

300617

28

UNIVERSIDAD LA SALLE^{2ej}



ESCUELA DE INGENIERIA

INCORPORADA A LA U.N.A.M.

**FOTOCELDAS SOLARES, COMO ALTERNATIVA
ENERGETICA PARA MEXICO**

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

p r e s e n t a

JUAN MANUEL MERCADAL MARTINEZ

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

MEXICO, D. F.

1991



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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I N D I C E

PAGINA

INTRODUCCION

CAPITULO I: ENERGETICOS

| | |
|---|----|
| I.1 ENERGIA MUNDIAL | 1 |
| I.2 OFERTA Y DEMANDA DE ENERGIA EN MEXICO | 14 |
| I.3 PLAN NACIONAL DE ENERGIA | 22 |
| I.4 CONSERVACION DE ENERGIA Y PRESERVACION DEL MEDIO AMBIENTE | 27 |

CAPITULO II: ENERGIA SOLAR

| | |
|--|----|
| II.1 EL SOL | 32 |
| II.2 DISPONIBILIDAD EN LA SUPERFICIE TERRESTRE | 36 |
| II.3 SOLARIMETRIA | 41 |
| II.4 EFECTO LATITUD | 44 |
| II.5 REDES DE ESTACIONES SOLARIMETRICAS | 47 |
| II.6 PROGRAMA FOTOVOLTAICO DE LOS EEUU | 52 |
| II.7 PROGRAMA FOTOVOLTAICO DE RFA | 60 |
| II.8 PROGRAMA FOTOVOLTAICO DE JAPON | 64 |
| II.9 PROGRAMA FOTOVOLTAICO DE MEXICO | 67 |
| II.10 PROGRAMAS FOTOVOLTAICOS EN OTROS PAISES | 71 |

CAPITULO III: FOTOCELDAS SOLARES

| | |
|--|-----|
| III.1 EFECTO FOTOVOLTAICO | 76 |
| III.2 TIPOS DE FOTOCELDAS | 82 |
| III.3 INVESTIGACION INTERNACIONAL | 90 |
| III.4 INVESTIGACION NACIONAL | 101 |
| III.5 PROCESO DE CRECIMIENTO DEL SILICIO | 104 |
| III.6 FABRICACION DE FOTOCELDAS DE SI-MONOCRISTALINO | 108 |
| III.7 FABRICACION DE FOTOCELDAS DE si-POLICRISTALINO | 114 |
| III.8 MODULOS FOTOVOLTAICOS | 120 |
| III.9 PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD | 126 |

| | PAGINA |
|---|--------|
| III.10 OBJETIVO: SILICIO AMORFO | 133 |
| III.11 CONCENTRACION | 137 |
| III.12 INDUSTRIA MUNDIAL | 143 |
| CAPITULO IV: SISTEMAS INTEGRALES | |
| IV.1 CONCEPTO DE SISTEMA | 145 |
| IV.2 RESERVA DE ENERGIA | 147 |
| IV.3 APLICACIONES | 155 |
| IV.4 METODOLOGIA PARA DISEÑO DE SISTEMAS | 167 |
| CAPITULO V: AUTOSUFICIENCIA RURAL | |
| V.1 OFERTA DE ENERGIA SOLAR EN MEXICO | 179 |
| V.2 DEMANDA DE ENERGIA POR SECTORES | 180 |
| V.3 VENTAJAS TECNICAS | 186 |
| V.4 VENTAJAS SOCIALES | 188 |
| V.5 VENTAJAS ECONOMICAS | 189 |
| CAPITULO VI: PROGRAMA DE INTEGRACION NACIONAL | |
| VI.1 ESQUEMA GENERAL | 192 |
| VI.2 ESTUDIO LEGAL | 199 |
| VI.3 ESTUDIO DE MERCADO | 201 |
| VI.4 ESTUDIO DE INGENIERIA | 202 |
| VI.5 ESTUDIO DE COSTOS | 203 |
| VI.6 ACTIVIDADES DE APOYO | 204 |
| VI.7 CONSOLIDACION DE LA TECNOLOGIA NACIONAL | 206 |
| APENDICES | |
| A. GLOSARIO DE TERMINOS TECNICOS | |
| BIBLIOGRAFIA | 211 |

CAPITULO I

ENERGETICOS

El más importante energético en el presente siglo es - el petróleo, (del latín petra, piedra, y oleum, aceite), combustible orgánico que proviene de la descomposición de grandes extensiones boscosas de la prehistoria, bajo elevadas condiciones de presión y temperatura.

Motivo de especulación, de distensiones entre las naciones, de guerra... Dirige las acciones de la economía mundial, pero ¿por cuánto tiempo?.

La localización y uso del caudal petrolero muestra una gran paradoja: existen pueblos que lo saben usar, que lo demandan más y carecen además de él, total o parcialmente. Por otro lado, los que son escasamente preparados para su utilización, lo requieren poco y lo poseen en grandes cantidades.

Michel Grenon, en su obra "La crisis mundial de la energía", señala que el principal país rico en recursos energéticos y gran consumidor de energía, es la URSS. Países pobres en ellos, pero grandes consumidores, son el Japón, y los países ricos pero poco consumidores, como lo son Arabia Saudita, Kuwait, e Irán requieren de mucho cuidado en extraer cantidades convenientes en el momento exacto. "El mejor provecho de su única riqueza, sobre la cual han estado durmiendo pobres durante siglos, y sin la cual mañana serán devueltos secos, al desierto."

CAPITULO I

ENERGETICOS

El más importante energético en el presente siglo es - el petróleo, (del latín petra, piedra, y oleum, aceite), combustible orgánico que proviene de la descomposición de grandes extensiones boscosas de la prehistoria, bajo elevadas condiciones de presión y temperatura.

Motivo de especulación, de distensiones entre las naciones, de guerra... Dirige las acciones de la economía mundial, pero ¿por cuánto tiempo?.

La localización y uso del caudal petrolero muestra una gran paradoja: existen pueblos que lo saben usar, que lo demandan más y carecen además de él, total o parcialmente. Por otro lado, los que son escasamente preparados para su utilización, lo requieren poco y lo poseen en grandes cantidades.

Michel Grenon, en su obra "La crisis mundial de la energía", señala que el principal país rico en recursos energéticos y gran consumidor de energía, es la URSS. Países pobres en ellos, pero grandes consumidores, son el Japón, y los países de Europa Occidental. Países ricos pero poco consumidores, como lo son Arabia Saudita, Kuwait, e Irán requieren de mucho cuidado en extraer cantidades convenientes en el momento exacto. "El mejor provecho de su única riqueza, sobre la cual han estado durmiendo pobres durante siglos, y sin la cual mañana serán devueltos secos, al desierto".

Pero existen también los pobres entre los pobres. Esto es, poco consumidores y poco productores, que representan las 3/4 partes de la comunidad mundial, "cuya suerte parece ser -- muy difícil, por no decir claramente amenazada por el sacrosanto egotismo de los bien provistos.

Referente a nuestra patria, Grenon la ubica entre los países ricos en recurso y gran consumidor de energía diciendo: a escala evidentemente más modesta que la URSS, México, país - en plena expansión y quizás uno de los grandes países del mañana, constituye un ejemplo de feliz equilibrio. Regresando al - contexto universal, el grupo de trabajo sobre estrategias energéticas alternas (GTEEA), o Workshop on alternative energy --- strategies (WAES) fue un experimento de colaboración internacional. Su forma exclusiva, de composición y su estilo de funcionamiento dieron un buen resultado en nuestro estudio de una cuestión de importancia mundial: Los problemas para garantizar un flujo continuo de energía en las cantidades masivas que todas las sociedades modernas precisan para su mantenimiento e - incluso para su supervivencia. El problema energético es una - mezcla de factores técnico-económico, político y sociales en - cada nación.

La interdependencia crítica entre ellas se encuentra - actualmente centrada en el petróleo, que cubre más de la mitad de las necesidades de las sociedades industrializadas.

Existe una creencia bien fundamentada en que el mundo se está deslizando, al parecer con pocas preocupaciones hacia otra gran crisis energética (1986).

El WAES se formó con un grupo pequeño e informal con - representantes de la mayor parte de los países, entre ellos Mé - xico.

Las conclusiones logradas han sido de mucho interés, y

sólo el tiempo podrá responder a las preguntas sobre el ámbito y profundidad de sus recomendaciones, o sobre la influencia de éstas en cuanto a la previsión del futuro energético y las medidas para impedir posibles escaseces.

Diríamos que la demanda de petróleo ha superado con mucho la oferta, pues los países productores persisten en los actuales topes de producción, en razón a que los hidrocarburos - no extraídos resultan más valiosos que los dólares adicionales, que no les hacen tanta falta.

Partiendo de estos conceptos, analizaré cada una de -- las fuentes energéticas actuales de una manera absolutamente - imparcial, dado que pienso que todas ellas deben participar en apoyo unas de las otras.

Comenzaré hablando del petróleo, y cabe mencionar que para que los hidrocarburos se consideren comercialmente explotadores se requiere su existencia en trampas que los contengan en volúmenes apropiados, que su extracción sea accesible con - las técnicas actuales, la calidad sea buena y la relación costo-beneficio resulte favorable.

México, Brasil y Argentina son los países latinoamericanos donde son más intensas las búsquedas de petróleo. Latinoamérica es la 2a. región más activa del mundo después de EEUU y Canadá. Sin embargo, en la región latinoamericana en conjunto ha disminuido en un 20% la actividad exploratoria, desde el año antepasado, más o menos a la par del resto del mundo.

En diciembre de 1983 operaban 425 equipos de exploración en los países latinoamericanos, según la empresa Hugues - Tool Co., en comparación con 515 en diciembre de 1982. Esta empresa es una de las más importantes en el suministro de equipos para la industria petrolera.

Sólo en EEUU hay 2,746 equipos activos, y en Canada --
297.

| <u>PAIS</u> | <u>DICIEMBRE'83</u> | <u>DICIEMBRE'82</u> |
|---------------|---------------------|---------------------|
| MEXICO | 185 | 194 |
| ARGENTINA | 68 | 67 |
| BRASIL | 71 | 99 |
| VENEZUELA | 33 | 72 |
| COLOMBIA | 21 | 24 |
| PERU | 16 | 21 |
| BOLIVIA | 9 | 8 |
| TRINIDAD | 8 | 13 |
| CHILE | 6 | 6 |
| ECUADOR | 5 | 6 |
| GUATEMALA | 1 | 3 |
| BARBADOS | 1 | 1 |
| COSTA RICA | 1 | 1 |
| R. DOMINICANA | 0 | 0 |
| PARAGUAY | 0 | 0 |
| URUGUAY | <u>0</u> | <u>0</u> |
| TOTAL | <u>425</u> | <u>515</u> |

En 1984 el total es de 443 equipos en Latinoamérica, -
de ellos 183 en México. En las otras regiones del mundo, la dis-
tribución de equipos activos es la siguiente:

| | <u>DICIEMBRE'83</u> | <u>DICIEMBRE'82</u> |
|-----------------|---------------------|---------------------|
| AFRICA | 120 | 209 |
| EUROPA | 169 | 219 |
| LEJANO ORIENTE | 262 | 266 |
| MEDIANO ORIENTE | 193 | 236 |
| OCEANIA | <u>30</u> | <u>31</u> |
| TOTAL | <u>1,199</u> | <u>1,476</u> |

Existe una organización de países productores de petróleo (OPEP), constituida por Arabia Saudita, Kuwait, Argelia, Libia, Ecuador, Nigeria, Emiratos Arabes Unidos, Qatar, Gabon, Indonesia, Irán e Iraq. Otros países del norte de Europa pertenecen a otra agrupación de países del Mar del Norte (tan solo ahí hay 34 equipos activos manteniéndose las reservas en 21,000 millones de barriles).

Otros se mantienen afuera como es el caso de los países socialistas, de EEUU, Canadá, México, Venezuela y los países del norte de Europa.

Para Venezuela, el 94% del total de sus exportaciones son petróleo, así como el 63 de los ingresos ordinarios al fisco. Este país tiene uno de los mayores índices de consumo de hidrocarburos de la América Latina. Los precios de petróleo son subsidiados. En los últimos años, la demanda interna de energía ha crecido en un 7%.

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA) ha emprendido cuatro acciones:

- Inició un vasto programa de explotación en áreas que no habían sido exploradas.
- Decidió disminuir el volumen de exportación 150,000 barriles por día con la intención de reducir la producción de sus valiosos y escasos crudos ligeros y densidad media.
- Inició programas de conservación de energía.
- Destino \$1,860.00 millones de U.S. Dllr. para implementar un programa de refinamiento encaminado a producir más destilados ligeros a partir del petróleo pesado.

El petróleo mexicano es muy cotizado a nivel internacional, y México es el cuarto país con mayor reserva.

Las reservas mundiales de hidrocarburos, estimadas en 1.27 millones de millones de barriles, de los que el 41% se encuentran en el Medio Oriente, en tanto que el 17% se halla en el continente Americano.

| <u>PAIS</u> | <u>RESERVA (MILES DE MILLONES DE BARRILES)</u> |
|----------------|--|
| URSS | 311.0 |
| ARABIA SAUDITA | 185.8 |
| IRAN | 152.0 |
| MEXICO | 72.0 |
| KUWAIT | 70.2 |

Las reservas mundiales de gas ascienden a 3,023 millones de millones de pies cúbicos, de los que el 41% corresponde a la URSS, México representa el 2.5% del total mundial.

En 1982 la producción mundial fué de 53 millones de barriles diarios de los que el 30% provino del continente Americano, mientras que el Medio Oriente aportó el 24%. Se observa la drástica reducción con respecto a 1980, año en que se produjeron 57 millones de barriles diarios, de los cuales el 37% correspondió al Medio Oriente.

A partir de 1971, Venezuela y EEUU registran un descenso en su producción.

| <u>PAIS</u> | <u>PRODUCCION</u> <u>(MILL. BARR./DIA)</u> |
|----------------|---|
| URSS | 12.3 |
| EEUU | 8.6 |
| ARABIA SAUDITA | 6.5 |
| MEXICO | 2.7 |
| REYNO UNIDO | 2.0 |
| CHINA | 2.0 |
| IRAN | 1.9 |
| VENEZUELA | 1.8 |
| INDONESIA | 1.4 |

De acuerdo con la clasificación aceptada por los principales países petroleros, los yacimientos supergigantes son - aquellos que contienen reservas superiores a los 5,000 millones de barriles. Dentro de estos yacimientos, que contienen al rededor del 50% de las reservas mundiales descubiertas hasta - la fecha, se encuentra en "Cantarell", Golfo de Campeche, Méxi-
co.

| <u>PAIS</u> | <u>YACIMIENTO</u> | <u>RESERVA PROBADA</u> <u>(MILES DE MILL. BARRILES)</u> |
|----------------|-------------------|--|
| ARABIA SAUDITA | GHAWAR | 59.0 |
| KUWAIT | BURGAN | 53.0 |
| MEXICO | CANTARELL | 15.0 |
| IRAN | AHWAZ | 14.0 |
| ARABIA SAUDITA | SAFANIYAH | 12.7 |
| IRAK | RUMAILA | 9.9 |
| ARABIA SAUDITA | MANIFA | 8.5 |
| DUBAI | FATEH | 7.9 |
| VENEZUELA | BOLIVAR | 7.8 |
| URSS | SAMOTORSKOYE | 7.7 |

Regresándonos al gas, la producción mundial promedio - durante 1982 fué de 153,134 millones de pies cubicos diarios, con el 44% del continente Americano.

Principales países productores.

| <u>PAIS</u> | <u>MILL. PIES CUB./DIA</u> |
|------------------|----------------------------|
| EEUU | 51,318 |
| URSS | 48,452 |
| CANADA | 6,976 |
| PAISES BAJOS | 6,909 |
| MEXICO | 4,246 |
| REINO UNIDO | 3,496 |
| RUMANIA | 3,151 |
| OTROS COMUNISTAS | 2,901 |
| NORUEGA | 2,361 |
| ARGELIA | 2,270 |

El volumen de agua inyectada en millones de barriles - por día (sistema de recuperación secundaria) a los pozos nos - da una idea de lo avanzado que se encuentra la explotación de éstos.

| <u>PAIS</u> | <u>MILL. BARR./DIA.</u> |
|----------------|-------------------------|
| URSS | 26.0 |
| EEUU | 22.0 |
| ARABIA SAUDITA | 12.0 |
| VENEZUELA | 1.4 |
| MEXICO | 1.2 |

Uno de los métodos para generar energía eléctrica se - basa en la producción de calor mediante la fisión del isótopo 235 del uranio, que constituye el 0.7% del uranio presente en

el planeta. El calor liberado se utiliza para producir vapor - con el que se acciona una turbina que da la energía mecánica - al generador, donde se produce la electricidad. Los reactores se dosifican atendiendo al tipo de moderador y de refrigerante, estipulándose si el uranio que requiere es natural o enriquecido. Actualmente, después de cuatro décadas de desarrollo, se cuenta con seis tipos de reactor que pueden considerarse comerciales.

A fines de 1982 existían en el mundo 294 unidades nucleoelectricas en operación, con la potencia agregada de ----- 173,108 MW. y 215 unidades en construcción con potencia 196,860 MW.

Durante 1982 la nucleoelectricidad aportó el 3.3% de la energía consumida en el mundo, siendo de interés que las nucleoelectricas produjeran del orden del 50% de la electricidad producida en el mundo por centrales hidroelectricas.

Se estima que el equivalente energético de las reservas uraníferas del mundo es del orden de las reservas mundiales de petroleos.

Durante las últimas décadas prácticamente todos los países desarrollados han implantado programas nucleoelectricos. Sin embargo, debe reconocerse que en la mayoría de ellos se han presentado movimientos de rechazo por parte de la opinión pública, en parte porque subproductos de la fisión nuclear se emplean para armamento nuclear.

Los países que poseen tecnología nuclear exigen salvaguardias, que generalmente instrumenta el organismo internacional de energía atómica, antes de suministrar tecnología, componentes, materiales o servicios que se consideran potencialmente asociados a la diversión hacia fines bélicos. Para los paí-

ses no signatarios del tratado de no proliferación que carecen de la tecnología, las posibilidades de acceso son lógicamente menores.

En países como la URSS, Francia, Japón, Corea y Taiwan siguen adelante con la instalación de nucleoelectricas, por el contrario que en los EEUU, Suecia, Italia y Alemania, donde -- han surgido bloqueos, llegándose a plantear en algunos de ellos el abandono de esta opción.

El documento "Uranium Resources, production and demand, including other nuclear fuel cycle data" elaborado por la agencia internacional de energía atómica, contiene las estimaciones sobre la futura capacidad nuclear instalada para el año -- 2000, presentadas por muchos países a comienzos de 1975.

Las reservas de uranio se han clasificado como "reservas razonablemente garantizadas" y "recursos adicionales estimados". En el informe OCDE/AIEA, el total de estos recursos se estimó que podría alcanzar un millón de toneladas de U308 a un precio de \$325 US DLLR/KG. y unas 730,000 TON. adicionales a precios de hasta \$65.00 US DLLR/KG.

El 72% de estos recursos se hallan en Australia, Canadá, Sudáfrica y EEUU.

Con respecto a la generación de electricidad mediante plantas termoelectricas a base de combustoleo y gas natural, - hace años que no se fabrican el tipo de plantas: a excepción - de los países que cuentan con recursos petroleros abundantes. A partir de 1977 se vienen cerrando las plantas más viejas y - convertidas en carboelectricas algunas de las modernas.

En el caso de los EEUU la capacidad instalada con má-- quinas a base de combustoleo y gas natural disminuye a una ta

sa de 4 ó 5% por año. Se estima que será del orden de 190 GW. En 1990 y del orden de 128 GW. para el 2,000. La energía generada con hidrocarburos representó el 32% en 1977, actualmente es del 20%, estimándose que para el 2,000 será del 10%.

A nivel mundial, la energía eléctrica generada por medios hidráulicos representó el 21.6% en el año 1979 y ha venido disminuyendo gradual pero constante. En términos de capacidad instalada, en ese año había 440 GW. de ellos el 82% se encontraba en países desarrollados, sin embargo, la capacidad hidroeléctrica es la más abundante en los países en desarrollo.

La distribución regional de la capacidad hidroeléctrica instalada es la siguiente:

| <u>REGION</u> | <u>%</u> |
|------------------------|----------|
| AFRICA | 2.9 |
| EEUU Y CANADA | 27.1 |
| AMERICA LATINA | 10.2 |
| EUROPA OCCIDENTAL | 28.3 |
| EUROPA ORIENTAL Y URSS | 13.4 |
| RESTO DE ASIA | 15.9 |
| OCEANIA | 2.2 |

Algunos países cuentan con sistemas de potencia hidroeléctricos principalmente:

| <u>PAIS</u> | <u>%</u> |
|-------------|----------|
| NORUEGA | 99 |
| SUIZA | 87 |
| BRASIL | 82 |
| COLOMBIA | 67 |
| PORTUGAL | 66 |

| <u>PAIS</u> | <u>%</u> |
|-----------------|----------|
| NUEVA ZELANDA | 66 |
| AUSTRIA | 62 |
| COREA DEL NORTE | 60 |
| CANADA | 55 |
| PERU | 54 |
| CHILE | 50 |

El potencial aprovechable hidroeléctrico en el planeta es estimado en 19,390 TWH anuales. De esta cantidad habfa 3,207 TWH en operación y 1,090 en construcción en 1980, que sumados representan el 22% del total.

Por otra parte, debido a problemas de acceso, de geografía, hidrología o factibilidad económica, es probable que la mayor parte del potencial no llegue a utilizarse.

En cuanto al carbón, países productores son los EEUU, URSS, China y Australia.

La totalidad de los depósitos geológicos de carbón -- existentes en el planeta se estima en 10.75 billones de toneladas equivalentes de carbón; sin embargo, la cantidad que es -- económico recuperar con técnica actual, alcanza sólo 663,000 -- millones.

EEUU es el país que tiene las mayores reservas recuperables: 177,600 millones de toneladas, las que junto con las -- existentes en China, URSS y Australia representan el 90% de las mundiales, repartiéndose el 10% restante entre los otros 80 -- países en los que se ha encontrado carbón.

A nivel mundial, la energía proveniente de las fuentes hidrotermales se emplea para generar electricidad a gran es-

cala en los siguientes países:

| <u>PAIS</u> | <u>82/83 (EN MEGAWATTS) 84/85</u> | |
|---------------|-----------------------------------|-------|
| EEUU | 939 | 1,663 |
| FILIPINAS | 501 | 891 |
| ITALIA | 446 | 464 |
| NUEVA ZELANDA | 202 | 203 |
| MEXICO | 225 | 645 |

En otras realizaciones a nivel mundial, cabe destacar el uso de torres centrales y campos heliostatos en los EEUU, - España (Bajadoz), Francia (Targassone), y Japón (Nio Kagawa).

Biomasa en Brasil, China (en esta última 7.1 millones de biodigestores familiares), Latinoamérica (donde el consumo promedio representa entre el 6% y el 15% de la oferta energética total).

Eólica, en donde los EEUU tienen instalados 85 MW., Dinamarca tiene 15MW. y Holanda 1.2 MW.

Francia y Rusia tienen centrales mareomotrices de 240 y 0.4 MW. respectivamente.

Fotovoltaicos, las que describiremos a lo largo del -- presente trabajo. China y Brasil han descubierto nuevos métodos energéticos a partir del agua y de las plantas. Debido a que - 1/4 parte de la población mundial vive en esos países, el descubrimiento tendrá gran importancia. China ha puesto freno a la deforestación desatada y ha sembrado millones de árboles para obtener madera combustible para el futuro, duplicando el -- área forestal del país (para más de 35 millones de habitantes).

Brasil, que genera 90% de su electricidad por plantas

hidroeléctricas, y tiene un crecimiento de un 11% anual, tiene la central hidro de Itapu, en el río Parana, que es el complejo más importante en su especie a nivel mundial.

Pues bien, desde la crisis energética de 1973, el Ministerio de Industria de Brasil ha preparado el programa más ambicioso del mundo al substituir la gasolina por un combustible a base de alcohol.

Para 1980, 1/4 de millón de Ha. de caña, llevados a -- 180 enormes destilerías estaban siendo convertidas en alcohol suficiente para satisfacer el 20% de las necesidades de combustible en ese país.

1.2 OFERTA Y DEMANDA DE ENERGIA EN MEXICO

Actualmente PEMEX cuenta con alrededor de 4,000 pozos de explotación terrestre y el orden de 50 plataformas marinas. En la última década se han terminado en nuestro país un promedio de 70 pozos exploratorios por año, cifra muy inferior a -- los 15,000 que se terminan anualmente en los EEUU. México comparativamente con otros países ha obtenido un porcentaje mayor de aciertos en la búsqueda de nuevos yacimientos. Es por eso -- que las reservas probadas de hidrocarburos fueron las que más significativamente se incrementaron a nivel mundial, hasta llegar a 72 mil millones de barriles.

La mayor parte de nuestras reservas probadas se localizan en el Golfo de Campeche con 34,000 millones de barriles, -- en esta área operan 8 equipos de perforación exploratoria.

Nuestra plataforma extractiva es de 2 millones 750,000 barriles diarios. 1'500,000 para exportación que representan -- un ingreso para el país de 16,340 millones de U.S. DLLR., en --

globando ventas de petróleo crudo y petrolíferos, gas natural y petroquímicos.

Actualmente PEMEX cuenta con aproximadamente 4,000 KMS. de ductos para transportar el crudo y gas asociado desde los pozos y campos de explotación a los puntos de embarque o centros de procesamiento. Hay instalaciones en ambos litorales para manejar los buques tanques modernos en calado, muelle, boyas y características necesarias para mover 4 millones de barriles por día.

De los 2'500,000 Kmts. cuadrados de la superficie de la República Mexicana, el 74% corresponde a cuencas y plataformas sedimentarias marinas, con posibilidades de haber generado y almacenado hidrocarburos. Se considera que el 12% de dicha área con rocas sedimentarias ha sido explorada con cierta intensidad de la cual un 30% se tiene clasificada con buenas perspectivas petrolíferas, y otro 58% con posibilidades más limitadas.

Desde la nacionalización del petróleo en 1938, a 1982 se han perforado 3,336 pozos exploratorios, la mayor parte en la planicie costera del Golfo de México. A partir de 1974 se tiene un porcentaje por aciertos de 45 como promedio concentrando la exploración en Chiapas-Tabasco y el Golfo de Campeche.

En junio de 1984 han sido descubiertos importantes yacimientos en el desierto de Altar, en la zona limítrofe entre Durango y Chihuahua, y en Córdoba, Veracruz.

En cuanto a nuestra política de explotación actual, vemos con agrado que, a pesar de ser un país petrolizado, manejamos con buen sentido los volúmenes, tanto de extracción, como de exportación, y no hemos permitido que se malbarate como se pudo observar a fines de 1984, cuando otros países productores

hicieron la guerra de precios. De haber bajado nosotros tan solo un dólar por barril, estaríamos hablando de más de 5,000 millones de dólares de déficit en un año. Por el contrario, se optó por reducir un porcentaje conveniente de extracción durante el mes de octubre, en tanto se observaba la reacción mundial.

En México se formó un comité integrado por subsecretarios de seis Secretarías de Estado, presidida por el director de Petróleos Mexicanos, de tal manera que se delibera ampliamente sobre las posibilidades de modificar tanto los valores de extracción, como de exportación y de precio al extranjero, aunque éste último dependa exclusivamente de nosotros.

Refiriéndonos al gas natural, México cuenta con una reserva de 75 millones de pies cúbicos, en tanto que las reservas actuales de petróleo son de 72,008 millones de barriles -- (sin contar con los últimos descubrimientos de junio de 1984), de los cuales el 47% se encuentran en el Golfo de Campeche, -- 18% en el Mesozoico de Chiapas - Tabasco y el 35% restante repartido.

Producimos un promedio de 4,200 millones de pies cúbicos por día, lo que representa un 2.7% de la producción mundial.

El 80% del gas producido se obtiene asociado al petróleo, por lo que esta ligado estrechamente a los volúmenes de producción de crudo.

México quemará actualmente el 14% del gas que produce, la mayor parte de Campeche, donde se está terminando un segundo gasoducto y la instalación de un equipo de compresión, para marzo de 1984.

Por lo que a energía nuclear se refiere, en Laguna Verde

se está terminando la primera planta, iniciada en 1970 con un presupuesto inicial de 450 millones de U.S. DLLR. (1er reac -- tor). Actualmente, los cálculos del costo real de esta planta ascienden a los 1,000 millones de U.S. DLLR., y el costo de 1 KW a pie de crfa una vez terminado sería de \$7,000 U.S. DLLR.

No habiéndose terminado la segunda etapa a los 14 años - de su inicio, investigadores nacionales han llegado a la con-clusión de que la participación nacional en este proyecto es - de tan sólo un 8% (cableados, soldadura con materia prima im--portada, varilla, muros de sacrificio, infenierfa y diseño de - algunos aspectos, cemento y pintura).

En 1976 se llevaba un 6% de su avance en construcción y en 1982 un 70%, siendo que una planta de uranio y enriquecido como ésta se estima que debe construirse entre 10 y 12 años. En su término, se planea que produzca 2,000 MW para iniciar.

Las reservas de uranio en el país, son de 15,000 ton., - son apenas para el consumo en su vida útil, además requerimos importar el uranio enriquecido de Canadá o los EEUU.

El análisis regional de los recursos hidráulicos en México muestra que estos son escasos y que su distribución es irre-gular. El 95% de la capacidad hidroeléctrica instalada está -- concentrada en el sur del país, donde las lluvias son abundan-tes y los ríos permanentes.

En el estudio del potencial hidroeléctrico que se efec--tuó en 1978, se identificaron en gabinete 541 sitios potencia-les, que de poder aprovecharlos se tendrfa una generación de - 172 TWH al año.

La capacidad instalada en noviembre de 1983 fué de 6,718 MW. con una generación media anual de 23 TWH, distribuida en -

en más de 300 centrales correspondiendo al sector público una tercera parte en número y el 97.5% de la capacidad (6,550 MW).

Como porcentaje del total nacional, la hidroelectricidad ha disminuido de 53% en 1970 a 34.4% en noviembre de 1983 y en alrededor del 30% en 1984.

Cuatro centrales, Choasen con 1,500 MW., Malpaso de 1080 MW, Angostura de 900 MW e Infiernillo de 1,000 MW. representan el 68% de la capacidad instalada en el país.

El programa de obras del sector eléctrico ha sido afectado por las condiciones económicas que prevalecen en el país -- desde 1982 y, aunque se espera la recuperación del ritmo económico a partir de 1985, se estima que para el resto de la década la demanda de electricidad crecerá al 8% anual.

En la actualidad se construyen 6 centrales hidroeléctricas más. Si sumamos a ellas 2 geotérmicas más, una nueva carbón eléctrica y la nucleoelectrica, con 9,215 MW.

En cuanto a la ubicación de las centrales, las geotérmicas e hidroeléctricas están limitadas a los sitios donde se encuentran los recursos de energía primaria.

Para construir una central se toman en cuenta el crecimiento de la demanda regional, infraestructura, accesibilidad, localización de las fuentes de energéticos primarios y disponibilidad de agua para enfriamiento. Al tomar la decisión de -- construir una planta se comprometen recursos energéticos primarios e hidráulicos para los siguientes 35 años.

Es importante mencionar que una planta hidroeléctrica -- tarda de seis a ocho años en construirse, mientras que una térmica a base de combustóleo o gas natural unos 5 años. De-

be tomarse en cuenta que para iniciar la obra es necesario llevar a cabo diferentes etapas de estudio e ingeniería preliminar, que normalmente se llevan 2 años para las termoeléctricas y tres años para las hidroeléctricas.

En el aspecto demográfico, el Consejo Nacional de Población estima que hacia fines de siglo habrá 100 millones de habitantes en el país, con tasa de crecimiento del 1% anual; no obstante, la población de más de 15 años, que es la que demanda empleo, vivienda y otros satisfactores, seguirá creciendo - por arriba del 3% anual.

Por lo que toca a la economía, la misma presión demográfica y las tendencias de urbanización e industrialización del país, apuntan hacia la necesidad de mantener crecimientos superiores al 5% en el producto interno bruto.

El sector eléctrico deberá crecer entre 3 y 4 veces a -- partir de su capacidad actual.

La energía necesaria bruta en ese año se encontraba entre los 230 y los 280 TWh.

La proyección alta de la demanda corresponde a una tasa anual de 8.1% para el período 1988-2000 y la baja a una tasa de 6.3%.

Con respecto a la demanda de hidrocarburos para la generación de energía eléctrica encontramos cuatro proyecciones para el 2000 (incluyendo combustóleo, diesel y gas natural):

- 733,000 BBL equivalentes de combustóleo por día (demanda alta y diversificación moderada).

- 664,000 BBL (a demanda y diversificación altas).

- 555,000 BBL (a demanda baja y diversificación moderada).
- 442,000 BBL (a demanda baja y diversificación alta).

Dado que la demanda de 1984 se estima en 244,000 barril - les equivalentes de combustóleo, las tasas medias de crecimiento anual que resultan son de 7.5%, 6.8%, 5.6%, y 3.8% respectivamente.

La explotación de carbón en el país data de 1930 con el inicio de operaciones de la Planta Central Térmica Francker, - en Gómez Palacio, Durango con dos unidades turbogeneradoras de 6 MW de capacidad, impulsadas por vapor producido por sendas - calderas que utilizaban carbón como combustible.

En 1959 se inició una campaña de exploración en la cuenca Carbonífera Fuentes- Río Escondido, cuyos resultados justificaron la construcción de la termoeléctrica de Nava, con potencia de 38 MW., la que operó de 1965 a 1979. Las exploraciones continuaron hacia el Sureste y, a fines de 1976 las reservas - probadas de carbón alcanzaron los 172 millones de toneladas, - por lo que se decidió construir la Planta de Río Escondido con potencia de 1,200 MW., cuya primera unidad entró en operación en noviembre de 1981.

La segunda lo hizo al año siguiente y las restantes unidades deberán generar electricidad para fines de 1984. La Central Carbón II de 1,400 MW. se encuentra en la etapa de proyecto, pero su operación comercial, que debía iniciarse a mediados de 1985 seguramente sufrirá retrasos.

Se ha encontrado carbón en 80, lugares situados en 20 estados de la República.

El 98% del carbón que se explota en México está localiza

do en la cuenca de Coahuila-Nuevo León, para 1980 se habfan explorado 30,000 Kmts. cuadrados, lo que explica la relativa modestia de las reservas conocidas, pero la evidencia hasta ahora disponible sugiere que las reservas son bastante modestas -- en comparación con países productores de carbón, como EEUU, -- URSS, China y Polonia.

Los recursos totales estimados en México, están sobre los 5,448 millones de toneladas, de los que son técnicamente y económicamente recuperables 1,063 millones.

Hablando de un poco de geotermia, existen dos grandes regiones geotérmicas: El Valle de Mexicali y el Eje Volcánico, en los cuales se encuentra gran parte de los 400 sitios con alteraciones hidrotermales que se tienen detectados actualmente.

En el Valle de Mexicali, situado en el Noroeste de México, se tiene actualmente el mayor desarrollo geotérmico. En 1973 dos unidades de 37.5 MW. iniciaron su operación y en 1979 entraron en operación dos unidades más, proyecto denominado -- "Cerro Prieto I".

En enero de 1981 se elevó la capacidad instalada en -- 180 MW.

Actualmente están en construcción dos centrales más: -- Cerro Prieto II y III. Cada central tendrá dos unidades de -- 110 MW., con lo cual Cerro Prieto tendrá para 1985 una capacidad instalada de 620 MW.

Adicionalmente se han detectado pozos en Riito, Tule-- chek, Aeropuerto, etc., con lo que se ha estimado una capacidad instalable del orden de 900 MW.

La otra región geotérmica se localiza en la parte cen--

tral del país, en el llamado Eje Neovolcánico (franja de va -- rios Kilómetros de ancho y 900 Kmts. de largo, con más de 3,000 aparatos volcánicos y un elevado número de manifestaciones hi-- drotermales.

Actualmente se concentran esfuerzos en Los Azufres, Mi choacán., La Primavera, Jalisco y los Humeros, Puebla.

La C.F.E. tiene programado alcanzar como mínimo una ca pacidad instalada para el 2000 entre los 1,200 y 1,500 MW.

Se pretende terminar el tendido de 3,600 Kmts. de lf-- neas de conducción y llevar el servicio a 229 colonias popula-- res y 925 poblados, beneficiando a 3.5 millones de habitantes.

También existe la posibilidad de crear una empresa tri nacional para la explotación a largo plazo de carbón entre Bra sil, Colombia y México, así como crear un mercado común energé tico en la región.

1.3 PLAN NACIONAL DE ENERGIA

Para coordinar el sector energético se formó en 1973, la Comisión de Energéticos: que formuló lineamientos para reor denar la actividad nacional en este aspecto.

Para 1980 la Secretaría de Patrimonio y Fomento Indus trial editó en noviembre de ese año en "Programa de energía: - metas a 1990 y proyecciones para el año 2000". Enmarcado en el plan nacional de desarrollo industrial, define a la energía no como un objetivo en sí mismo, sino una palanca para el desa-- rrollo. Abunda en los lineamientos contenidos en el Plan Mun-- dial de Energía, propuesto en parte por México ante la Asam -- blea de las Naciones Unidas, su instrumentación parcial a ni--

vel regional y la forma de utilizar la exportación de hidrocarburos para diversificar nuestro comercio exterior, o bien de aprovecharla para obtener tecnología, mejores condiciones de financiamiento, etc.

Específica: "Los planes económicos de México son particularmente ambiciosos, para sostener una tasa de crecimiento de la economía a largo plazo, del orden del 8% anual, el sistema eléctrico del país deberá triplicarse en la próxima década. Pero además, si se toma en consideración la política de diversificación de fuentes energéticas incluyendo al carbón, la geotermia, la nuclear y hasta solar, en las que el país no tiene suficiente experiencia, los retrasos efectivos en los programas de construcción y puesta en marcha, pueden ser de consideración".

El objetivo "primordial del programa es aprovechar la dotación abundante de energéticos disponible para fortalecer, modernizar y diversificar la estructura económica de México".

Como objetivos específicos se citaron los siguientes:

- Satisfacer las necesidades nacionales de energía primaria y secundaria.
- Nacionalizar la producción y uso de la energía.
- Diversificar las fuentes de energía primaria, prestando particular atención a los recursos renovables.
- Integrar el sector de la energía al desarrollo del resto de la economía.
- Conocer con mayor precisión los recursos energéticos del país.

- Fortalecer la infraestructura científica y técnica - capaz de desarrollar el potencial de México en este campo y de aprovechar nuestras tecnologías.

Buscando diversificar los flujos de comercio exterior del país, se establecieron los siguientes criterios:

- Tratar de evitar la concentración de más de 50% de las exportaciones mexicanas de hidrocarburos en un solo país.
- Buscar mantener en menos del "20% la participación de las exportaciones mexicanas en el total de las importaciones de crudo y productos petrolíferos de cualquier país. Sólo en caso de las naciones de Centroamérica y Caribe, se abastecerá hasta un 50% de sus necesidades de hidrocarburos.

Conjuntamente a la elaboración de este programa, México estableció un mecanismo de cooperación energética en favor de países de Centroamérica y Caribe, propuso un plan mundial de energía al que acoplara éste de acuerdo a los principios de solidaridad internacional que siempre ha mantenido.

Concretamente nuestro punto de interés es el aprovechamiento de la energía solar, en la que es implícito el aprovechamiento fotovoltaico. El programa en cuestión menciona lo siguiente:

- La opción solar ha recibido recientemente gran atención en el mundo y se le dedican volúmenes crecientes de recursos. Su utilización en gran escala es, sin embargo, un evento del futuro. A corto y mediano plazos su aportación al balance energético será marginal. No obstante, puede ayudar a mejorar las condiciones de vida y producción de comunidades no integra

das al sistema eléctrico nacional. Asimismo tiene aplicaciones domésticas de gran importancia, como la llamada energía solar pasiva, consistente en diseñar los espacios habitacionales de manera que se aproveche mejor este recurso. A más largo plazo, si los esfuerzos tecnológicos en este campo tienen éxito, dicha fuente contribuirá a sentar las bases para el desarrollo de sistemas eléctricos descentralizados que utilicen un recurso permanente, ampliando la gama de opciones energéticas".

Todo lo dicho hace suponer que no sólo no se tiene una idea clara de lo que son las diversas tecnologías de aprovechamiento de energía solar, sino que no se tomó en cuenta el plan nacional maestro de energía solar", llamado a partir de 1980 - "Programa Nacional Indicativo de Energía Solar y sus Colaterales", Pronaesyc., editado en su versión normativa por la Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar. (SAHOP-DIGAASES). En él se clasifican las tecnologías solares de la siguiente manera:

1. Sistemas pasivos de helioarquitectura.
2. Calor hasta 120°C. en colectores planos.
3. Calor hasta 300°C. en concentradores.
4. Calor hasta 800°C. en torres solares. (Yo diría -- que aquí entran las centrales heliostáticas que alcanzan los 3,500°C).
5. Potencia mecánica en molinos de viento.
6. Potencia eléctrica de corriente continua en pequeñas turbinas de viento menores a 10 KW.
7. Potencia eléctrica de C.D. o C.A. en turbinas de --

viento medianas y grandes de 10 a 100, y de 100 KW3 a 3 MW.

8. Potencia eléctrica generada en las fotoceldas, hoy generalmente para sistemas de baja potencia (menos de 1 KW).
9. Procesamiento biológico en materia orgánica, para la producción de fertilizantes y biogás (metanol y alcohol).
10. Potencia mecánica proveniente de las mareas y olas (generalmente para su conversión en electricidad).
11. Aprovechamiento de la diferencia de temperatura entre la superficie y el fondo del mar (se estudia su uso en plantas termoeléctricas).
12. Combustibles sintéticos a base de energía solar (hidrógeno).

Y yo me atrevería a mencionar otro tipo de aprovechamiento de la energía solar sin tecnologías, las de las salinas naturales como Guerrero Negro, B.C.N.

De la electricidad fotovoltaica menciona:

"Tiene un potencial económico restringido en la actualidad, dado en el inmenso potencial técnicamente factible, el precio decreciente de las fotoceldas y el rápido incremento del combustible, estos sistemas van ganando importancia en el futuro".

En cuanto al potencial técnico y económicamente --- factible para el fotovoltaismo, se estableció en $56,000 \times 10 -$

exp. 12 WH/año (técnicamente aprovechable) y por determinar -- "el económico".

Como metas se expresó un 0.3% de participación de la energía solar en el global de los energéticos, iniciando en -- 1980, con principal aplicación en industrias y habitación, para incrementarse hasta lograr el 9% en el año 2000, lo que representaría un ahorro de aproximadamente 441.95 KCAL x lo exp. 12 ó sea 326.39 millones de barriles de crudo.

Actualmente contamos con un programa de energía preparado por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paralela, en conjunción con diversas dependencias el cual contempla con interés el consumo de ésta, y la explotación adecuada de nuestros recursos no renovables.

1.4 CONSERVACION DE ENERGIA Y PRE SERVACION DEL MEDIO AMBIENTE

Muchos de los procesos de producción de energéticos básicos, distintos del petróleo, consumen grandes cantidades de energía en forma de calor, que actualmente se genera quemando petróleo principalmente. Por ejemplo una planta típica de mollienda de uranio, que procesa alrededor de 4,000 TM. de mineral uranio para dar un poco más de 11 TM/día de U238 (torta -- amarilla) requiere de aproximadamente 95,000 litros por día de combustóleo para la generación del vapor (190°C.) que consume durante su operación. Es evidente que tanto en este renglón como en muchos otros, la optimización en el consumo de energía se logrará muy lentamente, pero en términos generales observamos una tendencia hacia el mejor uso de ésta. En la industria por ejemplo, la energía consumida por unidad producida disminuyó un 18% entre 1963 y 1973 en los seis países de la comunidad europea.

En el transporte de viajeros se han logrado importantes progresos mediante el uso de aviones de gran capacidad y por los límites de velocidad impuestos en las carreteras, así como los dispositivos electrónicos que dosifican el consumo.

Es claro que el ahorro de energía no tiene básicamente que ver con el modo de vivir estándar y el uso diario. No es parar los ascensores, o permitir solamente metros y autobuses para el tráfico interurbano, porque también podríamos decir que los aviones consumen seis veces más combustible por pasajero/KMT.

En los países más industrializados se cree que se puede ahorrar aún más energía y reducir el consumo normal de ésta en un 20% sin afectar la producción de bienes.

En los países en vías de desarrollo, el despilfarro de energía se justifica principalmente en el uso deficiente de materiales y equipos: motores diesel en el campo sin ningún respaldo, motores obsoletos para la ciudad, etc. etc.

Hablando de los transportes, 20 1/2 millones de litros de gasolina se consumen diariamente en México, D.F., tomando como promedio de consumo 8.16 KMTS/LT., ó 12.25 LT/100 KMTS.

En esta misma ciudad, hay cerca de 2'500,000 autos, y las plantas armadoras producen de 30 a 36,000 nuevos por mes, de los que el D.F. consume un 60%.

El porcentaje de personas por automóvil en la capital es de 1.6, mientras que el metro mueve actualmente 5 millones de personas/día un promedio de 80 KMTS.

Si hablamos de tiempo perdido, cada persona desperdicia aproximadamente unas 4 hrs. al día en congestionamientos -

vehiculares esto nos da una idea clara en sólo una parte de un sector de nuestra economía.

En el traslado y suministro de energía eléctrica se -- pierde entre un 10 y 20% a pesar de manejar altos voltajes pã--ra tal fin.

La protección del medio ambiente es un problema tan o más acuciante que el anterior.

En fechas próximas pasadas leímos un artículo que reza ba: "Son graves los deterioros y cuantiosas pérdidas económi--cas a campesinos, pescadores y ecología por las exploraciones y perforaciones en busca de petróleo. Incluso están por desapa--recer algunos centros turísticos. Caso es el de Tabasco, uno - de los estados más perjudicados, donde PEMEX acabó con culti--vos, pastizales, palmeras, árboles, tierras fértiles, animales, y las lagunas de agua dulce las convirtió en saladas. Los habi--tantes de la zona no creen en eso de "lo verde es vida" y me--nos cuando lo dice Petróleos Mexicanos.

Un ejemplo de los disturbios está en la localidad del Alacrán en el estado, donde PEMEX rompió un enorme bordo que - separaba las aguas dulces de la Laguna Machola con el mar. Ahó--ra tienen agua salada en la laguna. En ese mismo lugar ubica--ron tubería de cobre de 60 CM. de diámetro por 6 MTS. de largo sobre superficie de plantío, y el vegetal con el tiempo cubrió la tubería, y arrestaron a los campesinos por supuesto robo"... mismos que fueron puestos en libertad cuando un ingeniero res--ponsable recordó donde habían dejado los tubos.

Recientemente fué anunciado que PEMEX ha de invertir - 6,000 millones de pesos aproximadamente en corregir todos los daños que ha ocasionado, restaurando 176 hectáreas de tierra - fértil.

La polución térmica es otro factor importante: de seguir produciendo energía al ritmo actual, elevaríamos peligrosamente la temperatura en el ambiente.

40,000 KMTS. cúbicos se han perdido de hielo en los polos en los últimos 40 años, por el aumento de la entropía en el planeta, con el consiguiente aumento del nivel de los océanos en 12.5 metros.

Las centrales eléctricas convencionales emiten CO y SO₂ en grandes cantidades, respectivamente 30 y 81 KGM. por KW/AÑO.

La "lluvia ácida" tanto en Europa como en América del Norte, que contiene ácido sulfúrico y nítrico procedente de los gases producidos por las centrales eléctricas, por la industria y los automóviles, ha dañado los bosques eliminando la fauna y atacando los metales. Los altos funcionarios de la Comisión de Comunidades Europeas tienen que tomar una decisión - en breve para instalar depuradores en todas las centrales eléctricas, pero temen que esto provoque un recargo de electricidad en una medida entre el 20 y el 30%, que la opinión pública no aceptaría fácilmente.

El uso de la energía solar directa para satisfacer los requisitos de energía del hombre es ventajoso ya que a diferencia del consumo de energía no solar, el equilibrio térmico de la tierra no se altera. La emisividad térmica de la superficie del generador solar es la misma que la de la superficie de una zona árida donde es instalado, por lo que no cambia el balance térmico en el microclima.

En casi todos los países, extensas zonas ocupadas por bosques han sido barridas por la agricultura, la urbanización, los basureros comunales, las industrias y las carreteras. El equilibrio térmico fué afectado porque fueron alteradas la ab-

sorción y la radiación térmica.

Por ejemplo, una carretera refleja cerca del 35% de la luz, comparado con un 3 a 10% reflejado por los bosques.

De moda está el hablar de los problemas ocasionados por el mal manejo de la energía nuclear.

A mediados de 1978, 22 países del mundo sumaban ya 220 reactores nucleares, capaces de producir más de un millón de - KWTS eléctricos. Pero en el caso de los EEUU se ha visto un - curioso fenómeno; frente a un deseo inicial por construir un - siempre mayor número de centrales nucleares, ha sucedido una - especie de apatía frente a esa fuente de energía. Por ejemplo en 1973 se ordenaron 43 nuevos reactores. En 1978 el número de órdenes fue cero.

Han ocurrido errores de diseño, por decir fallos en el sistema de enfriamiento del reactor. Si algo sucede, que el - agua que enfría el corazón del reactor deja de hacerlo, éste - podría derretirse, ya que la temperatura alcanzaría los 5,000 F. ejemplos los tenemos en Browns Ferry, en 1975, donde sólo - el agua de los bomberos evitó que se derritiera.

Sólo en los EEUU se han gastado casi 400 millones de - DLLRS. en resolver el problema de los depósitos para los resi- duos. Actualmente en ese país hay cerca de 5,000 TON. de estos residuos producidos por 72 reactores comerciales, están tempo- ralmente conservados en amplios tanques sumergidos en agua de la zona de las mismas centrales nucleares. Los residuos espe- ran una solución definitiva para ser enterrados permanentemen- te, o cuando menos unos 500 años.

CAPITULO II

ENERGIA SOLAR

1. EL SOL

El sol, nuestra estrella es una esfera gaseosa de ---
1'391,000 kilómetros de diámetro, es decir, 109 veces al de --
nuestro planeta.

La distancia media con nuestro planeta al sol es de --
149'450,000 kilómetros. Dado que la órbita de la tierra es --
elíptica, la distancia mínima entre los astros la encontramos
el 15 de enero (perigeo), y la máxima a fines de junio (apogeo),
diferiendo por defecto o por exceso en 1/60 del valor medio.

Podemos definirlo como una estrella tipo G2, o sea una
"enana roja" compuesta por cuatro regiones o capas principa --
les:

1. Interior o núcleo, donde se genera la energía, por
medio de reacciones termonucleares (fusión), provocado ésto --
por los violentos choques entre los núcleos de átomos del hi
drógeno. Recordemos que el sol está compuesto en un 99% de hi
drógeno y 01% de helio.

Es una zona convectiva de aproximadamente 0.7 RS*, don
de se encuentra aproximadamente el 40% de la masa total en un
15% del volumen total, más sin embargo, es ahí donde se genera
el 90% de la energía, según apreciaciones de algunos autores -
basados en las fotografías espectrales y en cálculos teóricos

*RS = Radio solar = 6.95×10^5 km.

de la distancia de la tierra al Sol, de la radiación que es absorbida por las capas superiores que trataremos a continuación, y por la energía que recibimos nosotros.

A pesar de lo anterior no se puede precisar la temperatura en el núcleo, aunque es de suponer que sea de varios millones de grados kelvin.

La presión se estima en mil millones de atmósferas, y la intensidad de la gravedad de 27.9 por lo que explica que la velocidad de escape sea nada menos que de 617.5 km/seg.

2. Fotósfera. Capa de aproximadamente 300 km. produce casi la totalidad de los rayos que nos llegan.

Es propiamente la superficie visible del Sol. Brillante sobre fondo negro (del núcleo), se estima que las temperaturas alcanzadas en esta región están en el orden de varios miles de grados kelvin, pero decrece rápidamente en el espesor de la capa hasta llegar a alcanzar la temperatura de superficie, o de la capa de inversión, que es del orden de los 4,500°k.

La presión en la fotósfera es de 1/100 de atmósferas.

3. Cromósfera. Región de poca densidad, donde la materia se encuentra muy diluida, lo cual explica que, a pesar de que la temperatura asciende a 10^6 grados kelvin la radiación emitida es muy débil.

La materia, se halla en gran agitación formando "chorros" en el seno de la cromósfera, a los que se les denomina -- "espiculas".

Esta región no es ni estable ni homogénea, pues durante los periodos de actividad se observan regiones más frías --

(manchas), y más cálidas (féculas).

En condiciones de buena observación, se aprecia que su superficie es granulosa, y los "gránulos" presentan un diámetro de 400 a 500 kilómetros, con una duración de sólo algunos minutos.

Por último, la altura que alcanza la cromósfera es de 1×10^4 kms.

4. Corona Solar. Al igual que la cromósfera, es una región de muy baja densidad, y baja radiación emitida.

En ella se provocan grandes "surtidores" llamados protuberancias, que no son más que enormes nubes de gas incandescentes de color escarlata, con elevaciones de 5 a 8.31×10^5 kms. y con velocidades de 450 a 500 kms/seg.

Esta aureola luminosa puede alcanzar hasta 3×10^6 kms. de elevación y temperaturas del orden del millón de grados kelvin.

Se estima que la masa total del Sol es de 333,000 veces la de la Tierra, o sea de 2×10^{30} kgms.

Ahora, el proceso físico que se lleva a cabo en el Sol, a partir del cual se genera energía es como ya lo mencionamos antes, una serie de reacciones termonucleares y exotérmicas, llamada "ciclo de Behte".

En un primer paso de esta cadena, dos átomos de hidrógeno chocan y forman un núcleo de deuterio, escapa un neutrino y un positrón.

Ocurre entonces una segunda colisión: el deuterio con-

tra un potrón produciendo un núcleo de Helio y emisión de rayos gamma.

Por fin colisionan dos núcleos de He^3 , produciendo un núcleo de Helio inerte y dos protones.

La energía resultante es suficiente para elevar tanto la temperatura. En efecto, la masa del Sol que es de 2×10^{30} - kms. y si todo el Hidrógeno se transforma en Helio, la producción de energía sería de 3.75×10^{44} J.

El llamado "espectro solar" corresponde por definición a la radiación emitida por un cuerpo negro, el Sol, a 5960°K .

El espectro se compone de la siguiente manera: 51.3% - infrarrojo, o frecuencias bajas, 41% gama visible y 7.7% ultravioleta o frecuencias altas.

El Sol, cuya edad se estima en 5×10^9 años, podría -- irradiar energía por unos 30 mil millones de años más.

Diremos inclusive que es una estrella joven, que durante su existencia hasta nuestros días ha consumido tan sólo el - 14% de sus reservas.

Este es en pocas palabras el generador de energía que nos ocupará en el presente trabajo, que si bien su principio es nuclear, la energía que de él aprovechamos es libre de contaminaciones que combustión y residuales, problema acuciante en la época actual.

Sin embargo, no toda la energía que nos manda el Sol - puede ser aprovechada por nosotros; veremos a continuación los factores que limitan su captación.

II.2 DISPONIBILIDAD EN LA SUPERFICIE TERRESTRE

De la energía solar que emite nuestra estrella, llegan a la parte exterior de nuestra atmósfera $1.395 \text{ kwatts/mt}^2$, conociéndose éste universalmente como el valor de "constante solar".

Pero existen algunos factores que analizaremos aquí, - por los cuales la constante solar se ve afectada en mayor o menor medida refiriéndose a la auténtica disponibilidad de energía solar en nuestra superficie terrestre.

A) Movimiento relativo de los astros.

Como sabemos, la tierra tiene tres movimientos: Traslación alrededor del Sol, que dura 365 días $1/4$, o sea el año astronómico.

Rotación sobre el eje mismo de la Tierra, que tiene -- una duración de 24 horas, y los movimientos pendulantes u oscilatorios sobre su mismo eje. Por otro lado, la órbita trazada por nuestro planeta en la traslación no es precisamente circular, sino elíptica ya que observamos también que la Tierra se asemeja a un balón, donde los polos están achatados, y su eje tiene una inclinación de 66.5 grados respecto al plano de la Tierra alrededor del Sol.

Cuando menos existía esta inclinación antes de tanta -- explosión atómica subterránea (provocadas) pues se menciona -- que el ángulo ha sido modificado cuando menos en 6 grados a -- raíz de ellas, alterando los factores climáticos y meteorológicos del planeta.

El eje de la Tierra está siempre dirigido hacia la mis

ma dirección de la bóveda terrestre. Por eso, según la estación del año, la parte de la superficie terrestre que ilumina el Sol es diferente.

El invierno, el Sol ilumina preferentemente el hemisferio Sur, siendo el 21 de diciembre la fecha en la cual tenemos el día más corto. La región Norte, próxima al polo, permanece durante todo el día en la zona de sombra, siendo su época invernal. Es cuando el Sol se halla en la parte más meridional, llamándose "Solsticio de Invierno".

Progresivamente el ángulo de incidencia solar ha decrecido con respecto al plano normal de la superficie terrestre, hasta llegar al llamado "Equinoccio de Primavera", el 21 de marzo, donde los días tienen la misma duración que las noches.

El ángulo se incrementa en sentido opuesto, para llegar al "Solsticio de Verano", el 21 de junio, donde en el Polo Norte se tiene el día más largo y es época estival. En este punto la órbita de la Tierra se encuentra más alejada del Sol (Afelio), y cuando es verano en el Polo Sur se encuentra en las cercanías de aquel (Perihelio).

Es por eso que no tiene gran influencia sobre la temperatura que observamos en la Tierra, pues tomando como distancia media de la Tierra al Sol 149 millones 450 mil kms., la variación entre el afelio y el perihelio no excede de un 3%, o sea unos 4.5 millones de kms.

Más adelante veremos como se deben manejar los ángulos de incidencia solar respecto al plano normal en el lugar de su aprovechamiento, respecto a la latitud.

B) Atenuación atmosférica. Nosotros tenemos una envoltura llamada "atmósfera", que tamiza los rayos solares, que sin ella, no sería posible la vida. En ésta se produce una dispersión y una absorción selectiva de acuerdo a las diferentes capas de nuestra atmósfera.

En orden, a partir de la superficie terrestre hacia el espacio exterior, que son a saber:

1) Tropósfera.- Alcanza hasta los 10 kms. de altura - aproximadamente y en ella están contenidas las 3/4 partes de la masa total de aire que envuelve al planeta.

Compuesta por una mezcla de gases, entre los que predominan el nitrógeno, con un 78% del total, que es el agente atenuador de los efectos altamente corrosivos del oxígeno, segundo elemento importante con un 21%. Otros gases participan en la composición, como es el Argón con un 1% y menores proporciones el Anhídrido Carbónico, el vapor de agua y el Dióxido de Carbono. Los dos últimos tienen como función absorber las radiaciones superiores a los 0.8 Mm., que corresponden al componente infrarrojo del espectro solar, por lo que son elementos muy importantes en el caldeo térmico de la superficie terrestre por el efecto "invernadero".

En la atmósfera se desarrolla la mayor parte de los fenómenos meteorológicos, entre ellos cabe señalar los gradientes térmicos y las nubosidades.

Desde el punto de vista térmico, se originan gradientes horizontal, a lo largo de la superficie terrestre, y otro vertical por el cual se originan las corrientes ascendentes y descendentes de aire que nos son familiares.

A lo largo de los 10 kms. que tiene de espesor la tro-

pósfera, se tiene un descenso de la temperatura que puede llegar a los -56°C .

Los gradientes de temperatura provocan las corrientes de vientos y marinas, como la del Golfo, cálida que pasa por las costas europeas del Atlántico Norte, y se forma precisamente en el Golfo de México, y la del Labrador, corriente fría -- que completa el ciclo de recirculación pasando por la costa de Norteamérica (Pacífico).

Regresando al comentario anterior, de que en la tropósfera es donde se lleva a cabo la mayor actividad meteorológica es porque la atmósfera es un campo eléctrico, poblado por iones o portadores de electricidad que se mueven libremente. La superficie de los mares y la terrestre tienen como preferencia carga negativa. Conforme aumenta la altura hasta llegar a los 10 kms., la concentración de iones es cada vez mayor.

Entre la superficie terrestre y los 10 kms. existe una caída de tensión, dado que el aire de las capas bajas es mal conductor de la electricidad. En estas capas bajas, el gradiente de potencial es de 140 volts por metro y va disminuyendo -- conforme la altura, pues a capas superiores el aire es mejor conductor eléctrico.

2. Estratósfera. Capa que alcanza los 50 kms. de altura, está constituida por Oxígeno atómico, Nitrógeno, Helio, e Hidrógeno, principalmente, y representa 1/4 de la masa total atmosférica. El Oxígeno atómico no es más que O_3 llamado "ozono", isótopo del Oxígeno con un enlace doble y uno sencillo, -- el cual actúa como un filtro para absorber una cantidad de rayos ultravioletas suficiente para permitir la vida en la Tierra.

- Ionosfera. Zona de gases ionizados que alcanza los -

500 kms., donde las temperaturas se encuentran entre los 1500 y los 2000 grados centígrados. Esta zona fué descubierta por la reflexión que se produce en ella de las ondas cortas de radio.

Conforme a lo anterior, podemos asegurar que un 18% de los 1395 watts/m² es absorbido por la atmósfera e impulsa los vientos, aunque el porcentaje es variable dependiendo principalmente del ángulo de trayectoria óptica del rayo entrando a la atmósfera, dada por la latitud del lugar, de la densidad de la atmósfera y de la columna de aire.

Pero existe además un fenómeno más en la superficie de la Tierra por el cual se reduce la captación y el consiguiente aprovechamiento de la energía, que son la descomposición de la energía en directa y difusa. Por energía directa entendemos la radiación solar en sí, y difusa es aquella que llega después de haber sufrido reflexiones, tanto en la atmósfera como en la superficie terrestre.

Estas reflexiones en las altas capas atmosféricas hace que la radiación ni siquiera penetre en ella, sino que se pierde en el espacio exterior. A niveles inferiores de la atmósfera, existen reflexiones en las nubes y en los cristales de agua.

En la superficie terrestre las principales reflexiones ocurren en los océanos, en los desiertos, en el hielo de los polos, e incluso en las zonas metropolitanas por la elevada concentración de concreto y asfalto. Aunque la energía solar difusa puede ser aprovechada por los dispositivos de captación solar, aproximadamente un 9% de ésta se remonta de nuevo a las nubes, por los que la descontamos en nuestro balance final.

Para dar una idea de la descomposición de energía que

ocurre en la superficie terrestre, mencionaremos los siguientes valores: para el mes de Diciembre, la radiación difusa producto de la reflexión en los mares alcanza un 28% del total, y en un desierto un 20%. Para el mes de Junio los valores respectivos serían del 20 y el 15%.

II.3 SOLARIMETRÍA

La solarimetría es la rama de la ciencia que se encarga de interpretar, medir y cuantificar la energía proporcionada por el Sol en forma de radiación electromagnética.

La importancia de esta rama no sólo se circunscribe a las aplicaciones de la Energía Solar, sino también a la agricultura, biología marina, al estudio de la estructura atmosférica por mencionar algunas.

De ella debemos obtener máxima confiabilidad y eficiencia para que cualquier desarrollo solar sea tan seguro como el que más, y brinde confort y satisfacción a las necesidades más elementales.

En la historia de la instrumentación solarimétrica, 1920 marca una frontera entre dos épocas: en la anterior medían por propiedades térmicas y eléctricas, como lo explicaremos más adelante, pero eran aparatos lentos y poco precisos en su respuesta: no podían seguir los valores instantáneos de la medición y además había pérdidas térmicas que afectaban las mediciones. Algunos años fueron necesarios para mejorar esos instrumentos con sensores bimetalicos, mejorando los tiempos de respuesta hasta llegar a los 20 minutos.

La época segunda la establece Gorozynski con la introducción de la termopila, principio bajo el cual operan los ins-

trumentos modernos, en los que se obtienen tiempos de respuesta próximas a un minuto. En 1957, con el año geofísico internacional se le dio mucho impulso a la solarimetría, y sufrió el problema entonces de estandarizar con una sola escala de referencia para calibrar los aparatos, ya que existían dos patrones: el patrón internacional de Ågström y el de la Institución Smithsonian. Con el transcurrir de los años se han mejorado tanto los procesos de fabricación de los aparatos, como los materiales, y actualmente se tienen altas sensibilidades, bajos tiempos de respuesta y linealidad casi absoluta. La exactitud alcanzada es de $\pm 5\%$.

Entre los principales instrumentos empleados actualmente, figuran:

- Piranómetro.- Mide la radiación solar global.
- Difusómetro.- Mide la radiación solar difusa.
- Pirheliómetro.- Mide exclusivamente la directa.

Dispone de un mecanismo de seguimiento solar.

- Albedómetro.- Mide la radiación que refleja el suelo en comparación con la que llega del cielo. De mucha aplicación en agrometeorología, meteorología, ecología y para el desarrollo de sistemas captadores de energía solar.
- Balanza radiométrica.- Instrumento diseñado para la estimación cuantitativa del balance radiactivo Tierra - Atmósfera - Sol, de la radiación nocturna y de algunas otras componentes de la radiación de longitud de onda larga.

- Batirradiómetro.- Mide la radiación solar en el mar. es por tanto impermeable y de mínima corrosión.
- Estereopiránómetro.- Consta de 5 elementos sensibles en 5 planos diferentes (caras de cubo). Empleado en helioarquitectura, fisiología vegetal, ecología, etc.
- Heliógrafo.- Mide la insolación diaria (las horas -- sol). El rayo solar pasa a través de un lente, lo -- concentra y provoca una quemadura constante en una - tira de papel graficada.

Por último, los instrumentos mencionados se acoplan a un integrador y un graficador, por lo que se pueden instalar - las estaciones solarimétricas en lugares remotos y recoger la información con periodicidad de incluso un mes.

La unidad de medición de la energía siempre ha sido -- conflictiva, a pesar de que es el Joule en el sistema MKS. Así tenemos el erg, la caloría, el langley, el BTU, el Kw-h, el barril o el pie cúbico de petróleo, la tonelada de carbón, etc., etc.

En energía solar se emplean algunas de las anteriores, pero distinguimos según la aplicación o el tipo de sistema de captación solar que vamos a emplear, si es de tipo térmico o - eléctrico.

Dado que los sistemas fotovoltaicos actúan bajo principios eléctricos, la unidad de medición es el WATT-HORA o KILO-WATT-HORA.

En sistemas solares termodinámicos se usa el langley, - o sea CALORIA/cm².

Sin embargo los mapas solarimétricos usan esta segunda unidad, por lo que para diseños fotovoltaicos hay que hacer -- conversiones:

$$1 \text{ Langley} = 1 \text{ cal/cm}^2 = 0.001163 \text{ w-h/cm}^2.$$

$$1 \text{ w-h/cm}^2 = 860 \text{ langleys.}$$

II.4 EFECTO LATITUD

Después de interpretar los movimientos de la Tierra con respecto al Sol, y las variaciones en las órbitas elípticas, - nos damos una idea de la energía que viaja por ese millón y medio de kilómetros en un "vacío relativo" pero muy diáfano para esa radiación electromagnética.

Después de viajar por la atmósfera terrestre, la energía que incide en la superficie terrestre está a nuestra disposición, y ya no depender de factores externos o nosotros su mayor o menor aprovechamiento. La tecnología de captación no es ajena a nosotros, por ello estamos en posibilidades de experimentar y concluir con algunas normas para optimizarlas.

Y no es tan sofisticado el cálculo y diseño de un captador solar fotovoltaico en cualquier parte de la superficie terrestre. 509'950,715 kms. cuadrados pueden ser resumidos a la mitad por el Ecuador, y con los paralelos logramos puntos de referencia para compensar el ángulo de incidencia.

Si recibimos 1.395 kwtt/m^2 en el límite exterior de la atmósfera, de los cuales se logran filtrar $1,000 \text{ watts/m}^2$ a la superficie terrestre, bajo condiciones tan especiales como: "a nivel del mar, en plano normal, a 25° centígrados, a medio día despejado y en el Ecuador" tenemos el punto de referencia,

o el estándar para la medición.

Este conjunto de condiciones son llamadas AM1 ó "Air-Mas one".

Como el captador solar debe estar perpendicular a los rayos solares incidentes para obtener el máximo aprovechamiento de ellos, nos encontramos que el primer problema a resolver es que, dados los movimientos astrales disfrutaríamos sólo de algunos minutos de ello, pero para efectos prácticos estimaremos promedios óptimos en los ángulos de incidencia. Por otro lado, para inclinar adecuadamente el captador solar tomamos -- principalmente la latitud del lugar a donde va a estar situado.

Calculado el ángulo a una trayectoria media del Sol durante el año, la posición media corresponde a un ángulo λ grados al Sur en el hemisferio Norte, y a la inversa en el Sur, - con una orientación longitudinal Este-Oeste, donde λ es la latitud del lugar.

De el Ecuador a cualquiera de los polos, λ varfa de 0 a $\pm 23^{\circ}27'$.

Basado en el párrafo anterior, me gustarfa remitirme a la gráfica de orientación relativa del Sol y la Tierra, para dar la interpretación a la fórmula:

$$E = E_{\delta} \cos \zeta_v = E_{\delta} \cos (\delta + \lambda) \quad \text{Es. 4.1), donde:}$$

λ = Latitud

δ = Declinación (ángulo del Sol respecto al Ecuador)

$\zeta_v = \delta + \lambda$ (ángulo del Sol respecto a la vertical)

E = Insolación recibida en un captador horizontal.

E_{δ} = Insolación recibida en un captador normal al Sol.

Como el coseno normal de un ángulo decrece a medida -- que aumenta éste, comprobamos que en las latitudes cercanas al Ecuador, el ángulo adecuado del captador tiende a ser igual a cero.

Dicho en otras palabras, el coseno de la suma de los - ángulos de declinación y de latitud multiplicado por la insolación recibida en un captador horizontal.

Por lo tanto la insolación recibida en un captador a - un ángulo de orientación θ respecto a la horizontal es:

$$E_{\theta} = E_{\delta} \cos (\delta v - \theta) \quad (\text{ec. 4.2})$$

* E_{θ} = Insolación recibida en un captador a un ángulo - de orientación θ respecto a la horizontal.

Esta ecuación nos permite determinar todas y cada una de las 12 insolaciones mensuales E_{θ} para un ángulo de orientación θ y maximizar respecto a éste la insolación anual captada, o sea, la suma de los 12 E_{θ} mensuales.

Ahora, éstos son los 12 valores de E que ya conocemos pero no conocemos aún los E_{δ} (normal al Sol): si eliminamos - E_{δ} de las ecuaciones 4.1 y 4.2 se tiene:

$$E_{\theta} = \frac{E \cos (\delta v - \theta)}{\cos \delta v} = \frac{E \cos (\delta + \lambda - \theta)}{\cos (\delta + \lambda)} \quad (\text{Ec.4.3})$$

donde sólo es necesario conocer la declinación del Sol mes por mes, además de los valores de E , la latitud λ y el ángulo de -- orientación deseado.

La declinación:

$$\delta = \pm 23^{\circ}45' \text{ sen } (365 (284 + n)/365), \quad (\text{ec. 4.4})$$

donde n es el día en numeración progresiva del año.

El signo negativo es usado en el hemisferio Norte.

Nótese en la ecuación (4.3) que para una orientación igual a la latitud del lugar, $\theta = \lambda$, y por lo tanto se cumple:

$$E_{\theta} = E \frac{\cos \delta}{\cos \delta'} = E \frac{\cos \delta}{\cos(\delta + \lambda)}$$

Para la ciudad de México, $\lambda = 19,33^{\circ}$

II.5 REDES DE ESTACIONES SOLARIMETRICAS

Las más importantes redes para medir la radiación solar funcionan en los servicios meteorológicos de cada país aun que en algunos países han sido establecidas por organizaciones agrícolas, hidrológicas, o universidades.

Las estaciones se componen de los instrumentos requeridos específicamente para la microregión, así que no necesariamente todas las estaciones de una red deben tener todos o los mismos instrumentos, pero sí requieren de ajustarse a ciertas normas con el fin de estandarizar las mediciones y desde luego que sean confiables.

Por ello la organización Meteorológica Mundial recomienda que cada estación solar cubra un máximo de 500 Km. cuadrados.

El calibrador internacional de instrumentos y fotoceldas es el National Bureau of Stnds., en los EEUU, y en Grecia e Italia se tienen filtros para ajustar el espectro solar.

Las primeras normas se obtuvieron hace unos 20 años pa

ra las fotoceldas de tipo especial, por la Spatial ESTEC, de Holanda.

Así, de una manera organizada cada país planea su infraestructura solarimétrica, auxiliados los que pueden con satélites artificiales de tipo estacionario, como son los dos que se están terminando de construir en el Jet Propulsion Lab. de la NASA, para México, satélites que serán lanzados por el "Challenger" a mediados de 1985, proyecto que llevará el nombre "Morelos".

Pero hablemos un poco de algunos ejemplos de redes solarimétricas a nivel internacional, como el de los EEUU.

En 1973 se censaron 60 lugares en los que la radiación solar global era medida por los Servicios Meteorológicos Nacionales. Catorce observatorios operaban a través de instituciones académicas y once mediante otras instituciones organizacionales privadas, como los cultivadores de piña americana en Hawaii por mencionar algunos.

En Argentina la red comprende 40 estaciones actualmente, ubicadas en 19 regiones continentales y una en la Antártica. La mayoría de la información es colectada y publicada por el Main Geophysical Observatory de Leningrado, URSS, que actúa en representación de la Organización Meteorológica Mundial.

La mayoría de los datos existentes dan la radiación solar global (luz del Sol directa más difusa), la cual es recogida en una superficie horizontal.

La distribución espectral se mide en pocos observatorios, como el de Davos (Suiza) y Valentia, (Irlanda).

El caso del continente Africano es típico para la experiencia

rimentación de diferentes países productores de sistemas solares, por los altos índices de insolación, por la gran demanda de servicios en general, y por la mínima infraestructura eléctrica existente. En Niamey y en Bamako existen laboratorios solares y Mali planea la instalación en diferentes lugares de piranómetros y pirheliómetros (ver Solarimetría).

Podríamos mencionar muchos ejemplos más, pero para no extendernos demasiado en este tema, que no es precisamente el punto de interés máximo, sino una componente nada más, aunque - muy importante, enfocamos nuestra atención al esfuerzo que se lleva a cabo en nuestro país.

- Instituto de Geofísica de la UNAM

Un grupo de trabajo mide la Energía Solar para propósitos meteorológicos.

Desde 1957 existen datos en forma continua, y se elaboran cartas mensuales y estacionales con base en los datos de duración de la insolación hora/día, obtenidos de los heliografos de la red nacional de observatorios.

Además se ha publicado parte de la información sobre radiación solar global en México, a partir de información que se obtiene de los datos de radiación global y duración de la insolación de 17 estaciones nacionales y fronterizas, así como de los datos sobre duración de la insolación en Observatorios del Servicio Meteorológico Nacional y estaciones de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

Un segundo grupo trabaja en el mejoramiento de los aparatos solarimétricos existentes y en la búsqueda y experimentación de otros más eficaces.

Algunos estudios específicos que se llevan a cabo son:

- Desarrollo de un modelo descriptivo de la fenomenología de degeneración de la energía en cuanto a la pérdida de dirección de la radiación incidente en el suelo.

- Modelo meteorológico empírico para la predicción numérica del tiempo (clima).

- Ozono atmosférico. Se obtiene el perfil de la capa de Ozono de la atmósfera, y se hacen muestreo químico de aerosoles y los miden en la atmósfera.

El interés de este último estudio es que se ha encontrado que los aerosoles (fluoruros combinados) destruyen las capas de Ozono, peligroso esto puesto que ese isótopo es atenuador de los rayos ultravioletas.

- Instituto de Investigación de Materiales UNAM.- Se lleva a cabo un proyecto de análisis y aplicación en métodos de evaluación de la energía solar disponible. Actualmente se analizan los métodos de cuantificación apropiados para los datos existentes local y regionalmente. Se trabaja con un método basado en la fotointerpretación de la nubosidad registrada por satélites meteorológicos para calcular la duración de la insolación y estimar la radiación global.

Actualmente con el IIMAS (ver más abajo) se trabaja en un proyecto para efectuar los estudios de fotointerpretación asistidos por computadoras.

- Instituto de Ingeniería de la UNAM.- Ha publicado -- cartas nacionales de radiación solar de la República Mexicana, y desarrollan un sistema electrónico para registrar y almacenar señales eléctricas, para ser implementado en las estacio--

nes solarimétricas.

- Instituto de Investigación de Matemáticas Aplicadas y Sistemas (IIMAS) UNAM.- Desarrolla un sistema de registro automático de datos conceptualmente distinto al del Instituto de Ingeniería.

- Insolar y Metrix.- Industria norteamericana que tiene su representante en México, la cual fabrica instrumentos solarimétricos tales como piranómetros, pirheliómetros, difusómetros, etc., empleados para la agricultura y la ecología.

- Servicio Meteorológico Nacional.- Como organismo oficial encargado de medir las variables meteorológicas que definen el clima y microclimas del país.

A la fecha no han implementado una red de estaciones. Tan sólo en algunos observatorios se cuenta con heliógrafos para medir la insolación y los "domys" para medir la nubosidad.

Se concluye con que en México ya existe suficiente experiencia y sobre todo registro de datos, pues para diseñar los sistemas fotovoltaicos tomamos estadísticas de cuando menos 4 ó 5 años atrás, en cuanto a niveles de insolación se refiere, sobre todo si la confiabilidad de los sistemas debe estar a toda prueba, como en el caso de un boyo o baliza marina, o una villa autosuficiente.

La Dirección General de Geología y Meteorología de la SAHR, tiene cartas solarimétricas desde 1976.

Pues, es en base a los resultados de tanto estudio, que sabemos que 2/3 partes de México tiene una insolación al año de aproximadamente 700 kJ/cm^2 , o sea 2000 horas pico/año, o bien 5.3 pico/día, lo que demuestra que nuestro país recibe

mucho sol, es de los privilegiados en ello, lo que significa - que se requiere menor dimensionamiento en los sistemas en comparación a otros países (la mayor parte, incluyendo a los fabricantes).

II.6 PROGRAMA FOTOVOLTAICO DE LOS EEUU

Los Estados Unidos de Norteamérica integran al país -- que más energía consume en el mundo, con la particularidad de que produce poco petróleo y gas natural en relación a su consumo interno (quizá el estado que más produce es Alaska actualmente). Por ello se ven precisados a adquirir del extranjero - la mayor parte de estos energéticos, principalmente de los países Arabes, (OPEP) y de México. Diversifica sus adquisiciones mas sin embargo, para México representa el principal cliente, pues un elevadísimo porcentaje de nuestras exportaciones son - para él. Incluso lo vuelve a almacenar, en una parte, como hace con el material plástico desechable, del cual se ha descubierto que se puede producir petróleo sintético.

Pero entrando rápidamente al tema en cuestión, recordamos ahora más que nunca aquella grave crisis económica mundial que azotó al mundo en 1973, motivo por el cual los planes energéticos de cada país sufrieron severos ajustes y obligaron a - "sacar del archivo" algunas buenas alternativas tecnológicas, a concluir estudios incompletos y a "jugar con los valores".

Los EEUU, con el programa espacial por un lado, y por otro lado con la incipiente industria electrónica optimiza en 1954 las fotoceldas solares y las pone rápidamente en órbita - tres años más tarde. Pero entre 1957 y 1973 el fotovoltaísmo - constituía una sofisticada tecnología espacial (incluso los -- electrodos o la llamada "metalización" era a base de oro), razón por la cual un watt pico fotovoltaico costaba \$500.00 US. Dlls..

A partir de 1973 se tomó más en consideración y algunas universidades recibieron el soporte para continuar con los desarrollos tendientes al abaratamiento del watt pico y así emplearlo masivamente a nivel terrestre.

En este año la National Science Foundation (NSF) estableció un programa de metas a alcanzar como sigue:

- 1975 - Recolección de datos de incidencia solar en EEUU.
- 1976 - Prueba del desempeño de paneles solares. Determinación de precios.
- 1977 - Diseño de sistemas de baja potencia. (La tecnología para producir fotoceldas a 5 dólares el - watt se ha alcanzado).
- 1979 - Instalación de sistemas de baja potencia. Se demuestra la tecnología para producir fotoceldas a \$.50 centavos de dólar/watt.
- 1981 - Se establece una fábrica piloto para producir paneles utilizando fotoceldas de 50 centavos de dólar/wp.
- 1982 - Se producen paneles solares hasta 10 kw para casas y hasta 1 MW para escuelas pequeñas industriales.
- 1985 - Producción de plantas medianas (10 MW) para pequeñas comunidades e industrias grandes.
- 1986 - Se termina una fábrica para producir paneles solares a 30 centavos de dólar/watt.

1990 - Se empieza la producción en masa de fotoceldas para plantas de 100 MW y alimentación de grandes ciudades.

Estas estimaciones son a precios de 1973, lo que ha -- provocado que la meta en 1986 sufra un ajuste a 50 centavos de dólar/wp.

Simultáneamente tecnologías francesas (Philips) y Alemanas (AEG y Siemens) que se desarrollaban paralelas, condujeron a los EEUU a darle mayor impulso aún. Desde luego influyeron otros aspectos, entre ellos, que los mejores costos ya se estaban consiguiendo, que había mayor aporte de capital, y que la experiencia espacial ya era muy importante.

Curiosamente, las propias refinerías de petróleo, tales como la Arco, EXXON, etc., constituyeron las empresas fotovoltaicas más fuertes. Así, en 1977, la producción de fotoceldas solares en los EEUU fué de 750 kilowatts (75 veces más -- grande que la capacidad espacial puesta en órbita hasta entonces). En ese mismo año el precio corriente del silicio grado metalúrgico (98% de pureza) era de \$0.28/lb. US. DLLS. (\$0.61/kgm), y el de alta pureza, o electrónico (99.99%) llegaba a -- costar '\$110/kgm US DLLS'.

En aquella época, el silicio encontraba su principal objetivo en la producción de vidrio (un billón de toneladas por año), y desde luego grados de pureza bajos. La producción en 1977 no tiene precedentes, pues tan solo dos años antes se había logrado una fabricación de tan sólo 100 kwatts-pico a --- \$42/wp US. DLLS. (el costo del watt-pico oscilaba entre los 25 y los 90 dólares, comparado con el costo del watt-pico en 1960, que era de \$500 US DLLS. y en 1977 de \$15 US. DLLS.

En 1976 se funda el Lewis Research Center por parte de

la NASA y el Department of Energy (DOE), con una inversión de \$11.6 millones de US. DLLS., para dedicarse a desarrollar más energía solar.

En 1978, el DOE con su Comité, integrado básicamente - por el Departamento de Defensa (DOD), el Transportación (DOT) (el cual incluye el Departamento de Guardacostas (USCG) el Federal de Highways (FMA), Comercio, Agricultura, Salud Pública, del Interior y la NASA, autorizó un presupuesto de \$12 millones de US. DLLS. La responsabilidad del proyecto estaba a cargo de la NASA, y de Environmental Protection Agency (EPA) con los siguientes objetivos:

- Identificación del ciclo de vida real y costo efectivos para los sistemas fotovoltaicos en comunidades - federales.
- Simulación de vida útil en función de costos.
- Establecimiento de un mercado fotovoltaico.
- Desarrollo e implementación de sistemas fotovoltaicos para aplicaciones comerciales.
- Reducción de consumo de combustible fósiles. Después de efectuar la investigación de 1603 lugares potenciales para desarrollar proyectos de diversa índole.

Para efectos de aplicaciones según el programa, se distingue el siguiente desglose:

- Residencial.
- Intermedio (agrícola, comercial, institucional).
- Industrial.

El decreto fotovoltaico (Ley Pública 95-590) especifica que el DOE desarrollará un plan "para demostrar aplicaciones de sistemas de energía fotovoltaica solar, y facilitará su uso extendido en otras naciones...".

El plan fué terminado en noviembre de 1979 y apoya a un programa que provee exigencias a plazos cortos y largos para los productos de la industria, ayuda en el desarrollo del mercado, y ayuda a satisfacer los requisitos de energía eléctrica en los países en desarrollo.

Financiamiento, impuestos sobre la propiedad, métodos para evaluar sistemas fotovoltaicos al venderse criterios incentivos para la producción inicial, compras y estrategias para enfocar el desarrollo de mercados, serán considerados.

Establece procedimientos por los cuales cualquier entidad pública o privada puede solicitar ayuda federal para comprar o instalar sistemas fotovoltaicos.

El gobierno federal está autorizado a proveer hasta el 75% del costo de comprar e instalar un sistema. Observación y vigilancia de los sistemas será necesario por un periodo de tres años.

El Jet Propulsion Lab, Lead Center en Pasadena, Cal., prepara reglas administrativas que llevarán a cabo este programa. Se anticipa que el objetivo amplio de las reglas exigirá la preparación de una Declaración del Impacto al Ambiente, para el programa entero.

La estructura del programa fotovoltaico queda así:

PROGRAMAS DE CONVERSION FOTOVOLTAICA

DIRECCION DEL PROGRAMA

ESTABLECIMIENTO DE METAS Y

ANALISIS DE DISEÑO

ANALISIS DE MERCADO

MIT/EL

ARREGLOS SOLARES
A BAJO COSTO JPL

DEFINICION DE
SISTEMAS SANDIA

PRUEBAS Y
APLICACION
LeRC

PRUEBAS Y
APLICACION
LincolnLAB

PRUEBAS Y
APLICACION
DOD

INVESTIGACION
Y DESARROLLO
DOE/SERI

- Materiales
- Listones
- Encapulación
- Desarrollo de celdas
- Procesos de producción
- Análisis e integración
- Ingeniería
- Operaciones

- Diseño conceptual y análisis de sistemas
- Diseño de sistemas
- Acondicionamiento de poder y almacenamiento
- Sistemas de concentración

- Evaluación de materiales y desarrollos
- Prueba de sistemas.
- Diseño de un sistema de pruebas.
- Pruebas de sistemas.
- Demostraciones
- Estándares

- Residencial -60 Kwtt en
- Agricultura un sistema

- Policristal de Silicio.
- CdS
- GaAs
- Otros materiales y desarrollos.

METAS DE PRODUCCION DEL DOE Y PRECIOS DE FOTOCELIDAS SOLARES

| AÑO | META DE PRODUCCION MWP* | VOLUMEN DE VENTAS ALCANZADAS MWP* | META DE PRECIOS DE PANELES EN US DLLS DE 1980 (Wp) (Efic. 10%) | METAS DE PRECIOS DE CONCENTRADORES EN US. DLLS. DE 1980/m ² DE COLECTOR INSTALADO |
|------|-------------------------|-----------------------------------|--|--|
| 1979 | -- | 1.4 | --- | |
| 1980 | 2 | 3.2 | 9.8 | |
| 1981 | 10 | 5 | --- | |
| 1982 | 20 | --- | 2.8 | 360 (efic = 11%) |
| 1984 | 195 | --- | 1.05 | |
| 1986 | 500 | --- | 0.7 | 160 (efic = 16%) |
| 1990 | 50,000 | --- | 0.15 - 0.4 | 150 (efic = 20%) |
| 2000 | | | | |

* Megawatt-pico

El mercado para 1982 fue de 100 millones de US Dlls. (68 Mwp)

En 1988 se espera que sea de 200 millones (367 MWP),

Para 1990 de 500 millones (1,136 MWP) y

Para 1992 - 1996 más de 1,000 millones

El financiamiento para estas actividades que se desarrollan desde 1977 y finalizan en 1986 (en millones de dólares), se desglosan de la siguiente manera:

| <u>ACTIVIDADES</u> | <u>INVERSION</u> |
|--|------------------|
| Desarrollo tecnológico. | \$ 426.7 |
| Investigación y desarrollo avanzado | 228.4 |
| Soporte de sistemas | 77.7 |
| Dirección del programa y análisis | 19.9 |
| Seguridad de calidad | 25.0 |
| Estándares en aplicaciones para colectores, planos y concentración | 395.5 |
| Estándares y aplicaciones para compras federales | <u>112.2</u> |
| | \$1,285.4 |

En total, el DOE subcontrata a 80 instituciones, de las que las principales son:

- Jet Propulsion Lab NASA - Director de Proyecto "Low Costo solar Array Project" (LSSA).
- NASA - Lewis Research Center - Responsable de las aplicaciones en lugares remotos.
- Sandia Lab. Aplicaciones intermedias y definición de sistemas.
- The Massachusetts Institute of Tech y Lincoln Lab. (MIT/LL)- Aplicaciones en sectores residencia y agrícola.
- Oak Ridge Lab.- Soporte técnico.
- Solar Energy Research Institute (SERI),- Responsable

del proyecto SOLERAS con los países árabes.

- The US Army Mobility Equipment Reserach and Development Center y el Departament of Defense (DOD) en proyectos militares.

Para este super ambicioso proyecto, el DOE ha destinado un presupuesto de 1,500 millones de dólares, ya ya superado algunas metas con relación a lo esperado y se cree que entre 1984 y 1985 se abra definitivamente el mercado latinoamericano para los grandes industriales norteamericanos (en una primera fase).

DOE asegura que la industria solar se convertirá en la más importante en los EEUU, en la década de los '90, y el Plan tiene todo el soporte del Congreso de la Unión. PREDICCIONES Y COSTOS REALES DE SISTEMAS.

(Pág. 254 7/8 IEEF)

II.7 PROGRAMA FOTVOLTAICO DE LA RFA

La República Federal de Alemania es un país en general poco insolado, con un promedio de 300 watts/m² al año, por lo tanto requiere de más del doble de captadores solares y bancos de almacenamiento un sistema, comparado con un mismo sistema - puesto en una región de baja insolación de nuestro país (Veracruz por ejemplo).

Sin embargo, este país es uno de los que marcan la pauta en lo que a tecnología fotovoltaica se refiere.

El Ministerio Federal para el Desarrollo y Tecnología, localizado en Bonn, la capital, inició en 1977 un programa fo-

tovoltáico con 80 millones de marcos, el cual concluirá en su primera etapa en 1986. Sin embargo, dicho programa tuvo un aumento en su presupuesto, alcanzando los 230 millones de marcos.

Interacciona con el Programa de Conservación de Energía, y el de Protección del Medio Ambiente.

Ciertamente el gobierno alemán ha tomado desde hace tiempo profunda conciencia de los graves problemas de agotamiento de sus recursos energéticos y de la contaminación, que campean en nuestra época, y ha previsto la subcontratación de investigadores, analistas e industriales para emplear estas estrategias.

De esta manera participan en la Investigación los institutos de investigación de Battelle en Frankfurt, Stuttgart, (en el cual existe una planta piloto que fabrica fotoceldas de CdS/Cu₂S de 7x7 cm. con eficiencia de 7%), Jülich, Freiburg (el cual ha alcanzado 5% de eficiencia en películas delgadas de silicio amorfo); las Universidades de Konstanz, Marburg y Dortmund y las industrias Wacker, AEG, Siemens y Leybold.

50 Proyectos a realizarse en el período '77-'86 han sido contemplados, entre ellos dos villas solares autosuficientes, soportadas por la experiencia espacial que tiene Alemania, en la cual se han comprobado largas vidas útiles de las fotoceldas.

En contra del norteamericano, se ha observado que el alemán tiende a bajar sus costos automatizando los procesos de fabricación, reduciendo pasos en los mismos y conservando las eficiencias logradas.

Es poco probable que se empleen materiales de baja pu-

reza, aunque la empresa Lwybold se ha destacado por producir silicio barato, en grado metalúrgico para la producción masivamente fotoceldas.

La Wacker, a través de su división Chemitronic fabrica silicio puro 99.99% (grado electrónico), que suministra a la firma AEG (bajo contrato de exclusividad hasta 1985) y al Instituto Politécnico Nacional (CIEA-IPN), para la planta piloto de 25 kwatts que tenemos.

En una labor conjunta entre AEG y Wacker desde 1977, - bajo las restricciones y estímulos que otorga el programa fotovoltaico, se pretende que para 1985 el costo del watt-pico -- (WP) se reduzca a 2-3 marcos tan solo.

Es importante mencionar que los costos específicos de producción de generadores fotovoltaicos en 1978 venían costando entre DM 100,000 y 160,000 el kilowatt. Los costos de generación de energía alrededor de DM 18/kwatt.

El costo específico de electricidad convencional en -- iguales circunstancias aproximadamente DM 5,000/kwatt, y DM2/kwM. Por ello el principal objetivo es reducir los costos fotovoltaicos 50 veces, estableciendo las siguientes metas:

| <u>AÑO</u> | <u>COSTO WATT (EN DM)</u> |
|------------|---------------------------|
| 1977 | 100 |
| 1978 | 50 |
| 1980 | 15 |
| 1981 | 10 |
| 1984 | 5 |
| 1985 | 3 |
| 1986 | 2 |

Hacemos hincapié en que se pretenden las metas con silicio policristalino de alta pureza, por lo que si se emplea silicio de Leybold es probable que se superen todas las predicciones.

Para llevar a cabo los 50 proyectos se negocia con España, Argentina, Brasil, Egipto, Tunesia, Kenia, Sudán y México. A raíz de la actual guerra entre Irán e Irak, está detenido un proyecto en el primer país.

Asimismo se está planeando el establecimiento de una línea de producción para 1.5 Mw/año.

Actualmente, la capacidad anual y la proyectada en la producción de fotoceldas de AEG es de 500 kwp (1980), planta piloto de 5 Mwp, iniciada en 1980, líneas de producción aumentando de 1982 a 1985 hasta 50 Mwp y de 1985 a 1990 a 2000 Mwp.

Un aspecto trascendental del programa es que el gobierno no subvenciona a la industria como incentivo, y a partir de -- 1990 ésta regresará el capital al gobierno más un porcentaje de la utilidad.

Por lo que se refiere a los incentivos fiscales para el empleo de generadores fotovoltaicos, la desgravación hasta de DM 4,000 por casa y DM 12,000 por edificio en un periodo de 5 años, cuando el costo instalado sea de DM 100/m² máximo con una representación del 25% del costo de capital.

II.8 PROGRAMA FOTOVOLTAICO EN JAPON

Japón, uno de los países más castigados por la crisis del '73, carece de hidrocarburos, por lo que se ha visto en la necesidad de impulsar tecnologías como la nuclear y las alternativas o libres.

El país, llamado "del Sol Naciente", ante la protesta del pueblo por el uso de la energía nuclear y ante los graves problemas de contaminación al medio ambiente (recordemos que tienen un promedio de 300 habitantes por kilómetro cuadrado, y en las ciudades importantes como Tokyo, Yokohama, Osaka, Kyoto o Nagoya el índice asciende a 4,000 habitantes por Km²) ha apoyado con buenos ojos la decisión del gobierno para llevar a cabo un ambicioso proyecto para el desarrollo de las energías libres.

Dicho proyecto fue iniciado en 1977 y terminará en el año 2,000, con etapas intermedias de evaluación siendo 1982 - uno de los años en que se evaluaron los logros obtenidos contra las metas fijadas.

El presupuesto otorgado es de 1,315 millones de Yens, y es dirigido por la Agency of Industrial Science and Technology in MITI (Ministry of International Trade and Industry) desde su origen, bajo el nombre de "SUNSHINE PROYECT":

Shunshine contempla el desarrollo de las siguientes tecnologías:

- Fotovoltáica (principalmente silico amorfo).
- Paraboloides de revolución y cilindro parabólicos.
- Aerogeneradores.

- Generadores a partir de energía mareomotriz.
- Invernaderos solares.
- Producción de hidrógeno por hidrólisis.
- Helioarquitectura.

El proyecto es tan importante para Japón, como es el programa espacial para los EEUU.

Pero atendiendo exclusivamente al subprograma fotovoltaico, podemos resumir los principales objetivos en:

1. Desarrollar materiales y tecnologías de bajo costo entre las que se encuentra principalmente al silicio amorfo hidrogenado.
2. Obtención de proceso de producción automatizados -- que abatan los costos a 50-100 centavos de yen en 1986 y 20-50 centavos de yen para 1990 el watt pico (Wp) (en módulo).
3. Aplicación de las tecnologías en diversos proyectos y su evaluación, con una instalación de 1000 MW/año para 1985, y de 3 GW/año para 1990.

En 1980 se superaron todas las predicciones obteniéndose una producción de 1000 Kw, o sea 1 Mw, en fotoceldas.

Se delegaron responsabilidades en las siguientes empresas e instituto de investigación:

- Tokyo Shihaura Electric Co.
- Toyo Silicon Research Center.

- Nippon Electric Co.
- Hitachi LTD.
- Matsushita Co. LTD, (con participación de Mobil Tyco).
- Sharp Co. LTD.
- Kyoto Ceramic Co. (Con participación de Mobil Tyco).
- Fuji Co.
- Komato Co. LTD.
- Sanyo Electric Co. LTD.
- Mitsubishi Co, LTD.
- Japan Solar Power, Co. LTD.
- Tonoku University, Sendai.
- Osaka University.
- Keio University, Yokohama.

La más reciente compañía, la "Japan Solar Power", co - propiedad de la Kyoto Ceramic, Sharp Electric, Matsushita Electric, Mobil Oil y Tyco Lab. (los dos últimos de los EEUU) empezó a producir listones de silicio a partir de 1978.

Para dar más fuerza a Sunshine, el Ministerio de Educación organizó el programa de trabajo denominado "Física y Tecnología de materiales amorfos" con una inversión de 690 millones de yens, el cual durará tres años y participan 14 grupos - de investigación.

Los resultados no se han hecho esperar, porque los japoneses ya fabrican en serie relojes, calculadoras, radios, rasuradoras, juguetes, etc., alimentados por fotoceldas de silicio amorfo, con un año de garantía. Y lo mejor del caso es que ya están empezando a invadir el mercado norteamericano, entre otros.

II.9 PROGRAMA FOTOVOLTAICO DE MEXICO

El caso de México es muy diferente a los tres anteriores, porque somos uno de los principales países productores de petróleo en el mundo, y además poseemos tecnología de vanguardia en el procesamiento de la petroquímica. También plantas de refinamiento.

El problema empieza en el hecho de que en busca de alternativas energéticas se ha diluido hasta ahora mucho esfuerzo y trabajo en programas por un lado ambicioso y por otro lado inconstantes, o faltos de recursos.

Contradictoriamente existen en el país técnicos especialistas y en general entusiastas que podrían muy bien aportar valiosos conocimientos y capacitar a nuevos técnicos, y fomentar la creación de una infraestructura nacional, como el caso que nos atañe, fotovoltaica, y así cuando menos en algunas tecnologías que ya se conocen muy bien, se podría evitar la dolorosa dependencia tecnológica. ¿Por qué pagar más caro y recibir cuando otros lo deseen, con sus condiciones, todo lo que quieran y no lo que nosotros necesitamos?

Pero vayamos por partes. El primer intento oficial por desarrollar la energía solar en el país corrió a cargo de la Subsecretaría del Mejoramiento del Ambiente, de la S.S.A. y consistió en adquirir 18 plantas de bombeo de agua, pero por sistema térmico, a Francia. Esto fue en 1972, con el nombre de "Plan Solar Tonatiuh", y quedó incompleto.

En 1978, la Comisión de Aguas Salinas de la SAHR pasó a ser responsabilidad de SAHOP, y convirtiéndose en la Dirección General de Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar se acreditó como el órgano federal cuya función consistía en coordinar las actividades a nivel nacional, tendientes al

desarrollo de la energía solar. Al principio estructuró el Plan Nacional Maestro de Energía Solar (PLAN MAES).

Pero como un plan no puede depender de otro plan, esto es que al PLANMAES dependía del Plan Nacional de Desarrollo, - hubo que cambiar el nombre a "Programa Nacional Indicativo de la Energía Solar y sus Colaterales" (PRONAESYC).

Este fue hecho del conocimiento común en una primera - versión también incompleta y las metas a alcanzar para 1982 -- eran del 0.3% del total de consumo de energía en el país, sa-- tisfechos por la energía solar (cuando desde hace años ese por centaje lo supera las salinas de Guerrero Negro, en B.C.S., que no deja de ser aprovechamiento de energía solar.

Según las predicciones del mismo programa, "el poten -- cial técnicamente y económicamente factible para centrales fo-- tovoltáicas" se estableció en $56,000 \times 10^{12}$ WXH/año ampliando - con el comentario "faltan estudios". Además no se establecen - metas, ni se fijan períodos de evaluación ni se plantean las - actividades ni estrategias a seguir.

Se concluye con que los posibles aprovechamientos sec-- toriales para el fotovoltaismo son factibles para sistemas de hasta 1 Kw y después de decir esto se ordena la construcción de una "villa solar autosuficiente" bajo el nombre de "Proyec-- to Sonntlan" (Son en alemán sol y Tlan en Nahuatl, villa), pa-- ra 250 habitantes (con un 10% calculado de incremento de pobla-- ción sin que haya necesidad de ampliar el generador fotovoltaí-- co), con 250 Kw fotovoltaicos instalados, apoyados por un gran generador eólico y un sistema cilindro-parabólico, y un costo de 300 millones de pesos (más de un millón por habitante) y -- dos plantas diesel, por si falla el Sol. Mientras tanto algu-- nas instalaciones solares parece que fueron reubicadas en al-- gún momento, porque una apareció en la residencia de un gober--

nador y otra en un zoológico, para solaz de los animales.

Mientras todo esto ocurre, y más, los centros de investigación y universidades buscan desde principios de los '60 -- apoyo en "alguien" para justificar su desempeño y culminar con sus logros. Al no haber en México un órgano coordinador gubernamental que sustente estas actividades mediante un "programa nacional fotovoltaico", han obtenido algo de apoyo de CONACYT y de la Organización de los Estados Americanos (OEA).

Es de mencionar también que ya existen en México 3 -- plantas ensambladoras de módulos fotovoltaicos, cuando menos, Tideland, AEG y Motorola, 2 norteamericanas, una alemana y representaciones varias sobre las cuales no hay control alguno.

Curioso también que hasta ahora los programas que hemos visto de otros países se han creado por la preocupación de dar un uso más racional de los hidrocarburos, por tener su propia tecnología y por apoyar los planes de protección a la ecología, y en el caso de México, el problema ecológico cada día es más grave.

Afortunadamente están cambiando las cosas, pues nuestro actual presidente de la República, Lic. Miguel de la Madrid H., consciente de la problemática de los energéticos y la ecología, ha estructurado planes y programas tendientes a organizar las actividades, mediante la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología, viéndose ya los primeros resultados positivos.

Algo que necesariamente nos debe conducir a la elaboración de un Programa Nacional de Energías Libres, y en él un -- Subprograma Fotovoltaico.

Y se ha hecho muy necesario, porque para diversos ti--

pos de aplicaciones, esta alternativa no sólo resulta la mejor económicamente, sino que proporciona niveles muy altos de con-fiabilidad, reducen el mantenimiento y evita riesgos (como el caso del gas acetileno empleado hasta hace poco para los quemadores de las boyas y balizas marinas. Ahora se substituyó por fotoceldas solares).

Las instalaciones fotovoltaicas en México crecen a -- ojos vista, y ni siquiera sabemos si lo que nos venden está -- bien dimensionado, porque generalmente se sobredimensionan los sistemas para vender más, y se suele experimentar con nuevos - diseños sin estar aprobados debidamente por los reglamentos de control de calidad. Más aún los dispositivos que en otros paf ses no pasan los controles de calidad, son ofrecidos y vendi-- dos, incluso a precios de saldo para abrir mercado, aquí en MÉxico.

Ejemplo como los que he mencionado aquí hacen ver que la energía solar es cara (cuando no lo es), complicada y no la necesitamos. O sea que en lugar de ser buenos ejemplos, tal pa rece que lo que se deseaba era de mostrar precisamente lo con-trario.

Aunado esto al gran desconocimiento que existe, tanto por la población en general, como por los propios dirigentes, de las bondades de este tipo de tecnología, nos damos cuenta - del porqué no se han tomado en consideración de una forma defi nitiva, y no se han tomado en cuenta los esfuerzos de los espe cialistas nacionales, que somos contados con los dedos.

II.10 PROGRAMAS FOTOVOLTAICOS EN OTROS PAISES

ESPAÑA

"En una estimación hecha en 1980 por la Secretaría de Programación de México, se considera que en España se pueden - instalar mercados globales de 700,000 millones de pesetas, a - precios de un dólar el watt-pico, lo que constituye un objetivo a mediano plazo"- declara el Instituto Nacional de Energía Solar de Madrid.

Es curioso que México ya ha hecho estudios para otros países, como es el caso, pero no los tiene para sí mismo.

Bueno, lo importante es que en España también existe - mucho interés por emplear la energía solar, y el Instituto Tecnológico de Madrid tiene notables desarrollos reconocidos a nivel internacional, sobre todo en concentración fotovoltaica.

Con la firma AEG alemana está desarrollando un proyecto de 50 Kw fotovoltaicos sin concentración, en las proximidades de Almería, ciudad andaluza bañada por el Mar Mediterráneo.

Pero, con tanto rfo que tiene España, tanto tecnología nuclear y tan bien electrificada que está, ¿porqué le interesa la Energía Solar?

España ocupa el puesto decimoprimero a nivel mundial - en cuanto a volumen de producción de energía eléctrica, con -- 99,804 millones de KwM en el año 1978. Entre 1940 y 1978, la - producción de electricidad se multiplicó por más de 27 veces, siendo por generación hidráulica 41,625 millones de KwH (41.7%), termoeléctrica 50,071 KwH (50.57%) y térmica nuclear 7,649 millones de KwH (7.66%). Las centrales nucleares de Vandellos y Santa Marfa de Garoña se encuentran terminadas y están en cons

trucción 15 más, de las cuales 4 centrales se están terminando.

Incluso España nos ha vendido tecnología nuclear para nuestro proyecto de Laguna Verde.

Su red eléctrica alcanza los 45,000 Km. y el país está totalmente electrificado.

La energía solar la desarrollan principalmente para exportar su tecnología, la cual generará muchas divisas sin duda.

España, por medio de su Ministerio de Energía, tiene - sus programas para desarrollar la energía solar y varias instituciones e industrias participan de manera muy entusiasta, como son Cristalerías Españolas, S.A, por mencionar un ejemplo.

El Instituto Nacional de Energía Solar, en Madrid no - sólo desarrolla la tecnología de concentración fotovoltaica, - sino la estándar, de un sol de intensidad (ver concentración), y otras tecnologías.

FRANCIA

Este país también lleva programas organizados en cuanto a la materia se refiere. Se puede decir que, junto con Alemania, es el que ha invertido más esfuerzo en Europa.

Al principio, desde los años '50 propició gran desarrollo principalmente de aplicaciones térmicas. Es famoso el horno de Odeillo, en los Pirineos, constituido por un campo de espejos que reflejan los rayos solares a un "foco receptor" en el cual se logran temperaturas de 3,800°C. Es empleado para fundir acero.

Así mismo se ha inaugurado recientemente una planta --

térmica de energía solar con potencia de 3 Mw.

A partir de 1970 el impulso se ha dirigido cada vez -- más al fotovoltaísmo, y muy recientemente se están obteniendo películas o listones de silicio.

El Commissariat de l'Energie Solaire, como director -- del proyecto solar francés, dedica anualmente poco más de 115 millones de dólares por año, de los cuales la mayor parte es -- para el fotovoltaísmo.

El programa es muy similar a los anteriormente vistos, sólo que varía en cuanto a metas, pues para el año 2000 Fran-- cia planea cubrir sus necesidades energéticas a partir del Sol en un 3 a 5% del total de participación energética.

La Radiotechnique Compelec es una de las principales -- productoras mundiales de fotoceldas solares subsidiaria de la holandesa Philips. (165 Kw/año).

Laboratories d' Electronique et de la Physique Appliquée (LEP, la Radiotechnique Compelec, el Centre National d'Etudes Spatiales, la Université des Sciences et Techniques de Langue-- doc, le Centre de Reserches Nucleaires y Aerospaciales están -- contratados por el Commissariat de l'Energie Solaire (COMES).

Francia ha instalado muchos equipos de televisión edu-- cativa, radiotelefonía, electrificación de alambrados princi-- palmente en diversos países africanos.

ITALIA

Tiene un programa para producir silicio a nivel meta-- lúrgico por un lado, por el otro desarrolla tecnologías en las Universidades de Napoles, Milán y el Instituto Guido Donegas,

E.P.a., y empresas como Ansaldo tienen experiencia en diseño e instalaciones de sistemas fotovoltaicos, preferentemente de concentración.

El financiamiento entre 1979, 1981 fué de 15 millones de US DLLS.

INGLATERRA

Los laboratorios de investigación han logrado importantes avances. En ese país se obtuvieron por primera vez las fotoceldas de Arseniuro de Galio, capaces de resistir concentraciones de luz solar equivalentes a los 2000 soles.

Aunque el costo del watt con GaAs sin concentración es de aproximadamente de \$500 US DLLS, al concentrar 2000 veces - es posible reducirlos a menos de 50 centavos de dólar por watt.

Ferranti, empresa que produce fotoceldas de silicio comerciales, trabaja actualmente en la puesta a punto de sistemas capaces de producir listones monocristalinos de silicio.

OTROS

Otros países con los que no he tenido oportunidad de - trabajar, pero que sabemos que tienen sus programas propios -- son Arabia, que está desarrollando un proyecto de concentra -- ción, diseñado en los EEUU por la Cfa. Martín Marietta, y un - costo de aproximadamente 100 millones de US DLLS, para alimentar a una villa completa. El proyecto llamado SOLERAS es pro -- ducto de un convenio de transferencia de tecnología entre am -- bos países, el cual marcará las directrices para futuras deci -- siones.

De igual manera, otros países como Bélgica, Holanda, -

Yugoeslavia, Rusia, Canadá, Belgica, Irlanda, Venezuela, Brasil, Argentina, India, Australia, China, etc., o bien desarrolla sus propias tecnologías, o simplemente compra, como es característico de algunos países africanos u orientales, incluso latinoamericanos.

En el continente americano, Brasil, Argentina y México tienen ya plantas ensambladoras propiedad de empresas transnacionales. Pero carecen de programas para conducir adecuadamente el manejo de esto, que no deja de ser más que un proceso que comienza con la importación de las fotoceldas ya interconectadas entre sí formando lo que llamamos "módulo fotovoltaico", - en la ensambladora se le coloca el módulo el marco, los cables y la etiqueta nacional y, ¡a vender! Creemos los que de alguna manera hemos participado en transferencias tecnológicas con -- otros países, que por un lado dicha transferencia es incompleta porque si bien, órganos como CONACYT fomentan la capacitación de postgrado en otros países, y el buen uso a provechamiento de esas tecnologías que traen nuestros especialistas.

CAPITULO III

FOTOCELDA SOLARES

III.1 EFECTO FOTOVOLTAICO

Hasta ahora hemos hecho una breve exposición de lo que es la energía solar, de los procedimientos para su medición y algo en lo que insisto por trascendental, de los programas de diferentes países enfocados al aprovechamiento de la energía solar, ambiciosos y previsores.

Ahora vamos al aspecto técnico para tratar de definir brevemente el principio de funcionamiento de las fotoceldas solares, que es el llamado "efecto fotovoltaico".

Dicho efecto permite la conversión directa de luz a electricidad, esto es, que entre la energía luminosa incidente y la energía eléctrica resultante no existe ninguna forma intermedia de energía, como pudiera ser química, térmica, etc.

El elemento receptor de la luz solar es la fotocelda solar, formada a partir de materiales semiconductores, entre las más comunes el silicio.

Pues bien, en el proceso fotovoltaico, la energía solar se transfiere a los electrones del semiconductor al chocar el fotón de la luz con el átomo del material, con la suficiente energía como para sacar un electrón de su posición fija, en la llamada "banda de valencia", y que se mueve libremente en el material, en la "banda de conducción".

Al ocurrir ésto, queda un "hoyo" o lugar vacante para un electrón en el mismo lugar de la colisión, estos "hoyos pueden desplazarse" si un electrón vecino deja su lugar para ocuparlos. Consecuentemente se forma una corriente si los pares de electrones y hoyos se separan por un voltaje intrínseco en el material de la fotocelda. Esto porque los hoyos actúan como --cargas positivas.

La forma para producir este voltaje interno es formando una discontinuidad abrupta en la conductividad del material de la fotocelda, agregando pequeñas cantidades de impurezas de dos tipos al material semiconductor original, el cual se encuentra puro. Boro y Fósforo son elementos contaminantes usados, para el silicio, mismo que entrelazado por un lado con el Boro forma la zona llamada "P", y de forma similar en el otro sector del semiconductor asociado con el fósforo, se forma la zona "N".

Por lo tanto, en virtud de lo expresado anteriormente, para que la energía contenida en un haz luminoso pueda ser convertida en electricidad deben cumplirse dos condiciones:

1. Que haya absorción de fotones en el material receptor, dado que los electrones del material receptor se encuentran en reposo en la capa de valencia, la energía que aporta el fotón "excita" a los electrones provocando un cambio de estado de energía en éstos. Para que un electrón excitado brinque de la capa de valencia a la capa de conducción se requiere que supere un "gap", o barrera de energía constituida por la "banda prohibida" del mismo semiconductor. Para el silicio es el 1.1 electrón-volts.
2. Es necesario que además en el interior del material receptor exista una barrera de potencial electrostática

tico que permita separar las cargas negativas de las positivas y aparezca entonces un diferencial electroquímico a ambos lados de la barrera.

Cuando los pares electrón-hueco alcanzan la barrera de potencial electrostático son separados por el campo eléctrico existente. Los electrones quedan del lado del semiconductor tipo "n" y los huecos del lado "p". Esta acumulación de cargas positivas y negativas de ambos lados de la unión P-N tiende a disminuir la altura de la barrera de potencial.

Si se conectan eléctricamente los lados "P" o "N" mediante una red de contactos metálicos depositados en ambas caras de la fotocelda, con un circuito exterior, fluirá una corriente que convencionalmente tendrá un sentido "inverso".

El producto de esta tensión directa y de la corriente inversa tiene signo negativo, lo que significa que el dispositivo actúa como generador de energía.

El voltaje de la fotocelda solar es resultante de la acumulación de gran cantidad de electrones en la zona "N" y de hoyos en la "P", hasta alcanzar el valor limitado por una nueva condición de equilibrio, la cual dependerá de la concentración de portadores (electrones) y de la temperatura.

Por lo tanto, el voltaje entregado está en función del campo eléctrico que hayamos formado entre las dos zonas, y la corriente de entrega está en función de la superficie de la fotocelda, expuesta al Sol.

Para darnos una idea en espesores de capa, la zona tipo "P" tiene aproximadamente 250 micras y la "N" algo así como 0.5 micras. Esta última es la que está expuesta al Sol.

Otros materiales semiconductores tales como el Arseniuro

de Galio, el Sulfuro de Cadmio, o compuestos como el sulfuro - de Cobre-sulfuro de cadmio se basan en el mismo principio, só-lo que su forma de composición para lograr el efecto fotovol--táico puede variar.

Por lo que se refiere a la parte del espectro solar -- que aprovechan las fotoceldas solares, preferentemente emplean la gama visible y parte de la ultravioleta, por ejemplo, en el caso del silicio, la escala sensibilidad está entre 0.2 y 1.1 micrómetros (longitud de onda).

Al hablar de rangos espectrales de respuesta nos con--lleva a algunas consideraciones, que a la postre afectan o contribuyen a definir la eficiencia de conversión de las fotocel--das solares.

Primero: para la luz solar de fuera de la atmósfera, - llamada "masa de aire 0" (AMO), con una intensidad de luz de - 1.38 kw/m^2 , el máximo rendimiento de conversión teórico para - las fotoceldas de silicio es del 19%. Adviertase que este es--pectro, es relevante sólo para aplicaciones de satélites arti-ficiales.

Al nivel del mar el espectro es diferente, el infrarrojo es mucho más pobre que en el espacio.

La máxima luz sobre el suelo a nivel del mar "masa de aire 1" (AMI) es de 1 Kw/m^2 de intensidad según vimos en el -- capítulo anterior. En las altas montañas la intensidad aumenta hasta 1.1 kw/m^2 . Aunque la intensidad de la luz sobre la ti--erra sea más baja que en el espacio, la distinta composición -- del espectro a nivel del mar tiene el efecto de concentrar más la energía que viene en la parte del espectro donde las foto--celdas son más sensibles.

Partiendo de las experiencias, se ha encontrado que el

rendimiento de las fotoceldas de silicio es como norma general, un 20% más alto en la tierra que fuera de la atmósfera. El máximo rendimiento teórico de conversión para el silicio, bajo máxima iluminación con luz solar en el suelo, puede ser del 26%.

Sin embargo, los rendimientos conseguidos hasta hoy -- con fotoceldas de silicio comerciales están entre el 10 y el 15% (a nivel AMI).

Analicemos más a detalle las razones por las cuales -- llegamos a obtener esos valores:

- El espectro de irradiación solar posee fotones de -- energía comprendida entre el infrarrojo lejano y el ultravioleta. Como vimos, para que el efecto fotovoltaico tenga lugar es necesario que el fotón incidente posea la energía necesaria para "excitar" un electrón de la capa de valencia a la banda de conducción, para fotones de energía menor el material será -- transparente y por ende toda energía del espectro correspondiente a fotones de energía inferior a la banda prohibida del material no es aprovechable en la conversión. Esta fracción es de aproximadamente un 25% para el silicio. Esto es del 100% -- nos queda 75%.

- Por lo que respecta a los fotones de energía superior a la banda prohibida, "excitarán" a los electrones, pero en demasía y el exceso de energía se transformará en calor, -- que no contribuye al efecto de conversión. Esto corresponde a pérdidas del orden del 30% es decir que la eficiencia hasta -- ahora está sobre el 45%.

- La relación entre el voltaje de circuito abierto entre la energía generada, denominado "factor de voltaje", reduce la eficiencia en un 18% más en términos generales, llegando

al valor de 26%.

- El llamado "factor de curva", que es el producto de la corriente máxima por el voltaje máximo, entre la corriente de corto circuito por el voltaje de circuito abierto, reduce en un 4% más. Ya estamos en 22%.

- Por último, la eficiencia de colección de las rejillas alto conductoras que funcionan como electrodos, aunada a otros factores de carácter netamente intrínsecos a la fotocelda dan por eficiencia final óptima 15%.

Esta eficiencia, como veremos en los procesos de fabricación puede considerarse estándar en una secuencia de producción en serie actualmente, para fotoceldas de aplicación teórica.

Si efectivamente desde 1971 se ha venido realizando un considerable esfuerzo a escala de laboratorio para incrementar el rendimiento de las fotoceldas de silicio. Esto ha conducido al logro de éstas con eficiencias del 17 al 19%, un nivel que está muy próximo al máximo teórico.

Haciendo referencia al efecto que produce la temperatura en la eficiencia de conversión de la fotocelda, la potencia producida utilizable desciende cuando sube la temperatura. En las fotoceldas típicas, las pérdidas suponen de un 0.35 a un 0.45% por grado Celsius de incremento de temperatura. En otras palabras, una fotocelda de silicio libera un 20% más de potencia a 20°C que a 70°C. En la figura vemos que la causa de esta pérdida es principalmente el descenso del voltaje de circuito abierto; es típico en este tipo de fotoceldas que la corriente está poco afectada por la temperatura.

III.2 TIPOS DE FOTOCELDAS

Antes que nada me gustaría mencionar que la historia de las fotoceldas solares es breve, y muy interesante porque en ella intervienen científicos de alto renombre.

En el año de 1839, E. Becquerel observó que al iluminar una de las placas metálicas de una pila electrónica, se alteraba la fuerza electromotriz generada.

En 1873, Willoughby Smith descubrió que la resistencia del Selenio (semiconductor) disminuye bajo iluminación. En ese tiempo el fenómeno, aunque causó gran interés, permaneció sin explicación. Diversas observaciones y experimentos posteriores, junto al descubrimiento del electrón, permitieron a P. Lenard en el año 1900 probar que el efecto observado era debido al desprendimiento de electrones del metal, provocado por la iluminación. (Efecto fotovoltaico).

Por cierto regresándonos un segundo al párrafo anterior, actualmente podemos encontrar fotoceldas de Selenio, de pequeño tamaño que son empleados para juguetes o simplemente para fines didácticos, dado que su eficiencia es del 0.1%.

Continúan los avances en forma muy lenta, aunque lo importante ya está descubierto.

Los elementos más apropiados para ser empleados como fotoceldas son los alcalinos y alcalinotérreos en la tabla de Rutherford.

En 1953 se logra el crecimiento de silicio monocristalino (lingote), el cual analizaremos posteriormente.

Karl Ernst Ludwig Plan (1858-1947), físico alemán pro

fesor en la Universidad de Munich a los 22 años de edad, y de Kiel, URSS a los 27 años, premio Nobel de Ciencias en Berlín -- por 7 años y premio Nobel de Física en 1918, en contra de la -- idea de que la luz solar era solamente energía, desarrolló su tesis de los "cuantos", o partículas elementales de energía -- electromagnética. Energía por tiempo relaciona la energía de -- un fotón con su frecuencia. El término "fotones" implica "grá-- nulos elementales", y materia al fin.

El profesor Kirchoff ya había hablado sobre el fenómeno en 1860.

Albert Einstein (1879-1955), físico y matemático judío alemán obtiene su título de perito técnico en la oficina de pa tentes en Berna, Suiza en 1901. Interesado por la física, pu-- blica los trabajos "la interpretación cuántica del efecto foto eléctrico" y la "teoría de la relatividad espacial o restringi da". Estos sorprendentes trabajos desencadenarán una reacción en cadena en la física moderna y, atendiendo a nuestro objeto de interés también, sobre todo en el primero de ellos, porque a no se admite tan solo que la materia y la radiación intercam bian discontinuamente la energía, sino que se le atribuye natu raleza corpuscular a la misma radiación.

Einstein acaba de romper con una concepción "mecanicis ta" del mundo físico en su segunda tesis y abre el camino para la reforma de la ciencia.

Sin embargo, ambas tesis se deben relacionar estrecha-- mente, porque en el tránsito del estado de la masa al de ener-- gía existe una inercia, y ambos estados dejan de ser entidades distintas.

La desviación de los rayos luminosos por el campo gra-- vitatorio del Sol, resultado de sus investigaciones con Planck

entre otros científicos solidificarán la teoría cuántica.

Entre las dos guerras mundiales se hizo un esfuerzo -- significativo en varios países, principalmente en Estados Unidos, Alemania, Francia y Gran Bretaña. Importantes contribuciones provinieron también de las investigaciones en la URSS.

Los materiales estudiados eran principalmente el Selenio y el Oxido de Cobre (Cu_2O).

Así basando sus investigaciones sobre los efectos que produce la radiación electromagnética del Sol sobre los elementos semiconductores, W Schottky desarrolla las primeras celdas solares a base de Selenio y Oxido de Cobre.

1954 es un año en el que se logran notables avances; -- por ejemplo, Welker logra el primer efecto fotovoltaico sobre el Arseniuro de Galio, del que hablaremos un poco más adelante, Reynolds y Leies logran el efecto en cristales de Sulfuro de Cadmio (SCD) del que también hablaremos particularmente, pues esta celda fue en ejemplo patente de colaboración internacional. Las contribuciones llegan desde Estados Unidos, Japón, -- URSS, Francia, Inglaterra, República Federal de Alemania, Israel, Bulgaria, India y otros.

Y la primera fotocelda solar de razonable rendimiento, a base de silicio se consiguió en ese año, por tres científicos de la Bell Telephone Co., Pearson, Fuller y Chapin, quienes aprovecharon de Ohl las experiencias de 1941 sobre este material.

La fotocelda solar de silicio es un pariente tecnológico de la entonces incipiente industria de los semiconductores, que habían empezado 5 años antes con la aparición del transistor. Las eficiencias de conversión son ya del orden del 4 al 5%,

pero apenas transcurren tres años escasos, en que las eficiencias aumentarán a un 16%, y es cuando el programa espacial no teamericano va a requerir de ellas para generar la escasa ener gía eléctrica que demanda ese experimento llamado "satélite ar tifical".

La URSS lo tiene, por supuesto; lo que ocurre es que - ésta se reservará sus avances científicos y los EEUU los dará a conocer a partir de entonces.

El Silicio, del que ya hemos hablado, es el material - más empleado hasta la fecha, sobre todo en su estructura mono-cristalina.

Después de haber superado las pruebas a los que fue-- ron sometidos en las primeras aplicaciones a nivel terrestre, en 1956, para luces de flash, luces de navegación y estaciones de comunicación, se encontró que su elevada confiabilidad en - su operación permitirla emplearlas en 1958, en el satélite Van guard I.

Hasta el año de 1959 el silicio monocristalino era el único semiconductor disponible comercialmente, es decir, fabri cado en serie.

En 1959 se desarrollan las primeras fotoceldas de Silf cio en su versión policristalina, con un proceso de fabrica -- ción más sencillo y eficiencias del 5%.

En 1960 vienen las fotoceldas dendríticas y por prime ra vez se emplean rejillas que recogen la corriente, evapora-- das en vacío sobre la capa "N", la cual fué difundida por vez primera en ese tiempo, mediante una atmósfera de P_2O_5 , que aho ra es una práctica común.

A través de los años '60, el rendimiento de las foto--

celdas de silficio en condiciones AMI permaneci6 entre el 12 y 13%.

El Arseniuro de Galio encuentra su momento en 1962, -- cuando Lamorte consigue 13% de eficiencia.

En la forma de capa delgada policristalina, la GA As - rinde poco, pero usada en la forma policristalina como en el - caso del silficio, se pueden obtener altos rendimientos. En con diciones AMI, el rendimiento máximo te6rico actualmente es de 27%.

A causa de sus propiedades ffsicas, el GAA's est cerca de los materiales 6ptimos para las fotoceldas solares, debido a su alto coeficiente de absorci6n para la luz visible, pues - toda la luz se observa en una capa superficial no superior a 1 micr6metro de espesor.

Pero el Arsénico es un elemento raro y caro, que a alta pureza cuesta unos 0.70 dls. americanos por gramo.

El galio no es tan raro, pero con alta pureza cuesta - unos \$5 U.S. Dls. por gramos.

Este tipo de material puede trabajar en rangos de tem peratura elevados (200° C), por lo que ofrece promesas en lo que respecta a la aplicaci6n en dispositivos de concentraci6n solar.

Su disminuci6n de voltaje con la temperatura es de 2.6 mV por °C de incremento de temperatura, menos que para el Silf cio. Como resultado, la potencia desciende de un 0.2 a un 0.3% por °C, y la de las fotoceldas de Silficio un 0.35 a un 0.45%.

Segundo, el voltaje de circuito abierto a temperatura

ambiente es sólo ligeramente menor a 1 volt., que es aprecia--
blemente mayor que el de las de silicio.

Entre las primeras fotoceldas producidas a nivel indus--
trial, se encuentran las desarrolladas por la IBM, en 1960.

Actualmente este material es muy empleado en la tecno--
logía espacial y en los sistemas de concentración terrestre, -
siendo su costo de unas 50 veces mayor que el silicio.

En 1971, los Estados Unidos de Norteamérica logra produ--
cir listones monocristalinos de silicio por los investigadores
La Belle y Mlavshy.

En 1972, se desarrolla la fotocelda violeta por Lindma--
yer, con un rendimiento de 16%.

En 1974 se presentó una fotocelda con rendimiento del 19%
llamada "célula negra".

En lo referente al Teluro de Cadmio, el mayor esfuerzo
se realizaron desarrollos sobre capa fina de $CdTe-Cu_2Te$. Se --
han alcanzado rendimientos del 6% en Francia por la CNES y RTC
(Radiotécniqe Compelec) y en los EEUU, pero dado sus proble--
mas de estabilidad se abandonaron las investigaciones. Un ejem--
plo de fotocelda que sigue en voga es la de sulfuro de Cadmio,
anunciada por primera vez en 1932 y que hasta 1954 no se dió -
un impulso verdaderamente fuerte en su investigación, sobre ca--
pas finas de $CdS-Cu_2S$ (heterounión).

La tecnología a emplear es una fotocelda de "pared --
frontal" consiste en un sustrato sobre el cual se evaporan -
una capa de CdS de 20 micrones de espesor con una fina pelcu--
la de Cu_2S en su parte superior. El conjunto es herméticamente
precintado en una cápsula de vidrio.

Se está afectuando también un prometedor trabajo de desarrollo es una estructura llamada de "pared trasera".

Este tipo de fotoceldas son de muy bajo control y requieren poco material y emplean estructura policristalina.

Los voltajes de circuito abierto están a escala de 400 a 500 mV, inferior a los valores de silicio. Se han observado corrientes de cortocircuito comparables a las encontradas en el Silicio convencional.

El rendimiento máximo obtenido en el laboratorio está sobre el 8.5%, pero a escala de producción industrial un 5% es común actualmente. El máximo teórico está en 14%.

A pesar de las grandes ventajas que aportan estos materiales, aún hay problemas de degradación, aunque recientemente se han logrado estabilidades de operación a temperaturas de -90°C , lo que es suficiente para aplicaciones terrestres, pero sin concentración.

En 1974 se proyectó la producción comercial de este tipo de fotoceldas por primera vez, por la Société Anonyme de Telecommunications (S.A.T.) en Francia, y posteriormente en los EEUU por la Universidad de Delaware.

La Shell Oil Co. estableció una empresa, la Photon Power Inc, en Texas, que a partir de 1979-80 fabrica estas fotoceldas, y pretenden alcanzar los 500 kw/año.

Existen muchas más estructuras de semiconductores compuestos, tales como AlSb, INF-Cds, CdSe, SnO_2 , etc., pero no son de interés actualmente.

Por el contrario, el Silicio amorfo es la tecnología -

que nos ha asombrado por sus bajos costos de producción y simplicidad en su proceso de fabricación. Se han alcanzado eficiencias del 8.4% y ya se está empezando a comercializar.

Tiene la ventaja de poder producirse en forma de listones, como los que produce la Mitsubhi, en Japón, de 4 pulgadas de ancho.

Otros fabricantes en EEUU, como IBM, Kodak, Westinghouse, Dow, Union Carbide, Honeywell, Battelle Columbus Lab., Motorola, en Japón además Matsushita, Sharp y Kioto Ceramic, y en Francia Radiotecnique Compelec.

Para quienes opinan que la energía solar es aún costosa, diremos que en los análisis de costos comparativos con sistemas tradicionales que presentaremos más adelante, podremos observar que no es así, sobre todo empleando el silicio, tanto monocristalino, como policristalino y amorfo a últimas fechas.

Por si fuera poco, recientemente el Dr. Angel Sanjurjo, principal investigador de la Standford Research Institute de los EEUU, contratado por el DOE-NASA para desarrollar un método de 2 etapas destinado a producir silicio al costo de \$10 US DLLS., ha encontrado un procedimiento para construir un componente clave en las fotoceldas de bajo costo. Producirá en muy breve tiempo silicio con costos de 90% menos, y si recordamos que el silicio representa un 20% del costo de los materiales empleados en las fotoceldas, el aprovechamiento de la energía solar será mucho más barato a corto plazo, si es que no estamos hablando de un presente ya.

III.3 INVESTIGACION INTERNACIONAL

Desde que fueron descubiertas las bondades de materiales como el silicio mono, policristalino, amorfo, así como el sulfuro de Cadmio, los cuales tienen grandes posibilidades técnicas para ser aplicados desde ahora, ha habido una movilización enorme a nivel mundial, tanto en investigación primaria, como en desarrollo aplicativo y estudios de factibilidad económica.

Serfa muy extenso mencionar todas las instituciones, - organismos e industriales que participan hoy en día en el desarrollo de las fotoceldas solares, por lo que podemos mencionar los principales, ennumerados por nacionalidades:

EEUU

- National Aeronautics and Space Administration (NASA) Lewis Reserach Center, Cleveland, Ohio.
- NASA, Langley Research Center, Hampton, VA.
- NASA; Jet Propulsion Lab, Pasadena, Cal.
- Applied Solar Energy Co. Ab.
- NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbert, Maryland.
- Arco Solar, Inc., Chatswood, Cal.
- Crystal Systems Inc., Salem, N.A.
- Dow Corning Co.
- Photovoltaics TD y A Lead Centre, JPL, Pasadena, Cal.
- Lockheed Missiles and Space, Inc.
- Martin Marietta Co.
- MIT Lincoln Lab. Massachusetts.
- Mobil Tyco Solar Energy Crop. Waltham, Mass.
- Motorola, Inc.- Semiconductor Group, Phoenix, Arizona.
- Photowatt International, City of Industry, Cal.
- Pilkington P.E. Limited.
- S.E.S. Incorporated

- Siltec Co. Menlo Park, Cal.
- Solar Electric International.
- Solar Energy Research Institute (SERI), Colorado N.M.
- Solar Usage Now, Inc.
- Solarex Co., Wakefield, Mass.
- Spectrolab, Inc. Chaatawood, Cal.
- Solenergy Co. Wakefield, Mass.
- Spectrolab, Inc., Sylmar, Cal.
- Spire Co- Bedford, Ma.
- Tideland Signal Co.
- Varian Associates Inc. Palo Alto, Cal.
- Xenon Co.
- Wyle Lab, Arlington VA.
- Westinghouse R y D Center Pittsburg.
- Honeywell Co. Tech. Center.
- University of Florida Deo. of Electrical Engineering.
- The Pennsylvania State University Dep. of Engineering Science and Mechanics.
- Science Applications Inc., McLean, VA.
- Sandia Lab., Albuquerque, N.M.
- BDM Co., Albuquerque, N.M.
- E. System Inc. Dallas Texas.
- Communications Satellite Lab., Clarksburg, MD.
- Cleveland State Univ, Cleveland O.
- University of Maryland., College Park Maryland.
- Oak Ridge National Lab., OR. Tennessee.
- Southern Methodist University, Dallas, Texas.
- Massachusetts Institute of Tech, Mass.
- Southern California Edison Co., Cal.
- Research Triangle Institute, N. Carolina.
- University of Delaware, Dep. of Elect. Engineering, Del.
- RCA Lab. Princeton, N. Jersey.
- Applied Solar Energy Co, City of Industry, Cal.
- Rayex Co. New York.

- North Carolina State University, Raleigh, N.C.
- Rockweell International Electronics Research Center
Thousand Oaks, Cal.
- Michigan State University, Dep. of Biophisics, Mich.
- Brown University Providence, Dep. of Physics, R.I.
- General Instrument Corp., Hickawill, N.Y.
- The Johns Hopkins University, Applied Phisics Lab.,
Laurel, Maryland.
- Unversity of Columbia, Dep. of Elect. Engineering, N.Y.
- IBM East Fishkill Lab., N.Y.
- Microwave Associetes Inc. Burlington, Mass.
- Arizona Strate University, College of Engineering and
applied Sciences, Tempe, Arizona.
- Joint Center for Graduate Study, Richland, Wash, D.C.
- Monosolar Inc., Inglewood, Cal.
- Carnegie - Mellon University Pittsbrug, Pa.
- General Electric Co., Philadelphia, Pa.
- RCA Lab., Princenton, NJ.
- University of California, Dep. of Elect. Eng. and --
Computer Sciences, Bekeley, Cal.
- Solar Power Col. Woburn, Mass.
- University of California, School of Engineering, Ir-
vine, Cal.
- Energy Conversion Devices, Troy, Michigan.
- Chevron Research Co., Richmond, Cal.
- Bernd Ross Associates, San Diego, Cal.
- Rome Air Deleopmente Center, Hanscom AFB, MA.
- Air Force Aero - Propulsion Lab., Weight Patterson AFB,
OH.
- Hughes Aircraft Co.- Space and Communications group.
El Segundo Cal.
- Virginia Polytechnic Institute and State University
Dept. of Electrical Eng., Blacksburg, VA.
- Bechtel National, Inc., Sn. Francisco, Cal.
- Exxon Research and Engine Co., Linden, N.J.

- Hughes Research Lab., Malibu, Cal.
- Old Dominion University, Norfolk, VA.
- Naval Research Lab., Washington D.C.
- Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y.
- Bell Lab. N. Jersey.
- Western Electric Co. Reading, Penn.
- The Technical Advent Circle, Honolulu, Hawaii.
- Purdue University, School of Electric Eng. Indiana.
- Xerox Palo Alto Research Center, Palo Alto, Cal.
- Chronar, Trenton, N.J.
- Eastman Kodak Co., Rochester, N.Y.

FRANCIA

- Aerospatiale, Cannes Cedex.
- Laboratoires d' Electronique et de Physique Appliquée, Limeil - Brévannes.
- La Radiotechnique Compelec, Caen Cedex.
- Centre National d' Etudes Spatiales, Toulouse Cedex.
- Université des Sciences et Techniques de Languedoc, centre d' etudes d'Electronique des solides, Montpellier.
- Centre de Reserches nucleaires, Strasbourg Cedex.
- Commissariat a l'Energie Solaire (COMES) Parfs.

CANADA

- University of Waterloo, Dep. of Phisics, Ontario.
- Mc Gill University, Rutherford Physics, Montreal.
- University of Saskatchewan, Dep. of Elec. Eng.
- University of British Columbia, Dep. of Elect. Eng., Vancouver.
- Mc. Master University Dept. of Eng. Physics, Ontario.
- Carleton, University, Dept. of Electronics, Ottawa.

JAPON

- Japan Solar Power Co. LTD.
- Tohoku University, Research Institute of Elect. Communication Sendai.
- Sanyo Electric Co. LTD, Research Center, Hirakata City Osaka.
- Fuji Co. LTD
- Komatsu Co. LTD.
- Hitachi Co. LTD Central Research Center, Tokio.
- Mitsubishi Co. LTD.
- Tokyo Shibaura, Co., LTD.
- Mataushita Co. LTD.
- Toyo Silicon Research Center.
- Nippon Electric Co., LTD.
- Sharp Co. LTD, Tenri-City Naza.
- University of Osaka, Dep. of Elec. Eng., Osaka.
- Keio University, Hiyoshi, Yakohama.

ESPAÑA

- Instituto de Energía Solar E.T.S.I. Telecomunicación -- ción.
- Universidad Politécnica, Madrid.

BELGICA

- Reinjksuniversiteit, gent.
- Katholieke Universiteit Leuven, ESAT Laboratorium, Heverlee.

ALEMANIA (RFA)

- Ballelle Institut, Frankfurt
- AEG Telefunken, Semiconductor Division Industriestrasse, Weddel.
- Institut fuer Physikalische Elektronik, Universitaet Stuttgart.
- Wacker Chemitronic, GmbH, Heilbron.

- Institut fur Grenzflanchenforschung und Vakuumphysik Kernforschungsanlage, Julich GmbH, Julich.
- Universitat Konstanz, Facultad Fur Physik, Konstanz.
- Institut fur Angewandte Festkoperphysik der Fraunhofer - Gesellschaft, Freiburg.
- Siemens GmbH, Munchen.
- Universitat Marburg.
- Universitat Dortmund.

TAIWAN

- National Tsing Hua University, Hsinchu.

IRLANDA

- University College, Physics Dep., Dublin

VENEZUELA

- Instituto Venezolano de Investigaciones Cientificas, Caracas.

MEXICO

- Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación y Estudios Avanzados, E. de Ingeniería Eléctrica (CIEA-IPN) México, D.F.
- CIEA - IPN, Escuela de Física, México, D.F.
- CIEA - IPN, Escuela de Química, México, D.F.
- Universidad Nacional Autónoma de México.
- Instituto de Investigación de Materiales (UNAM-11M) México, D.F.
- UNAM - Instituto de Ingeniería, México, D.F.
- Instituto de Ingeniería, México, D.F.
- Instituto de Investigaciones Eléctricas, Palmira Cuernavaca.

YUGOESLAVIA

- Faculty of Electrical Engineering, University of Zagreb.

BRASIL

- Universidad Estadual de Campinas, Instituto de Física Campinas.

INDIA

- Central Electronics Limited, Sahibabad.
- Indian Institute of Technology, Electrical Eng. Dep., Kampur.

GRAN BRETAÑA

- BAE Dynamics group, Filton.
- University of Southampton.
- University of Oxford, Theoretical Physics Dep. Oxford.

AUSTRALIA

- University of New South Wales Kensington, School of Electrical Eng.

ITALIA

- ANSALDO S.p.a. - DAU/PSS, Genova.
- Instituto Guido Donegari S.p.a., Novara
- LAMEL/CNR, Bologna.
- Instituto de Física, Università di Milano.
- Università di Napoli, Facoltà di Ingegneria, Napoli.

HOLANDA

- European Space Agency, European Space Research and Technology Center, Noordwijk.

Tan sólo en los EEUU hay aproximadamente 10,000 personas trabajando en el desarrollo de la energía solar.

El interés que hay por desarrollar las energías alternativas es en gran parte porque el mundo no desea una nueva -- crisis energética, como la que hubo en 1973, porque los países industrializados que no tienen petróleo, como es el caso de -- los EEUU, los compra y lo entierra, como el desecho plástico, del cual se puede obtener petróleo sintético, porque el distan -- ciamiento diplomático o los conflictos de guerra afectan en -- forma determinante el suministro, distribución y consumo de -- los energéticos fósiles, como es el caso actual de la guerra - de Irán contra Irak y el canal de Suez, y porque los angustian -- tes problemas causados por la contaminación ambiental han pro -- vocado profunda indignación, que aún no ha alcanzado los nive -- les críticos, pero ya se está muy cerca de ellos.

En el caso de los países en vías de desarrollo, resul -- ta que siempre permanecen las dependencias tecnológicas, y que nuestros investigadores se ven la necesidad de irse a trabajar a otros países.

Personalmente he constatado esto en la NASA, cuando -- por convenio entre el Department of Energy de los EEUU y SAHOP en México se estableció un intercambio tecnológico en esta ma -- teria, y dos representantes mexicanos estuvimos trabajando en el Jet Propulsion Lab., en Pasadena, Cal. por dos años consecu -- tivos, con periodos de 5 a 6 semanas jornada completa, aprove -- chando incluso los fines de semana para visitar las instalacio -- nes de la Base Adwards, de la Fuerza aérea en Nuevo México, la Villa solar autosuficiente de los indios papagos (Shshullli) en las proximidades de Phoenix, Arizona, así como visitar a inves -- tigadores tan famosos como el Dr. Stanley Ovschinsky, director y presidente de la Energy Conversion Devices en Troy Michigan, conociendo fábricas como ASEC, Phottowatt, Arco Solar, Senson -- tech, Motorola, Spectrolab, etc., y alternando las rutinas de trabajo con personal de NASA-Lewis Research Center.

Pues en aquella ocasión vimos que los mexicanos que --

trabajan en la NASA son bastantes, y no entraron como especialistas ni son genios, sin embargo en la actualidad su grado de especialización es tal (como el resto de los norteamericanos, hindúes y de otros países que colaboran en NASA) que conocen muy bien las partes de equipos que deben diseñar, muy bien las etapas de los estudios a realizar, pero desconocen el resto -- del proyecto. Esta es en realidad una estrategia empleada por medidas de seguridad sobre todo en el programa espacial, para evitar la fuga de tecnología.

Y ¿porqué la NASA está involucrada en ésto de los energéticos?

En 1973, cuando una fuerte crisis económica azotó al mundo entero y provocó una de las peores escaseces de energéticos, el pueblo norteamericano se reveló en una serie de manifestaciones preguntando porqué se invertían tantos millones de dólares en la carrera espacial, faltando energéticos y alimentos.

Entonces el gobierno aprobó un fuerte presupuesto, parte tomado del programa espacial, y lo destinó al desarrollo de energías libres o alternativas, tales como la solar fotovoltaica, térmica por heliostatos, paraboloides de revolución, cilindro-parabólicos, colectores planos, óptica de concentración, biomasa, invernaderos, aerogeneración, gradientes térmicos del mar, oleaje, etc.

El presupuesto quedó en la NASA; no se formaron nuevos organismos, la diferencia era que la mayor parte del esfuerzo se destinaría a la investigación de energéticos, y subcontrataría a diversos centros de investigación, los que están relacionados en este inciso.

De acuerdo a los resultados logrados en metas a corto

plazo, se ha visto que materiales como el silicio y SCd son los que merecen la mayor atención y concretamente la deposición en grandes sustratos y listones de material amorfo.

Por otro lado los prototipos desarrollados son sometidos a pruebas de laboratorio muy severas, tanto con simuladores solares a base de lámparas de Zenón (espectro muy similar al solar) como a la intemperie, desde hace ya unos buenos años, se prueban en capsulantes, etc., y se revisan los logros en un "Jeet back" entre el Department of Energy, la NASA, los centros de investigación subcontratados y los industriales, que también son en parte financiados por el gobierno.

Existen investigadores privados como el Dr. S. Ovshinsky que ostentan gran prestigio a nivel internacional por tener desarrollos en Silicio amorfo dopado con Fluor, con los que alcanza eficiencias del 6%. La carrera de silicio amorfo está en tre 3 países a saber: Japón, EEUU y la RFA.

En este orden, Japón tiene la máxima eficiencia o rendimiento de conversión con un 8.4%. Concretamente del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Osaka en coordinación con algunos industriales, bajo la dirección del Dr. Yoshihiro Hamakawa, a quien tuve la oportunidad de conocer e intercambiar ampliamente impresiones con motivo de la 1a. Escuela Internacional sobre Silicio Amorfo, celebrada en Cuernavaca, Morelos en 1982.

La tecnología japonesa ya se está industrializando y se vende con un año de garantía, esperándose vidas útiles del orden de los 6 a los 8 años.

En segundo término se encuentran los EEUU, con el Dr. S. Ovshinsky de la Energy Conversion Devices, que tiene logros del 6%. Cuando tuve oportunidad de entrevistarme con el en --

Troy, Michigan, me manifestó su interés por desarrollar su tecnología en México, dado que quiere mucho a este país.

Por último, el Dr. Füs del Institut für Angewandte -- Festkörperphysik de Fraunhoffergesellschaft de Feiburg, RFA, a quien tuve el gusto de conocer, así como su trabajo en Freiburg mismo, que es uno de los más entusiastas en superar el 5% de eficiencia, que ha ya logrado.

Por lo que respecta a la producción continua mediante listones de si-amorfo, existe una dura lucha entre científicos norteamericanos y japoneses principalmente.

En los EEUU, la MobyI Tyco Solar Energy Conversión, que trabaja con la firma japonesa Toyo Silicon Reserach Center, Motorola Inc., Westinhouse R y D Center, IBM, Honeywell Co. Technology Center, Hughes Research Laby Eastman Kodak Co. entre -- los principales, están desarrollando listones que incluso superan los 20 metros de longitud como los casos de MobyI Tyco --- S.E.C. y Motorola INC.

En el Japón, aparte de la Toyo Silicon R.C., se avocan a esta empresa, Mitaubishi Co., LTD, Fuji Co. LTD, Hitachi Co. LTD, y la propia Universidad de Osaka.

En otros países existen desarrollos notables pero de menor importancia. Los mencionados anteriormente ya están aplicando el producto en lugares habitados y remotos, para suministrar la energía eléctrica.

Por lo que respecta a la investigación de nuevos métodos para el crecimiento del silicio, en Japón tenemos a la Universidad de Osaka, en EEUU, a Bell Lab., MobyI Tyco S.E.C., --- Crystal Systems Inc., Syltec Co., Solarex Co. y Varfan Associates Inc., principalmente. En la RFA la Wacker Chemitronic und - Heliotronic.

Así podríamos mencionar como uno de los principales investigadores del Sulfuro de Cadmio (S-CD) a la Universidad de Delaware, y de simuladores solares a la Xenon Co., y Spectrolab Inc.

Anualmente el Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. de New York organiza un congreso internacional, buscando distinta ciudad -sede, en donde se reúnen todos cuantos trabajan en el campo solar-fotovoltaico. De igual manera la Comisión de Comunidades Europeas organiza otro anual, y una serie de congresos más que se organizan eventualmente cuando algún avance lo amerita, como es el caso del Sonnenforum '80 en Hamburgo, o la escuela internacional sobre Silicio Amorfo en Cuernavaca, Mor., en 1982, etc.

Y existen sociedades tales como la American Society of Solar Energy (ASSE), al que estamos afiliados con la Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) de México.

IV.4 INVESTIGACION NACIONAL

En nuestro país se viene investigando desde principios de los años '60, esto es prácticamente somos de los países vanguardistas en la materia. Si bien no se ha contado con adecuados presupuestos por motivos de diversa índole y nuestra tecnología no ha logrado los avances deseados, si se han alcanzado niveles que han permitido su producción en serie, mediante una planta de 10 kw/año, a cargo de la Escuela de Ingeniería Eléctrica del Centro de Investigación de Estudios Avanzados, del Instituto Politécnico Nacional (IE-CIEA-IPN).

Esta institución investiga desde 1963 con diferentes materiales tales como el silicio policristalino, GaAs en película delgada, Se₂ por evaporación y por rocío químico, óxido de -

cobre, celdas Schottky o Heterounión, silicio monocristalino y amorfo.

Se ha trabajado con financiamiento de la UNESCO, a través del programa de las Naciones Unidas para el desarrollo, para cumplir con compromisos tales como:

- Estudio de las propiedades eléctricas de los materiales.
- Efecto de las uniones de grano.
- Procesos de pasivación de fronteras de grano.
- Caracterización tecnológica de los procesos de fabricación.
- Crecimiento de lingotes.
- Caracterización de celdas policristalinas.
- Estudios económicos de sistemas.

Entre sus logros se encuentra el silicio monocristalino con 10% de eficiencia, policristalino con 11% y GaAs, con -- 25% mismo que requiere tan sólo de 8 a 10 milésimas de milímetro (micras), en lugar de las 300-350 que requiere el silicio.

Indudablemente que los estudios específicos que se llevan a cabo bajo la dirección del Dr. Juan Luis del Valle, son más de los enumerados, y los logros también son varios aparte, como el desarrollo de un sistema de televisor fotovoltaico diseñado para telesecundaria en el medio rural, con un bajo consumo de potencia, un sistema de bombeo de agua que ha sido mejorado constantemente y que no le pide nada a cualquier importado, -- sistemas de radiocomunicación, que dada su alta confiabilidad -- han sido y siguen instalándose para la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

El Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM (IIM-UNAM) tiene una participación muy importante también en el

desarrollo de la tecnología fotovoltaica, dirigida por el Dr. - Manuel Martínez, en la preparación de materiales, en el diseño de proceso de fabricación y formulación de modelos matemáticos con simulación de sistemas.

Así mismo se han efectuado estudios de factibilidad -- económica, y entre los materiales investigados se encuentran -- Sulfuro de Cadmio-Sulfuro de Cobre (CdS-CU₂S), Cobre-óxido de - Cobre (CU₂O-CU) y silicio amorfo.

El IIM-UNAM, financiado en parte por la organización - de Estados Americanos (OEA) y la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología, tiene nexos estrechos con las Universidades de De- laware y Campinas.

En la misma UNAM, se investiga también el Departamento de Físicoquímica y en el Instituto de Ingeniería, sobre las pro- piedades eléctricas y magnéticas de semiconductores, electroquí- mica de electrodos semiconductores, etc.

En el CIEA-IPN, el Departamento de Física inició sus - investigaciones en 1975, sobre fotoceldas tipo Shottky y CdTe, obteniéndose logros de 5% de eficiencia, y películas de Selenio gris.

El Departamento de Química de esa institución trabaja sobre los fenómenos electroquímicos.

Muy importante también la labor que se desarrolla en - el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE-UNAM), en Palmi- ra, Cuernavaca. Pero su investigación no se limita al fotovol- -- táico, donde se tienen fijadas metas como el obtener 6% de efi- ciencia en el si-amorfo en áreas del 1 cm², 1% de eficiencia en Oxido Cuproso, y optimización de los ciclos de refrigeración -- por absorción, solares desde luego. También penetran en el cam-

po de la helioarquitectura.

III.5 PROCESO DE CRECIMIENTO DE SILICIO

El Silicio es el 2o. elemento en volumen total en la Tierra, representando por un 27%, después del oxígeno. Este elemento suele encontrarse en las capas superficiales, aleado generalmente en forma de silicatos; un ejemplo son las arenas de las playas.

Pero este elemento purificado es un material con cualidades semiconductoras, empleado desde fines de los '40 en la industria electrónica.

Se puede decir que es el material semiconductor que ha tenido más popularidad en el campo fotovoltaico desde 1954 hasta la fecha porque no se degrada tan fácilmente como otros, porque sus eficiencias de conversión son aceptables y porque se ha abatido considerablemente su costo de producción, superando incluso metas fijadas por importantes programas de desarrollo.

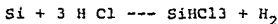
Para obtener silicio en grado metalúrgico (98% de pureza) se funden las arenas de sílice a 1454°C (2650°F), en un horno de arco, donde se reduce el Carbono.

Una bobina magnetizada se introduce en el Silicio líquido, que separa las impurezas.

La composición del Silicio policristalino grado metalúrgico será:

| <u>ELEMENTO</u> | <u>%</u> |
|------------------------|---------------|
| Si | 98-98.5 |
| Fe | 0.35 - 0.51 |
| Al | 0.16 - 0.20 |
| B | < 0.002 |
| Mn | 0.018 - 0.038 |
| CR | 0.018 - 0.062 |
| Ni | 0.013 - 0.019 |
| V | 0.017 - 0.038 |
| Ti | 0.022 - 0.039 |
| Ba, P, As, Cd, Ca | < 0.05 |
| Hg, Sb | < 0.02 |
| Cu, Zn, Zr, Mo, Mg | < 0.005 |
| Pb, Sn | < 0.002 |
| B. ₁ Be, Ag | < 0.001 |

El proceso siemens (el descrito), se complementa produciendo Tricloro silano, a partir de:



en un proceso a 300°C en un reactor. El triclorosilano se descompone en silicio policristalino de alta pureza (99.9999%) y también el costo de \$2 US. Dlls/Kg del silicio grado metalúrgico asciende a \$70 cvs. US. Dlls/kg en el ultrapuro o grado electrónico.

La firma Wacker Chemitronic de Heilbron (RFA) produce silicio de estas características, que surte a la AEG y la Instituto Politécnico Nacional de México.

El costo final puede variar de \$40 a 70 US Dlls/kg. dependiendo de la pureza obtenida y del procesante, que en suma son 4 en el mundo: Wacker Chemitronic (RFA), Waso (DK), DowCorning y Monsanto (EEUU).

La meta que se ha fijado en los EEUU es de .14 US Dlls/ Kg para 1986. Varias instituciones trabajan con financiamiento público y privado en busca de nuevos procesos y mejoras del actual.

Dow Corning y Westinghouse trabajan activamente con un contrato del DOE para desarrollar un proceso a base de hornos - de arco, que reducirían el costo a \$10 US Dlls&Kg.

En 1984 hay una evaluación de los avances contra las - metas del DOE y del SAMICS (Solar Array Manufacturing Industry Costo Standards) .

Las fotoceldas solares que emplean el Silicio policristalino grado electrónico (p.e. AEG) tienen eficiencias del orden del 7%.

Pero el policristalino se puede convertir a monocristalino, con lo que las eficiencias de las mismas aumentan entre - el 10 y 14.5%.

El Silicio monocristalino se obtiene a partir del método Czochralsky: El silicio policristalino se somete a calentamiento (1420°C) en un crisol para fundirlo. A continuación se introduce en el crisol una barra de silicio monocristalino (semilla) de unos 4mm. de diámetro aproximadamente, y después se extrae lentamente girando (a unas 20 rpm). Por capilaridad el silicio que adquirió la cristalización que le dió la semilla, se adhiere a ésta y conforme asciende formando una barra, cuyo diámetro es a su vez controlado por rayos X., se enfría y solidifica. En un proceso que dura 6 horas, o sea una jornada laboral, se logra crecer en lingote de 18 pulgadas (45.7cm.) de 3 - pulgadas de diámetro (7.6 cm.).

El lingote, por segregación elimina las impurezas "no

deseadas" por el contrario deben existir impurezas "si desea -- das", de Boro en proporciones muy pequeñas (una a mil) para obtener silicio monocristalino tipo P. El Boro es agregado antes de fundir el silicio.

Una máquina de crecimiento de lingote con las características antes descritas costará alrededor de \$80,000 US DLLS. Una que tendrá la capacidad de crecer un metro de lingote de 6 pulgadas de diámetro (15.24 cm.) cuesta \$120.000 US DLLS.

El costo del silicio monocristalino es de alrededor de 4 veces mayor que el de silicio policristalino.

Actualmente se han obtenido avances sorprendentes, como es crecer una barra de 100 kg. de peso y 15 cm. de diámetro introduciendo silicio policristalino al crisol en forma continua.

Compañías en los EEUU dedicadas a la investigación y desarrollo de procesos de crecimiento son: Kayex Corp., Siltec Corp. Varian Associates, Crystal System Incorporated, Westinghouse Corp. y Dow Corning. Wacker asociados con Siemens en la RFA.

Cabe hacer notar que existe una fuerte tendencia en -- los EEUU en sacrificar grado de pureza del silicio, con la consiguiente reducción en la eficiencia de conversión fotovoltaica, con el fin de abatir los costos.

Hasta un 60% de pureza en el silicio es aceptada para producir fotoceldas con lo que los costos se podrían abatir a - \$10 - 14 US DLLS/KG.

La mayor parte de los fabricantes importantes tienen -- sus crecedoras de lingotes (ARCO SOLAR, SOLAREX, SOLAR POWER, -

OCCI, MOTOROLA, etc.). Otras adquieren los lingotes, o incluso las obleas (weafers) que posteriormente serán fotoceldas.

Por el lado europeo Ferranti en la G.B. investiga nuevos procesos, y lo mismo hacen las dos firmas alemanas antes citadas, pero el abatimiento de costos no se desea lograr a base de sacrificar eficiencia, sino de optimizar los procesos de fabricación.

La meta de producción de la Wacker entre 1975 y 1985 - es abatir en un 100% el costo, fabricando 1,000 toneladas de policristalino al año.

III.6 FABRICACION DE FOTOCELDAS DE SILICIO MONOCRISTALINO

El método Czochralski, nos permite actualmente obtener lingotes o barras con diámetros de 15 centímetros y un metro de longitud, sin embargo, estas características de barra se dan en procesos piloto, siendo los diámetros más usuales de 7.5 o 10 centímetros y longitud de barra de unos 50 cm. aproximadamente.

A partir de ahí los tornos se encargan de proporcionar una geometría exacta a dicha barra, como preparativo para el proceso de fabricación de las fotoceldas.

Inmediatamente se procede al corte de las obleas mediante discos metálicos o hilos muy delgados y resistentes, efectuando incisiones cada 300-400 micrómetros de espesor (con este proceso se puede cortar hasta 250 micrómetros de espesor de oblea sin fracturarlas, pero se desperdicia entre el 40 y el 60% de material, por lo cual aumenta considerablemente los costos económicos y energéticos).

Sin embargo, se han logrado importantes avances emplean

do procesos MBS FAST, ID de corte múltiples (hasta 1,000 obleas de 250 micrómetros) con sierras o alambres mucho más delgados, obteniéndose pérdidas de material de un 30% y altos rendimientos (una oblea por minuto, en vez de 3 minutos). Más reciente - aún es el corte por rayo LASER, en el que la pérdida es mínima.

A continuación, algunas empresas efectúan limpieza con jabón a las obleas en forma automática, para posteriormente cortar la oblea y darle forma cuadrada.

Esto se logra con máscaras metálicas que cubren a la oblea, a lo que se deposita un producto químico que corta las secciones sobrantes de ésta. El proceso se llama "Fotoresist".

Acto seguido un pulido químico con ácido nítrico o hidraflórico en unas piletas, operación que dura unos cinco minutos y se rebajan de 18 a 14.1 milésimas de pulgada. La máquina trabaja a nivel industrial de 6 a.m. a 16 p.m. con dos operadoras. El resultado es la formación de unas micropirámides en toda la superficie de la oblea, con las que se aumenta el coeficiente de absorción de la luz solar.

La corrida es de 35 obleas y al día se pueden pulir -- 2,500.

En otros centros se emplea potasa para remover 40 milésimas y luego se procede a una limpieza profunda con mezclas -- ácidas y alcalinas, ambas catalizadas con peróxido de hidrógeno y un desoxidado final con ácido fluorhídrico.

Las obleas ya se encuentran listas para pasar a la etapa de difusión de fósforo. Recordemos que el silicio está contaminado con Boro en proporción de 1 a un millón, por lo que se le denomina Silicio tipo "P". Pues bien, para formar la unión - interna P N, con la que vamos a lograr un diferencial de potencial interno, es necesario difundir fósforo a partir de Pentóxido

do de Fósforo, en un horno a 900°C durante unos 30 minutos (el tiempo determina la profundidad de la unión) obteniendo una profundidad de 0.4 micras y una resistencia de hoja de 25.30 ohms/cm².

El politécnico de Madrid emplea Oxifloruro de Fósforo (POCl₃) a 875°C por 45 minutos y en algunas industrias norteamericanas el proceso dura una hora entre 875 y 900°C.

Para alargar la vida de las fotoceldas se reduce gradualmente la temperatura partiendo de los 600°C a la ambiente.

El final de este proceso se lleva a cabo una limpieza exhaustiva con agua y baños de aceite, quedando las obleas listas para la metalización de los contactos.

Industrialmente se emplea ácido hidrofórico para limpiar la cara que se va a metalizar depositando los metales en un evaporador a 10-6 Torr de vacío.

Las obleas se fijan en unas 'campanas' de forma semicircular, que pueden contener 60 obleas cada una, las cuales presentan un enrejado o mascarilla cuando la evaporación se va a llevar a cabo en la cara anterior de la oblea (llamada también waffer), o bien no presentan dicha mascarilla cuando se va a tratar la cara posterior.

Tres campanas se introducen en el evaporador, y mientras dura el proceso de evaporación giran en forma traslacional, durante una media hora para cada una de las caras.

Cuando se procesa la anterior, la mascarilla deja expuesto un 10% de la cara de la oblea y se evapora Plata y Titanio. Este contacto es estable sobre Silicio. Son materiales de alta pureza y conducción eléctrica. Es usual el empleo de Paladio agregado para fijar aún más la Plata base.

Para la evaporación de la cara posterior se emplea Plata y sobre todo aluminio, alto conductor de menor costo. Luego se efectúa un recocido a 750°C en atmósfera inerte para asegurar una aleación silicio aluminio.

Un evaporador de este tipo puede ser operado por dos personas, tiene un costo de unos \$40,000.00 US DLLS, y puede mettalizar promedios, de 200 obleas por día en ambos lados, dando un total de 8,000 por semana.

De hecho la oblea o wafer ya es una fotocelda solar con todas sus propiedades pero es conveniente mejorar aún más su absorción solar, por cuanto la diferencia entre los índices de refracción del Silicio y del aire hace que 36% de la luz incidente sobre el semiconductor sea reflejado sin contribuir al efecto fotovoltaico a pesar de tener las formaciones piramidales en su superficie.

Por ello se aplican capas antirreflejantes en la cara expuesta al Sol, generalmente de monóxido de Silicio, depositado a 250°C por 40 minutos dando una profundidad de 750 Angstroms (método de rocío químico).

Luego las celdas son enviadas a control de calidad, -- donde son probados voltaje de circuito abierto, corriente de -- cortocircuito y potencia máxima utilizando lámparas de Zenón -- (espectro similar al Solar) y sistemas computarizados (descargas eléctricas qui duran 300 milisegundos).

Las fotoceldas son clasificadas según su rendimiento -- en categorías, si el control de calidad es muy estricto van de la A a la K.

Ahora pasamos a la interconexión de las mismas (respe-- tando el que sean de las mismas categorías) para formar los lla

mados módulos fotovoltaicos, que serán tratados a continuación.

Entre los fabricantes de fotoceldas de silicio mono -- cristalino cabe mencionar a Sensortech, Motorola/Spectolab, Fotowatt, Solarex, Solar Power, Philips, Tecnológico de Madrid, Ferranti, etc.

La planta más grande en la actualidad produce 1.6 MWE/año, de la Arco Solar, misma que construye actualmente otra -- planta de 2.5 MWE en California EEUU.

Cabe mencionar que esta empresa tiene un proceso automatizado de metalización, no por vacío sino por "pintado de enrejados de plata" con mallas similares a las empleadas que la industria textil. Con ello reducen considerablemente los costos de producción, acercándose a las metas propuestas por el DOE y el ofreciendo en la actualidad los mejores precios (\$4.00 US - DLLS/WATT).

El CIEA IPN de México, tiene una planta piloto actualmente con capacidad de 25 kwts/año que inicialmente trabajó sobre silicio monocristalino, y actualmente prevé incrementar su capacidad a 75 kwtt/año poro con policristalino.

Dicha planta data de 1978 y el proceso es de 20 pasos en 5 etapas.

Por lo que respecta a costos, es muy variable dado que cada planta industrial maneja diferencias en el proceso de fabricación diferentes capacidades de producción y costos indirectos, pero podríamos poner como ejemplo una planta japonesa:

| | <u>% COSTO</u> |
|------------------------------------|----------------|
| Si - policristalino | 17.91 |
| Si - monocristalino (purificación) | 23.00 |
| Waffer | 16.9 |
| Unión P/N | 15.9 |
| Otros materiales | 11.2 |
| Labor | 5.5 |
| Indirectos | 9.5 |

Para la fabricación de 1 kg. de fotoceldas se requiere de 20 kg. de materia prima y 2300 kwh eléctricos.

Conforme se van logrando procesos más automatizados, - con menos pasos o etapas en la producción (actualmente entre 40 y 46 desde la preparación del lingote hasta las pruebas mecánicas - eléctricas de los módulos comerciales) y se incrementan las capacidades de producción serie, se abaten los costos directos, y algunos indirectos como energía, y se pueden aumentar -- otros indirectos como lo son promoción (incluye publicidad y -- ventas) servicio (incluye mantenimiento y asesorías).

En México, el costo del watt pico está actualmente en 14 US DLLS e importamos el silicio el ácido fluorhídrico, el -- tricloroetileno el oxiclورو de fósforo y los materiales encapsulantes tales como el Polivinil-Butadieno.

Un desglose de costos representativo para una planta - de tipo piloto experimental podría ser éste:

| <u>CONCEPTO</u> | <u>% COSTO</u> |
|----------------------|----------------|
| Mano de obra (labor) | 32.69 |
| Reactivos analíticos | 17.4 |
| Silicio | 15.5 |
| Otros | 10.7 |
| Metalurgía | 9.5 |

| | |
|----------------|------|
| Solventes | 7.85 |
| Equipo | 5.24 |
| Edificio | 1.1 |
| Administración | 0.02 |

que se puede resumir en:

| | |
|-----------------------|-------|
| Manufactura de celdas | 53.0 |
| Montado y encapsulado | 14.31 |
| Mano de obra | 32.69 |

La tecnología del silicio monocristalino se viene em-
pleando desde 1954 y tuvo su mayor auge en las décadas de los -
'60 y '70, cediendo algo de terreno a otros materiales como el
silicio policristalino y amorfo, así como el Sulfuro de Cadmio.

En 1984 ha cobrado nuevo auge el encontrarse posibili-
dades de aumentar sus eficiencias de conversión (23%) y diseñar
sistemas modulares de insolación 1 x con rastreador solar de --
muy bajo costo.

Las aplicaciones a nivel terrestre son muy variadas y
nutridas como veremos también.

III.7 FABRICACION DE FOTOCELAS DE SILICIO POLICRISTALINO

Esta es otra alternativa tecnológica de moda hoy en --
dfa, que promete mucho a corto plazo. Ya en la actualidad está
compitiendo abiertamente con el monocristalino.

La fábrica que purifica el Silicio policristalino lo -
funde a 1400°C en moldes cuadrados o rectangulares de grafito y
lo deja enfriar, formándose un bloque que, al contraerse en el
enfriamiento se separa del grafito.

A partir de ahí se corta el bloque en 2 ó 4 secciones, y cada una en obleas por procedimientos similares a los ya descritos. En este caso el desperdicio de material por corte es mucho menor el del caso anterior.

Fabrica la Wacker Chemitronic de la RFA este material y lo surte en weaffers de forma cuadrada (5x5 ó 10x10) bajo contrato de exclusividad hasta 1985 a la AEG Telefunken y concesión al CIEA-IPN.

Los weaffers son sometidos a un "decapado químico, por medio de un ataque químico no selectivo a temperatura ambiente con ácido nítrico (HNO_3), ácido acético (CH_3COOH) y ácido fluorhídrico (HF). Posteriormente un ataque químico selectivo con hidróxido de potasio (KOH) al 30%, obteniéndose finalmente un espesor de 300 micras.

Finalmente se limpian con reactivos. Igual que con el mono cristalino, el weaffer que tenemos es de tipo "P" y para formar la unión P/N o barrera Schottky hay que difundir fósforo. En una atmósfera contaminada con tricloruro de fósforo (PoCl_3) se forma una capa en la oblea llamada N+. Se introducen las obleas en un horno de difusión sobre un "grill" de cuarzo colcándolas de dos en dos, espalda con espalda, y se eleva la temperatura a 900°C que se mantiene durante 30 minutos, lográndose una profundidad de la capa difundida N de 0.45 micras.

Dado que existe pequeña difusión de impurezas de fósforo en la cara protegida, hay que eliminarlas para tener una sola unión P/N. Lo anterior se resuelve evaporando en la cara N+ una capa de aluminio de espesor de 1.5 micras y se efectúa después un recocido en una atmósfera de hidrógeno durante una hora a 100°C formando una capa P+ en esta cara.

La evaporación de los contactos o "metalización" se lleva a cabo mediante un procedimiento similar al empleado con

el monocristal.

Luego se realiza un recocido de contactos a 450°C en atmósfera de Argón durante 15 minutos para formar un contacto óhmico entre el metal y el semiconductor.

Con una capa antirreflejante depositada a partir de un óxido de titanio (TIOX) o dióxido de Estaño (EnO2) por rocío químico, de unas 780 Angstroms se reduce la reflexión de la luz hasta un 9.5%.

Finalmente las pruebas eléctricas en condiciones AM1 - (Air Mass One) comparando los resultados con una fotocelda modelo (calibrada por la Wacker Chemitronic), a 30°C máximo. El costo de una lámpara de Zenón es de \$100,000 US DLLS. Una planta piloto de baja capacidad podría resumir la distribución de costos así:

| <u>CONCEPTO</u> | <u>% COSTO</u> |
|----------------------|----------------|
| Producir la oblea | 33.0 |
| Proceso de fotocelda | 42.0 |
| Materias Primas | 25.0 |

Es de hacer notar que no hay una unificación en cuanto a criterios para denominar los conceptos en el desglose de costos, por los que no es fácilmente interpretado por quienes desconozcan los procedimientos.

La firma AEG Tefunken de Weddel, RFA, tiene en proceso computarizado para la fabricación de fotoceldas, con capacidad de producción de 1000 por hora, 50 módulos de 10 watts-pico a mano por día, ó 2000 módulos con 5 personas en 8 horas.

Puede producir 500 kwtt/año y 150,000 celdas de tipo espacial para la Comunidad Europea.

También es interesante mencionar que para fabricar un watt-pico de fotoceladas solares mediante procedimientos "convencionales" hay que invertir según la AEG Telefunken, 20 Kwh y 2.5 kgm. de silicio.

Suponiendo una insolación promedio de 6.5 kwh/m² al día y una eficiencia de conversión fotovoltaica de un 10%, la energía invertida se recuperaría en 8.4 años, siendo la vida útil de las celdas de 20 a 30 años. Otra empresa norteamericana de las de mayor tamaño estima que el tiempo de amortización es de 3.5 años (Solarex Corp.).

Con lo anterior, el factor de amplificación energética resulta de 2 a 3, dependiendo de la vida útil.

La tendencia en este decenio es reducir hasta 20 veces estos factores de costo de energía.

Nuevos procesos de estiramiento con policristalino son los llevados a cabo en Japón, por Research Institute of Electrical Communication de Tohoku University, que forma listones con 5% de eficiencia de conversión en proceso semiindustrial con velocidades de 10 a 40 metros por hora.

Las máximas eficiencias en policristalino han sido del 11%, pero a nivel industrial del 7% (AEG) comparadas con 23 y 14 respectivamente (ASEC) con el monocristalino.

Se predice un aumento de eficiencia de conversión en el monocristal de 15 a 16.5% por lo que el policristal para resultar competitivo debe salir a 10%.

Como en algún otro lado he mencionado, reduciendo etapas de purificación y eliminando los procesos de estiramiento del cristal se pueden lograr importantes abatimientos de costos.

El proceso de estiramiento de listones varfa dependiendo del fabricante, existiendo dos importantes alternativas;

1. Crecimiento delimitado por los bordes de una matriz, que es sumergida en el silficio fundido (tiene la desventaja de introducir impurezas) y sube por capilaridad, estirando para -- formar un listón.

Las metas de tirar 10 listones de 10 cm. de ancho, 100 micras de espesor (ventaja de emplear 2 a 3 veces menos mate -- rial), a una velocidad de 5 cm/min. que da lugar a celdas de 20 cm.² con eficiencias de 11% han sido parcialmente superados por la IBM (proceso CAST) y Mobil Tyco (proceso EFG). Esta última - produce industrialmente 6 listones de 5 cm. de ancho y 250 mi-- cras de espesor a 2.5 cm/min. por máquina de los que se obtie-- nen celdas de 5 a 10 cm.² con eficiencias de 11 o 12%.

2. En esta alternativa, dos dendritas se introducen en el Si fundido y se retiran lentamente formándose por capilaridad una pelcula entre ellas. El material que se obtiene es de muy alta calidad (prácticamente es monocristal).

Las metas son crecer listones de 150 micras de espesor a velocidades de 25 cm²/min. que originen celdas de 15% de efi-- ciencia.

Westinghouse Electric desarrolla este proceso (WEB den drite process), logrando crecer 27 cm²/min. de listones con 100 micras de espesor y 15% de eficiencia.

Otro método que llama la atención es el crecimiento en forma de hojas, existiendo tres métodos básicos:

1. Deposición química en fase vapor.
2. Deposición por bombardeo electrónico.
3. Inmersión en silficio fundido.

En los tres el sustrato es el elemento básico, utilizando metales, carbón, cerámicas, vidrio y silicio grado metalúrgico.

El método 3 es el que tiene mayor futuro, y consiste en recubrir un lado del sustrato de cerámica (silicato de aluminio) con carbón que facilita la deposición; a continuación se sumerge en silicio fundido y se retira formándose una película de Si policristalino de aproximadamente 100 micras.

Las metas de este proceso son: identificar un sustrato de bajo costo (\$5 klls/m²), crecer películas de 100 micras de espesor a 175 cm²/min. y obtener celdas con 11% de eficiencia.

Honeywell ha logrado 60 cm²/min. con películas de menor espesor que cuestan menos de \$5 US DLLS/m² y celdas de 10% de eficiencia.

En 1981 las compañías Solarex y AEG Telefunken empezaron a comercializar el policristal.

La capacidad anual de producción de la AEG es de 500 - Kwp desde 1980 y ha formado una planta piloto de 5 Mwp iniciada en 1980, aumentando de 1982 a 1985 hasta 50 Mwp y de 1985 a -- 1990 a 2000 Mwp con meta de \$0.55 US DLLS/WP en 1989.

Por su lado Solarex Corp. inició en 1981 la construcción de una refinería de Si, policristal que en la actualidad está por producir materia prima suficiente para fabricar 50 Mwp/año.

En los tres el sustrato es el elemento básico, utilizando metales, carbón, cerámicas, vidrio y silicio grado metalúrgico.

El método 3 es el que tiene mayor futuro, y consiste en recubrir un lado del sustrato de cerámica (silicato de aluminio) con carbón que facilita la deposición; a continuación se sumerge en silicio fundido y se retira formándose una película de S. policristalino de aproximadamente 100 micras.

Las metas de este proceso son: identificar un sustrato de bajo costo ($\$5$ klls/m²), crecer películas de 100 micras de espesor a 175 cm²/min. y obtener celdas con 11% de eficiencia.

Honeywell ha logrado 60 cm²/min. con películas de menor espesor que cuestan menos de $\$5$ US DLLS/m² y celdas de 10% de eficiencia.

En 1981 las compañías Solarex y AEG Telefunken empezaron a comercializar el policristal.

La capacidad anual de producción de la AEG es de 500 - Kwp desde 1980 y ha formado una planta piloto de 5 Mwp iniciada en 1980, aumentando de 1982 a 1985 hasta 50 Mwp y de 1985 a 1990 a 2000 Mwp con meta de $\$0.55$ US DLLS/Wp en 1989.

Por su lado Solarex Corp. inició en 1-81 la construcción de una refinera de Si, policristal que en la actualidad está por producir materia prima suficiente para fabricar 50 Mwp/año.

En 1978 estableció la compañía SEMIX que elabora lingotes de Si policristal y en 1981 amplió su capacidad de producción a 2 MWp/año.

Solarex ha invertido además 10 millones de dólares en la primera planta piloto de "crfa de celdas", la Solar Breeder, en la cual el techo está tapizado por módulos de celdas semi -- cristalinas (policristal de alta pureza 0 que proporcionan 200 kw_p, de los que se obtiene toda la energía eléctrica para iluminación aire acondicionado y para las líneas de producción totalmente automáticas. Cuenta además con un sistema solar térmico -- del que obtienen calefacción y agua caliente.

La capacidad de producción es de 200 Kw_p/año de celdas.

En 1981, las celdas de semicristal se comerciabilizaban a \$10 US DLLS/WP., mientras que desde fines de 1980 las Mobil - Tyco Solar Energy Co, tenía una capacidad inicial de producción de 1.5 Mw_p/año que se ampliaría a 10 Mw_p/año, asociándose con - Matsushita Electric Industrial Co, y Kyoto Ceramics Co, para comercializar sus celdas por medio de Japan Solar Energy Co. Ltd.

Westinghouse Electric ha convenido con Pacific Gas and Electric y la Southern California Edison para construir unidades de producción de 25 Mw_p/año en listones y celdas. Desde 1981 opera una planta piloto con capacidad de 50 kw_p/año.

III.8 MODULOS FOTOVOLTAICOS

Una fotocelda de 5 cm. de diámetro, con superficie aproximadamente de 20 cm², a pleno sol con una eficiencia de un 15% a temperatura ambiente da una potencia de 0.3 watt a menos de - 0.5 volts.

Otra de diámetro 10 cm. y 80 cm.² de superficie libera

cerca de 1.2 watt bajo las mismas condiciones.

La corriente proporcionada por la fotocelda es directamente proporcional a su superficie (igual a densidad de corriente por superficie total en cm^2) en tanto que el voltaje es independiente de ésta.

La potencia máxima total proporcionada será por tanto proporcional al área de la fotocelda, ya que el voltaje es constante.

Pero una fotocelda en sí no resuelve los problemas de suministro energético a un sistema dado, por más simple y pequeño que sea por su bajo voltaje y potencia.

Un grupo de fotoceldas interconectadas entre sí pueden ser utilizadas para efectos prácticos.

En primer lugar, las fotoceldas entregan corriente directa, en segundo el voltaje es constante y depende de la profundidad de la barrera Schottky y no de la superficie, y la entrega de corriente es proporcional a la superficie; en tercero los sistemas más sencillos operan actualmente a 12 volts. en corriente directa, (por ello las baterías se diseñan para entregar de 12 a 14 volts. o módulos de 1.2 volts.) y en cuarto lugar las fotoceldas son extremadamente frágiles, se pueden romper con mucha facilidad.

Por ello, una de las propiedades de la electricidad es que si interconectamos fotoceldas entre sí en serie, sumaremos sus voltajes. Así 24 fotoceldas interconectadas, de una el contacto positivo con el negativo de la que está a continuación, y así sucesivamente hasta completar el circuito, obtendremos 12 - volts y la corriente de entrega de una sola fotocelda.

Hay que recordar que el proceso de fabricación de las

fotoceldas terminaba en una selección de ellas de la A a la K - dependiendo de su calidad, y en la interconexión influye mucho la resistencia serie de cada una de ellas; si una sola de las - interconectadas tiene un rendimiento inferior al resto, el rendimiento del módulo será el de la fotocelda defectuosa.

Por lo tanto, las interconexiones se llevan a cabo con celdas de la misma categoría o de la inmediata superior o inferior, dando finalmente módulos de 1a. y 2a o incluso de 3a., de dependiendo de la exigencia y confianza del cliente y de la serie del fabricante. Generalmente las fotoceldas de baja calidad se aplican a juguetería, cajas de música, relojes solares, cal- culadoras, rasuradoras, lámparas corrientes y demás artefactos en donde la deficiencia es inapreciable.

El fabricante de fotoceldas vende por peso estas cel- das a los pequeños industriales que encuentran novedad y publi- cidad en los artefactos solares.

Incluso, clientes como el mismo gobierno que compra -- grandes cantidades de módulos, no comprueba de qué clase son en la mayoría de los casos.

Para interconectar las fotoceldas, se requiere un sub- estrato de vidrio o acrílico, sobre el cual se distribuyen las celdas de idéntico tamaño y características eléctricas y entre ellas se colocan pequeñas lengüetas que son fijadas a las cel- das por soldadura de crema (óxido de estaño, óxido de plomo, -- plata o níquel).

Las lengüetas son de plata o aluminio, y las más corrien- tes de cobre o estaño.

Algunos procesos altamente automatizados como el de -- AEG Telefunken efectúan la soldadura por medio de computadora y cautines electrónicos. La profundidad, el tiempo de contacto y

la temperatura son controlados por la computadora.

El material soporte del grupo de fotoceldas interconectadas es vidrio templado de 5 mm. de espesor el cual proporcionará resistencia a los esfuerzos mecánicos provocados por impactos, granizadas, vientos, etc.

Además es transparente a la luz solar.

Entre las celdas y el vidrio se emplea silicón y PVB - (Polibinibutireno), con características de transparencia, durabilidad, impermeabilidad al vapor y al oxígeno y estabilidad al infrarrojo y ultravioleta.

La encapsulación de la parte posterior de las celdas - es empleando silicón, fibra de vidrio o PVC, lámina de acero inoxidable o vidrio Tedlar Maillard, etc.

Un marco metálico generalmente de acero inoxidable envuelve el perímetro del módulo proporcionándole hermetismo a los agentes externos y reforzando la estructura.

Dos terminales de alambre de cobre de bajo calibre parten de la primera y de la última fotocelda que generalmente se encuentran una al lado de la otra, de los cuales obtenemos el producto de las múltiples interconexiones.

Existe una tendencia a cubrir al mayor porcentaje del módulo fotovoltaico con área efectiva de fotocelda; a principios de los '60 las fotoceldas de crecían en lingotes de 5 cm.

Los módulos eran pequeños y la entrega de corriente - muy baja. Además las interconexiones eran burdas, soldadas a mano y numerosas. Sin embargo, la Philips reportó una pérdida de eficiencia en sus primeros módulos BPA de 5 cm. instalados en

1960 en una repetidora de T.V. en el Desierto de Chile del 0.5% de entonces a nuestros días.

Su superficie efectiva no era mayor al 70%, y el sustrato metálico del módulo provocaba un sobrecalentamiento debido al "efecto invernadero" (se elevaba de 15 a 25°C la temperatura de celda, respecto a la ambiental), con lo que el rendimiento del módulo se veía disminuido.

Conforme avanzamos en los '60 se logran crecimientos de lingote de 7.5 cm. pero la superficie efectiva modular aumenta casi inapreciablemente.

La idea al cortar en secciones triangulares y semicirculares a las fotoceldas, en un círculo vicioso en el que, si bien lograban mayor área aprovechable, las entregas de corriente eran más bajas y los módulos presentaban caídas importantes de potencia por existir de 2 a 3 veces más interconexiones.

Incluso se persistió en el empleo de sustratos metálicos en la parte inferior de los módulos, pintados en tonos oscuros lo que agravaba el problema de la temperatura. Con esto nos damos cuenta que aquí también se dan ideas de bombero (con todo respeto y sin mencionar nombres).

A fines de los '70 los crecimientos de lingote de 10 cm. de diámetro daban un matiz más interesante a los nuevos módulos que superaban la entrega de 20 watts-pico con superficies efectivas de 80 a 85% *(Arco Solar).

Finalmente las fotoceldas policristalinas de sección cuadrada (AEG Telefunken) cubrieron más del 95% de la superficie modular.

Ahora los módulos de silicio semicristalino amorfo y -

de sulfuro de cadmio aprovechan el 100% del área y no hay interconexiones.

El efecto invernadero ha disminuido empleando como encapsulantes anteriores vidrio y PVB y posteriores Silicon y Mailard o Tedlar, siendo así que la temperatura de celda no es mayor a 10 ó 15°C a la atmosférica.

Un aspecto importante de mencionar es que cada fabricante diseña dos o más módulos que estandariza, lógicamente para beneficio de los costos en producción, pero también porque cualquier instalación puede incrementar su potencia instalada - en el momento que más se desee interconectando más módulos, o bien en serie o en paralelo (ventaja de futura expansión por diseño modular estandarizado).

Aquí cabe mencionar también que algunos fabricantes -- cambian sus diseños con mucha frecuencia con fines meramente secundarios, pero que dejan desprotegidos a sus clientes porque hoy les venden los módulos de tipo "A" (por ejemplo) y al año siguiente, que el cliente decidió aumentar su potencia instalada, resulta que ya se discontinuó el modelo "A" pero en cambio le vende toda la instalación con módulo "B" a precios más bajos y en forma de paquete.

Este tipo de problemas son poco observados incluso por los mismos especialistas en esta materia, y los principales clientes, como son el gobierno, adquieren sin respaldo de nadie y con todas en contra. Luego dicen que la energía solar aún no está a punto, o resulta cara, con más razón los particulares.

Para terminar, una autoclave para derretir el silicón y el PVB y encapsular el grupo de fotoceldas en forma de sandwich cuesta alrededor de \$80,000 US DLLS y el porcentaje de costo que representa la fabricación de los módulos fluctúa por varios fa

tores fáciles de comprender, entre un 15 y un 30% del total.

III.9 PROCESOS DE CONTROL DE CALIDAD

La cada vez más creciente producción mundial de generadores fotovoltaicos ha originado una muy estrecha competencia que ha derivado en el desarrollo de nuevos y mejores productos.

Los planes y programas más importantes en el mundo, tales como el norteamericano, el japonés, alemán y franceses diseñan sus curvas de abatimiento de costos y proyecciones en vidas útiles más largas, así como las mejoras en los rendimientos de conversión tomando como punto de partida los numerosos avances de la tecnología que se dan día con día. Ya nada nos impresiona; sino es una válvula para el corazón que cuenta -- \$10 US DLLS, es la nueva cerámica que se empleó en el fuselaje del Challenger y ahora se emplea en algunos motores de autos -- japoneses o italianos como Ferrari o las superresistentes y ligeras fibras de carbono que conforman los chasis de los más sofisticados autos de carreras e incluso de partes de aeronaves, o los motores de propulsión iónica, que impulsaron al satélite "Columbus" en su empeño por seguir al cometa Halley en 1986, mismo que se construyó y probó en el Jet Propulsion Lab, de la NASA.

¿Cuando íbamos a ver una fábrica de generadores de energía autosuficiente, como la "cría de celdas" de solarex.

Lo mismo se decía antes ¿cuándo se iba a ver un módulo fotovoltaico que superara los 30 años de vida útil? Ahora es un hecho demostrado por las aplicaciones tanto espaciales como terrestres.

Por ejemplo, un material encapsulante es el Polivinilo Fluorido (Tedlar) muy resistente, inerte químicamente, se empu

zó a producir a partir de 1943 y comercializó en 1960, para aplicación en muros (como tapices). Tiene una transmitancia solar de un 90% su esfuerzo a la tensión es de 10,000 lbs/plg², el porcentaje de elongación de 250, se le ha hecho pruebas de dispararle desde un metro de distancia una bola de 3/4 de pulgada a una velocidad de 80 millas/hr. y la deformación que se provocó fué temporal, pues recuperó su cuerpo original (Norma D882).

No ha tenido degradación en 20 años que lleva en una estación de pruebas en Florida, EEUU, y su costo es 50% menor al teflón.

Pero antes de seguir mencionando materiales, sería conveniente hacer un breve repaso de los aspectos ambientales a los que está expuesto el módulo.

1. Humedad. Se ha descubierto hace algunos años, durante el ensayo de fotoceldas solares destinadas a los satélites artificiales, que la humedad producía una corrosión en la metalización de los contactos que tenía como consecuencia una pérdida de adherencia de éstos sobre las celdas. Se han ensayado combinaciones para eliminar dicha corrosión, particularmente titanio y plata. Se han utilizado con cierto éxito capas de soldadura de plomo estaño delgado (50 a 100 micros) como pantallas antihumedad, pero los mejores resultados se obtuvieron interponiendo una película de paladio entre las capas de titanio y plata.

2. Esfuerzos térmicos. Durante el transcurso del día y de la noche, así como al paso de las estaciones, hay notables cambios de temperatura a los que están sometidas las fotoceldas. En ocasiones son instaladas en desiertos donde durante el día la temperatura ambiente es de 50, 60°C y durante las noches llega casi a 0°C, o en las zonas polares donde se alcanzan los -40°C, y los módulos deben resistir sin ruptura de las fotoceldas ni de sus interconexiones.

Algunos materiales con buena elasticidad se usan ampliamente para absorber la diferencia de dilatación entre la fotocelda y su soporte.

Las lengüetas que interconectan a las fotoceldas permiten un movimiento relativo de las mismas, están preformadas en forma de bucle de compensación.

3. Radiación ultravioleta. Aunque se ve disminuida en la superficie terrestre, por acción de Ozono en la atmósfera, no llegan cantidades tales que con capaces de provocar problemas en algunos materiales y pensando en los que conforman las encapsulaciones de los módulos, los peores casos se han reportado en delaminaciones o en pérdidas de transparencia.

4. Esfuerzos mecánicos. Los módulos están expuestos en muchos casos a esfuerzos de torsión provocados por fuertes vientos (huracanes de más de 260 Km/hr), y con ello a la ruptura de las celdas.

Por tanto los elementos estructurales y encapsulantes juegan un papel fundamental. Granizadas, impactos, caídas u otro tipo de accidentes han sido superados satisfactoriamente cuando se emplean buenos materiales.

5. Depósitos de impurezas. En condiciones normales de uso los módulos reciben polvo, polución, arena, productos químicos, incluso productos que deshechan las aves, por lo que los materiales en capsulantes deben limpiarse con facilidad y no opacarse, pues generalmente están instalados en lugares de difícil acceso y las limpiezas (su único mantenimiento) deben durar varios meses. Para efectos de diseño se toma en cuenta que las pérdidas por este concepto pueden llegar a un 10%.

Para garantizar que los componentes del módulo resistan, se efectúan durante pruebas tanto a la intemperie, como -

en laboratorios.

Los organismos contratados por los gobiernos reportan los resultados de dichas pruebas para continuar desarrollando los productos, o bien deshechar algunas investigaciones, y és-to lo pueden dar a conocer al público usuario, o manejar la in-formación confidencialmente mediante reportes internos como el "Environmental Testing of Block II Solar Cell Modules (DOE/JPL 1012-79-1).

Así se han llegado a conclusiones interesantes como -- que el plicarbonato, polimero muy duro "a prueba de balas" tiene un muy alto coeficiente de dilatación térmica.

Los vidrios acrílicos son más baratos que el policarbonato pero resisten menos a la abrasión.

Las resinas de silicones, empleados como principal en-capsulante, tienen dureza que puede controlarse, y aumenta 'con el paso del tiempo, y es permeable a la humedad.

El vidrio tiene buena resistencia a la abrasión, se deben tomar precauciones respecto a la adherencia al ensamblarlo es más frágil que los polimeros y al contrario que los polimeros no absorbe los rayos infrarrojos.

El Tedlar (ya descritas sus características) protege - eficazmente contra la humedad, por lo que se usa en forma de - película de 4 milésimas de espesor en la parte posterior del - módulo. A continuación se adhiere una capa de Maillard por su estabilidad térmica.

Spectrolab reportó entre 1975 y 1976 degradaciones del 2% provocadas por la nieve sobre el plástico Lexan, y los módulos de Solar Power durante una temporada se pandeaban, cuando

empleaban Policarbonato, resina de silicón y Fiberglas, porque el coeficiente de dilatación del último es menos al de los otros componentes .

Solarex tuvo problemas también con el granizo.

En el silastic-250 empleado por Dow Corning no se registró ningún cambio visible después de 20,000 horas de exposición en Florida.

En San Diego se han efectuado durante más de un año de experimentos con diferentes materiales en condiciones de ambiente marino, y se ha descubierto que el plexiglass, el poliu retano y las resinas acrílicas no resultaban afectadas negativamente, mientras que el Lexan se opacaba y el Kapton no sólo se opacaba sino que perdía sus propiedades mecánicas.

El Silicon XR-63-489 de Dow Corning no mostró signos de degradación mientras que otros tipos de silicones (algunos de la misma industria) reaccionaban químicamente con las fotoceldas y sufrían desfoliación.

De acuerdo a Tideland, el material encapsulante mejor es el cristal Pyrex que proporciona larga vida. Su experiencia desde 1976 indicaba que Tedlar, Butezatos de Polivinil, acetilos, acrílicos, acrilatos, son susceptibles a la penetración de la humedad.

ASEC ha logrado una buena combinación mediante vidrio, PVB en la parte superior y en la inferior PVC y Millard.

El vidrio sobre celdas de Cds/CU2S) probados por SAT/CNES/Universidad de París durante un año no reportaron problemas.

El vidrio empleado hace 24 años en la BPXA de Philips no ha reportado problemas (Chile).

Sin embargo el empleado en el módulo BPXB por 11 años en Africa con mezcla de epóxido sufrió rupturas del vidrio pero no degradación eléctrica.

Otros muchos reportes se han conseguido recientemente, que no deben ser publicados pero dan una idea a los fabricantes de lo que deben hacer para corregir sus defectos (interesante la retroalimentación que existe en los EEUU entre los centros gubernamentales contratados por DOE, y la industria privada).

Entre las pruebas de laboratorio a las que son sometidas todo tipo de módulos fotovoltaicos sin excepción se pueden citar los siguientes:

1. Prueba de presión de carga. Consiste en ejercer una presión sobre el módulo de 50 libras por pie cuadrado tanto en la parte anterior del módulo, como posteriores, 100 veces (un minuto por cada vez) (III A.3.C.).

2. Prueba de humedad: De + 23°C a + 40°C con 90% de humedad relativa, 5 ciclos (MIL-STD 810C, Método 507.1, Procedimiento 5).

Los ciclos son durante 5 días (uno por día después de 2 días de acondicionamiento (ver gráfica).

3. Prueba de Temperatura: De 90°C a 40°C, 50 ciclos, - con duración de 4 horas por ciclo (III A.3.a y b).

4. Rendimiento eléctrico: Medición de las características eléctricas (después de pasar las pruebas anteriores) mediante un simulador de Zenon denominado "Large Area Pulsed Solar Simulator (LAPSS) a 28°C, según estándar norteamericano y a 25°C según el europeo en condiciones AML. Existen coeficientes de corrección LAPSS para compensar a otras temperaturas ambiente.

El rayo de luz viaja a través de una habitación que -- tiene 3.3 m. de altura 5.2 m. de ancho por 13 m. de longitud -- e incide en una pantalla de 2.4x2.4 m. sobre la cual se fijó -- el módulo verticalmente (II A.1.2).

5. Prueba de impacto: Se coloca el módulo con la parte anterior hacia abajo (en forma horizontal, a un metro de altura con respecto a un cañón, el cual le dispara una bala de una pulgada de diámetro a 90 millar/hr. El módulo debe soportar el impacto sin romperse.

6. Corrosión: Espreado de solución al 5% de CLNA por -- 100 hrs. Después de ver las pruebas tan severas es fácil comprender cómo los modelos que no pasan control de calidad en su país, son vendidos a otros países donde no existen controles -- aún, como es nuestro caso.

Finalmente mencionaremos que de 14 instalaciones foto-

voltáicas sometidas a pruebas en los EEUU por el Jet Propulsion Lab., que comprenden 14, 089 módulos de diferentes fabricantes (capacidad instalada 301.6 kw) evaluados durante 5.4 años sólo el 3.3% fallaron por rotura de celdas, deslaminación e interconexiones fracturadas.

ISPRA de Italia es el organismo al que se le ha dado el contrato para normar a nivel mundial todos los aspectos referentes a control de calidad.

III.10 OBJETIVO: SILICIO AMORFO

Por un sólido amorfo se entiende un sólido no cristalino, o sea que sus átomos no se encuentran localizados en redes periódicas.

Un ejemplo es el vidrio llamando alternativamente y con suma imprecisión científica "cristal".

Sabemos que mientras más densidad de estados de defectos estructurales (presencia de impurezas, dislocaciones y demás defectos estructurales) exista, menor es la eficiencia de conversión, ya que estos estados pueden atrapar a los portadores que pueden producir corriente eléctrica.

Por eso los materiales policristalinos requieren de alta pureza.

El silicio amorfo tiene una alta densidad de estados, lo que lo ha hecho prácticamente inutilizable para uso fotovoltaico, pero las más recientes investigaciones no sólo lo han hecho utilizable sino que resulta mucho más barato y en breve podremos disponer de él comercialmente.

La física del estado sólido se desarrolló en grande -

en la década de los 1930's sobre materiales cristalinos porque es más fácil resolver ecuaciones en presencia de simetrías. Si guieron los '40 sin mayor trascendencia, y en los '50 y los -- '60 hubo importante sobre el silicio monocristalino, que dig-- ron como resultado la industria electrónica de hoy; casi todos los dispositivos electrónicos son hechos de silicio monocristalino de su pureza.

En 1969 se descubrió que incorporando átomos de hidrógeno al Silicio amorfo a través de una atmósfera de silano -- (SiH₄) a 1 Torr de presión, se disimula considerablemente la - densidad de estados de defectos estructurales, con lo que se - fabricaron las primeras fotoceldas solares con esta estructura, delgadas de 1 micra de espesor.

En 1974 RCA de los EEUU y en 1975 la Universidad de -- Dundee en Escocia declaran las siguientes ventajas:

- Puede depositarse en grandes áreas.
- El proceso de deposición es a baja temperatura (300°C Kg. no hay gasto energético elevado).
- No se requiere de extrema pureza, el material resul- tante es muy impuro.
- Pueden agregarse impurezas con facilidad mezclando - gases (PH₃ para material tipo N y B₂ H₆ para el tipo P) al silano (fosfina y diborano).
- Su coeficiente de absorción de luz es 10 veces mayor que el cristalino, por lo tanto una película de 1 mi cra basta para absorber el espectro solar.
- La máxima eficiencia de conversión es de 20% aprox- imadamente cercana a la de los materiales policrista-

- El costo de deposición es de \$20 US DLLS/M² aproximadamente comparado con el cristalino (500 US DLLS/M²).
- El proceso es fácilmente aplicable a la producción masiva.
- Los sustratos son de bajo costo (acero o vidrio).

En 1978 se hizo un reconocimiento a Neville, Mott y a Philip N Anderson, otorgándoles la Academia de Ciencias el Premio Nobel de Física por sus estudios sobre materiales amorfos.

Ese mismo año, Stanley Ovshinsky (biólogo que partió en sus investigaciones estudiando el cerebro humano, básicamente de estructura amorfa) contaminó el silicio amorfo con Fluor Sify cobrando excelentes resultados (5 a 7.1% de eficiencia).

De acuerdo con su evaluación el decremento de la eficiencia en 3 años es del 10% y su vida útil se predice en 5 años aunque es posible que ya sea mayor.

En los últimos 7 años los avances han sido más que sorprendentes; el DOE propuso como meta fabricar celdas de más de 1 cm² de área con 5% de eficiencia para fines de 1980 y con 7% para fines de 1982, comprendiendo procesos que puedan escalarse para producir celdas de 50 cm² con 5 a 7% de eficiencia en 1983.

Véamos los resultados: a principios de 1980 se han logrado celdas con 5.5% y 1.2 cm² incluso con 3.5% en áreas de 50 cm².

Sanyo Electric fabrica desde fines de 1981 celdas de Silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) desde 1 cm² a 10 cm² con eficiencia de 7.9% y la Energy Conversion Devices (S. Ovshinsky)

ky) en 1982 logró elaborar una celda de silicio amorfo fluorinado (a Si:H:F) a partir de los gases SiH_4 y SiF_4 en laboratorio con 8.2% de eficiencia.

Esta compañía se asoció recientemente a la Standard -- Oil de Ohio para producir masivamente celdas de 1.000 cm^2 con 7% de eficiencia. Su capacidad es de 200 Mwp/año) y los pre -- cios en 1983 se estimaron entre \$1.25 y 1.5 US DLLS/WP.

Está en terminación el proyecto que competirá ferozmente con el ambicioso Sunshine el cual ha logrado ya eficiencias de 8.4% en su versión hidrogenada en la Universidad de Osaka, bajo la dirección de Y, Hamakawa.

Brevemente se podría decir que para fabricar una foto-celda de silicio amorfo son requisito las siguientes etapas:

1. Preparación de la superficie de la lámina de acero (substrato generalmente utilizado por su resisten cia).
2. Deposición del silicio amorfo.
3. Deposición del óxido de Indio (antirreflejante)'
4. Evaporación del contacto frontal.
5. Modelo de contacto frontal.
6. Metalización en la cara posterior.
7. Prueba eléctrica de la celda.
8. Interconexión.
9. Encapsulación.

ky) en 1982 logró elaborar una celda de silicio amorfo fluorinado (a Si:H:F) a partir de los gases SiH₄ y SiF₄) en laboratorio con 8.2% de eficiencia.

Esta compañía se asoció recientemente a la Standard -- Oil de Ohio para producir masivamente celdas de 1.000 cm² con 7% de eficiencia. Su capacidad es de 200 Mwp/año) y los precios en 1983 se estimaron entre \$1.25 y 1.5 US DLLS/WP.

Está en terminación el proyecto que competirá ferozmente con el ambicioso Sunshine el cual ha logrado ya eficiencias de 8.4% en su versión hidrogenada en la Universidad de Osaka, bajo la dirección de Y, Hamakawa.

Brevemente se podría decir que para fabricar una fotocelda de silicio amorfo son requisito las siguientes etapas:

1. Preparación de la superficie de la lámina de acero (substrato generalmente utilizado por su resistencia).
2. Deposición del silicio amorfo.
3. Deposición del óxido de Indio (antirreflejante)'
4. Evaporación del contacto frontal.
5. Modelo de contacto frontal.
6. Metalización en la cara posterior.
7. Prueba eléctrica de la celda.
8. Interconexión.
9. Encapsulación.

10. Pruebas de módulo.

También se pueden formar listones o películas por procedimientos similares a los descritos en el caso del silicio - poli y semicristalino, con velocidades de 3 cm/min (recordemos que en el caso del crecimiento por el proceso Schotky la velocidad es de aproximadamente 10 cm/hr.).

Este revolucionario proceso elimina por completo las pérdidas de material por cortes (en el caso del monocristal -- eran del 40 al 60% y con los métodos más recientes del 3-4).

Si el título de este inciso parece extraño, la verdad es que esperemos que para 1986 el amorfo compita en precios -- con la energía eléctrica convencional (en los medios suburbanos y urbanos!

Pensamos que no falta mucho para que las películas de silicio amorfo se vendan por m^2 en cualquier ferretería o casa de equipos eléctricos y los instale el mismo usuario en los techados de sus casas.

Por lo pronto hay que mejorar las condiciones de encapsulación para dar mayor resistencia al módulo, y optimizar las condiciones de los sustratos.

III.11 CONCENTRACION

En un esfuerzo paralelo por abatir costos y reducir áreas de captación solar surgió recientemente la tecnología de la concentración.

Los dispositivos que concentran la energía solar son muchos: para boloides de revolución, cilindro parabólicos, lentes fensel, helióstatos y micas fluorinadas. De ellos sólo al-

gunos son aplicables a las fotoceldas solares, y sólo de unos cuantos se tienen resultados en la práctica.

Como curioso antecedente histórico Arquímedes incendió toda una flota reflejando la energía solar por medio de espejos.

Numerosos experimentos se han llevado a cabo con el correr del tiempo, y han quedado en los anales de la historia como artefactos geniales que no han encontrado acomodo más que en los museos.

En el año de 1871 el químico francés Lavoisier observó con detenimiento el faro de Burdeos, Francia, que funcionaba a base de leña. Diseñó unos reflectores parabólicos y substituyó la leña por lámparas de aceite. Treinta años después habría de interesarse en este faro el óptico Agustín Fresnel quien diseñó un aparejo de lentes concéntricas y los instaló en lugar de los reflectores. Con estos lentes condensó un haz luminoso que se veía a más de 20 millas del faro bordalés.

Hoy un lente fresnel es construido a base de silicón y vidrio, como los que emplea el Politécnico de Madrid, con eficiencias de 75 a 80%.

Son tan baratos que cuestan alrededor de \$6 US DLLS cada uno (en los EEUU).

Este es un tipo (quizá el más empleado) de concentración sobre fotoceldas que tiene gran futuro pensando en centrales de potencia, en el que investigan los EEUU, URSS, Italia, Arabia y España principalmente.

Llamaremos "un sol" al valor de la insolación estándar (1 Kw/m^2) en las condiciones que dicta la norma. A partir de -

ahf "n soles" representará el factor de concentración de $n \text{ Kw/m}^2$).

La concentración se clasifica en:

- Baja. De 2 a 10 soles.
- Media. De 11 a 100 soles.
- Alta. De 101 a 2000 o más soles.

Es muy importante en la concentración el hecho de que las fotoceldas sólo aprovechan la energía solar directa, no la difusa, por lo que se deja de aprovechar entre un 20 y un 30%, a diferencia de los captadores no concentrados. Por eso, cuando el factor de concentración (fc) es menor a 5 las estructuras pueden ser fijas de ahf a un $F_c = 50$ se requiere movimiento lineal en un eje (generalmente un sistema seguidor tipo reloj) y de ahf en adelante se recomienda movimiento en 2 ejes - y enfoque puntual (reloj y dispositivo fotosensor).

Hasta 1975 la URSS tuvo la mayor experiencia en aparatos de concentración. Las aplicaciones prácticas en la URSS incluyen una unidad de 30 watts con un factor de concentración de 2 y sin seguimiento, empleada para regar en la estepa de Kirghiz; una bomba de agua de 400 watts un factor de concentración de 10 con sistema "tracking" administrado 2.5 m^3 de agua por hora desde una profundidad de 12 m. y una unidad de 50 watts con $F_c=1000$, denominado "Photovolt", que emplea un tipo de foceldas especial de silicio de multiempalme vertical.

Ahora que mencionamos esto, las fotoceldas de silicio convencionales pueden soportar hasta 100 soles, pero deben ser adaptadas para recolectar las altas corrientes que se producen. Tan solo es necesario aumentar la superficie de metal o contacto superior, y para ello existen varios diseños. Se emplea con mucho éxito el diseño radial concéntrico) monocristalina ASEC

que permite hasta 70 soles en su diseño original del sol, por ejemplo).

Para factores de concentración mayores, donde las celdas están sometidas a 100 ó 200°C las convencionales ya no resultan apropiadas. Las de tipo "Photovolt" pueden trabajar -- "más frías".

Sin embargo, cuando hablamos de medianas o altas concentraciones los sistemas disponen de un refrigerante (agua) - que circulan por parte inferior de las celdas (con un material alto conductor térmico de por medio) y absorbe el excedente -- de calor, de tal suerte que de la energía solar incidente se - aprovecharía un 50% en forma térmica y cuando menos un 10% en eléctrica (promedios).

El Jet Propulsion Lab. (JPL) informa que no conviene - la concentración en celdas de silicio amorfo con eficiencias - menores al 15%, por costo.

Industriales especializados como Acurex y Martín Ma -- rietta en pruebas efectuadas en Albuquerque, NM han confirma -- do que los sistemas de concentración pueden alcanzar 20 ó 30 - años de vida útil. Martín Marietta ha instalado un potente ge -- nerador en Arabia Saudita recientemente, bajo el nombre de --- "Proyecto Soleras", de 350 kw pico.

También se ha observado que la energía térmica que se puede extraer representa aproximadamente 1/3 del valor que se - obtiene de eléctrica.

Varian Associates diseñó un concentrador de 453 soles - usando lentes Fresnel (como en el caso de Soleras), desarrolla -- dos por Varian y Optical Sciences group (oSG), empleando cel -- das de Algaas con una eficiencia óptica de 86% a 400 soles.

Otros diseñadores en los EEUU son: E Systems, General Electric, RCA Solar Kynetics (SKI), Spectrolab y Suntrac.

En Italia la firma Ansaldo, y en España el Tecnológico de Madrid (ITM).

Un prototipo desarrollado por la ITM de mediana concentración emplea 23 m^2 de celdas de silicio, con una potencia en condiciones óptimas de 2 kw-pico y lentes Fresnel a base de silicio y vidrio, y rastreador de 2 ejes.

Los silicones se adhieren mal en la mayor parte de los materiales, no obstante la adherencia al vidrio cuando este ha sido tratado adecuadamente es perfecta y han encontrado excelente unión tras 200 ciclos térmicos entre los 22 y los 100°C. La adherencia empeoró cuando se hicieron 30 pruebas entre 0 y 150°C.

Este sistema de concentración tuvo un coste aproximado de \$490 US DLLS/ m^2 , o sea prorrateando todos los costos, el total fué de \$11,270 US DLLS.

El coste por watt-pico resultó de \$5.64 US DLLS (un metro cuadrado produce 86.9 watts-pico).

Se observa que el costo por watt-pico es altamente competitivo con los sistemas de no concentración (aunque cada proyecto es un prototipo en sí por tantas variantes que entran en juego y para comparar dos alternativas diferentes habría que hacerlo bajo las mismas suposiciones.

La distribución del coste total se presentó de la siguiente manera:

| <u>Concepto</u> | <u>Coste</u> |
|---------------------|--------------|
| Estructura | 11.1 |
| Mecanismos | 28.83 |
| Optica | 6.65 |
| Sensor de punterfa | 1.77 |
| Vigas refrigerantes | 13.31 |
| Fotoceldas | 38.34 |

Existe un coste de operación mantenimiento no declarado, pero se estima que es mínimo si las vidas útiles pasan de los 20 años y las partes que pueden sufrir degradación son tan sólo el sensor de punterfa y el motor eléctrico del mecanismo de rastreo. La vida útil de la óptica se estima en 7 años.

El factor de desajuste lineal permisible es de lo. grado.

Una firma norteamericana ha diseñado una estructura que soporta 10 Kw pico en módulos fotovoltaicos, no utiliza concentración pero si un sistema de rastreo del tipo reloj. El desajuste permisible es de 15 grados, lo que significa que el sistema de rastreo no es muy sofisticado: basta tan sólo desplazar 15° cada hora.

Este sistema podría competir con el anterior, dado que el precio del watt-pico en este caso fué anunciado en \$ 4 US - DLLS/Wp, y tiene menos componentes.

Ante un caso así, el criterio del diseñador es fundamento, como veremos en el inciso 4 del cuarto capítulo.

En lo referente a las metas del DOE, en 1978 se fijó el del arreglo en \$2,000 US DLLS/Kw pico (empleando silicio).

Para 1980 superar la eficiencia de 18% para el silicio

monocristalino (ya se ha alcanzado 15.7% a 100 soles), y 25% con otros materiales (se han logrado 21 y 24% en GaAs a 500 y 1000 soles respectivamente) con un coste de \$860 a \$1780 Us -- DLLS/m². (La compañía norteamericana Martin Marietta ya ofrece configuraciones a un precio promedio de \$1,450 US DLLS/m² (más de tres veces superior a la meta de 1982).

Para 1982 se debían producir a nivel industrial de 5 a 10 MW pico/año un precio de \$3605 US DLLS/m² (asumiendo dólares de 1980 eficiencias promedio de 11%).

Para 1984 la consigna es reducir el precio del arreglo a \$500 US DLLS/kw pico. Para 1986 llegar a un precio de \$1605 US DLLS/m² (en DLLS de 1980, con eficiencias promedio de 16%), y finalmente entre 1990 y el año 2000 ofrecer las configuraciones a \$150 US DLLS el m² (DLLS de 1980) con eficiencias de 20% promedio.

III.12 INDUSTRIA MUNDIAL

En 1981, existían aproximadamente 80 fábricas de fotoceldas solares módulos, sistemas de concentración, dos plantas de producción de silicio en grado metalúrgico y 3 en grado electrónico.

Del mercado mundial correspondió el 70% a los EEUU, el 20% a la RFA, un 5% a Japón y el 5% restante entre Francia, Italia y otros países.

En 1984 ha habido pocos cambios, salvo que Japón está abriendo cada vez más mercado.

Estas estadísticas corresponden al mundo occidental, ignorándose la capacidad de producción de la URSS, que desde luego produce principalmente para su consumo interno y para --

los países socialistas, pero sobre todo para la industria espacial.

Es curioso que las compañías petroleras más fuertes -- del mundo son las que dan el apoyo más decidido en cuestión de investigación y formación de industria fotovoltaica como lo es en los casos de la ARCO (Atlantic Richfield Co) la Exxon Texaco Chevron en los EEUU, la Shell en Francia y al parecer la Agip en Italia.

Catorce de las industrias norteamericanas poseen la mayor parte del mercado.

En los EEUU, la evolución de precios ha permitido reducciones de precios hasta en un 30% de promedio anual de 1977 a 1980 y de 1980 a 81 un 20%.

Si la meta de producción del DOE para 1980 fué de 2 Mwp, se produjeron 3.2 Mwp, y en 1981, 5 Mwp.

Por otro lado algunas compañías fuertes como la Solarex (Exxon) ha otorgado licencias en Europa para la fabricación de fotoceldas a: Holecsol (Holanda), France Photon (Francia), Photonetics Inc. (Suiza) y la Solaris/Ente Nazionale Idrocarburi* (Italia). Esta última fabrica silicio policristalino e Interse mix de Suiza elaborará los lingotes y obleas para abastecer a fábricas europeas.

La firma ASEC tiene subsidiaria en la G.B.

La meta en Europa es producir en suma 40 Mwp/año.

CAPITULO IV

SISTEMAS INTEGRALES

IV.1 CONCEPTO DE SISTEMA

Por sistema entendemos un "conjunto de cosas que, ordenadamente relacionadas entre sí, contribuyen a determinado objetivo".

Sistema fotovoltaico es por lo tanto el conjunto de -- elementos que suministran energía a una carga, que le dan la -- seguridad de funcionamiento continuo y la autosuficiencia por -- tiempos de vida muy prolongados.

Quizá el primer argumento en contra de aprovechar al -- Sol, es que sólo disponemos de él unas cuantas horas al día, y ¿qué pasa en las noches?, ¿no pueden operar las cargas? Sa -- bemos que los módulos fotovoltaicos generan electricidad en co -- rriente directa sólo cuando están expuestos al Sol, pero no -- tienen facultad para retener la energía, por lo tanto se requie -- re de acumuladores de tipo secundario, o recargables para tal -- fin.

Dependiendo del tipo de aplicación se selecciona el ti -- po de acumulador más adecuado y se dimensiona el banco de re -- serva.

Nos encontramos con otro problema a continuación: cuan -- do la carga es un motor eléctrico de inducción, este requiere -- en su arranque 2 ó 3 veces la corriente de consumo, y aunque --

la entrega de potencia depende del voltaje (estos motores permiten variación de voltaje) no es deseable tener constantes variaciones en la entrega de potencia, por lo que montamos un banco de reserva entre el generador fotovoltaico y el motor. De esta manera el motor puede tomar del banco los altos valores de corriente para su arranque, y regular su voltaje de operación.

Las baterías también necesitan ser protegidas contra exceso de carga o sobredescargas profundas, mediante reguladores de voltaje.

Otros elementos muy importantes, aunque diminutos, son los diodos de bloqueo, que evitan que en las noches exista una "regresión" de corriente de las baterías al generador fotovoltaico.

En ocasiones las cargas requieren de corriente alterna, por lo que será suficiente un convertidor de corriente de CD/CA, incluso puede pensarse en un CD/CD para modificar los voltajes de operación de las cargas.

Como medida de protección contra sobredescargas de los acumuladores, sobre todo si se trata de sistemas muy complejos como por ejemplo los que integran una villa solar autosuficiente, se instalan dispositivos que desconectan progresivamente las cargas por prioridades.

Finalmente existen sistemas tan sencillos que no requieren acumulación de energía mediante acumuladores, como son los sistemas de bombeo de agua. En estos casos la energía se almacena en forma de "energía potencial", en tanques elevados.

En los próximos incisos se describirán con más detalle los elementos que constituyen a los sistemas, haciendo hincapié -

pié en que cada sistema y cada tipo de sistema tiene sus características muy particulares, y sólo bajo algunos criterios especiales se pueden estandarizar. Estos criterios serán tratados en el inciso 7 del capítulo IV.

IV.2 RESERVA DE ENERGIA

Los acumuladores más empleados en los sistemas solares fotovoltaicos son los llamados de tipo secundario o recarga --bles.

Para comprender ésto analizamos uno del tipo primario, o no recargable: el de carbón-cinc (tipo leclanché).

También llamado batería de cinc-aire, es ampliamente usado por ser muy barato. Le construyen en unidades desde --0.3Wh hasta más de 70Kwh, y son útiles para pequeñas velocidades de descarga y un tiempo de vida de unos dos años.

Una unidad de 70Kwh potenciaría un receptor de T.V., consumiendo 40W durante un año, 40 horas da a la semana.

En 1974 esto costaba cerca de 800 dólares, el peso es --2 toneladas y el volumen de 0.5 metros cúbicos. El coste de mantenimiento es insignificante, pero se necesita una reposición prácticamente al año o a los dos máximo, por lo que existen costes altos de substitución y de transporte.

Otros acumuladores de tipo primario han sido empleados en los proyectos espaciales principalmente, a base de Mercurio (excelente alta temperatura de operación), los alcalinos de --magnesio con igual características, los de litio con densidad-- más alta.

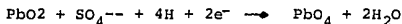
Ahora analizamos uno de tipo secundario: el de Plomo - ácido - Pb/PbO_2 .

Compuesto por una serie de láminas positivas de bióxido de plomo y una serie de placas negativas de plomo metálico.

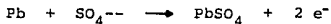
Las sustancias se depositan sobre un enrejado de plomo metálico y son altamente porosas, de modo que el electrolito puede ponerse en contacto con las placas en una gran superficie. La separación se mantiene utilizando madera tratada especialmente o fibra de vidrio.

El electrolito es ácido sulfurico de densidad 1.31 a $-25^{\circ}C$. La f.e.m. (fuerza electromotriz) es de 2.1 V por acumulador.

Cuando el acumulador funciona tiene lugar reacciones - en las placas; en la placa positiva, el plomo se reduce pasando de tetravalente a divalente en virtud de la reacción:



Dado que el sulfato de plomo es poco soluble, se adhiere a la placa cuando se forma. En la placa negativa, los iones sulfato son neutralizados por la reacción:



El sulfato se adhiere de nuevo a la placa. Cuando la batería se ha descargado, ambas láminas se han convertido casi completamente en sulfato de plomo. La pérdida de iones sulfato del electrolito hace que la densidad descienda, de modo que el estado de descarga llega a 1.16. En estas condiciones en - circuito abierto; la f.e.m. es de 1.75 por acumulador.

A bajas temperaturas la f.e.m. de la batería de acumuladores (o pares de placas) de plomo con circuito abierto desciende algo, como sucede con otras reacciones electroquímicas. Sin embargo, el efecto más importante es la disminución de la movilidad de los iones a bajas temperaturas, lo cual se traduce en un aumento de la resistencia interna. Así, la diferen-cia de potencial entre los bornes desciende de un modo anormal cuando pasa la corriente.

Como resultado de los efectos combinados de las bajas-temperaturas, la capacidad de arranque de una batería de acumuladores de automóvil es a 0°C, de aproximadamente un 40% de su valor a 80°C.

A temperatura de funcionamiento, el fotovoltaje, o voltaje entregado por los módulos fotovoltáicos en el máximo punto de potencia debe ser igual al voltaje de recargado de la batería.

Cuando se están cargando las baterías de plomo, se incrementa progresivamente su voltaje, elevándose cada acumulador (par de placas) de 2.1V. a 2.4 cuando está totalmente recargado. Consecuentemente, el panel o módulo fotovoltáico se debe ensamblar de forma que su máximo punto de potencia se apoye en 2.1V y su voltaje de circuito abierto en cerca de 2.4V., ambos multiplicados por el número de placas de la batería.

Puesto que el voltaje de funcionamiento se fija por el voltaje de la batería, este se incrementa durante el ciclo de carga. Sin embargo subida del voltaje viene acompañada de un descenso en la producción de corriente.

Aún reduciendo la intensidad de la luz, el módulo foto voltáico mantiene el voltaje necesario para recargar una batería. Como la dependencia del fotovoltaje a la intensidad es -

logarítmica, el voltaje de circuito abierto "Voc" no disminuye más de un 5 a un 10%, cuando la intensidad de la luz desciende un 80%.

Simulaciones en computadora dicen que un 2% apenas de la energía solar generada se disipa en el proceso de carga.

La capacidad de la batería está expresada en la cantidad de descarga de corriente en función del tiempo y de la temperatura. Se recomiendan lugares frescos para obtener los mejores rendimientos, siendo las temperaturas óptimas de aproximadamente 15°C. Las baterías pueden trabajar en el rango de los 45°C a los - 10°C.

Dado que en un automóvil la batería se encuentra junto al motor, en la mayor parte de los casos, el excesivo calor - por ese lado, y por el otro las continuas descargas profundas - provocadas por el motor de arranque, limitan la vida de este tipo de baterías a 1 ó 2 años; sin embargo los sistemas solares fotovoltaicos operan con descargas y cargas lentas, y las baterías nunca están expuestas al calor. Más aún, se protegen contra sobredescargas, evitando la sulfatación excesiva de las placas. Con ello se obtienen vidas útiles de 6 años y más. - Nos ha sorprendido que en algunas instalaciones de telecomunicaciones se han logrado hasta 1,750 ciclos de carga y descarga en 15 años de vida útil, o sea un promedio de un ciclo por cada 3 días, lo que representa someter a las baterías a un duro esfuerzo.

Una de las ventajas de la batería de Plomo-ácido es - que está disponible en el mercado a precios realmente accesibles.

Bajo condiciones favorables, es decir, protegidas por un regulador de voltaje para evitar por un lado la electrólisis

y la sobrepresión en las sobrecargas, y por otro lado la excesiva sulfatación que podría poner en corto circuito las placas en una sobredescarga, están virtualmente libres de mantenimiento, sólo se necesita llenar el electrolito (agua destilada) - una vez al año, o incluso cada dos años.

Como mencione anteriormente, la capacidad nominal de la batería, dicho en otras palabras, la energía que podamos extraer, se expone por un determinado "coeficiente de descarga". Si en la práctica el coeficiente de descarga es más bajo que lo especificado por el fabricante, extraeremos una mayor fracción de la capacidad de la batería. Por ejemplo, si encontramos un ciclo de descarga de 100 horas en vez del coeficiente nominal de 10 horas, la energía extraída se incrementa por encima de un factor dos.

Los rendimientos usuales son de aproximadamente 80%, - aunque algunos estudios dicen que si de un 72% se ha alcanzado el valor anterior por un gran número de fabricantes.

Las baterías de tracción corrientes, que tienen una autodescarga mensual próxima al 20-30%, utilizan una aleación de plomo-antimonio. Pero hay baterías que usan plomo muy puro, con un coeficiente de autodescarga muy bajo, del 3% por mes - (por ejemplo las Hidra, CIPEL). Con baterías de tan poca pérdida es factible modificar los criterios de dimensionamiento de los sistemas fotovoltaicos, reduciendo superficie de captación solar, aumentando el banco de reserva en casos de tener varios meses consecutivos sin, o con poco sol.

CARACTERISTICAS DE LA BATERIA Pb/PbO₂

| | META | ESTADO ACTUAL |
|-------------------------------|-------------|---------------|
| Costo en dólares del 1978/kwh | 20 | 50 |
| Ciclos de vida útil | más de 2000 | 1750 |
| Años de vida útil (promedio) | más de 10 | 8 |
| Eficiencia | 90 | 80 (72 a 88) |
| Tiempo de carga en h. | 4 - 7 | 6 - 8 |
| Tiempo de descarga en h. | 3 - 10 | 5 - 10 |

Otro tipo de batería empleado en los sistemas fotovoltaicos, también de tipo secundario, es la de Niquel Hierro.

Denominado también "acumulador Edison", con placas positivas formadas por hidrato y Niquel en polvo comprimidos en los intersticios de armazones de niquel puro. Las negativas se componen de óxido de Hierro y Mercurio, colocadas en placas de acero dulce. Se emplean láminas de caucho como separadores y el electrólito es a base de potasa cáustica en disolución.

Presenta la ventaja de poder llegar a descargarse por completo sin riesgo de deterioro y resistir así por tiempo indefinido.

La desventaja es su alto costo, pero se espera en breve que sea competitiva, ya que su vida útil es de unos 20 años.

Un tercer tipo en el cual se piensa para estos tipos de aplicaciones es el de niquel-cadmio (Ni-Cd), el cual resulta así mismo algo caro en la actualidad (10 veces más que el de plomo-ácido, con unos 8000 ciclos de carga descarga en 8 años de vida útil, aunque algunas como las Nife Junger se dice que pueden durar cerca de los 20 años. Algo así con las Exide.

Este tipo de batería ha sido empleado a nivel espacial

por varias razones, entre ellas su gran capacidad de sobrecargas profundas sin peligro de daño en las placas o acumuladores, por su alta confiabilidad, un amplio espectro de temperatura de operación y mínimo mantenimiento. Tiene una capacidad de autodescarga de 3% mensual.

En los EEUU se desarrollan más de 20 tipos de baterías avanzadas, siendo las de disponibilidad a corto plazo (1985) - las que reciben el mayor apoyo del DOE y del SERI: Plomo-ácido sodio-azufre, litio-sulfurometálico y cinc-cloro. Otros tipos son sodio-cloro con un costo proyectado de \$20 Us Dlls./Kw, con 9% de eficiencia y temperatura de operación hasta los -- 200°C.

Plata-cadmio y Placa-cinc, empleadas en el programa espacial.

Existe un centro de pruebas de baterías y equipos de acondicionamiento de potencia en donde se instalan bancos de baterías con una capacidad de 1 Mwe. durante 5 horas de funcionamiento.

En 1980 y 1981 se contaba con las de Pb/PbO_2 y Zn/Cl_2 , y en 1984 se incorporan las de Na/S (Sódio Azufre) y Li/FeS_2 - (Litio-Sulfuro de Hierro).

El cuadro que se presenta a continuación contiene los tipos de baterías que son de interés hoy en día para aplicaciones terrestres.

| TIPO DE BATERIA | PLOMO | NIQUEL/ CADMIO | NIQUEL/ HIERRO | PLATA/ CINC | CINC/ AIRE | LITIO/ CLORATO DE PLATA | LITIO/ AZUFRE | SODIO/ AZUFRE |
|--|---|--------------------|-------------------|----------------|-------------------------|---|--|-------------------------|
| Disponibilidad y conveniencia para aplicaciones a gran escala | Disponible | | Demasiado caro | | | En desarrollo ¿Disponible en 7 años? | En desarrollo ¿Disponible en 15 años? | |
| Densidad de energía | | | | | | | | |
| Teórico Wh/kg | 250 | 235 | 300 | 460 | 960 | 500 | 2800 | |
| Conseguido Wh/kg | 33 | 25-33 | 15-25 | 55-110 | 220 | 55-200 | 100-120 | 300 |
| kW/m ³ | 60 | 43-60 | 43-60 | 100-210 | | 90-140 | | |
| Vida en funcionamiento | 3 años de funciona- miento en autos. Telecomu- nicaciones 15 años | 4-8 años | 20 años | 1-2 años | | | | |
| Número de ciclos de carga y descarga du- rante el tiempo de funcionamiento. | 1500 | 2000- 8000 | 2000 | 10-200 | Conseguido 100 | Conseguido 200 | Conseguido 60 | Conseguido 100 |
| Temperatura de funcio- namiento/°C | -40/ +60 | -40/ +60 | -25/ +45 | -20/ +60 | -20/ +65 | / +75 | Mínimo +440 | Mínimo +300 |
| Costo típico | 50 dólares kWh | 500 dólares kWh | | | Objetivo 20 dól./kWh | Objetivo 20 dól./kWh | Objetivo 20 dól./kWh | Objetivo 20 dól./kWh |

Para los casos específicos de bombeo de agua y riego, la energía puede ser almacenada en forma potencial, prescindiendo de las baterías.

Por definición, la energía potencial (E.P.) de un cuerpo es la capacidad que posee de realizar un trabajo por efecto del estado o posición en que se encuentra.

La energía potencial de una masa "m" situada a una altura "h" es, siendo "g" la aceleración de la gravedad;

$$EP = mgh = wh$$

ya que $w = mg$, siendo w el peso.

En este tipo de aplicaciones, los grupos moto-bombas trabajan sólo cuando hay sol, y la reserva de agua en los tanques elevados está en función de los criterios tomados en base a los índices promedio y máximo absolutos de días consecutivos nublados y parcialmente nublados, así como al consumo de agua y al % de incremento de agua proyectado a futuro.

IV.3 APLICACIONES

4 de Octubre de 1957: fecha memorable en la historia universal por tratarse del lanzamiento del 1er. satélite artificial. El Sputnik 1 de la URSS representa 184 libras de tecnología más avanzada hasta entonces, y entre los dispositivos de vanguardia están presentes las fotoceldas solares de silicio.

En respuesta inmediata, los EEUU lanzan en Enero de -- 1958 el Vanguard 1, satélite geodésico de 3.25 libras de peso, que permaneció en órbita hasta 1964, dotado de fotoceldas solares de silicio.

Para darnos una idea de costos fotovoltáicos, el watt-en el Vanguard 1, y en el Explorer 1, lanzado también en 1958-fue de \$ 2,000.00 Us Dlls., con eficiencias entre el 10 y 12%.

En 1959, el British National Committee for Space Research (BNCSR), en cooperación con la "NASA's Goodart Space Flight Center" ponen en marcha un proyecto de 3 satélites de los cuales el UK-1 es el 1o.

El Proyecto Tiros (Television and Infra-red Observation Satellite) es puesto en operación el 1 de Abril de 1960, con 290 libras de peso, acumuladores de Niquel-cadmio, 9000 fotoceldas solares y dos cámaras de T.V. de 35 mm.

En 1962 se lanza desde Point Arguello el "Alouette 1", canadiense y el Telstar 1, en programa conjunto entre NASA y Telegraph and Telephone Co., para enlazar por T.V., los EEUU y Europa.

Y han de venir muchos proyectos más, como por ejemplo el "San Marco" italiano, apoyado por NASA (San Marco 1, Diciembre de 1964), el francés "Diamant", dirigido por "Le Centre National D'Estudes Spatiales", que utilizó la base espacial de Hammaguir en el Desierto del Sahara en 1965, mismo año en que inicia su carrera espacial la RFA, con el "625 A-1" de la "Deutsche Versuchsanstalt fur Luftfahrt und Raumfahrt" (D.L.V.) o "German Research Institute for Air and Space Navigation". Todos ellos con fotoceldas solares.

La sonda "Helios" suministra datos sobre el comportamiento solar a una central de control desde 180 kms., las fotoceldas fueron concebidas para 18 meses y van aproximadamente 15 años de operación, con el único problema de una partícula cósmica que desvió un ala fotovoltáica, misma que ha sido reparada por el Challenger.

El Skylab lanzado en 1973 es el satélite con más capacidad fotovoltaica instalada (20 kwatts).

Actualmente hay más de 10 millones de fotoceldas solares en ingenios espaciales.

Y existe un proyecto de la NASA de lanzar (en la década de los '90) una base espacial con 50 gigawatts fotovoltaicos.

En cuanto a los tipos de acumuladores usados en el espacio están los de Pb-ácido (4Wh por libra), Ni-Cd (2 Wh-Libra), Ag-Cd (7 Wh-Libra), Ag-Zn (11 Wh-Libra).

En base a las experiencias espaciales se llevaron a cabo las primeras aplicaciones a nivel terrestre, entre las que cabe destacar una estación repetidora de T.V., en el Desierto de Bolivia, en 1960 y algunas boyas marinas en el litoral de los EEUU, a partir de allí las instalaciones terrestres se han multiplicado en una diversidad de usos como los relacionados a continuación:

1. Sensores / procesamiento y transmisión de datos.- - Residencial, estación meteorológica, simología, control de ganado y animales silvestres, televisión de circuito cerrado, acumulación de gas, contaminación, hidrología, estación remota de datos meteorológicos.
2. Comunicaciones.- Equipo telefónico de emergencia, rescate, repetidoras de microondas, vigilia de zonas forestales, televisión educativa, receptores de televisión, sistema de comunicación para oleoductos, control de tráfico ferrocarril o aéreo, transmisores, radiofaros, comunicación de silvicultura, abastecimiento de agua, radios portátiles, carteleras.

3. Señales.- Ayudas a la navegación para costas e interior, luces de aeropuerto, luz de destellos agrupados para carretera, ferrocarril.
4. Potencia en general / iluminación.- Desalación de agua, iluminación de emergencia, refrigeración, potencia de reserva, recarga de baterías, bombeo de agua, estación de despacho de trenes, casas remotas, industrias aisladas, utensilios eléctricos pequeños, purificación de agua, protección catódica, producción de hielo, iluminación municipal, potencia para hospitales, casas móviles, electrificación en islas, etc.

En el mundo existen actualmente tres villas solares autosuficientes, que emplean fotoceldas solares, las cuales describimos brevemente, y una más en la Costa Azul de Francia -- con sistemas térmicos y heliorarquitectura.

La primera de ellas se localiza a 32.2°N de latitud y 112.7°W de longitud, a una elevación de 1990 pies, aproximadamente a 190 kms., al oeste de Tucson, Arizona por la Carretera Estatal 86, y a 27 kms., del tendido eléctrico más cercano. Un poblado de aproximadamente 120 indios papagos denominado -- "Shushulli", con un clima típico del Desierto de Sonora, una radiación solar de 300 langleys en invierno y de 700 en verano.

El Proyecto Shushulli, dirigido por "The U. S. Public-Health Service (PHS) y la NASA Lewis Research consiste en 3.5-kup. fotovoltáicos en un arreglo a 120 volts en C.D., con -- 2,380 A.H. de reserva de baterías, para alimentar a un grupo - motobomba de 2 Hp con capacidad de 4,165 lts/hr., lámparas --- fluorescentes de 20 watts a 120 V. en C.D., 15 refrigeradores- de 0.13 mt³, con pequeños compartimientos de congelador, una - lavadora de ropa y una máquina de coser.

El impacto socioeconómico ha sido espectacular desde - Diciembre de 1978, fecha en que fue inaugurado, a la fecha.

El sistema está dotado de unos interruptores que van - desconectando los subsistemas o cargas, por prioridad, a medida que se va agotando la reserva de energía en las baterías, - para evitar la sobrecarga. A un 50% de descarga se desconectan las máquinas de lavar y coser ropa; al 60% se desconectan todas las lámparas fluorescentes; al 70% el motor de la bomba de agua (hay un tanque elevado que almacena 41,163 lts.), y al 50% finalmente se desconectan los refrigeradores. Sin embargo es poco probable que se llegue a estos extremos, dado que la - reserva es para más de 10 días, sin sol en absoluto.

Se evalúa la operación de esta instalación, pues existe una grabadora que registra tanto los niveles de insolación y carga, como de uso de energía y fallas probables. Un técnico de la NASA recoge mensualmente la grabación y averigua con el delegado responsable de la comunidad si ha habido problemas. Mediante un tablero de control prueba cada una de las líneas - de arreglo fotovoltaico para saber si hay dañado algún módulo.

Tangaye, poblado del Alto Volta es otro ejemplo de la aplicación fotovoltaica. Diseñado y llevado a cabo por NASA'S Lewis Research Center en Marzo de 1979, el sistema consta de - 1.8 Kw. fotovoltaicos con 540 ah. de reserva en baterías, para alimentar un grupo motobomba de 1/4 HP a 120 v. de C.D. que puede extraer 13.6 m³/hr., de unos 10.7 MT. de profundidad, y la envía a un tanque que almacena 6 metros cúbicos. La iluminación es mediante lámparas similares a las de Shushilli.

2000 pobladores son beneficiados además por una molidora de grano de IMP que opera a 120 V.C.D. El sistema de evaluación es similar al anterior.

Una tercera villa solar es las Barrancas, a 110 kms.- al Noroeste de Cd. Constitución en la península de Baja California, México. Localizada actualmente a los 25° 53.3' latitud norte y 112° 11.1' de longitud oeste, tiene 350 habitantes que se dedican a la pesca principalmente. El poblado fue elegido por carecer de electricidad y porque es representativo de un gran número de casos similares en el país. El proyecto llevado mediante un convenio de intercambio tecnológico entre RFA y México se inició en 1978, y contempla la instalación de 250-Kw. fotovoltáicos con el propósito de suministrar la energía para operar diariamente todos los aparatos, equipos y sistemas que consumen energía eléctrica en la población, como son la iluminación en las casas-habitación, edificio municipal, escuela, alumbrado público, clínica y facilidades para manufacturas y proceso de pescado, dos plantas desaladoras, la planta de tratamiento de aguas residuales, la planta de producción de hielo y refrigeración de pescado, la bomba principal de agua de mar, bombeo en los circuitos de agua caliente y de aceite térmico (de los concentradores térmicos), radiotelefonía, T.V. educativa y refrigerador para la sección sanitaria.

Dicho proyecto aún se encuentra en proceso de instalación.

Importante mencionar el arreglo fotovoltáico de 28.2 Kw., para irrigar 80 acres de cultivo de maíz diariamente mediante una unidad de bombeo de IOHP que opera 12 horas al día, gracias a un banco de almacenamiento de 750 AH (40 baterías de plomo-ácido).

A plena carga, la capacidad de bombeo es de 1,100 galones por minuto. Una porción de la energía se usa para sacar maíz de los arcones.

Este prototipo fue inaugurado en Julio de 1977 por --

SERI conjuntamente a NASA LeRC, empleando fotoceldas solares - de 10% de eficiencia de silicio monocristalino. 2000 módulos-fotovoltaicos fueron instalados (14.1 Wp cada uno) de los que sólo fallaron 19, eso durante los primeros 14 meses de opera - ción, y la degradación global del sistema a la fecha ha sido - de 1%.

Arco Solar, refiriéndose a este tipo de aplicación, es tima que el mercado potencial fotovoltaico representará entre - un 50 a 60% a fines de la década de los '80.

El CIEA-IPN de México desarrolló una motobomba de 3/4- de HP que acoplado a un generador de 600 Watts opera 5 hr/día - extrayendo 3,600 lts/hr., desde una profundidad de 15-16 mts.

En Mali existen tres sistemas de bombeo: uno en Naba - sse, con 90 Wp. extrae 40 Mt³/día, el otro en Koni (900 Wp, 50 Mt³/día) y el tercero en Tomihian (1300 Wp - 80 Mt³/día).

En Niger existen 10 sistemas de bombeo más con 1 Kwp - cada uno, en Mauritania iguales a las anteriores, en Togo y -- Tchad dos cada uno.

Existen bombas portátiles de fotoceldas solares de su - perficie de captación de 1 Mt² con capacidad de bombeo a 6 Mts. de profundidad. El rendimiento (lts/min) es suficiente para - abastecer 10 a 15 familias.

Otra aplicación la tuvimos en el poblado de Barra de - Teconapa Gro., México. La instalación fotovoltaica era de 600 Wp., acoplados a una motobomba de C.D., voltaje variable que - extrafa de una profundidad de 20 Mts., 25 a 30 Mt³ de agua con una insolación diaria de 10 horas (6 horas pico).

En Mayo de 1982 el Gobierno de Tunez junto con "The -

U.S. Agency for International Development" llevaron a cabo un proyecto en la Villa de Hammam Biadha Sud (120 habitantes), localizada a 130 Kmts. de Tunez, consistente en sistemas de bombeo, iluminación (doméstica y centros comuna y comercial).

En Ecuador, Guyana, Kenia y Zambia existen desde 1982- sistemas fotovoltaicos de iluminación, refrigeración, autoclave, equipo dental, es decir, todos los servicios para las secciones sanitarias.

Similar a los anteriores, los que operan desde 1981 en Colombia, Gambia, India, Ivory Coast, Malvide Islands y Perú, - financiados por el DOE y "The Center of Disease Control" en cooperación con la Pan American, Health Organization.

Cuatro villas más en Gabon (DOE y Gobierno de Gabon) - autosuficientes con dispensario médico (iluminación y refrigerador), T.V. educativa, bombeo de agua e iluminación de viviendas. Las villas entre 1000 y 1500 hab. cada una se localizan en Bougandji, Nyeli, Donguila y Bolosville.

El laboratorio de Energía Solar de Bamako tiene un ambicioso programa de instalar 100 Kwts pico a mediano plazo -- (unidad central de 20 Kw., con sistemas periféricos de bombeo, refrigeración de medicamentos, radiotelegrafía y desalación de agua).

El bombeo de agua es para cultivar en el Sahara y el Sahel.

Existen proyectos en coordinación con la Comunidad de Países Europeos (CCE) en: Alto Volta, Malí, Mauritania, Niger, Tchad y Togo.

El Ministerio de Postes y Telecomunicaciones de Niger-

planteó para 1980 la mayor parte de equipos a base de foto -- celdas solares. Desde 1968 existe la telesecundaria fotovol -- táica en ese país.

Teledifusión de France lleva aplicados 17 Kwp. en tele -- visión educativa, en Africa; la primera en 1968, en la escue -- la de Goudel, en Naimei. En 1977 existían 123 escuelas más, -- y en 1980, 350 centros más.

Existe desde 1973 un convenio entre la Cfa. Africana -- de Televisión (CATEL) y el Boureau Yves Houssin, para dotar a -- las telesecundarias rurales con televisores de bajo consumo -- (33 watts) y generador fotovoltáico. En Costa de Marfil hay -- unos 20,000 televisores, algunos de ellos fotovoltáicos.

En Japón hay instalaciones diversas desde 1960, princi -- palmente en boyas, señalamientos de canal, luces de plataforma y sirenas de niebla. En 1976 llevaba instalados 22 Kwp. (unas -- 260 unidades de auxilio a la navegación marítima).

Referente a las aplicaciones de tipo doméstico, tene -- mos una muestra en una vivienda en Osaka City, que emplea 4 -- Kwp. de Silicio Amorfo, de la Sanyo.

Un faro recientemente fue equipado con 225 Wp. de foto -- celdas de Silicio.

El proyecto más ambicioso en la actualidad pretende ser SOLERAS, en la cima de un cerro entre las aldeas Al Uyaynah y -- Al Jubailah, en Arabia Saudita, 30 millas al Noroeste de Riyadh se concluyó el sistema fotovoltáico que pretende ser el más am -- biciosos del mundo, con 350 Kwp. fotovoltáicos concentrados -- con 33 aumentos que le proporcionan los lentes Fresnel y un -- sistema rastreador por reloj. Cada lente cubre 4 fotoceldas, -- y hay 272 de estas montadas en 160 conjuntos concentradores. --

Una estructura de Aluminio sirve para disipar el calor.

El equipo proyectado por Martin Marietta, una firma -- aerospacial de los EEUU bajo contrato del DOE, SERI y el Go - bierno Saudí, tiene una desviación focal permisible de 1 grado.

La electricidad se almacena en un banco de acumulación, y será suministrada a los 500 pobladores de las dos aldeas en forma de corriente alterna para todos los servicios (villas so lares autosuficientes).

Arabia planea con larga previsión para las fechas en que se agote el pretróleo. Este proyecto es parte de un plan de 5 años (1980-85) para aprovechar al Sol, del que también es parte un sistema de microondas (900 Wp. cada terminal) entre el Sudán y Arabia Saudita. Para auxilio a la navegación aérea hay 7 balizas en las proximidades del aeropuerto de Medina.

La firma Arco Solar, a la que pertenecen los módulos - fotovoltaicos de esta última aplicación, tiene en operación -- unas 40 estaciones de telecomunicaciones en Papua, Nueva Gui - nea, y estima que la protección catódica abarcará un 25% del - mercado potencial fotovoltaico durante los próximos 10 años.

Sistema de concentración también el empleado en el --- Aeropuerto Internacional de Dallas-Forth, Texas. 25 soles - diseñados por "E-Systems", emplea fotoceldas de la firma ASEC - con lentes Fresnel. Provee 25 Kwpe en corriente alterna y 140 Kw térmicos a la instalación central del aeropuerto para el -- sistema de iluminación de emergencia, a base de lámparas fluo - rescentes y de vapor de mercurio de alta eficiencia. Debido a que el sistema fotovoltaico suministra tan sólo el 30% de la - demanda de la carga total, no existe almacenamiento más que pa - ra eventualidades.

Se emplea como refrigerante glicol y etileno con agua.

La energía de la red, proveniente de la Texas Power and Light Company, es mezclada con la proveniente del generador fotovoltaico en C.D. Si la fotovoltaica no se emplea, es vendida a la Texas Power. Se estimó que los costos de energía serán nivelados en 20 años.

También hay aplicaciones militares, como la de Laguna-Air Force Station, con 60 Kwp. sin concentración. Diseñado y dirigido por The U.S. Army Mobility Equipment Research and Development Command (MERADCOM), Fort Belvoir, Virginia, en cooperación con The U.S. Air Force Aerospace Defense Command, fue terminado en Junio de 1979 y alimenta a la estación de radar, instrumentación, comunicación telefónica y a un sistema de purificación de agua. 2,366 módulos fotovoltaicos, que representan una 97,000 fotoceldas, montadas en 18 arreglos ocupan un área de aproximadamente 32,000 pies cuadrados, que según los ingenieros de MERADCOM ahorran un promedio de 31.5 galones de Diesel por día, esto es, 11,500 galones por año.

La primera planta de desalación de agua, que empleo fotoceldas solares fue precisamente de ósmosis inversa, en una base militar del Estado de Virginia. Trabajó tres años a partir de 1977 (experimentalmente) con 3.5 Kwp. instalados. Otra planta de desalación bajo el mismo principio fue diseñada por la Mobil Tyco Solar Energy Co., dotada de 25 Kw. de película de Silicio EFG con un banco de acumulación de 120 Kwh. a 240 V. La planta provee 22,000 galones a 11,000 personas en promedio por día (para beber). La reserva es para 8 días, la eficiencia del arreglo fotovoltaico es de 8.2% y está ubicada en Nuevo México.

Un sistema más de desalación por ósmosis inversa es el que se ubica en Concepción del Oro, Zacatecas, con una capaci-

dad nominal de 1000 lt/día de producto. El generador fotovoltaico está constituido por 110 módulos que proporcionan 2.5 Kwp. Para tratamiento de agua de mar con una concentración de sal del 0.5%, se requieren 7.5 Kwp. para obtener 2.5 Mt³ cúbicos por día de agua producto.

Varios equipos de radiotelefonía han sido instalados en México, principalmente en la Sierra Norte de Puebla con las siguientes características:

Transmisor-receptor, con consumo de potencia en transmisión de watts, en Standby 2.3 watts, 1 hora de operación durante toda la semana (en condiciones de transmisión), V. nominal operación 13.6 V. 1 nominal 4.5 A, Istandby 0.175 A, Acumulador de plomo-ácido de 90 AH. Permite 50 llamadas por día.

También existe un radioteléfono portátil a 12 V. que consume en transmisión 5 A.

La televisión educativa en México opera en base a las características descritas en el capítulo V inciso 2. De acuerdo a ello existen algunos televisores de 24 pulgadas de pantalla, 24 watts de consumo a 24 V., con reserva de 90 AH. en -- acumuladores de Plomo Acido y una potencia instalada de 30 wp. Desde 1976 se aplican en la Sierra Norte de Puebla.

Cada aparato requiere de un panel de 1.5 Mt² (8 módulos de 0.45 x 0.40) y una potencia instalada de 45 wp.

Se han probado en la Secretaría de Salubridad y Asistencia refrigeradores de tipo "Servi-bar", con volumen entre los 15 y los 100 litros, con promedio de consumo de 40 watts a 24 V. en C.D. por método de compresión. La potencia pico debe estar entre los 100 y los 180 watts. Para reserva 35 a 60 AH. en acumuladores de tipo automotriz.

También en México se han instalado boyas y balizas marítimas. Concretamente el 28% del total de las instalaciones (que son más de 720) operan con 2 módulos fotovoltaicos, 1 acumulador Plomo-Acido de 100 AH y un sistema automático a base de fotosensor que hace que la boya trabaje en promedio diario 10 horas.

Otras aplicaciones a nivel mundial se hallan relacionadas en las páginas siguientes.

IV.4 METODOLOGIA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS

Existen muchos criterios para el diseño de un sistema solar fotovoltaico, pero uno práctico es el que presento a continuación: partiendo de un balance energético que se establece entre la demanda de energía eléctrica, y la disponibilidad de energía solar en la región, complementado por la situación geográfica.

En principio, la energía eléctrica a consumirse "E --- cons" debe ser igual a la energía generada "E gen" más las pérdidas.

$$E_{GEN} = n E_e, \text{ o bien}$$

$$E_{GEN} = P_p \times E_e$$

A partir de esta relación es posible determinar la potencia-pico a instalarse, propósito fundamental del diseño.

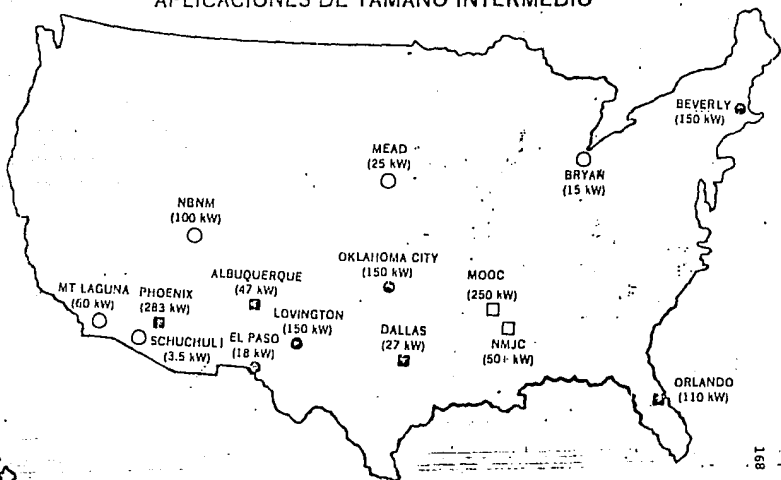
Resumiendo lo anterior, los requerimientos de información básica son los siguientes:

- n = Eficiencia de conversión fotovoltaica.
- E_e = Energía solar captada en Kwh o HP.
- P_p = Potencia pico fotovoltaica a instalarse.



ENERGIA SOLAR

EXPERIMENTOS FOTOVOLTAICOS PARA
APLICACIONES DE TAMAÑO INTERMEDIO



KAUI
(85 kW)
HAWAII

○ TECNOLOGIA DE PANEL PLANO

□ ○ PROYECTOS CORRIENTES

--- □ TECNOLOGIA CONCENTRADORA

■ ● PROYECTOS PRDA

TABLA 3
EXPERIMENTOS DE PRDA PARA
PANELES PLANOS

| <u>CONTRATISTA/DUENO</u> | <u>LUGAR</u> | <u>APLICACION</u> | <u>TAMAÑO DEL SISTEMA (kwp)</u> |
|---|----------------------------|--|---------------------------------|
| . COOPERATIVA ELECTRICA DE LA COMPAÑIA LEA | LOVINGTON, NUEVO MEXICO | PLAZA COMERCIAL (ELECTRICIDAD UNICAMENTE) | 150 |
| . UNIVERSIDAD ESTATAL DE NUEVO MEXICO/EMPRESA ELECTRICA EL PASO | EL PASO, TEXAS | SUMINISTRO SIN INTERRUPCION DE PODER PARA CONTROL DE COMPUTADORAS (ELECTRICIDAD UNICAMENTE) | 20 |
| . SCIENCE APPLICATIONS, INC. | OKLAHOMA CITY, OKLAHOMA | CENTRO OKLAHOMA PARA CIENCIA Y ARTE (ELECTRICIDAD UNICAMENTE CON VENTA*) | 150 |
| . SOLAR POWER CORP./ DISTRITO ESCOLAR | BEVERLY, MAINE | ESCUELA SECUNDARIA/ ESCUELA VOCACIONAL (CON VENTA*) | 150 |

*DEL EXCESO DE ELECTRICIDAD

TABLA 4
EXPERIMENTOS PRDA DE CONCENTRADOR

| <u>CONTRATISTA</u> | <u>LUGAR</u> | <u>APLICACION</u> | <u>TAMAÑO DEL SISTEMA (kWp)</u> |
|--------------------------|---|--|---------------------------------|
| . ACUREX | KAUAI, HAWAII. | HOSPITAL ELECTRICIDAD Y AGUA CALIENTE | 50 |
| . ARIZONA PUBLIC SERVICE | PHOENIX, ARIZONA | TERMINAL DEL AEROPUERTO (ELECTRICIDAD UNICAMENTE) | 225 |
| . BDM CORP. | CRADBOCK DEVELOPMENT CO./ALBURQUERQUE, | EDIFICIO DE OFICINAS ELECTRICIDAD Y CALEFACCION | 50 |
| . E SYSTEMS, INC. | AUTORIDAD DEL AEROPUERTO/ DALLAS/FT. WORTH, TEXAS. | PLANTA FISICA ELECTRICIDAD Y CALENTAMIENTO PREVIO DE LA CALDERA | 30 |
| . GENERAL ELECTRIC | ORLANDO, FLORIDA | PARQUE DE DIVERSIONES ELECTRICIDAD Y AGUA ENFRIADA | 110 |

CUADRO 6

| PAIS | LUGAR | POTENCIA (kwe) | CONFIGURACION | AÑO DE INICIO DE OPERACION |
|----------------|------------------------------------|-------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| ESTADOS UNIDOS | AEROPUERTO SKY HARBOUR, PX. | 240 | Conc. Fresnel | 1982 |
| | FABRICA DE CELDAS, WASH., D.C. | 200 | Panel plano | 1982 |
| | NATURAL BRIDGES, UTAH | 100 | Panel plano | 1980 |
| | MEAD, NEBRASKA | 25 | Panel plano | 1977 |
| | MT. LAGUNA, CALIF. | 60 | Panel plano | 1979 |
| | AEROPUERTO DALLAS, FORT, WORTH | 25+140 kw | Conc. Fresnel | 1980 |
| | HAWAI-HOSPITAL WILCOX MEM. | 60+ calor | Conc. Cilindrico-Parab. | 1982 |
| | MISS. COUNTRY COMM. COLL, ARKANSAS | 240+ calor | Conc. Cilindrico-Parab. | 1982 |
| | BEVERLY HIGH SCHOOL, MASS | 100 | Panel plano | 1981 |
| | SAN BERNARDINO, CAL. | 1 000 | Panel plano sobre helióstató | 1982 |
| ITALIA | AMENDOLA | 1 150 | Panel plano | 1983 |
| ITALIA/CEE | ISLA ALICUDI | 80 | - | 1963 |
| | VERONA | 70 | - | 1963 |
| | ISLAS TREMITI | 65 | - | 1983 |
| | ISLA GIGLIO | 45 | - | 1983 |
| | ADRANO | 40 | Plano + conc. varios | 1983 |
| | ISLA PELLWORM | 300 | - | 1983 |
| ALEMANIA/CEE | ISLA PELLWORM | 300 | - | 1983 |
| | UNIDAD HABITACIONAL | 60 | - | 1963 |
| JAPON | ESCUELA | 200 | - | 1963 |
| | FABRICA | 200 | - | 1983 |
| | CIA. ELECTRICA | 1 000 | - | 1966 |
| | CIA. ELECTRICA | 10 000 | - | 1983 |
| | CHEVETOGNE | 40 | - | 1983 |
| BELGICA/CEE | HOBOKEN | 30 | - | 1963 |
| FRANCIA | - | 26 | - | 1979 |
| FRANCIA/CEE | CORCEGA | 44 | - | 1983 |
| | ISLA REUNION | 60 | - | 1983 |
| | MONTPELLIER | 50 | - | 1983 |
| | NIZA | 50 | - | 1983 |
| | VESTER | 100 | - | 1983 |
| DINAMARCA | ISLA KYTHNOS | 100 | - | 1983 |
| | ISLA DE CRETA | 50 | - | 1983 |
| | ISLA FOTA | 50 | - | 1983 |
| IRLANDA/CEE | ERPELDANGE | 30 | - | 1983 |
| LUXEMBURGO/CEE | ISLA TERSCHELLING | 50 | - | 1983 |
| HOLANDA/CEE | MARCHWOOD | 80 | - | 1983 |
| INGLATERRA/CEE | AL-AINEH | 350 | Conc. Fresnel | 1981 |
| ARABIA SAUDITA | AEROPUERTO DE JEDDAH | 60 | Panel plano | 1982 |
| TUNEZ | HAMMAN | 27 | - | 1982 |
| ESPAÑA | - | 100 | Panel plano | 1964 |

COMPENDIO DE LAS APLICACIONES FOTOVOLTAICOS DEL CENTRO DE INVESTIGACION LEWIS DE LA NASA

| APLICACION UNICA | USO | USUARIO | FECHA DE FUNCIONAMIENTO | LUGAR | NIVEL ENERGETICO, Wp |
|----------------------------|---|--------------------------------------|-------------------------|--|----------------------|
| COMUNICACIONES | TELEV. EDUCATIVA | GOBIERNO INDIA | JULIO DE 1976 | 1) AHMEDABAD, INDIA 2) SAMBALPUR, INDIA | 55 55 |
| *REFRIGERACION | CONSERVACION DE ALIMENTOS | SERV. ANT. DE PARQUES | JUNIO DE 1976 | ISLE ROYALE, MI. | 220 |
| *REFRIGERACION | MEDICO | VECINOS, TRIBU PAPAGO | JUNIO DE 1976 | SIL NAKYA, AZ | 330 |
| *INSTRUMENTOS | DATOS CLIMATOLOGICOS | SER. NA. DE CLIMA | ABRIL-SEPT. 1977 | 1) NEW MEXICO 2) NUEVA YORK 3) HAWAII 4) ALASKA 5) MAINE 6) FLORIDA | 75-150 |
| *CARRETERAS | SEÑAL DE AVISO DE TORMENTA DE POLVO | DEPT. DE TRANS. AZ | ABRIL DE 1977 | CASA GRANDE, AZ | 116 |
| *INSTRUMENTOS | TRAMPAS PARA ESTUDIO DE INSECTOS | DEPT. AGRIC. | MAYO DE 1977 | COLLEGE STA., TX. | 23 y 163 |
| *REFRIGERACION | REFRIG. DE AGUA | CENTRO DE VISITA; INTERDEPARTAMENTAL | OCTUBRE DE 1977 | LONE PINE, CA. | 446 |
| <u>APLICACION DE GRUPO</u> | | | | | |
| *VIGILANCIA DE INCENDIOS | APARATO EMISOR RECEPTOR REFRIG.; LUZ; AGUA POTABLE | SERVICIO FORESTAL | OCTUBRE DE 1976 | 1) PILOT PEAK, CA. 2) ANTELOPE PEAK, CA. | 294 294 |
| *ENERGIA EN ALDEAS | AGUA POTABLE; LUZ; REFRIGERACION; LAVADORA; MAQUINA DE COSER. | VECINOS TRIBU PAPAGO | DICIEMBRE DE 1978 | SCHUCHILL, AZ | 3500 |
| *ENERGIA EN ALDEAS | AGUA POTABLE; MOLIDA DE GRANO | VECINOS DE LA ALDEA | FEBRERO DE 1979 | TANGAYE, ALTO VOLTA, AFRICA | 1800 |

¹ Parte de las pruebas DOE y proyecto de aplicaciones, dirigido por LeRC.

² Patrocinado por la U.S. Agency for International Development.

1- Para el (los) aparatos eléctricos.

- a) Horas de operación.
- b) Horas en posición de espera (standby)
- c) Potencia de operación.
- d) Potencia de espera (standby)
- e) Voltaje de operación.
- f) Operación en C.A. o C.D.

2- Localización geográfica, oferta de energía solar y condiciones de microclima.

- a) Latitud, longitud y altitud del lugar.
- b) Insolación anual media.
- c) Insolación mensual mínima.
- d) Distribución de la radiación solar. Directa y difusa.
- e) Número de días consecutivos nublados y parcial -mente nublados.
- f) Precipitación pluvial máxima y promedio anual.
- g) Variaciones de temperatura.
- h) Distribución y velocidades máximas de vientos dominantes.

Para analizar por pasos el procedimiento vamos a tomar como ejemplo una telesecundaria en el medio rural.

En México, la Red Nacional de Telesecundarias opera -- mediante el Canal 5 de la televisión comercial.

El aparato televisor debe ser de 21 pulgadas mínimo, - dado que los salones tienen capacidad para 30 alumnos, de pre-ferencia que sea en blanco y negro, para consumir poca poten-cia, y trabajar mínimo 6 horas al día, (de 08:00 a 14:00 Hs) - de lunes a viernes.

Si se desea se puede considerar tiempo de operación --

adicional para recreación de la comunidad.

Para este caso seleccionaremos un aparato televisor de 23" de pantalla, totalmente transistorizado, en blanco y negro, que consume en C.A. 49.4 watts de potencia y convertido a C.D. su consumo se reduce a sólo 24 watts a 24 Volts., así el procedimiento de diseño es el siguiente:

1. A) Horas de operación = seis.
1. B) Horas en standby = cero.
1. C) Potencia de operación = 24 watts.
1. D) Potencia de standby = cero
1. E) Voltaje de operación = 24 V.
1. F) Operación en C. D.

2. A) Bienvenido de Galeana, Pue.
 Latitud = $20^{\circ}10'$
 Longitud = $97^{\circ}40'$
 Altitud = 2,950 Mts.
2. B) Insolación anual media - $585 \text{ Cal/cm}^2 \text{ día}$.
2. C) Insolación mensual mínima = $375 \text{ Cal/cm}^2 \text{ día}$.
2. D) y E) Distribución de la radiación solar directa y difusa = el promedio anual de días despejados de 12 por mes, por lo que durante 2/3 partes del año la componente difusa es muy importante - Enero, Febrero, Marzo, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre).
2. F) Se desconoce el índice de pluviosidad pero se estima alto.
2. G) Las temperaturas son extremosas, llegando a los $2-5^{\circ}\text{C}$ en la época invernal, y los $30-35^{\circ}\text{C}$ en verano.
2. H) No hay datos de velocidades y direcciones de vientos en la microregión, pero consideraremos elevados no huracanados, por estar la población protegida por montañas.

El consumo de energía diario en C.D. es:

$E_{\text{cons}} = 24 \text{ (watts)} \times 6 \text{ (horas)} = 144 \text{ Kwh/día}$. Siendo la carga:

$Q_{\text{cons}}/\text{día} = 1 \text{ (amp)} \times 6 \text{ (horas)} = 6 \text{ A-H/día}$.

El voltaje de operación es de 24 volts en C.D. y no hay gasto en espera o standby.

En este caso particular consideramos conveniente un banco de almacenamiento por los días nublados y parcialmente nublados, con el fin de dar una absoluta confiabilidad al sistema.

El mes menos soleado en ese lugar es Septiembre con un índice de días consecutivos sin sol de 19.7.

Considerando 21 días consecutivos sin sol y que la telesecundaria sólo opera los 5 días hábiles de la semana, se concluye con 15 días de almacenamiento.

En base a lo anterior, el consumo de corriente diarios es de 90 AH/día.

Las baterías recomendadas son Plomo Acido con una vida útil estimada de 5 años. Es el tipo de batería más usual, económica, de acceso fácil debe ser conservada en lugar ventilado, aislado del calor, para cuando menos garantizar ese periodo de vida. Por lo tanto, el banco de baterías será configurado por dos acumuladores de este tipo (12 V y 90 AH conectados en serie).

Si la energía de consumo es de 144 AH/día, y la energía solar disponible en promedio en la región es de 4 H-P, la-

potencia pico es de:

$$P_p = \frac{144 \text{ WH/D}}{4 \text{ HP}} = 36 \text{ WP.}$$

Los valores de la insolación "E" en captador plano se obtienen de los mapas de insolación.

La insolación mensual mínima en el lugar es de 3.94 a 4.06 horas-pico para los meses de Septiembre y Noviembre a Fe-brero, siendo el promedio de 4.89 H-P anual.

Las pérdidas internas de las baterías de Plomo Acido - son del orden de 50 Ma. por cada AH. de capacidad. Por lo tanto las pérdidas internas en el banco de baterías son de:

$$Q \text{ pér. bat.} = 0.05 (90/100) A \times 24 \text{ H.} = 1.08 \text{ AH/día.}$$

$$E \text{ pér. bat.} = 24 \text{ V.} \times 1.08 \text{ AH/día} = 25.92 \text{ WH/D.}$$

Por lo que:

$$E \text{ cons. total} = 144 + 25.92 = 169.92 \text{ WH/día.}$$

$$Q \text{ cons. total} = 6 \times 1.08 = 7.08 \text{ AH/día.}$$

A fin de cuentas, la potencia pico a instalarse, considerando el mes menos soleado es:

$$P_p = \frac{169.92 \text{ (WH/D)}}{3.94 \text{ (Hp/D)}} = 43.12 \text{ W-P}$$

Hemos aumentado en un 19.77% la potencia pico instalada.

Como disponemos en el mercado de una amplia gama de módulos fotovoltaicos, hemos hecho una selección en base al voltaje, a la potencia pico, a la calidad de los materiales, a la

continuidad en el mercado y a los precios. El módulo fotovoltaico generalmente opera entre 10 y 15 grados centígrados arriba de la temperatura atmosférica. Para los datos de temperatura ambiente en el lugar de operación se consultan las cartas de la Comisión de Estudios del Territorio Nacional (CETENAL). La temperatura media anual del lugar es de 22°C, y la media mensual más alta corresponde a Mayo con 25°C.

El módulo seleccionado en cuestión proporciona 21.8 wttsp. a 56°C, ó 22.9 wttsp. a 38°C, constituido por 24 celdas de (9cm. de diámetro con dimensiones externas de 63 cm. de cada lado por 1 cm. de espesor. Esto nos permite una elevación de temperatura de operación permisible de:

$$t = 56 - 25 = 33^{\circ}\text{C}.$$

El sobredimensionamiento real del generador fotovoltaico es mayor si se toma en cuenta que dos de cada siete días a la semana no hay consumo, pero si generación.

Por último, el arreglo fotovoltaico queda caracterizado por dos módulos de 22.9 WP. cada uno interconectados en serie.

El captador solar tendrá como dimensiones (2 x 60) x 60 cm., formando un rectángulo de 0.72 cm².

El generador fue instalado con un ángulo de "latitud más diez", o sea de 30° al sur, en el techo de la teleaula.

En los casos tales como refrigeradores o radioteléfonos, en los que una fracción del día hay operación de máximo consumo, y otra con consumo mínimo, se multiplica el número de horas (o su fracción) de operación por la corriente de consumo, y el número de horas de "standby", por su consumo respectivo,-

y el consumo total será representado por la suma de ambos.

Desde el punto de vista técnico-económico, en el cri
terio para el diseño de sistemas intervienen los siguientes aspec
tos:

1. Selección del tipo de módulo: voltajes y corrientes de operación, comparación de los diseños, tecnología, materiales, degradación.
2. Subsistema de control: regulación de carga, diodos de bloqueo, y potencia, desconexión automática.
3. Almacenamiento: tipos de batería, vida útil, requerimientos de mantenimiento, costo.
4. Cargas: tipos de motores, eficiencias, requerimientos de mantenimiento, refacciones, costo.
5. Operación y mantenimiento: frecuencia, complejidad, tiempos muertos por reparación, disponibilidad de - refacciones, costos.
6. Vida útil del sistema.
7. Costos de función del área de captación solar requerida dada una eficiencia de conversión.

CAPITULO V

AUTOSUFICIENCIA RURAL

V.1 OFERTA DE ENERGIA SOLAR EN MEXICO

Dos terceras partes del país tienen una radiación solar anual superior a $700 \text{ Cal/Cm}^2/\text{día}$ equivalentes a unas 2,000 horas pico (o de máxima insolación) al año esto es caso 5 1/2- horas pico diarias.

El resto que corresponde al Sureste del país tiene una radiación solar que alcanza las 600 Cal/Cm^2 . Esto corresponde al hecho de que dos terceras partes del país son desérticas y-semidesérticas y nos encontramos en la franja Tropical.

De acuerdo a estimaciones efectuadas en 1978 si tenemos una radiación solar de 2,000 horas pico anuales, que corresponden a $2,000 \text{ Kwh/m}^2$ (Condiciones AM1) anuales con un 10% de eficiencia de conversión fotovoltaica (sin concentración re-queriríamos de una superficie de 15 Km^2 para cubrir el consumo nacional de electricidad en ese año, que fue de $4.5 \times 10^{10} \text{ Kwh}$. Esta área ocupa apenas al 0.02% de los desiertos nacionales.

A modo de ejemplo, nos da a entender el enorme potencial solar que tenemos en México, pero si queremos cifras reales y exactas, podemos remitirnos a la primera utilización (en forma natural, por cierto) de la energía solar en el país, en las esplanadas de desalación de agua de mar de Guerrero Negro (el evaporador más grande del mundo) con 23,700 Ha. y el de Sosa Texcoco, con 900 Ha. de superficie respectivamente.

Produjeron en total en 1977, 5 millones de toneladas - de sal para lo que requirió 144.000×10^9 Kcal de energía.

En promedio se evaporan 3 milímetros de agua al día -- por metro cuadrado de superficie.

El potencial real aprovechable de energía solar en -- México es de 344×10^{15} Kcal, que representa el 44% de la energía solar que reciben los EEUU, con tan sólo el 20% de superficie territorial en proporción.

V.2 DEMANDA DE ENERGIA POR SECTORES

De acuerdo a las estadísticas en 1900 México tenía una población de 13'607,272 Hab., de los cuales el 71.4% era rural; en 1960 la población total fue de 34'923,129 Hab., y el porcentaje del medio rural era del 49.3%.

En 1970 se observa un efecto curioso: de los --- 48'225,238 Hab., el mayor porcentaje (58.7%) correspondió al medio urbano.

En 1980 se invirtió nuevamente la cuestión siendo el - total de población de 67'382,581 Hab., representando el medio - rural el 56%, o sea 37'734,245 Hab., que se encuentran distribuidos en 95,000 poblados 78,668 de estos con población hasta - 500 Hab., y de éstos últimos 38,995 carentes totalmente de electricidad, que representan unos 14 millones de habitantes.

Las metas del plan de electrificación rural 1979 a -- 1982 eran de alimentar a 5,892 comunidades con un total de --- 1'414,550 habitantes.

COPLAMAR por su parte propuso 1,400 comunidades para -

dotarlas de infraestructura eléctrica.

A partir de la cifra de 14 millones de habitantes trataremos de analizar el mercado potencial por sectores;

1. Educacional.- Actualmente hay una demanda de 8,000 telesecundarias en el país. Cada telesecundaria debe atender - entre 30 y 40 alumnos de manera eficiente durante el curso o ciclo escolar, distribuidos en 3 aulas y un taller. Cada aula -- tiene un aparato de televisión y el programa de telesecundarias de 6 horas diarias (de las 8:00 a las 14:00 hrs.) de lunes a viernes. Sin embargo cada televisor trabaja 2 horas al día -- cuando menos. El televisor debe tener una pantalla de 21 pulgadas mínimo reglamentadas por la D.G. de Educación Audiovisual - de la SEP.

Adicionalmente se debe proveer iluminación en la escuela y electricidad para algún aparato, por lo que una telesecundaria podría requerir de 50 a 80 watts pico instalados dependiendo de las actividades extras de la escuela y de los niveles de insolación de cada lugar.

Tomando como promedio 65 watts pico por cada telesecundaria, la demanda inmediata estimada será de 650 Kwp.

Además nuestro actual gobierno ha puesto especial interés en dar primaria a todos los mexicanos por lo que llevará a cabo el plan de teleprimaria, esto puede representar entre un 60 y un 100% de 650 Kwp., más, o sea que la capacidad instalada podría ser de 1040 a 1,300 Kwp., esto sin contar con las estaciones repetidoras de radio y televisión. Gran porcentaje podría ser satisfecho con celdas. El plan se complementa con programas de capacitación agropecuaria, pesquera, minera, higiene-familiar, cuidados médicos, etc., con lo que aumentaría la demanda energética.

Por lo pronto, se ha visto que el índice de deserción en una secundaria convencional es de un 50% y el de una telesecundaria de tan sólo un 20%. La primaria tiene un índice de deserción actualmente de un 70% y se espera abatir con la televisión.

Las estaciones repetidoras de radio y televisión, son muy variadas en cuanto a la demanda de potencia, que oscilan entre 0.25 watts y un Kw.

En 1980, la red de televisión Rural de México (TRM) - comprendía 90 estaciones, beneficiando a unos 70,000 habitantes.

Algunas repetidoras como la de Motozintla, Chis., y otras en Baja California están pendientes por falta de suministro eléctrico.

Tanto las tele escuela como las estaciones repetidoras que operan actualmente con simples baterías electroquímicas o con plantas diesel tienen severos problemas porque no hay ni presupuesto ni técnicos suficientes para dar mantenimiento a los sistemas.

Los bancos de baterías de las telesecundarias se han llegado a agotar en dos o tres meses, y como los pobladores esperan hasta su agotamiento total, se llegan a sulfatar e incluso a cortocircuitar las placas por sobre descargas, no habiendo posibilidad de recargarlas.

2. Salud.- El Instituto Mexicano del Seguro Social conjuntamente con COPLAMAR proyectó a corto plazo la implementación de 300 Unidades Médico Rurales (UMR) dotadas de iluminación, refrigerador para medicamentos y un pequeño televisor, con un requerimiento individual de unos 200 watts pico, lo que representa un aproximado de 60,000 watts pico instalados.

La Secretaría de Salubridad y Asistencia tiene actualmente unas 400 instalaciones de los tipos C (de 25 a 49 camas) y D (de 8 a 24 camas) en las cuales se tiene problemas con el suministro regular de electricidad y en varios casos se carece de electricidad, por lo que no hay una adecuada atención médica. Si agregamos algunas unidades móviles con refrigerador para la campaña de medicina preventiva en el campo, hablaríamos de otros 80 Kwp.

Las Secretarías de Marina y la Defensa podrían requerir de estos servicios tanto para sus destacamentos, como para sus secciones sanitarias en las zonas y sectores militares.

3. Comunicaciones.- La Dirección General de Telecomunicaciones Rurales de la SCT ha venido equipando sus radiotelefonos rurales con fotoceldas solares desde 1979 por la alta confiabilidad que estos sistemas le brindan. Existe una amplia red en la Sierra Norte de Puebla, con potencia instalada de 25- a 40 watts pico cada uno. Continuará la expansión en los Estados de Quintana Roo, Baja California Norte y Sur, Oaxaca, Tlaxcala y Sonora.

Con unos 100 sistemas de 35 wattspico para empezar tendríamos una demanda de 3,500 wattspico.

Además entre las Secretarías de Marina y del Ejército el requerimiento mínimo actual es de unos 150 equipos de radio-comunicación para destacamentos (consumo de 20 a 40 wattspico cada uno) lo que representa algo más de 4,500 wattspico.

Por lo que respecta al señalamiento marítimo, la Dirección General de Señalamiento Marítimo de la SCT había implementado 165 boyas y balizas con 20 watts pico fotovoltáicos en cada una (promedio) faltando en 1980, 577 pendientes de substituir el gas acetileno por fotoceldas; esto es un potencial inme-

diato de 11,540 watts-pico.

Por lo que se refiere al señalamiento de tráfico aéreo, existe un gran potencial en cuanto a balizas que podrían ubicar se en zonas montañosas donde existe tráfico de aviones frecuente, así como en las aeropistas que tienen problemas de suministro de electricidad. Algunas estaciones VOR con problemas similares, como en algunas instalaciones en la Sierra de Puebla, o el Estado de Veracruz pueden encontrar la solución en las fotoceldas solares, tanto para alimentar el equipo de señalización, como para proteger los contenedores metálicos contra la corrosión.

Y mencionando la corrosión de estructuras, también resultarían útiles en los puentes y en los oleoductos y gasoductos.

Finalmente en los cruceros de carretera con vías de ferrocarril se podrían instalar (a corto plazo) unos 100 sistemas fotovoltaicos de unos 25 Kw cada uno.

4. Agrícola.- Aproximadamente el 40% de la población de la República Mexicana se dedica al campo y a la pesca. De el total de 23'138,405 Ha. de tierra cultivable, 16'831,727 Ha. (72%) son tierras de temporal y 6'306,678 Ha (28%) se irrigan.- Pero el 50% de la producción agrícola, es producto del 25% de la tierra es irrigada, lo que nos da una idea de lo desaprovechada que está la tierra.

Durante el periodo de 1979 a 1982 se asignaron aproximadamente 10,250 millones de pesos al programa de electrificación rural.

Aproximadamente 19,460 Kwe de generadores Diesel fueron instalados por la CFE entre 1978 y 1979.

El norte del país (y Noroeste) se caracteriza por existir grandes parcelas, el nivel de automatización es alto y existen facilidades en el desarrollo de mercado. En la zona central las parcelas son pequeñas y hay poco mecanización y en el Golfo, son parcelas grandes, pero los procedimientos de cultivo son muy rudimentarios.

El 22% de nuestro territorio corresponde a zonas áridas no integradas a la producción agrícola por no haber posibilidad de llevar electricidad.

De el total de los 95,000 poblados, el 80% aproximadamente carecen de agua. En Sonora y Baja California Sur, más de 20,000 Ha se irrigan a través de pozos y bombas eléctricas, y ante el alza de electricidad, se dejarán de sembrar 1 millón de toneladas de trigo. (1984).

En base a todo lo anterior, el Gobierno pasado estableció una meta de 5.5 millones adicionales de Ha para ser cultivados en 1990 con variedad de procedimientos o esquemas de irrigación.

Estudios hechos en México indican que en unas 5,000 villas se podrían instalar sistemas de unos 50 Kwp (cad una), por lo que el mercado fotovoltaico a corto plazo sería de unos 250-Mwp.

En los EEUU, el DOE contrató a Lewis Research Center - (NASA) Contract DEN3 180 para elaborar un reporte, "Market Assessment of Photovoltaic Power Systems for Agricultural Applications in México" donde podemos ver algunas estimaciones de Pacific Northwest Laboratories (DoE/Cs 0078 April 1979) en cuanto al mercado potencial de México para los sistemas solares fotovoltaicos por sectores;

| APLICACION | 1982 (Kwp) | 1986 (Kwp) |
|--------------------------------|------------|------------|
| Sistema de comunicaci3n | 50 | 100 |
| Protecci3n cat3dica | 20 - 100 | 100 - 400 |
| Sistemas de suministro de agua | 30 - 100 | 300 - 1500 |
| Sistemas de potencia a villas | 10 - 100 | 100 - 500 |
| T O T A L | 110 - 350 | 600 - 2500 |

V.3 VENTAJAS TECNICAS

Desde este punto de vista podemos hacer una lista de - las ventajas que representa el empleo de fotoceldas solares y - porque no mencionar algunas de las caracteristicas de las plan- tas diesel:

Los sistemas fotovoltaicos tienen un funcionamiento au- t3nomo, esto es que est3n dise1ados para no meter las manos. - Los elementos de control protegen al subsistema de almacenamien- to contra sobrecargas y sobredescargas y el sistema no requiere ni de encendidos ni apagados manuales.

- No requiere combustible para su operaci3n lo que cons- tituye una gran ventaja al no depender de suministro de aquel.

- El mantenimiento de los m3dulos fotovoltaicos es m^í- nimo, tan s3lo una limpieza de su superficie peri3dicamente, de- pendiendo de las condiciones del ambiente. Es un mantenimiento calificado de "no especializado", cualquiera lo hace.

- Alta confiabilidad. El sistema no debe fallar. Los m3dulos est3n dise1ados para resistir fuertes impactos, altas - velocidades de viento (hasta 280 km/hora) humedad, salinidad, - variaciones de temperatura, etc., y los bancos de reserva se di-

mensionan para asegurar el suministro eléctrico en caso de tem-porales, nublados prolongados y noches.

- Larga vida útil. Se han comprobado vidas útiles en la Tierra de 24 años de degradación de las fotoceldas solares - del 0.5%. En el espacio exterior se ha logrado más tiempo, da-do que las primeras aplicaciones datan de 1957.

- Facilidad de transporte e instalación, por sus carac-terística modular.

- Diseño modular, lo que permite ampliar en un momento dado la capacidad instalada, aprovechando la ya existente.

- Versatilidad. Puede suministrar eventualmente elec-tricidad para otros fines no previstos, incluso mover el siste-ma, o desplazarlo.

- No contaminante. No produce gases, deshechos o rui-dos en su operación.

- Costos de operación y mantenimiento casi nulos, el - mayor costo es el inicial.

- No requiere traslado de energía, evitando pérdidas.

Con la producción cada vez mayor de fotoceldas solares, la mejora de las técnicas de fabricación hay un considerable -- abatimiento de costos en su futuro próximo.

Con respecto a los motores diesel, podemos decir:

- Es una tecnología probada con muchos años de experien-cia.

- Existen gran variedad de potencias disponibles.
- La inversión inicial es mejor, pero sus costos de operación y mantenimiento son altos.
- La vida útil en condiciones severas es muy corta (5 años).
- Requiere de mantenimiento especializado.
- Requiere de suministro de combustible.
- Es contaminante.

V.4 VENTAJAS SOCIALES

Una de las principales ventajas para nuestra sociedad es que el fotovoltaísmo encaja en un sistema político que hace hincapié en la descentralización y el control local.

En efecto, con este método es posible generar la electricidad que se requiere localmente, evitando consecuentemente las considerables pérdidas de energía ocasionadas por el traslado a grandes distancias. Descentralizar implica desarrollar -- otros focos productivos en el campo, en la industria, en la artesanía, en el turismo y en otros aspectos de la sociedad en general. El control es de fundamental importancia, dado que cada centro productivo puede encauzar sus esfuerzos y recursos disponibles en beneficio de sus requerimientos particulares, no sin ello conservando un patrón de operación normativo aplicable a todos los medios.

Hemos visto que el fotovoltaísmo es perfectamente aplicable a todos aquellos países en vías de desarrollo, más aún en

aquellos que ya poseen tecnología, e incluso es bien aceptado - en los países industrializados.

Otra ventaja de fundamental importancia es la no contaminación, es decir, que aporta soluciones concretas en la lucha por la protección del medio ambiente. Si tenemos en cuenta que los programas energéticos mundiales están sustentados en la conservación de los energéticos convencionales, en su mejor empleo y en la protección de la ecología, nos podemos dar cuenta de la importancia cada vez mayor que ha tomado, no sólo el fotovoltaísmo, sino el empleo de fuentes alternativas en general. El único freno que pueden tener son los fuertes intereses que giran - en torno al petróleo.

Ventaja social es también la generación de empleos por la incipiente industria fotovoltaica, y la generación de divi- sas por la exportación de tecnología.

V.5 VENTAJAS ECONOMICAS

Como se ha mencionado anteriormente, las fotoceldas so- lares encuentran campo de aplicación en los medios remoto y ru- ral principalmente, donde las fuentes de energía convencionales no llegan o se ven encarecidas por el suministro y traslado. - Básicamente los sistemas fotovoltaicos costeables económicamente hasta 1 kwtt sin concentración dado que si bien su inversión inicial es mayor que otra alternativa aplicable, como puede ser banco de baterías o acumuladores, planta diesel, etc., sus cos- tos de operación y mantenimiento son mínimos durante una vida - útil comprobada de más de 20 años.

Los costos de operación y mantenimiento son fundamental- mente de electrolito para el banco de acumuladores, o el mismo- cambio de éstos cada 5 ó 7 años, ya que están protegidos por re- guladores de voltaje.

Un aspecto que hace costeable esta alternativa es el - hecho de poder ampliar la capacidad instalada cuantas veces se requiera, gracias a un diseño modular, sin que por ello se haga necesario modificar la estructura original.

Como el costo de un sistema solar fotovoltaico depende de condiciones de incidencia solar en cada región a donde van a ser aplicados, se recomienda efectuar un estudio para cada caso particular, siguiendo los procedimientos de diseño de sistemas propuestos en este trabajo, los cuales toman en cuenta tanto la vida útil de los componentes, como la necesidad en casos de sistemas no solares de combustible, el mantenimiento tanto preventivo como correctivo de componentes, la necesidad de personal especializado (no en el caso fotovoltaico), el traslado de equipos que no pueden ser ensamblados "in situ", la cimentación y estructuras, el personal operario, etc.

En cada caso se efectua un diseño basado en un dimensionamiento energético y tenemos las ventajas en el caso de los sistemas fotovoltaicos de que no requieren combustible alguno, son de fácil instalación en el lugar, no requiere operadores, el mantenimiento puede ser llevado acabo por los mismos usuarios con sencillez, no requiere de grandes instalaciones, tiene capacidad de crecimiento modular, su vida en alta, y si llegara el suministro eléctrico convencional a la región, el sistema puede ser desarmado y ubicado posteriormente en otro lugar, aprovechándose al máximo los equipos, que en gran cantidad de casos hemos visto que han sido amortizados en tan sólo 5 años.

Fabricantes de fotoceldas solares en la R.F.A. declaran que para fabricar 1 Kwtt fotovoltaico se requieren 20 Kw eléctricos. Una vez fabricadas las fotoceldas solares se colocan en los techados de la industria para generar electricidad propia para el proceso, y con promedios de 5 horas de insolaación diarias se llegan a amortizar en 8 años.

Desarrollos similares en los EEUU demuestran que la -- amortización se consigue en tan sólo 3.5 años (ver ejemplo de - la Solar Breeder de Solarex).

Además estos sistemas solares están reduciendo constan- temente sus costos, en muchas ocasiones antes del tiempo estima- do, dado que los procesos de fabricación se hacen más sencillos y los materiales de menos pureza, como el metalúrgico (86%).

CAPITULO VI

PROGRAMA DE INTEGRACION NACIONAL

VI.1 ESQUEMA GENERAL

Se dice que no es práctico plantear un problema sin -- proponer una solución cuando menos.

También se dice que estamos saturados de estudios, de ideas, planes y programas, y poco llevado a la práctica en forma organizada y con visión futurista. Esta propuesta no pretende sumarse al montón, ni fue tomada de modelos extranjeros sino que ha sido el producto de la observación y del análisis de todas las actividades llevadas a cabo en esta materia, en nuestro país tanto por instituciones públicas como privadas y en el mundo en general.

Hago énfasis en que no puede ser tomado como ejemplo - el programa fotovoltaico de ningún otro país, porque nuestras condiciones son muy particulares. Los programas que he presentado en el Capítulo II son de países industrializados, con escasos recursos energéticos propios. El resto del mundo es un vasto mercado para los primeros y un campo de experimentación en el caso de los países más desafortunados.

México, país muy rico en petróleo, en gas natural y incluso en Sol tiene en su haber la facultad de captar divisas - en la venta de sus recursos no renovables, mediante estrategias adecuadas para obtener los mejores beneficios de ello. El -- tiempo que nos dure ese gusto depende no de nuestra decisión,-

sino de las estrategias trazadas a nivel mundial que aún no es tan definidas, porque depende mucho de ello los logros tecnológicos que se obtenga, y muy especialmente en este decenio. -- También dependen de los programas de ahorro de energéticos, y estas diferentes perspectivas han sido estudiadas por el Workshop on Alternative Energy Strategies (WAES), o grupo de trabajo sobre Estrategias Energéticas Alternas (GTEEA), presentando sus conclusiones en "Energy: Global Prospects 1985-2000".

Por un lado pareciera que nuestra política de precios en la venta de petróleo es muy independiente de las políticas fijadas por la organización de Países Productores de Petróleo (OPEP), pero no se ha visto así en el caso acaecido recientemente con la guerra entre Irán e Irak por parte de esos dos países, México y Venezuela se ven ante la oportunidad de extraer y vender más petróleo del previsto, y en relación a los precios en un principio se estimó que el precio del barril podría subir de \$ 29 a \$ 100 US dls. La realidad es otra, de tal suerte que las puras reglas de la oferta y la demanda se encuentran condicionadas por otros factores.

Si pensamos por un momento que en estos próximos años llegan a ser desarrolladas tecnológicas solares que puedan competir abiertamente en precios con los energéticos no renovables, y no sólo en los medios rurales, sino en los medios urbanos, incluso en los sectores industriales, habitacionales y de transporte, los países que posean esas tecnologías (países que producen además petróleo), buscarán la forma de desplazar al petróleo a un segundo término. Consecuentemente los países productores de petróleo (y sin tecnologías de vanguardia en energía libres) ofrecerán su producto a menor precio, al ser menos indispensable, y hacer más oferta que demanda. Los países con las tecnologías almacenarán el petróleo adquirido (como ya se está viendo) con vistas a revenderlo en un futuro a precios muy superiores.

Mientras tanto los países en vías de desarrollo serán los que, en proporción, consumirán más petróleo que los países industrializados, que utilizarán energías libres no contaminantes y reovables, y emplearán el petróleo en otras muchas industrias de la petroquímica (plásticos, cosméticos, vestidos, alimentos artificiales, etc.) es decir que darán un uso más racional al petróleo.

Los países que tengan la oportunidad de planificar la explotación de sus recursos no renovables en el momento en el que todavía el petróleo dicta las reglas de juego y mediante intercambios "producto tecnologías bien pensadas con proyección a futuro, tendrá mayores oportunidades de prosperar tanto en su economía, como en su bienestar general.

No dudo que para que ocurra todo esto pasen bastantes años, probablemente no lo veamos, o quizá se produzca este fenómeno más rápido de lo esperado (recordemos además que las tecnologías solares no requieren de complicadas y costosas redes de transporte y distribución de electricidad, sino que los dispositivos de captación son instalados "in situ" donde va a ser consumida la electricidad), con todas las ventajas que se derivan de la descentralización de las fuentes generadoras.

Lo que sí es cierto es que tarde o temprano se llegarán a alcanzar esas predicciones, porque la tendencia parece estar bien clara.

En nuestro caso, se dice que tenemos petróleo para muchos años, estoy de acuerdo, y también pienso que quizá nunca lo agotaremos, porque pensaremos en darle un uso más limitado y racional, y porque quizá sea en un futuro menos demandado -- que ahora.

Por lo tanto estamos a buen tiempo de delinear un Pro-

grama Nacional de Energía Alterna y partiendo de las experiencias y de los conocimientos que tenemos, a fin de canalizar -- los esfuerzos tanto de los centros de investigación y desarrollo, como de la industria y de los mismos organismos gubernmentales abocados a estas funciones.

A su vez, el Programa Nacional de Energía Alternas, de pendiente del Plan Nacional de Energía y acorde a los Planes - Nacionales de Desarrollo, se subdividiría en las siguientes -- áreas, definidas por la Organización de Naciones Unidas (ONU).

- Solar (en ella la fotovoltaica).
- Geotérmica
- Eólica
- Oceánica
- Biomasa
- Turba
- Esquistos bituminosos
- Arenas alquitranadas
- Hidroelectricidad

En el presente sexenio 1982-88 ha sido formada la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, y en ella la Dirección General de Fuentes Alternas de Energía, el órgano - del Gobierno Federal cuya misión será la de analizar en detalle todas estas fuentes energéticas, proponer las alternativas variables desde el punto de vista social, económico, técnico - y político y darle un enfoque más real y actualizado a los Planes y Programas.

Pensamos que para llevar a cabo este ambicioso trabajo deben participar en él la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), como elemento que regule la transferencia de tecnología con el extranjero, y las Universidades, Centros de Investigación y Estudios Superiores que ya tienen conocimien -

tos y experiencias, y podrían ser contratados por el órgano -- coordinador (SEMIP) para reportar resultados y proseguir con -- investigaciones y estudios.

Las restantes secretarías de estado podrían participar capacitando personal y haciendo un análisis de los problemas -- que normalmente encuentran al proporcionar sus servicios a las comunidades y apoyar en cada una de ellas de igual manera los -- gobiernos de los estados con sus respectivas delegaciones, los programas gubernamentales.

Por ejemplo, el Instituto de Ciencias Ecotécnicas de -- la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) podría -- integrar entre sus funciones los diseños de vivienda ecológica, la helioarquitectura, con el consiguiente ahorro de energía en el habitat.

Desarrollar prototipos aplicativos y evaluar los resultados obtenidos.

Las Direcciones Generales de Educación Pública pueden -- contribuir elaborando estudios de cuánto cuesta llevar la educación en teleprimaria y telesecundaria al medio rural, con -- fuentes de energía como plantas diesel o baterías electroquímicas.

En virtud de que la educación es descentralizada en el país, es decir que cada Estado maneja sus propios planes de -- trabajo dependiendo de sus características y necesidades muy -- propias, el proceso de análisis e integración de nuevas alternativas sería más ágil. Los mismos patronatos, juntas distritales o colonias podrían contribuir con recursos humanos y materiales en la implementación de sistemas más prácticos como -- lo son los solares fotovoltaicos.

Posteriormente las delegaciones responsables recopilarían los datos necesarios para evaluar conjuntamente entre la Secretaría el Gobierno Estatal y el SEMIP, los resultados y retransmitirlos a las Universidades, Centros de Investigación, CONACYT y a los industriales contratados.

Una delegación de responsabilidades con una coordinación general podría obtener mejores resultados que diversos grupos de trabajo desarticulados.

Por un lado no se dispone aún de suficientes recursos para llevar a cabo esta extensa labor, (en los EEUU hay aproximadamente unas 10,000 personas especializadas en energía solar) existiendo en México quizá menos de un centenar de personas familiarizadas con estos temas.

Por consiguiente existe mucho desconocimiento en términos generales en cuanto a nuevas alternativas.

Actualmente los centros de Investigación y las Universidades trabajan sobre algunas tecnologías muy interesantes para ser aplicadas en México (me referiré al fotovoltáismo específicamente) hace más de 20 años, y con mayor soporte podrían desarrollar otras tecnologías de vanguardia que aún no son tocadas. Estos representan al grupo asesor actualmente tanto de CONACYT como de SEMIP, en tanto que algunos industriales del extranjero abren mercado en nuestro país. Ya existen cuando menos cuatro plantas ensambladoras de módulos fotovoltaicos en México.

Dada la desarticulación que existe en la actualidad algunos industriales venden productos de dudosa calidad y no dan respaldo de ningún tipo a los usuarios. Ya se han tenido problemas en boyas y balizas marinas con roturas de módulos, y por otro lado sabemos de un órgano de gobierno que adquirió

50 kwe fotovoltaicas, (aproximadamente 2,200 módulos fotovoltaicos) y una buena dotación de baterías electroquímicas también-importadas, que como no saben cómo emplearlos tienen más de un año deteriorándose en sus almacenes generales.

Por lo tanto, el Órgano coordinador debe capacitar técnicos en los diferentes Órganos gubernamentales, no sólo para-obtener apoyo de su parte para la elaboración de los estudios, sino que sus próximas adquisiciones sean acertadas.

Los estudios técnicos y económicos y las propuestas de sistemas fotovoltaicos no deben tomarse de la iniciativa privada extranjera, sino de un Órgano gubernamental director de actividades, el cual proporcione las garantías por un lado a los usuarios, que retroalimente a los centros de investigación, -- que controle la calidad de los productos y que traiga políticas tendientes a soportar una infraestructura nacional fotovoltaica con proyecciones a corto, mediano y largo plazo.

El Subprograma Nacional Fotovoltaico deberá quedar en -cuadrado en el Programa Nacional de Energía Alterna, concretamente en la parte Solar.

Podría decirse que su objetivo es:

"Consolidar y promover la creacción de una infraestructura nacional fotovoltaica, que contemple tanto la independencia tecnológica, como el soporte industrial la capacitación de técnicos a diferentes niveles y la difusión, que proporcionen-garantías a los usuarios de los diferentes sectores económicos del país".

El Subprograma encaja perfectamente en los lineamientos de nuestra política actual, en la cual una de las mayores -preocupaciones es la contaminación y la preservación de la eco-

logía motivo por el cual todos los organos gubernamentales están haciendo una revisión de los procesos que emplean para desempeñar sus labores, y modificar aquellos que perjudiquen al medio ambiente.

Los dos satélites artificiales de México (Proyecto Morelos) requerirán de estaciones receptoras en el medio rural, donde no ha llegado la electricidad convencional, para suministrar televisión educativa y radiocomunicación.

Para concluir, el Subprograma debe ser alimentado con:

- Estudio Legal
- Estudio de Mercado
- Estudio de Ingeniería
- Estudio de Costo
- Actividades de Apoyo.

VI.2 ESTUDIO LEGAL

Desde el punto de vista legal, representan las alternativas de fomentar la aplicación de sistemas fotovoltaicos entre los particulares mediante incentivos fiscales (puede ser reducción de impuestos, como se hace en la RFA, o en algunos Estados de Norteamérica, tales como Nuevo México, Arizona o California).

Incluso si un particular genera su propia electricidad y tiene un excedente, éste lo puede vender a sus vecinos, o si se trata de una instalación grande, como en el caso del Aeropuerto de Dallas, Texas, el generador fotovoltaico está conectado a una red convencional de electricidad, si tiene un excedente de electricidad se le puede vender a la Comisión de Electricidad.

Deben controlarse así mismo los permisos para el uso -

de los sistemas fotovoltaicos (por ejemplo la exposición de fotoceldas de sulfuro de Cadmio en lugares donde se concentra mucho calor puede intoxicar a la gente, y el SCD es inflamable), mediante solicitudes de los usuarios, tanto público como privado describiendo sus necesidades y las condiciones físicas del lugar a donde van a ser instalados los sistemas.

Otro aspecto es la regulación de las importaciones de tecnologías. La actual fracción arancelaria está anticuada y es muy ambigua. El producto extranjero vende a nuestro país paquetes que comprenden módulos fotovoltaicos, (la tasa de importación es en base al peso y no al watt eléctrico), con sus respectivos reguladores de voltaje, baterías, estructuras, (hasta la tornillería) y los aparatos tales como radioteléfonos, televisores, refrigeradores, bombas, etc.

Esto no debería ocurrir así dado que en nuestro país se producen la mayor parte de los componentes de los sistemas fotovoltaicos, y el punto es precisamente respaldar a la industria nacional.

Así mismo los componentes de los sistemas, haciendo especial énfasis en las fotoceldas solares y en los módulos fotovoltaicos, deben cumplir con normas básicas de control de calidad y garantías para su posible comercialización en el país. Este punto es de especial interés pensando en la exportación de dispositivos a otros países.

Finalmente el otorgamiento de créditos rurales por medio de la banca para el campesino tenga mayores facilidades de adquirir sus sistemas como por ejemplo los de bombeo de agua y riego, refrigeradores, etc.

VI. 3 ESTUDIO DE MERCADO

Concretamente en nuestro país, los sistemas fotovoltaicos encuentran aplicación en el medio rural, donde la electricidad convencional aún no llega, es decir, en los puntos geográficos no contemplados en los programas de electrificación rural, y en el medio remoto, como en el mar y las islas.

Es necesario conocer la demanda de electricidad en --- esos medios distinguiendo por sectores tales como el de Salud, el Educativo, el Alimentario, el Agrícola, Comunicaciones, Habitacional y Turístico.

Por ejemplo la adición de la teleprimaria y la capacitación de técnicos agrícolas, pecuaria y pesquera por medios audiovisuales abren nuevas perspectivas cuando menos al 60% de nuestra población.

Mediante pequeños refrigeradores instalados en enfermerías o secciones sanitarias rurales es posible conservar vacunas virales y no virales (entre 2 y 10°C) para llevar a cabo una eficiente medicina preventiva y disminuir los índices de mortalidad y morbilidad considerablemente. También pueden ser equipadas unidades móviles.

Los radioteléfonos constituyen otro tipo de aplicación (podría cuando menos tener uno cada uno de las 80,000 comunidades hasta de 500 habitantes, carentes de electricidad, de los cuales un 70% carecen además de comunicación.

Los sistemas de bombeo de agua y riego, complementan las aplicaciones de tipo prioritario.

Otras aplicaciones son la conservación de alimentos y la electrificación en las casas-habitación, la protección cató

dica de oleoductos y puentes, el señalamiento de tráfico marítimo, aéreo y terrestre, etc. (ver en aplicaciones).

VI.4 ESTUDIO DE INGENIERIA

Muy extenso el estudio de ingeniería, que comprende el conocimiento de las diferentes tecnologías de producción de fotoceldas, de diseño de módulos fotovoltaicos, del diseño de configuraciones o arreglos y del diseño y optimización de los sistemas.

El compromiso es seleccionar las tecnologías más adecuadas para nuestro país, y para ello hay que conocer lo mejor posible el desarrollo a nivel mundial y las tendencias.

El proceso continúa viendo la conveniencia de purificar la materia prima en el país y diseñar plantas prototipo de fabricación de celdas y módulos; efectuar simulaciones matemáticas de procesos de producción y de comportamiento de sistemas modificando condiciones de solarimetría, temperaturas ambientales, demanda de las cargas, fallas de los elementos de control, modificación de los ángulos de inclinación de los arreglos fotovoltaicos, balances diferentes de superficie del campo fotovoltaico contra el banco de reserva, en función de los períodos continuados y alternados de nubosidades basados en los datos obtenidos de radiación solar directa y difusa que proporcionan las estaciones solarimétricas.

El empleo de mejores materiales y la optimización de los diseños abate costos y mejora las condiciones de vida útil de los sistemas.

Un sistema de concentración puede ser en ocasiones mejor que uno estandar o viceversa, por lo que para cada caso --

aplicativo se presenta generalmente más de una alternativa, y el criterio del diseñador determinará la más adecuada en función de la disponibilidad, la confiabilidad y los costos.

En base a las experiencias obtenidas se hacen diseños-estándares y se diseñan procesos de producción en serie que contribuyen también al abatimiento de costos sin deteriorar la calidad de los productos.

Finalmente se diseñan los procesos de control de calidad que garantizarán el correcto funcionamiento en las condiciones más variadas.

VI.5 ESTUDIO DE COSTOS

Los estudios de costos determinan si es conveniente purificar las materias primas en el país, al grado electrónico o bien al metalúrgico, o simplemente adquirirlas.

También determinan los procesos de fabricación de fotoceldas que son convenientes para el país, los tipos de tecnologías, la contratación de maquiladoras, etc.

Es fundamental elaborar estudios de costos comparativos entre los sistemas fotovoltaicos y los convencionales que emplean baterías electroquímicas o plantas diesel, en virtud de que en el primer caso se tiene una inversión inicial alta pero en cambio no hay costos de operación y mantenimiento (si los hay son mínimos), y en el segundo caso la inversión inicial es menor, pero los costos de operación y mantenimiento son elevados y constantes. Además cada prototipo es diferente por las condiciones que prevalecen tanto geográficas como solarímetricas de la región a donde van a ser instalados los sistemas.

Es conveniente unificar los criterios para efectuar -- los estudios y tomar muy en cuenta las experiencias obtenidas -- en otros países. Sobre todo mantener constantemente actualiza -- dos dichos estudios ya que se ha observado que las metas de -- abatimiento de costos en las fotoceldas que se han fijado en -- los programas internacionales han sido superadas en la mayor -- parte.

La aplicación de dispositivos fotovoltaicos hasta el -- año pasado habían encontrado un rango de factibilidad económi -- ca hasta un kw-pico, o probablemente un poco más (sin concentra -- ción). Este año una firma norteamericana ofrece el watt pico -- fotovoltaico instalado en \$4 US Dlls., sobre compras del orden de un Megawatt-pico (precio L.A.B. Chatswood, Cal.). Con ello los rangos de factibilidad económica en función de la potencia instalada se incrementan.

En capacidades mayores, si pensamos en centrales de po -- tencia fotovoltaica, los concentradores fotovoltaicos (de 500 -- a 1000 soles) encuentran su competencia con los paraboloides -- de revolución, los cilindros-parabólicos, las centrales de -- helióstatos y las termoeléctricas, por ser instalaciones que -- se pueden localizar en el mismo lugar a donde va a ser consumi -- da la electricidad. Las centrales hidroeléctricas, geotérmi -- cas y nucleares no se pueden ubicar donde uno desea generalmen -- te y hay que tomar en cuenta pérdidas de energía en su trasla -- do. Otras consideraciones muy especiales son para las centra -- les mareomotrices y eólicas.

VI.6 ACTIVIDADES DE APOYO

En este renglón cabría mencionar la formación de técni -- cos y especialistas en la materia y la difusión.

La formación de técnicos debería ser a todos los niveles, desde los que laboran en las plantas industriales hasta los que instalan los sistemas en el campo, los que efectúan -- pruebas de control de calidad, los que dan operación y mantenimiento a los sistemas, los que recopilan los datos de operación y los procesan para su evaluación, etc.

Y no se diga la necesidad de formar especialistas a nivel de maestría. Actualmente existe la Carrera de Licenciatura en Ingeniería de Energéticos, en la Universidad Metropolitana, y sería muy interesante lograr la aprobación de una maestría (que podría cursarse después de cualquier tipo de ingeniería) sobre energías alternas, tocando el aspecto fotovoltaico entre otros varios. (En la Universidad La Salle).

En los EEUU existe un Directorio donde se puede buscar entre unas 1500 Universidades, Institutos, Escuelas, etc., cursos de postgrado sobre aprovechamiento de energía solar. Lo elabora Solar Energy Research Institute (SERI) en Colorado y lo actualiza anualmente, mencionando el tema del curso, la duración, el valor en créditos, los nombres de los maestros, la dirección del instituto y una descripción breve del contenido del curso.

En cuanto a la difusión no hay mucho que decir, simplemente elaborar paquetes de información básica para todos los medios de difusión, con el fin de dar a conocer las bondades del empleo de la energía solar, y los reportes o resultados de las actividades nacionales en esta materia.

Otras actividades son el sostenimiento del intercambio tecnológico mediante la participación activa en congresos, seminarios, reuniones internacionales y nacionales, para lo cual ya existe un órgano en México, la Sociedad Mexicana de Energía Solar (SMES) a la que suscribiéndose como socio (beneficiario, profesional o estudiante) tiene derecho a asistir a las reuniones.

nes de trabajo con algunos descuentos y los mantiene informados sobre un calendario de eventos, así como les proporciona a los socios copias de memorias, etc.

VI.7 CONSOLIDACION DE LA TECNOLOGIA NACIONAL

Al decir "consolidación de la tecnología nacional" me refiero a reforzar y aprovechar la investigación del país, a transferir la más adecuada a la industria mediante el incentivo gubernamental.

La situación fotovoltaica actual de nuestro país no es muy buena, por el desconocimiento general que existe sobre ello. Hay centros de investigación que tiene prácticamente 20 años de experiencias, y poco han podido llevar a la práctica. Los defectos con los que se han encontrado no son fácilmente superables si no existe un estímulo por parte del gobierno, pero se puede decir que la tecnología fotovoltaica nacional está muy avanzada.

En cuanto a la transferencia de tecnología mediante el otorgamiento de becas por parte de CONACYT, cuando menos en el sexenio pasado que tuve oportunidad de investigar, las becas para cursar especializaciones en el extranjero, en materia de energéticos eran muy poco aprovechadas, y en cuestión de energía solar totalmente desaprovechadas.

Si la industria solar ha de abrir nuevas fuentes de trabajo, se debe aprovechar adecuadamente los recursos humanos existentes y capacitar a los que sean necesarios.

El establecimiento de la industria fotovoltaica en México es ya un hecho con las plantas ensambladoras existentes. Estos empresarios pueden operar con costos más bajos que en su

país (por la mano de obra más barata), y plantean no sólo cubrir el mercado nacional, sino toda Latinoamérica desde aquí.

En todos los casos hay participación de capital privado nacional, pero dada la potencialidad en captación de divisas que estos productos representan sería muy conveniente dar continuidad a los esfuerzos realizados a la fecha y cristalizar con hechos concretos que serán de beneficio para el país desde todo punto de vista posible.

Los países en latinoamérica que más entusiasmo han -- puesto hasta ahora son México, Brasil y Venezuela. En los tres existen posibilidades de incrementarse las plantas ensambladoras, incluso se está planeando por parte de iniciativa privada el establecer en México o en Venezuela una procesadora de fotoceldas de Silicio Amorfo con capital tripartita, probablemente entre 1985 y 1986.

TECNICISMOS

- ANGULO CENITAL.- Aquel que hace el Sol respecto al cénit, con el observador como vértice.
- BANDA DE VALENCIA.- Franja inferior del diagrama de energía-potencial de electrones, en la cual a 0°K . carece de electrones, y a 300°K --- (23°C) poseé escasos.
- BANDA DE CONDUCCION.- Franja superior del mismo diagrama, en la cual a 0°K . existe saturación de electrones, y a 300°K . está casi saturada.
- CAPA ANTIRREFLECTORA.- Generalmente de SiO_2 , es aquella que se aplica a la oblea en su superficie con el fin de acoplar los índices de refracción de el aire y el Silicio.
- CENIT.- Punto de la esfera celeste que comprende verticalmente a un lugar determinado de la Tierra.
- CONSTANTE SOLAR.- Valor que representa la incidencia solar sobre 1 M^2 en la atmósfera exterior, y es igual a 1.395 Kwts . en condiciones similares en todos los lugares de la Tierra.
- DIODO.- Dispositivo rectificador de el estado sólido.
- EFECTO FOTOVOLTAICO.- Aquel que permite la conversión directa de luz a electricidad, sin ninguna forma de energía intermedia. (Efecto fotoeléctrico).
- ELECTRICIDAD.- Agente natural que se manifiesta por -- atracciones y repulsiones de cargas, ori

- ginando por la excitación de las partículas de los cuerpos al existir frotamiento o adición de energía proveniente de los fotones, como es el caso.
- ELECTRON.-** Masa más pequeña, dotada de electricidad negativa, que puede existir en estado libre. Gira en planos orbitales respecto al núcleo, y su número determina las propiedades físicas y químicas de los elementos. Tiene una masa 1800 veces más pequeña que la del átomo de hidrógeno.
- ENCAPSULANTE.-** Película protectora dispuesta en forma de envoltura para las fotoceldas, con el fin de preservarlas de los agentes exteriores.
- ENERGIA SOLAR.-** Radiación electromagnética producida por el Sol.
- ESPECTRO SOLAR.-** Radiación solar que corresponde a la de un cuerpo negro a 5960°K.
- FOTOCELDA SOLAR.-** O celda fotovoltaica, es un dispositivo en el cual se lleva a cabo el efecto fotovoltaico.
- Constituida por un metal semiconductor, su tamaño es relativamente pequeño, con espesores de algunas milésimas y diámetros de escasos 5 ó 6 centímetros. Su forma es oblonga y dispone en su parte anterior y posterior de las terminales eléctricas. El material más empleado es el Silicio monocristalino, aunque también se fabrican de Silicio policristalino, amorfo, de Sulfuro de Cadmio, de Arseniuro de Galio...
- FOTON.-** Corpúsculo de masa probablemente nula y que constituye la radiación emitida y --

| | |
|-----------------------|--|
| | absorbida por los cuerpos: la luz está constituida por fotones. |
| HORA-PICO.- | Aquella en la cual la potencia solar incide por unidad de área, y corresponde al valor de "insolación estándar". |
| HUECO.- | Espacio dejado por un electrón en la capa de valencia al ser excitado. Actúa como carga positiva. |
| INSOLACION ESTANDAR.- | Valor de 1 Kwtt/M2 sobre la tierra, bajo condiciones de mediodía despejado en un área ecuatorial de los equinoccios. |
| LANGLEY.- | Unidad de medida de insolación, equivale a 1 cal./cm2, o bien 0.001163 wts hr./cm2. |
| LANGLEY-DIA.- | Equivalente a 0.0116 hs.-pico. |
| LENGUETAS.- | Interconexiones metálicas para unir las fotoceldas. |
| POTENCIA PICO.- | Valor máximo en watts, bajo condiciones de trabajo en horas-pico y dependiendo de la eficiencia de la fotocelda. |
| RESISTIVIDAD.- | Resistencia de un conducto homogéneo de sección constante, que tiene unidad de longitud y de sección. |
| SOLARIMETRO.- | Instrumento medidor de radiación solar a partir de fotoceldas. |
| TRAYECTORIA OPTICA.- | Proporcional a la masa de aire contenido en un tubo de sección constante, alrededor de la trayectoria de radiación. Parámetro adimensional llamado "masa de aire". |
| WATT/HR-CM2.- | Equivalente a 860 Langleys. |
| WATT/HR-M2-DIA.- | Equivalente a 1 HORA-PICO. |

BIBLIOGRAFIA

1. Programa de Energía. Metas a 1990 y Proyecciones al Año-2000. Resumen y Conclusiones. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, México, -- 1980.
2. Plan Maestro para el Aprovechamiento de Energía Solar. SAHOP (D.I.G.A.A.S.E.S. SAHOP). México, 1980.
3. La Energía en México. D.G. Investigación y Desarrollo. Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal. Cuernavaca, Mor., 1983.
4. Energy Program Ministry of Energy. Berlín, 1977.
5. National Photovoltaic Program Departamento of Energy (D.O.E.), Washington, D.C., 1979.
6. Sunshine Project. Osaka University Faculty of Eninnering Science Japan, 1980.
7. Energía: Perspectivas Mundiales 1985-2000. Fondo de Cultura Económica. México, 1981. Workshop on Alternative Energy Strategies.
8. Programa de Industrialización de Dispositivos Solares Fotovoltáicos. Juan Manuel Mercadal - SAHOP-DIGASES- México, 1981.
9. El Dilema del Desarrollo Económico de México. Raymond Vernon Ed. Limusa, México, 1974.
10. Directorio Nacional de Organismos e Instituciones con Actividades Relacionadas en el Aprovechamiento de la Energía Solar y sus Colaterales, Eolica y Biomasa. SAHOP-D.I.G.A.A.S.E.S. México, 1982

11. National Solar Energy Education Directory S.E.R.I. Colorado, 1979.
12. 1er. Informe de Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. 1983
13. El Sector Educativo. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, 1980.
14. El Sector Agrícola. S.P.P. México, 1980.
15. 1980 Solar Energy Information Locator Solar Energy Information Data Bank Solar Energy Research Institute (S.E.R.I) Colorado, U.S.A.
16. El Sector Comunicaciones. S.P.P. México, 1980.
17. Anuario de los Estados Unidos Mexicanos, S.P.P., 1980.
18. Primer Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo para el Aprovechamiento de la Energía Solar. SAHOP-DIGAASES. Gobierno del Estado de México Ixtapan de la Sal, Estado de México, 1979.
19. Primer Seminario Internacional Técnico-Práctico sobre Sistemas de Construcción en Casas y Edificios para el Aprovechamiento de la Energía Solar. SAHOP-D.I.G.A.A.S.E.S. Gobierno del Estado de Querétaro, Querétaro, 1978.
20. Fourteenth I.E.E.E. Photovoltaic Specialist Conference. San Diego, Cal., U.S.A., 1980.
21. Escuela Internacional sobre Silicio Amorfo. Centro Investigación de Materiales - U.N.A.M. Cuernavaca, Mor. 1980

11. National Solar Energy Education Directory S.E.R.I. Colorado, 1979.
12. 1er. Informe de Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. 1983
13. El Sector Educativo. Secretaría de Programación y Presupuesto. México, 1980.
14. El Sector Agrícola. S.P.P. México, 1980.
15. 1980 Solar Energy Information Locator
Solar Energy Information Data Bank
Solar Energy Research Institute (S.E.R.I) Colorado, U.S.A.
16. El Sector Comunicaciones. S.P.P. México, 1980.
17. Anuario de los Estados Unidos Mexicanos, S.P.P., 1980.
18. Primer Congreso Nacional de Investigación y Desarrollo para el Aprovechamiento de la Energía Solar. SAHOP-DIGAASES. Gobierno del Estado de México Ixtapan de la Sal, Estado de México, 1979.
19. Primer Seminario Internacional Técnico-Práctico sobre Sistemas de Construcción en Casas y Edificios para el Aprovechamiento de la Energía Solar. SAHOP-D.I.G.A.A.S.E.S. Gobierno del Estado de Querétaro, Querétaro, 1978.
20. Fourteenth I.E.E.E. Photovoltaic Specialist Conference. San Diego, Cal., U.S.A., 1980.
21. Escuela Internacional sobre Silicio Amorfo. Centro Investigación de Materiales - U.N.A.M. Cuernavaca, Mor. 1980

22. Sonnenforum '80
Hamburg, RFA, 1980.
23. Electricidad Solar
Estudio Económico de la Energía Solar
Wolfgang Palz
U.N.E.S.C.O.
Ed. Blume - Barcelona, España, 1980.
24. Una Evaluación Económica Sencilla y Experimentos de Aplicaciones para Sistemas Fotovoltaicos en Sitios Remotos.
Miguel Ríos.
Sandia National Laboratories
Albuquerque, Nuevo México, 1981.
25. Photovoltaic Power Systems for Rural Areas of the Third - World.
Louis Roseblu, William I Bifane
National Aeronautics and Space Administration.
Lewis Research Center (N.A.S.A - LEWIS)
Cleveland, Ohio, 1980.
26. XII Congreso Nacional Bienal 1984
"Desarrollo Integral, Reto y Compromiso de la Ingeniería-Mexicana" Tomos VI "Energéticos".
Colegio de Ingenieros Mecánicos y Electricistas
Museo Tecnológico de la C.F.E. Octubre, 1984.
México, D. F.
27. Systems for Agricultural Applications in México.
N.A.S.A (D.O.E. - N.A.S.A. / 0180-3), 1981.
28. Analysis of Photovoltaic Systems for Rural México.
M. Martínez, R. Magar, A. Ortiz, O. Alvarez.
Centro Investigación de Materiales (C.I.M.- U.N.A.M.)
XIII I.E.E.E. P.V. Specialists Conference.
San Diego, Cal., 1980.
29. Photovoltaic Activity in México.
E.J. Pérez
C.I.E.A. - I.P.N.
1977 Photovoltaic Solar Energy Conference
Luxemburg, Lux.

30. The Prospect for Photovoltaic in México.
E.J. Pérez
C.I.E.A. - I.P.N.
Photovoltaic I.E.E.E. Solar Energy Conference
Cannes, France.
31. Photovoltaic Market Considerations form a World Energy --
Prospective.
John F. Day III.
XIII I.E.E.E. P.V. Specialists Conference.
San Diego, Cal., 1980.
32. Instalation Guidelines for Solar DHW Systems in One and -
Two Family Dwellings.
U.S. Dep. of Housing and Urban Deptent., D.O.E.
U.S.A., 1979.
33. Regional Guidelines for Building Passive Energy Conserving
Homes.
U.S. Dep. of Housing and Urban Deupent., D.O.E.
U.S.A., 1979.
34. El Habitat y el Sol, D.I.G.A.A.S.E.S. - SAHOP.
Alfredo Salomón
México, 1982.
35. The First Passive Solar Home Awards.
U. S. Dep. of Housing and Urban Deupent, D.O.E.
36. Photovoltaic Rural Thelephonic Station Relaised Under Me-
xican Technology.
E.J. Pérez, J.L. del Valle
XIII, Photovoltaic I.E.E.E., Specialists Conference.
San Diego, Cal., 1980.
37. Diseño y Operación de un Sistema Fotovoltáico para una Te
lesecundaria.
E.J. Pérez, C.I.E.C. - I.P.N.
3er. Congreso Academia Nacional de Ingenierfa
México, 1977
38. Telédifusión de France et Les Energies Nouvelles.
Réémetteurs de Télévision et Centres de Reception Communi-
taires Alimentés par Générateurs Solaires.
Télediffusion de France - Paris, 1980.

39. Desarrollo Solar Térmico y Fotovoltáico en la Residencia Presidencial de los Pinos.
Juan Manuel Mercadal - Javier Alegret
SAHOP - D.I.G.A.A.S.E.S., México, 1980.
40. Curso "Diseño y Operación de Sistemas Solares Fotovoltáicos" - Memorias.
C.I.E.A. - I.P.N., México, 1977
41. Solar Photovoltaic Seminar.
Department of Energy
McLean, Virginia, U.S.A. 1979
42. The Enciclopedia of Space
Paul Hamlyn
Hamlyn Publishing Group, L.T.D.
Feltham, Middlesex.
England, 1962.
43. Solar Energy with the European Communities.
Comision of the European Communities (C.E.E.)
Directorate Gral. XII for Research Science and Education
Brussels, Belgium, 1981.
44. Photovoltaic Solar Power with the European Communities
C.E.E.
D.G. XII Research Science and Educations.
Brussels, Belgium, 1981.
45. Solar Energy a Status Report.
D.O.E./E.T. 0061
U.S.A., 1978
46. Photovoltaic Research Branch Semianual Report.
Colorado, U.S.A., 1980.
47. Photovoltaic Module Design Qualification and Testing Specification.
Low-Cost Solar Systems Array (L.S.S.A.)
D.O.E. - N.A.S.A.
Jet Propulsion, Lab. (J.P.L. - N.A.S.A.)
Pasadena, Cal., 1978.

48. Solar Energy at M.B.B.
Messerschmitt - Bolkow - Blohm.
Space Division
Munchen, R.F.A., 1983.
49. Federal Photovoltaic Utilization Program
System sizing and life cycle costing methodology
Remote D.C., Battery Storage, Flat Plate silicon
collectors.
M.L. Slonsky
J.P.L. - N.A.S.A., Cal., 1979
50. Application and system design study for cost o effective
solar photovoltaic systems at federas installations.
Final Report to the U.S. Congress.
D.O.E., Washington, 1979.
51. Desarrollo Tecnológico Nacional en el Campo de la Conver
sión Fotovoltaica de la Energía Solar, frente a la Implemen
tación de Plantas Ensambladoras de Generadores Solares
con Tecnología Extranjera.
C.I.E.A. - I.P.N., México, 1979.
52. Diversas publicaciones técnicas y comerciales de industria
les fotovoltaicos, 1984.
53. Boletín I.E.E.E. Vol. 6 Núms. 7/8, Julio-Agosto, 1982
Instituto de Investigaciones Eléctricas.
Palmira, Cuernavaca, México.
54. Catálogo de Unidades Médicas
Dir. Gral. de Servicios Coordinados de Salud Pública de -
los Estados.
Secretaría de Salubridad y Asistencia, México, 1980.
55. Integrated Cu_2S - CdS Thin film solar cell generator W.M.
Blass.
Institut fur Physikalische Elekfronik
Universitat Stuttgart, 1983.
56. Amorphous Materials as Optical Information Media.
Applied Photographic Engineering Volume 3,
Standford R. Ovshinsky
Energy Conversion Devices, Troy, Michigan.

57. A-Si_c: H/ a-Si_H heterojunction solar cell.
Y. Tawada, H. Okamoto, Y. Hamakawa
Faculty of Engineering Science
Osaka University, Toyonaka, Osaka, Japan, 1984

58. Diccionario Hispánico Universal
Editorial Exito, S. A.
Barcelona, España, 1964.