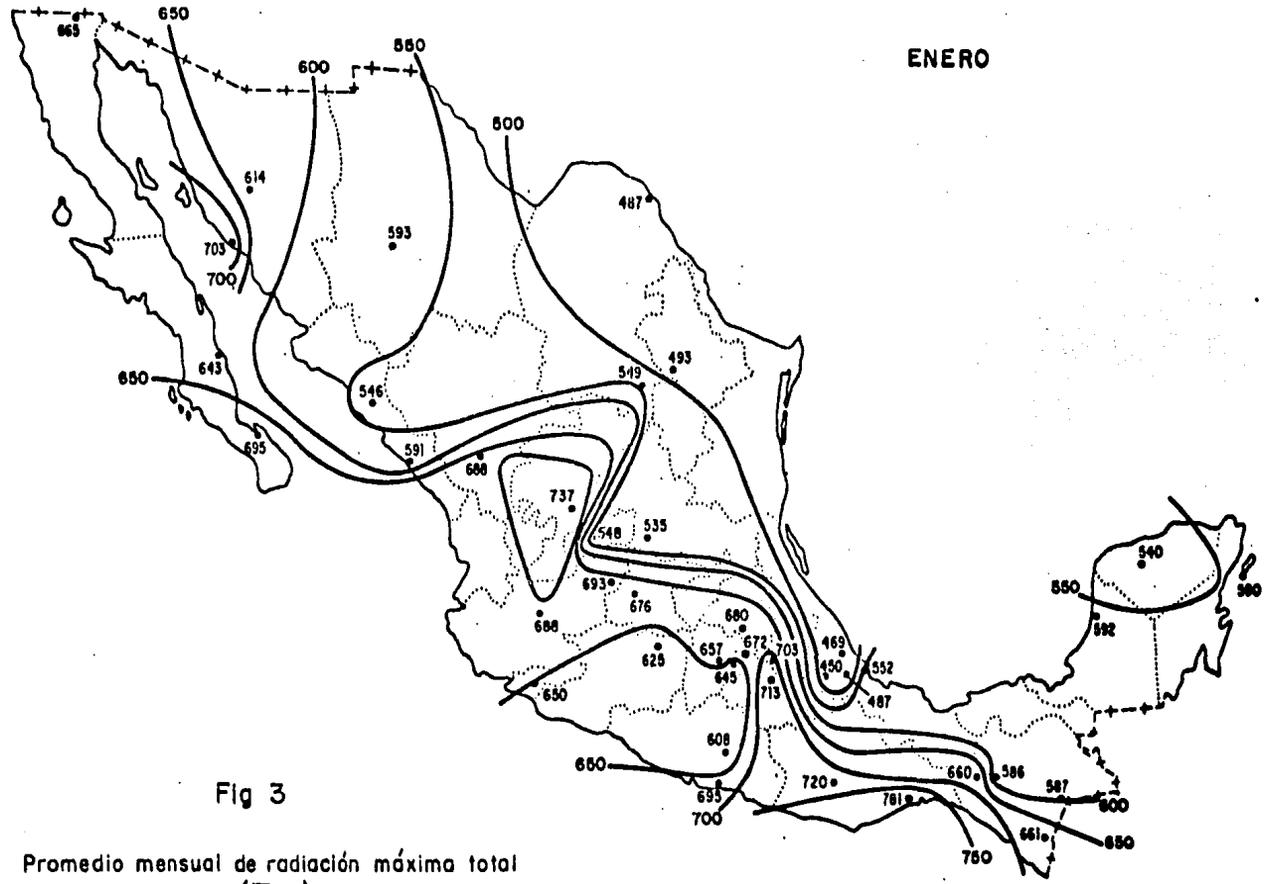


Fig 3

Promedio mensual de radiación máxima total

$$(\bar{H}_{M,t})$$

Watts por cada metro cuadrado ( $W/m^2$ )

ENERO

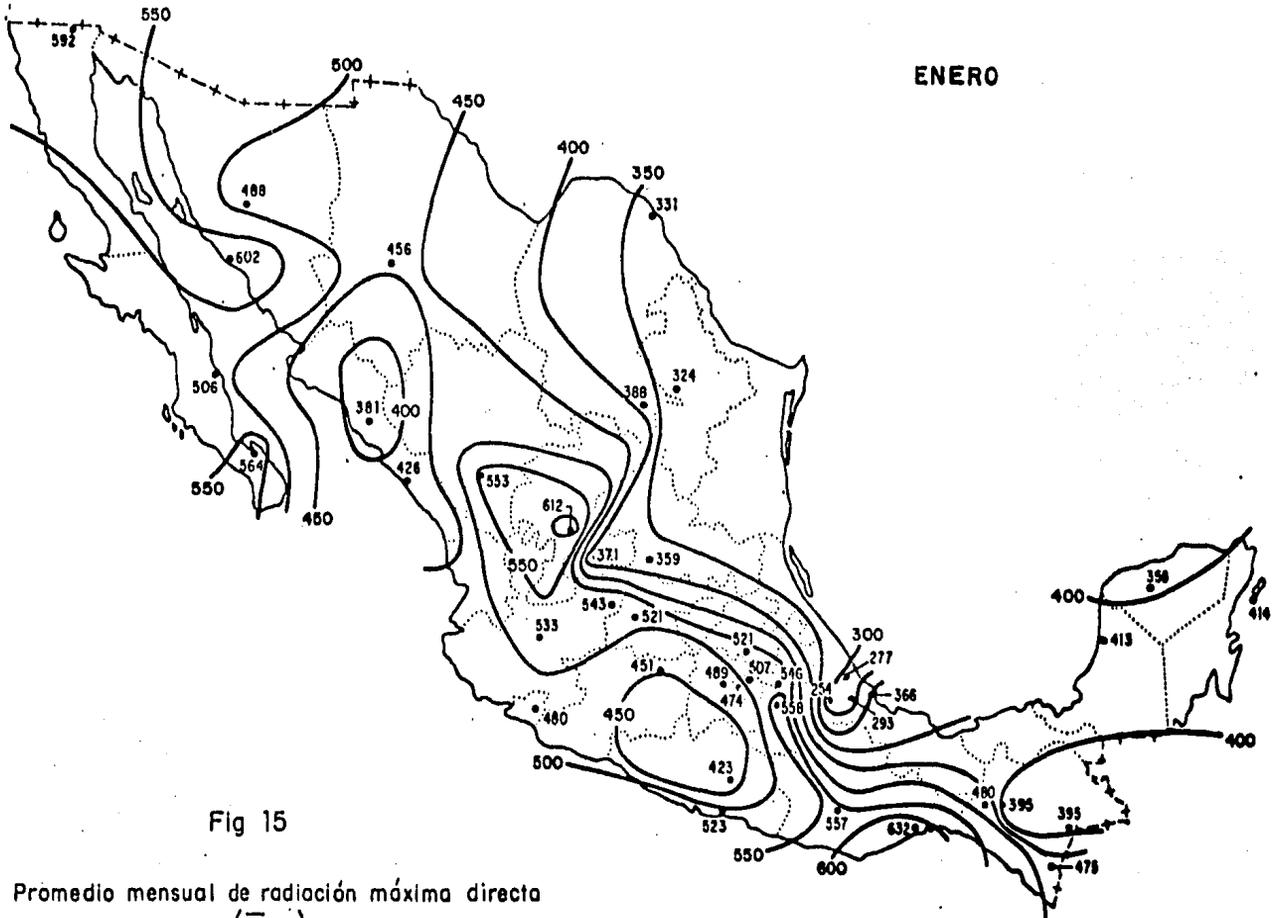


Fig 15

Promedio mensual de radiación máxima directa

$$(\bar{H}_{M_b})$$

Watts por cada metro cuadrado ( $W/m^2$ )

**APENDICE B****NIVELES DE ILUMINACION**

NIVELES DE ILUMINACIÓN EN LAS DIFERENTES ZONAS DE LA CLINICA.

El nivel de iluminación se puede calcular a través de la siguiente expresión:

$$NI = (NL \times \phi_l \times F.M. \times C.U.) / AREA$$

Donde:

- NI = Nivel de iluminación.
- NL = Número de lámparas
- $\phi_l$  = Flujo luminoso por lámpara (\*)
- F.M.= Factor de mantenimiento (\*)
- C.U.= Coeficiente de utilización (\*)

Los cálculos correspondientes son:

\* Para la sala de observación:

$$Area = 3.0 \times 3.60 = 10.8m^2$$

$$F.M. = 0.75$$

$$C.U. = 0.35 (**)$$

$$NI = 1 \times 2400 \times 0.35 \times 0.75 / 10.8 = 58.33 \text{ Luxes}$$

\* estos valores se toman de tablas

\*\* la altura de montaje se consideró como 2.77 m máximo en todos los casos

\* Para la sala de espera:

$$\text{Area} = 3.0 \times 3.15 = 9.45 \text{ m}^2$$

$$\text{C.U.} = 0.43$$

$$\text{NI} = 1 \times 2400 \times 0.43 \times 0.75 / 9.45 = 81.9 \text{ Luxes}$$

\* Para la sala del becario:

$$\text{Area} = 3.15 \times 4.03 = 12.69 \text{ m}^2$$

$$\text{C.U.} = 0.54$$

$$\text{NI} = 1 \times 2400 \times 0.54 \times 0.75 / 12.69 = 76.59 \text{ Luxes}$$

\* Para la sala de curaciones:

$$\text{Area} = 3.0 \times 3.60 = 10.8 \text{ m}^2$$

$$\text{C.U.} = 0.35$$

$$\text{NI} = 1 \times 2400 \times 0.35 \times 0.75 / 10.8 = 58.33 \text{ Luxes}$$

\* Para el consultorio:

$$\text{Area} = 3.0 \times 3.15 = 9.45 \text{ m}^2$$

$$\text{C.U.} = 0.43$$

$$\text{NI} = 1 \times 2400 \times 0.43 \times 0.75 / 9.45 = 81.9 \text{ Luxes}$$

**APENDICE C****EQUIVALENCIAS**

## ENERGIA

Joule = 1 watt-segundo

= 0.239 cal

cal = 4.184 Joules

= 0.00397 Btu

megajoule = 948 Btu

= 239,000 cal

kWh = 3.6 MJ

= 3410 Btu

= 859.2 kcal

## DENSIDAD DE ENERGIA

Btu/ft<sup>2</sup> = 11.35 kJ/m<sup>2</sup>

= 0.271 cal/cm<sup>2</sup>

= 1.135 J/cm<sup>2</sup>

cal/cm<sup>2</sup> = 1 Langley

= 41.9 kJ/m<sup>2</sup>

= 3.69 Btu/ft<sup>2</sup>

= 0.01164 kWh/m<sup>2</sup>

kWh/m<sup>2</sup> = 3.6 MJ/m<sup>2</sup>

$$= 317 \text{ Btu/ft}^2$$

$$= 86 \text{ cal/cm}^2$$

#### POTENCIA

$$\text{Watt} = \text{Joule/seg}$$

$$= 3.41 \text{ Btu/h}$$

$$= 860 \text{ cal/h}$$

$$\text{kcal/h} = 1.162 \text{ W}$$

$$= 3.97 \text{ Btu/h}$$

$$\text{KW} = 239 \text{ cal/seg}$$

$$= 3414 \text{ Btu/h}$$

$$= 14.3 \text{ Kcal/min}$$

#### DENSIDAD DE POTENCIA

$$\text{cal/cm}^2 \text{ h} = 1 \text{ Langley/h}$$

$$= 11.63 \text{ W/m}^2$$

$$= 0.1667 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

$$\text{KW/m}^2 = 3.6 \text{ MJ/m}^2 \text{ h}$$

$$= 1.432 \text{ cal/cm}^2 \text{ min}$$

$$= 1.432 \text{ Langley/min}$$

## REFERENCIAS

- [1] México: flujos de energía 1982.  
PEMEX. Subdirección de planeación y coordinación.
- [2] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Año 5 No.11.  
Nov. 1981.
- [3] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Año 6 No.11.  
Nov. 1982.
- [4] Viqueira Jacinto  
"Análisis de las opciones energéticas de México"  
Trabajo publicado en el libro "Los energéticos, el  
petróleo... y nuestro futuro?".  
Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A.  
México 1982.
- [5] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Segunda época. Vol.1 No.2  
Sep-Oct 1983.
- [6] Potencial hidroeléctrico de la República Mexicana.  
Departamento de anteproyectos de plantas hidroeléctricas.  
C.F.E.  
México 1983.

- [7] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Año 3 No.8  
Agosto 1979.
- [8] Tecnologías energéticas del futuro.  
Programa Universitario de Energía.  
México 1983.
- [9] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Segunda época. Vol.1 No.3  
Nov-Dic 1983.
- [10] Informe del director general de PEMEX.  
Revista Economía Nacional.  
No.37, Mayo 1983.
- [11] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Año 6 No.1  
Enero 1982.
- [12] Energéticos. Boletín informativo del sector energético.  
Año 4 No.11  
Noviembre 1980.
- [13] Memorias de la VI Reunión Nacional de Energía Solar.  
La Paz, B.C.S.  
1982.
- [14] Almanza Rafael y López Serafín.  
'Radiación solar global en la República Mexicana mediante  
datos de insolación'.  
Instituto de Ingeniería, U.N.A.M.  
México 1975.

- [15] Directorio nacional de organismos e instituciones con actividades relacionadas con el aprovechamiento de la energía solar y sus colaterales, eólica y biomasa.  
Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar.(DIGAASES)  
S.A.H.O.F.  
México 1982.
- [16] Galindo Ignacio y Chavez Adolfo.  
"Estudio del clima solar en la República Mexicana".  
Instituto de Geofísica. U.N.A.M.  
México 1977.
- [17] Bertrán de Quintana M.  
"El sol en la mano".  
Escuela Nacional de Arquitectura. U.N.A.M.  
México 1982.
- [18] Periódico Excélsior.  
Primera sección, página 4.  
18 de Mayo de 1928.
- [19] R & D Mexico.  
Vol I No.8  
Mayo 1981.
- [20] Hernandez Everardo.  
La distribución de la radiación global en México evaluada mediante la fotointerpretación de la nubosidad observada por satélites metereológicos.  
Tesis de Maestría.  
Facultad de Ciencias. U.N.A.M.

México, 1976.

[21] Jáuregui E.

"La radiación global en México".

Revista Recursos Hidráulicos.

S.A.R.H.

Vol.VII No.2

México 1978.

[22] Aplicación de la Energía solar en los espacios educativos.

CONESCAL, revista especializada en espacios educativos.

No. 58, Julio 1982.

[23] KINAM.

Revista de Física

Vol.4 serie C. 1-320

México 1982.

[24] Fernandez Zayas J.L. y Estrada Cajigal V.

Cálculo de la radiación solar instantánea en la República Mexicana.

Instituto de Ingeniería. U.N.A.M.

México 1982.

[25] Memorias de la VIII Reunión Nacional de Energía Solar.

Cd. Madero, Tamaulipas.

1984.

[26] Memorias del congreso FLEA 84.

INFONAVIT

México 1984.

- [27] Estrada Cajigal V. y Fernandez Zayas J.L.  
Métodos para elaborar mapas solarimétricos en  
Latinoamerica.  
Instituto de Ingenieria. U.N.A.M.  
México 1983.
- [28] Boylestad R. and Nashelsky L.  
Electronic Devices and Circuit Theory.  
Prentice - Hall  
N.J., U.S.A.  
1982
- [29] Pulfrey, David L.  
Photovoltaic power generation  
Ed. Van Nostrand  
New York, New York  
1978
- [30] Bailey, Robert L.  
Solar - Electrics  
Research and Development  
Ann Arbor Science  
Ann Arbor, Michigan  
1980
- [31] Bartels and Moffet  
Tenth IEEE Photovoltaic Specialists Conference  
Palo Alto, Calif., U.S.A.  
1973

[32] Evans D.L.

Simplified method for predicting photovoltaic array output

Proceedings of the 1980 Annual Meeting

American section of the I.S.E.S.

Phoenix, Arizona, U.S.A.

1980

[33] Siegel M.D. and Beckman W.A.

Simplified design methods for photovoltaic systems.

Proceedings of the 1980 Annual Meeting.

American section of the I.S.E.S.

Phoenix, Arizona, U.S.A.

1980

[34] Biran and Erlicki

Model of solar cell array for terrestrial use

Solar Energy, Vol.17

Pergamon Press

Great Britain

1975