



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

Facultad de Ingeniería

**ANALISIS DE FACTIBILIDAD PARA LA FABRICACION  
DE CELDAS FOTOVOLTAICAS DE SILICIO AMORFO**

**T E S I S**

Que para obtener el título de:  
**INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA**

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

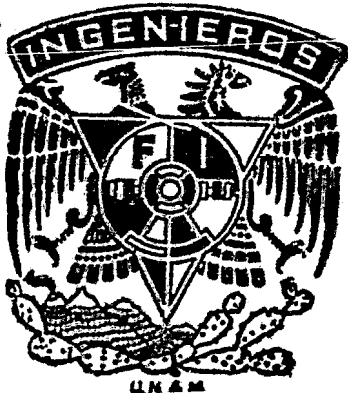
**Jorge E. Aldana Margain**

**Alejandra Cervantes Odriozola**

**Paulo José M. Costal Pérez**

**José Luis Espinosa Alcocer**

**Rubén Moreno Salinas**



México, D. F.

1983



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## I N D I C E

OBJETIVOS . . . . .	1
CAPITULO I: INTRODUCCION . . . . .	2
1.1.- INTRODUCCION . . . . .	2
1.2.- REFERENCIAS . . . . .	13
CAPITULO II: ANALISIS DE MERCADO . . . . .	15
2.1.- DEFINICION . . . . .	16
2.2.- PRODUCTO . . . . .	17
2.3.- MERCADO PARA LOS DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS DE PELICULA DELGADA EN LOS ESTADOS UNIDOS EN 1981 . . . . .	23
2.4.- DESARROLLOS EN 1982 . . . . .	28
2.5.- PERSPECTIVA FOTOVOLTAICA EN MEXICO . . . . .	29
2.5.1.- Factibilidad de uso de dispositivos fotovoltaicos . . . . .	29
2.5.2.- Aplicaciones . . . . .	32
2.5.3.- Electrificación rural . . . . .	33
2.5.4.- Sistemas fotovoltaicos dentro del mercado nacional actual . . . . .	41
2.5.5.- Equipos generadores de energía eléctrica competitivos a las celdas fotovoltaicas . . . . .	47
2.5.5.- Examen de algunas alternativas de aplicaciones fotovoltaicas . . . . .	48
2.5.6.1.- Suministro de agua para abrevaderos de ganado . . . . .	48
2.5.6.2.- Suministro rural de agua potable . . . . .	60
2.5.6.3.- Dispositivos para carga de granos . . . . .	62
2.5.6.4.- Refrigeración rural . . . . .	64
2.5.6.5.- Irrigación en pequeñas superficies (100 - 2500 Ha) . . . . .	66
2.5.6.6.- Fabricación de hielo . . . . .	67
2.5.6.7.- Centros veterinarios . . . . .	68
2.5.6.8.- Secado de cacahuete . . . . .	68
2.5.6.9.- Empaque de frutas y vegetales . . . . .	69
2.5.6.10.- Cría de animales . . . . .	69

2.6.-	CUANTIFICACION DE LA DEMANDA GLOBAL ACTUAL . . . . .	71
2.7.-	EL MERCADO ENERGETICO EN MEXICO A FUTURO . . . . .	77
2.8.-	ELECTRIFICACION RURAL A FUTURO (MEDIANO PLAZO) . . . . .	81
2.9.-	CANALES DE DISTRIBUCION . . . . .	82
2.10.-	REFERENCIAS . . . . .	86
CAPITULO III: ANALISIS DEL PRODUCTO . . . . .		89
3.1.-	ANTECEDENTES . . . . .	90
3.2.-	BOSQUEJO HISTORICO . . . . .	93
3.3.-	TEORIA DEL EFECTO FOTOVOLTAICO . . . . .	96
3.4.-	CARACTERISTICAS ELECTRICAS . . . . .	101
3.5.-	MODULOS Y PANELES FOTOVOLTAICOS . . . . .	105
3.6.-	ALMACENAMIENTO Y CONVERSION A CORRIENTE ALTERNA . . . . .	109
3.6.1.-	Almacenamiento . . . . .	109
3.6.2.-	Conversion a corriente alterna . . . . .	112
3.7.-	DIFERENTES TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS . . . . .	113
3.7.1.-	Celdas de silicio cristalino . . . . .	113
3.7.1.1.-	Celdas de silicio monocristalino . . . . .	115
3.7.1.2.-	Celdas de silicio policristalino . . . . .	116
3.7.2.-	Celdas de silicio amorfo. . . . .	118
3.7.3.-	Celdas de sulfuro de cadmio . . . . .	121
3.7.4.-	Celdas de arsenuro de galio (AsGa) . . . . .	122
3.8.-	PROPIEDADES ELECTRONICAS Y LUMINICAS DEL SILICIO AMORFO . . . . .	123
3.8.1.-	Fotoconductividad . . . . .	123
3.8.2.-	Resistividad . . . . .	124
3.8.3.-	Movilidad y arrastre . . . . .	128
3.8.4.-	Densidad de estados en la brecha . . . . .	128
3.8.5.-	Luminiscencia . . . . .	130
3.8.6.-	Coefficiente de absorcion . . . . .	132

3.8.7.- Brecha o banda de energía (Eg) . . . . .	134
3.8.8.- Absorción infrarroja (Ir) . . . . .	134
3.9.- CONCLUSIONES . . . . .	134
3.10.- REFERENCIAS . . . . .	138
<b>CAPITULO IV: ANALISIS DEL PROCESO . . . . .</b>	<b>142</b>
4.1.- INTRODUCCION . . . . .	143
4.2.- TECNICAS DE FABRICACION DE CELDAS FOTOVOLTAICAS . . . . .	144
4.3.- GENERACIONES DE CELDAS FOTOVOLTAICAS . . . . .	144
4.4.- TECNOLOGIA DE LA PRIMERA GENERACION . . . . .	145
4.5.- TECNOLOGIA DE LA SEGUNDA GENERACION . . . . .	147
4.5.1.- Cintas de silicio . . . . .	147
4.5.2.- Silicio semicristalino . . . . .	149
4.5.3.- Silicio policristalino . . . . .	149
4.6.- TERCERA GENERACION. TECNOLOGIA DE PELICULAS DELGADAS . . . . .	150
4.6.1.- Calcogénidos de cadmio . . . . .	150
4.6.2.- Silicio amorfo . . . . .	152
4.7.- PULVERIZACION CATODICA A RADIOFRECUENCIA . . . . .	153
4.8.- EVAPORACION TERMICA . . . . .	154
4.9.- DESCARGA GASEOSA . . . . .	154
4.10.- DEPOSITO QUIMICO DE VAPOR . . . . .	157
4.11.- PROCESO CHROMAR . . . . .	160
4.12.- CONCLUSIONES . . . . .	172
4.13.- REFERENCIAS . . . . .	177
<b>CAPITULO V: DESCRIPCION DE LA PLANTA . . . . .</b>	<b>179</b>
5.1.- ANTECEDENTES . . . . .	180
5.2.- LA PLANTA DE FABRICACION . . . . .	181
5.2.1.- Tamaño óptimo del sustrato de vidrio . . . . .	181
5.2.2.- Tasa de fabricación por línea . . . . .	181
5.2.3.- Pasos e- el proceso de fabricación . . . . .	182
5.2.4.- Area requerida por línea de fabricación . . . . .	183
5.2.5.- Fuerza de trabajo requerida por línea . . . . .	183
5.3.- REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA . . . . .	183
5.4.- ARREGLO ECONOMICO CON CHROMAR Y CALENDARIO DE ENTREGA . . . . .	184

5.5.- PROGRAMA DE ARRANQUE DE LA PLANTA . . . . .	184
5.5.1.- Actividades . . . . .	184
5.5.2.- Ruta crítica . . . . .	185
5.6.- BIBLIOGRAFIA . . . . .	189
<b>CAPITULO VI: LOCALIZACION . . . . .</b>	<b>190</b>
6.1.- LOCALIZACION DE LA PLANTA DE FABRICACION . . . . .	191
6.2.- REFERENCIAS . . . . .	206
<b>CAPITULO VII: FINANCIAMIENTO . . . . .</b>	<b>207</b>
7.1.- INTRODUCCION . . . . .	208
7.2.- PROGRAMA DE APOYO INTEGRAL A LA INDUSTRIA PEQUEÑA Y ME- DIANA (PAI) . . . . .	210
7.2.1.- Contenido del programa . . . . .	210
7.2.2.- Políticas de aplicación general para los servi- cios del PAI . . . . .	211
7.2.3.- Fondo Nacional de Estudios y Proyectos (FONEP)	212
7.2.4.- Fondo Nacional de Fomento Industrial (FOMIN) .	214
7.2.5.- Fondo de Garantía y Fomento a la Industria pe- queña y mediana . . . . .	215
7.2.6.- Fideicomiso de Conjuntos, Parques, Ciudades -- Industriales y Centros Comerciales (FIDEIN) . .	216
7.3.- FONDO DE EQUIPAMIENTO INDUSTRIAL DEL BANCO DE MEXICO. .	217
7.3.1.- Objetivos del fondo . . . . .	217
7.3.2.- Disposiciones generales . . . . .	218
7.3.3.- Programa de equipamiento . . . . .	221
7.3.4.- Programa de control de la contaminación . . . .	223
7.3.5.- Programa de desarrollo tecnológico . . . . .	224
7.3.6.- Estudios de preinversión . . . . .	225
7.4.- NACIONAL FINANCIERA . . . . .	226
7.5.- PROBLEMAS ACTUALES DEL FINANCIAMIENTO EN MEXICO. . . .	230
7.6.- ALTERNATIVAS . . . . .	233
7.7.- CONCLUSIONES . . . . .	235
7.8.- REFERENCIAS . . . . .	238
<b>CAPITULO VIII: ANALISIS ECONOMICO . . . . .</b>	<b>239</b>

8.1.-	INVERSION REQUERIDA . . . . .	240
8.1.1.-	Activo Fijo . . . . .	240
8.1.2.-	Capital de trabajo . . . . .	244
8.2.-	OPCIONES DE INVERSION . . . . .	253
8.2.1.-	Ventajas impositivas . . . . .	253
8.2.2.-	Financiamiento . . . . .	253
8.2.3.-	Necesidad de divisas . . . . .	254
8.2.4.-	Opciones de inversión . . . . .	254
8.2.5.-	Análisis de las opciones . . . . .	258
8.2.5.1.-	Inversión total por parte de accio- nistas nacionales . . . . .	260
8.2.5.2.-	Inversión conjunta con Chronar ---- Corporation . . . . .	267
8.3.-	REFERENCIAS . . . . .	281
CAPITULO IX: CONCLUSIONES . . . . .		283

## I N D I C E D E F I G U R A S

FIG. 1.-	HISTORIA Y LOGROS DE LA CONVERSION FOTOVOLTAICA . . . . .	20
FIG. 2.-	COSTO DE LA ELECTRICIDAD. . . . .	24
FIG. 3.-	COSTOS DE GENERACION. ARREGLOS FOTOVOLTAICOS VS. PETROLEO. . . . .	25
FIG. 4.-	PROYECTO FOTOVOLTAICO DE VENTAS ANUALES POR SECCION . . . . .	27
FIG. 5.-	PROMEDIO DIARIO DE RADIACION SOLAR TOTAL . . . . .	31
FIG. 6.-	LOCALIDADES POR RANGO DE POBLACION . . . . .	35
FIG. 7.-	LOCALIDADES SIN ELECTRIFICACION EN EL PAIS . . . . .	35
FIG. 8.-	POBLACION RURAL SIN SERVICIO ELECTRICO . . . . .	36
FIG. 9.-	GRADO DE ELECTRIFICACION EN EL PAIS Y POR ESTADO . . . . .	38
FIG. 10.-	ACTIVIDAD EN CONVERSION FOTOVOLTAICA EN EL D.I.E. DEL C.I.- E.A. - I.P.N. . . . .	42
FIG. 11.-	PRECIOS DE GENERADORES ELECTRICOS . . . . .	47
FIG. 12.-	PROYECTOS DE COPLAMAR . . . . .	60
FIG. 13.-	MEXICO - PASADO . . . . .	77
FIG. 14.-	FRACCION DE MERCADO DE LAS ENERGIAS PRIMARIAS EN MEXICO . . . . .	78
FIG. 15.-	MEXICO - PROYECCION SOLAR . . . . .	79
FIG. 16.-	CANALES DE DISTRIBUCION . . . . .	83
FIG. 17.-	DIFERENTES CAMINOS PARA GENERAR POTENCIA MEDIANTE ENERGIA SOLAR . . . . .	84
FIG. 18.-	EFECTO FOTOCONDUCTIVO . . . . .	99
FIG. 19.-	CARACTERISTICAS CORRIENTE-VOLTAJE DE UNA CELDA SOLAR NO ILU- MINADA . . . . .	102
FIG. 20.-	CARACTERISTICAS CORRIENTE-VOLTAJE DE UNA CELDA SOLAR ILUMI- NADA . . . . .	104
FIG. 21.-	CELDA, MODULOS Y ARREGLOS SOLARES. . . . .	108
FIG. 22.-	ESQUEMA DE UNA CELDA DE ALMACENAMIENTO FOTOELECTRO-QUIMICA. . . . .	111
FIG. 23.-	CLASIFICACION DE MATERIALES PARA CONVERSION FOTOVOLTAICA. . . . .	114
FIG. 24.-	FOTOCÓNDUCTIVIDAD . . . . .	125



FIG. 25.- FOTOCONDUCTIVIDAD VS. CORRIENTE . . . . .	126
FIG. 26.- RESISTIVIDAD. . . . .	127
FIG. 27.- MOVILIDAD DE ARRASTRE . . . . .	129
FIG. 28.- DENSIDAD DE ESTADOS . . . . .	131
FIG. 29.- INTENSIDAD DE LUMINISCENCIA VS. $h\nu$ . . . . .	133
FIG. 30.- COEFICIENTE DE ABSORCION. . . . .	135
FIG. 31.- PICOS IR . . . . .	136
FIG. 32.- SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA PRODUCCION DE PELICULAS DE SILICIO AMORFO CON DESCARGA GASEOSA A RADIOFRECUENCIA, USANDO EL ACOPLAMIENTO INDUCTIVO . . . . .	158
FIG. 33.- ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL PARA DESCARGA GASEOSA CON ACOPLAMIENTO CAPACITIVO . . . . .	159
FIG. 34.- ESTRUCTURAS MOLECULARES DEL SILANO Y DEL DISILANO . . . . .	162
FIG. 35.- CURVAS DE ABSORCION DE SILICIO AMORFO PRODUCIDO POR DESCARGA GASEOSA Y POR DEPOSITO QUIMICO DE VAPOR USANDO DISILANO. . . . .	163
FIG. 36.- RECUBRIMIENTO DEL SUSTRATO DE VIDRIO EN UNA CAPA CONDUCTORA DE OXIDO DE ESTAÑO . . . . .	165
FIG. 37.- DIVISION DE LA CAPA APLICADA . . . . .	166
FIG. 38.- DEPOSITO DE SILICIO AMORFO POR MEDIO DEL PROCESO CVD . . . . .	167
FIG. 39.- REMOCION DE AREAS DE SILICIO AMORFO POR MEDIO DE LASER. . . . .	168
FIG. 40.- IMPRESION DEL ELECTRODO POSTERIOR . . . . .	169
FIG. 41.- APLICACION DE UNA CAPA PROTECTORA DE POLIMERO . . . . .	170
FIG. 42.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO CRONAR PARA LA FABRICACION DE DELDAS SOLARES DE SILICIO AMORFO . . . . .	171
FIG. 43.- CELDA SOLAR . . . . .	174
FIG. 44.- PANEL . . . . .	175
FIG. 45.- ARREGLO . . . . .	176
FIG. 46.- ACTIVIDADES . . . . .	186
FIG. 47.- CALCULOS DE LA RUTA CRITICA . . . . .	187
FIG. 48.- RUTA CRITICA . . . . .	188
FIG. 49.- CUADRO DE ESTIMULOS PARA LA DESCONCENTRACION DE LAS ACTIVI-	

DADES INDUSTRIALES PRIORITARIAS . . . . .	196
FIG. 50.- ZONA CENTRAL DEL PAIS . . . . .	199
FIG. 51.- EVALUACION POR PUNTOS DE LOS ESTADOS . . . . .	200
FIG. 52.- EVALUACION POR PUNTOS DE LOS MUNICIPIOS . . . . .	201
FIG. 53.- MAPA DE QUERETARO . . . . .	203
FIG. 54.- HIDROLOGIA DE QUERETARO . . . . .	204
FIG. 55.- MUNICIPIOS DEL ESTADO DE QUERETARO . . . . .	205
FIG. 56.- ESTRUCTURA DE LA PLANTA . . . . .	241

**OBJETIVOS:**

Este trabajo pretende desarrollar un estudio de factibilidad cuyos resultados se utilizarán para determinar la conveniencia o no del establecimiento de una empresa productora de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo dentro del territorio nacional.

Para lograr este objetivo se han definido las siguientes etapas:

- I.- Introducción
- II.- Análisis de Mercado
- III.- Análisis del Producto
- IV.- Análisis del Proceso
- V.- Descripción de la Planta
- VI.- Localización
- VII.- Financiamiento
- VIII.- Análisis Económico
- IX.- Conclusiones.

CAPITULO I

INTRODUCCION .

Toda transformación y esfuerzo producido tanto por el hombre, la naturaleza, o las máquinas requiere la intervención de una determinada cantidad de energía; es por eso, que la Energía es medida según la cantidad de trabajo que con ella se pueda efectuar. Es decir, es posible definir a la energía como "la facultad o poder para efectuar un trabajo" (1).

El desarrollo evolutivo del hombre ha estado acompañado de un uso en aumento de la energía así como de la diversificación de las fuentes para su obtención. Para poder desempeñar sus actividades cotidianas, la humanidad necesita de la energía, y es debido a lo anterior por lo que su adecuado suministro constituye un aspecto fundamental para la sociedad actual.

La primera fuente de energía que fue conocida y dominada por el hombre fue aquella derivada del fuego. A partir de ese momento, la historia sufre un impulso que la comienza a acelerar, marcándose de este modo la pauta en una gran cantidad de desarrollos e ingenios destinados a satisfacer las necesidades humanas. Cada vez que se descubre y conoce la manera de aprovechar una nueva fuente de energía, se producen aplicaciones que elevan notoriamente el nivel de vida de la comunidad. Así aparecieron la energía eólica, hidráulica y mecánica.

Sin embargo, el aprovechamiento de la energía liberada en las reacciones químicas y su transformación en energía mecánica de movimiento pudo ser alcanzada únicamente cuando la civilización llega a un estado avanzado de desarrollo. En la segunda mitad del siglo XVII, el uso del vapor de agua para accionar una máquina rudimentaria señala el inicio de una nueva etapa en el desarrollo humano, "La Revolución Industrial".

A partir de la revolución industrial la evolución se acelera cada

vez más.. Asimismo, la necesidad siempre en aumento de una fuente de energía impulsa la búsqueda de nuevos energéticos más eficientes para su aprovechamiento en la sociedad.

Aproximadamente 200 años después de la revolución industrial aparecen los motores de combustión interna, accionados por la fuerza expansiva de la combustión de combustibles derivados del petróleo. La introducción de estos motores en forma generalizada a la civilización permitieron un desarrollo impresionante y sostenido de la raza humana.

A principios del presente siglo es cuando esta última fuente de energía se encuentra formalmente presente en el mundo, y es ya antes de la primera mitad de la centuria el energético más popular, desbancando al carbón, madera, energía hidráulica, eólica, etc. A partir de ese momento el desarrollo se finca casi exclusivamente en el uso de dos energéticos: petróleo y electricidad. Siendo la electricidad generada, en un gran porcentaje, mediante el uso del petróleo.

Paralelamente a la aplicación del petróleo como energético, se desarrolla su aplicación en el campo de la industria química, llegando a crearse una nueva rama, la petroquímica. La aparición de esta nueva aplicación y el hecho de ser el petróleo un recurso no renovable, alertan a la humanidad sobre su perennidad. Sin embargo, nuevos descubrimientos de crudo suplen la creciente demanda de petróleo y hacen olvidar al mundo que el petróleo se acabará algún día.

A pesar de lo anterior, la explotación exhaustiva de las fuentes de combustible, carbón y petróleo, acumuladas por la naturaleza durante millones de años; las agota rápidamente obligando a la búsqueda y desarrollo de nuevas fuentes de energía.

Después de la segunda guerra mundial, se comienza a tomar conciencia sobre los problemas ocasionados por el aumento de los precios del petróleo, aunque muy ligeros en este período; asimismo se comenta sobre su influencia en el mundo y la dependencia de las naciones en ese producto. Este efecto ya había sido experimentado por algunas naciones durante la guerra. Es entonces cuando se comienzan a establecer proyectos formales de investigación de nuevas fuentes, enfocándose prácticamente hacia la energía nuclear.

En la década de los cincuentas y sesentas se acentúa la demanda de crudo, aun a pesar de la realidad de los reactores nucleares. Paralelamente brota la semilla de los movimientos conservacionistas que se oponen a la contaminación y luchan por la preservación de la naturaleza. Este movimiento crecerá en el futuro cercano. Estas peticiones comienzan a influenciar sobre la investigación de los energéticos, agregando el problema de obtener un energético anticontaminante.

El 17 de Octubre de 1973 una fuerte sacudida se presenta en el mundo: "El Embargo Petrolero". Los países productores de crudo decretan un drástico aumento en los precios de venta de su producto así como controles de producción. Esta fecha histórica determina para el futuro inmediato un redoblado esfuerzo de parte de las naciones desarrolladas para encontrar un sustituto al petróleo así como la reducción de su consumo. Los presupuestos para investigación y el número de investigadores aumentan considerablemente y es poco después cuando se obtienen los primeros resultados.

Ya en la década de los setentas, se tienen nuevos desarrollos tecnológicos que permiten el aprovechamiento de nuevas fuentes de energía. No obstante, y a pesar de estos desarrollos, el siglo XX puede caracterizarse por la etapa de mayores requerimientos energéticos que ha conocido la historia humana y por la edad del petróleo.

"Hablar de los energéticos actualmente es hablar de controversia, aunada de la incertidumbre del futuro" (2). Es ya común el señalar que México depende fundamentalmente de los hidrocarburos para satisfacer sus necesidades energéticas, y que las generaciones presentes tienen la responsabilidad ante las generaciones futuras de hacer un uso más racional de los energéticos existentes y de iniciar la sustitución de los no renovables por nuevas fuentes renovables y no contaminantes. Sin embargo, la historia muestra que esta sustitución ha sido muy lenta y paulatina, condicionada por factores económicos y tecnológicos.

A pesar del carácter aleatorio de cualquier pronóstico a futuro, es indudable que el mundo ha entrado en una época de dependencia petrolera y que a pesar de las condiciones presentes, los precios del crudo seguirán aumentando en la medida que se agote este recurso y su demanda no se disminuya drásticamente. Es urgente entonces, el impulsar la transición a un mundo donde el petróleo ya no se use como energético, sino como materia prima en todas las aplicaciones actuales y por desarrollar de la petroquímica, y esta transición debe de iniciarse en este preciso momento. "México está en la mejor situación para realizar gradualmente esta transición utilizando para ello prudentemente sus excedentes petroleros actuales" (3).

La conservación de la energía, entendiéndose como uso racional y eficiente, se agrava en México como en otros países en desarrollo, por la limitación causada por las sociedades opulentas, pues su desarrollo está basado en una estimulación del consumo, muchas veces superfluo, de los energéticos que conduce a un derroche de energía. Según un estudio realizado por la Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal, con relación al Plan de Desarrollo Industrial, en la República Mexicana se podrían obtener los ahorros más importantes de energía en el sector transporte y el sector indus-



trial. Sin embargo, la política de precios internos de los combustibles definida por el propio plan de desarrollo industrial, considera la continuación de un nivel bajo de precios en los energéticos, pudiendo generar el riesgo de desarrollar una industria ineficiente y un sistema de transporte derrochador en materia de energéticos.

La energía geotérmica ha tenido una importancia manifiesta en el desarrollo del país. Actualmente constituye la cuarta capacidad mundial instalada, después de EE.UU., Italia y Nueva Zelanda (4). Su tecnología se asemeja a la perforación de nuevos pozos petroleros y es factible en la actualidad. Sin embargo, existen otras dos opciones posibles cuyo desarrollo en el presente permite su utilización como fuente de energía. Estas alternativas comprenden a la energía nuclear y solar.

La obtención de energía mediante la fusión nuclear consiste en la unión de núcleos de átomos ligeros para formar núcleos más pesados, lo que va acompañado de la liberación de energía en grandes cantidades (5). Los Pronósticos más optimistas indican que podría tenerse en operación una planta de demostración de fusión nuclear, a escala industrial, en los primeros años del próximo siglo. No obstante, desde finales de la década de los setentas, la energía nuclear, antes ampliamente promovida, plantea varios problemas muy serios y complejos que cuestionan su desarrollo como la solución al problema energético. Se establece que este tipo de energía es insegura, productora de desechos altamente contaminantes y difíciles de manejar, y tal vez su principal enemigo; no es suficientemente económica para su aplicación inmediata. A finales de la década de los setentas y a principios de la siguiente década, el accidente de la central nuclear de "Three Mile Island" y el triunfo socialista en Francia disminuyen el apoyo hacia la ener-

gía nuclear en dos de los países que más habían desarrollado su uso. Sin dejar de experimentar, investigar, e incluso usar a la energía nuclear; el mundo vuelve la vista nuevamente hacia la búsqueda de otras alternativas para el mismo problema.

"La tierra oculta todavía más de 90 000 millones de toneladas de petróleo (los expertos calculan otros 200.000 millones más), pero un consumo anual promedio de 3000 millones de toneladas permite calcular fácilmente que estas reservas se agotarán a principios del siglo XXI, aunque sin duda, antes se producirán situaciones difíciles de superar" (6).

Se ha expuesto que el sol es la fuente más barata, anticontaminante y de mayor capacidad que se conoce en el planeta. A causa de la crisis vigente se han efectuado investigaciones y desarrollos por parte de un gran número de científicos que hacen del antiguo sueño de la utilización de la energía solar, una realidad con varias aplicaciones en el presente.

Actualmente se han desarrollado dispositivos capaces de aprovechar      fuentes renovables de energía. Dichos desarrollos comprenden básicamente      las siguientes tecnologías:

- Enfriamiento y calentamiento mediante energía solar.
- Molinos de viento
- Corrientes oceánicas
- Gradientes térmicos en los océanos
- Implementos fotovoltaicos.

En la bibliografía popular, la mayoría de las referencias sobre la energía solar se enfocan en su uso para el calentamiento. Los dos términos no son sinónimos, el calentamiento térmico solar es solamente una forma de emplear la energía solar, y no debe ser confundido con otras tecnologías      solares, especialmente con la conversión fotovoltaica.

La utilización de la energía solar puede realizarse por captación directa de la radiación solar para calefacción o para constituir la fuente caliente de un proceso de refrigeración por absorción, y para la obtención de energía mecánica a través de un ciclo termodinámico utilizando un fluido adecuado. Por otra parte, puede utilizarse la energía solar a través de fuentes indirectas como el viento, la energía de las olas, el gradiente térmico de los océanos en las regiones tropicales, la utilización de materiales orgánicos para la producción de combustibles y la utilización casi directa para la conversión fotovoltaica.

Los molinos de viento, corrientes marinas y gradientes térmicos están limitados severamente por el clima y la geografía. La mayor desventaja de estos sistemas es que todos dependen de dispositivos mecánicos que sufren desgastes por fricción y por lo tanto requieren de un servicio periódico para una operación adecuada.

La energía solar tiene dos características que dificultan su aprovechamiento eficiente: la dispersión e intermitencia. Los problemas actuales referentes a este energético se refieren a costos relativamente altos y a la falta de dispositivos de almacenamiento adecuados y económicos. No obstante; existen ya algunos dispositivos, particularmente celdas fotovoltaicas, que poseen ciertas características de eficiencia y factibilidad técnica de producción que les promete un auge en un futuro muy cercano.

México, por su situación geográfica y las características climatológicas de la mayor parte de su territorio, presenta condiciones privilegiadas para el aprovechamiento de la energía solar. Las aplicaciones más prometedoras en un corto plazo corresponden al calentamiento de agua (permitiendo un ahorro importante en el uso del gas doméstico), refrigeración y

conversión fotovoltaica. Prueba de esto es la existencia en el país de varias empresas e institutos de investigación que trabajan y comercializan dispositivos relacionados con las actividades antes mencionadas.

"Es sin duda, en el campo de la energía solar donde puede desarrollarse en México una actividad de investigación mayor y más fructífera, tanto por las condiciones de insolación de su territorio como porque se trata de un tipo de investigación que no requiere instalaciones muy costosas y que tiende al desarrollo de una tecnología relativamente sencilla" (7).

El proceso de convertir la energía de la luz del sol a electricidad fue descubierto en 1839 por Antonio Becquerel. El primer elemento que se usó en las celdas solares fue el selenio (selenio), pero tenía bajas eficiencias en cuanto a la conversión de energía solar a electricidad. Al ganar popularidad en el mercado, su uso se incrementó; sin embargo, debido a nuevas innovaciones en este campo las celdas de selenio son ya incosteables.

En 1873, Willoughby Smith, escogió un material al que llamó silicón para realizar experimentos dentro del agua encontrando que tenía propiedades adecuadas para producir una corriente eléctrica al ser expuesto a la luz solar. Desde esa fecha, muchos científicos y técnicos han dedicado un gran número de horas de trabajo examinando las formas en que el silicón produce electricidad.

El silicón es uno de los elementos más abundantes en la tierra. Muchas de las celdas solares se hacen de este material y puede considerarse como uno de los elementos que proporcionan una mayor eficiencia de conversión en las celdas fotovoltaicas.

El desarrollo de las celdas solares hechas de silicón tuvo una in-

fluencia directa en la industria del transistor, donde se empleo silicón en los experimentos iniciales. En la década de los cincuentas, los descubrimientos mostraron como hacer celdas fotovoltaicas usando estructuras policristalinas de silicón. Este material fue usado para desarrollar una mejor celda solar. "Bell Laboratories produce celdas de silicón con una eficiencia de más del 6%" (8). En la década siguiente el Dr. Joseph Lindmayer de Comstadt Corporation inventó la celda violeta. La eficiencia se incrementó hasta el 18% siendo aprovechada la celda por la industria aeroespacial.

Hasta 1974, la mayoría de las celdas solares habían sido construidas por los EE.UU. para aplicaciones espaciales. Estas celdas han dado electricidad a varios vehículos espaciales por un promedio de 20 años aproximadamente.

La primera celda solar terrestre fue construida para aplicaciones pequeñas a equipos de agua remotos. Los Bell Laboratories, mostraron que las celdas solares pueden ser usadas para comunicaciones telefónicas. (9).

Posteriormente, la universidad de Delaware construyó una casa con un gran porcentaje del techo cubierto de colectores solares.

De estas raíces, la producción de celdas fotovoltaicas se expandió. Se diseñaron nuevas celdas, cada vez más eficientes y económicas, hasta llegar a las celdas actuales con costos de producción notablemente inferiores a sus antecesoras. De las celdas actuales, destaca la de silicio amorfo, por sus características de costo, carencia de mantenimiento formal, larga vida y factibilidad de producción en serie con la actual tecnología.

La experiencia en el campo fotovoltaico de parte del Instituto Politécnico Nacional, la carencia de una amplia red eléctrica que supla todas

Las necesidades energéticas del país y la situación geográfica del territorio nacional indican, a groso modo, que la investigación de la factibilidad de producción de celdas fotovoltaicas en el país pudiese ser conveniente.

En México no ha habido hasta ahora un programa gubernamental para investigación y desarrollo en energía fotovoltaica. Sin embargo, en los últimos 5 años, al menos 3 instituciones han estado trabajando en proyectos de investigación básica, destinados a asegurar el control tecnológico de los fenómenos fotovoltaicos y en proyectos de desarrollo, con el propósito de definir y realizar sistemas operacionales con tecnología local.

Uno de los objetivos a corto plazo de la actividad de conversión fotovoltaica es reforzar los recursos técnicos y humanos con el objeto de desarrollar, a través de proyectos de investigación y desarrollo, tecnologías locales para sistemas de potencia eléctrica distribuidos y orientados a los aparatos más necesarios para el desarrollo de áreas rurales, principalmente aquellas no alcanzadas por la red comercial de la Comisión Federal de Electricidad.

## 1.2.- REFERENCIAS:

- (1) Enciclopedia Ilustrada Cumbre  
México D.F. 1971
- (2) Viqueira Landa, Jacinto  
"Energéticos; la perspectiva para después del petróleo".  
Conferencia pronunciada en la Academia Mexicana de Ingeniería el 27  
de Septiembre de 1979.  
Revista de Ingeniería. Volumen XLIX. No. 4, 1979
- (3) Viqueira Landa, Jacinto.  
Op. cit.
- (4) Viqueira Landa Jacinto  
Op. cit.
- (5) Viqueira Landa, Jacinto  
Análisis de las Opciones Energéticas de México  
Representaciones y Servicios de Ingeniería  
México D. F. , 1977
- (6) Viqueira Landa, J.  
"Energéticos; la perspectiva para después del petróleo"  
Revista de Ingeniería. Volumen XLIX. No. 4. 1979

- (7) Viqueira Landa, Jacinto  
Análisis de las Opciones Energéticas de México.  
Op. cit.
- (8) Smith, W.  
How to Make Your Own Electricity  
Shape  
Boston, 1982
- (9) Smith, W.  
Op. cit.



CAPITULO II

ANALISIS DE MERCADO

## 2.1.- DEFINICION.

Antes de desarrollar la aplicación del concepto Análisis de Mercado al presente trabajo, conviene aclarar su significado.

De acuerdo al Manual de Proyectos de Desarrollo de las Naciones Unidas, se establece que:

"El objetivo del estudio del mercado en un proyecto consiste en estimar la cuantía de los bienes o servicios provenientes de una nueva unidad de producción que la comunidad estaría dispuesta a adquirir a determinados precios. Esta cuantía representa la demanda desde el punto de vista del proyecto y se especifica para un período convencional (un mes, un año u otro)".(1)

En la misma fuente se añade que debe entenderse por mercado el punto donde llegan a converger la oferta y la demanda para establecer un determinado precio; con la aclaración de que "esa definición debe ser interpretada en el sentido amplio de la existencia de un conjunto de individuos cuyas solicitudes ponen de manifiesto la situación de oferta y demanda que conduce a establecer el precio, y de ahí se deriva la necesidad de precisar a que conjunto de individuos abarcará el estudio de que se trata".(1)

Es entonces, el estudio de mercado, una actividad encaminada a determinar la demanda presente y a futuro de un producto; asociando ésta idea al precio al que se pudiese ofrecer y tomando en cuenta a la competencia o cualquier otro factor cuya influencia resultase relevante.

En el caso de la demanda, puede hablarse de una demanda insatisfecha y una demanda por sustitución. Es decir, que puede existir demanda de un producto (bien o servicio), por una carencia o falta de capacidad de elementos productores de tal bien o servicio, o por la aparición de un elemento

productor que ofrezca productos que mejoren o aventajen en alguna o algunas condiciones a los productos ya establecidos sustituyendo por desalojo la demanda de tal producción. Para el presente estudio, como se tratará posteriormente, se presentarán ambos casos de demanda.

Finalmente, se establece que para desarrollar un estudio de mercado son necesarias dos etapas: una destinada a "la recopilación de antecedentes y el establecimiento de bases empíricas para el análisis" y otra para "la elaboración y análisis de esos antecedentes". Refiriéndose ambas etapas a la demanda tanto actual como futura, dentro del período de planeación de un proyecto.

Para el caso de éste trabajo, de acuerdo al producto a fabricar, se intenta exponer los datos e informaciones tanto cualitativas como cuantitativas que se consideren relevantes para la determinación de la demanda a tal producto. Se busca además, aclarar las aplicaciones del bien a producir, sus posibles solicitantes, compradores y competidores con algún producto sucedáneo; tomando en consideración siempre que sea posible precios y un período comprendido en general desde el momento presente hasta finales del siglo.

## 2.2.- PRODUCTO.

Información más detallada y completa acerca del producto se proporciona en un capítulo posterior. Para fines del presente tema basta con hablar en forma general de lo que es una celda fotovoltaica de silicio amorfo y sus aplicaciones.

Básicamente, una celda fotovoltaica es un dispositivo capaz de transformar la energía que recibe de la radiación de la luz solar en energía

eléctrica al producir una diferencia de potencial eléctrico entre dos de -- sus puntos. Si con éste dispositivo se alimenta algún circuito se obtendrá una corriente eléctrica y la potencia de que disponga tal circuito dependerá de la cantidad de energía que reciba y pueda aprovechar la celda ( efi-- ciencia ) y el número de celdas que alimenten a dicho circuito.

Es decir, una celda fotovoltaica primordialmente se emplea como un -- suministro de energía eléctrica y sus aplicaciones se refieren a aquellas -- propias del uso de la energía eléctrica por parte del hombre.

El uso práctico de la energía solar en la conversión fotovoltaica -- arroja los siguientes beneficios:

- Carencia de partes móviles.
- Operación no contaminante.
- Una fuente libre e infinita de energía.
- Capacidad de producción de dispositivos fotovoltaicos en gran escala con la tecnología existente.

Los dispositivos fotovoltaicos convierten la energía solar directa-- mente en energía eléctrica. La luz solar es absorbida mediante materiales semiconductores, causando que ciertas partículas cargadas eléctricamente -- fluyan como una corriente eléctrica. Al conectar algunos alambres a las -- celdas, se puede dirigir una corriente eléctrica hacia una carga como un mo tor, una lámpara o una unidad de almacenamiento para uso ulterior.

Para una aplicación práctica, un dispositivo fotovoltaico consiste -- de celdas depositadas en un substrato de vidrio montado en un armazón rígido. Las celdas se agrupan juntas y se encapsulan en un panel protector. -- Los paneles se combinan en arreglos mayores que se usan en la cantidad re-- querida de acuerdo a la necesidad de energía eléctrica. (2)

La economía de la generación de energía eléctrica puede evaluarse ---

comparando el costo de un Vatio-pico con otras fuentes de producción de -- energía. Un Vatio-pico es la unidad usada para medir la electricidad produ-- cida por un dispositivo fotovoltaico. Se define como la máxima potencia -- eléctrica que puede suministrarse para una intensidad solar pico, especifi-- camente el mediodía en un día claro.

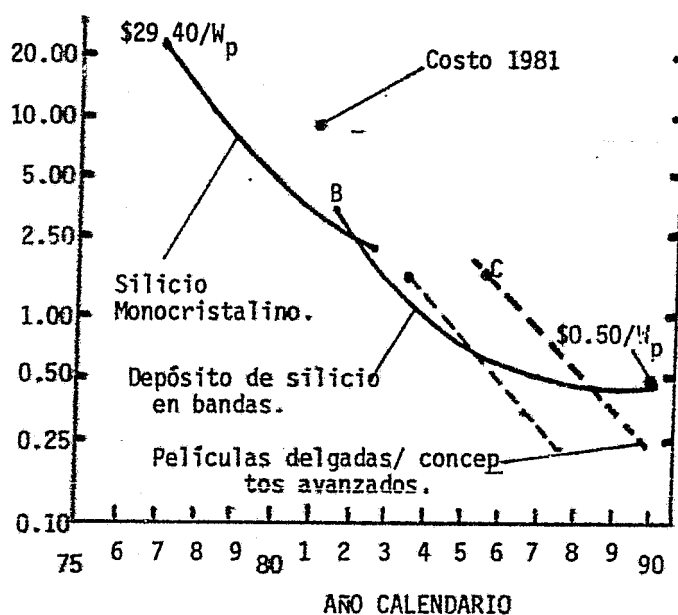
La tecnología fotovoltaica aparenta ser el área más promisoría y po-- tencialmente rentable de la industria solar, aún cuando es una de las más -- recientemente desarrolladas. El costo de las celdas solares, únicamente -- desde 1973, ha disminuído cien veces, de 1000 Dlls. a menos de 10 Dlls. por Vatio -pico. En comparación, el costo del petróleo se ha incrementado en -- más de un 600% en el mismo período. ( 3 )

Esta reducción de costos llega a ser más significativa cuando se con-- sideran diferentes tecnologías. Hasta ahora el mercado de celdas fotovol-- taicas ha consistido exclusivamente de dispositivos de silicio monocristali-- no. El proceso de manufactura para estos productos es complejo y no adecua-- do para una producción comercial de bajo costo ya que requiere una purifica-- ción a altas temperaturas y un crecimiento de los monocristales. Incluso -- con alta eficiencia, 10%, el costo de generación es relativamente alto, -- aproximadamente 10 Dlls. por Vatio-pico.

Sin embargo, se esperan mayores reducciones de costos en el futuro -- cercano debido al uso de películas semiconductoras extremadamente delgadas sobre substratos de vidrio baratos. El costo pronosticado de manufactura -- para 1984 se prevee en .5 Dlls. por Vatio-pico y se piensa en reducciones -- de hasta .30 Dlls. por Vatio-pico en 1990. La historia y pronósticos de -- los costos de electricidad mediante dispositivos solares, estimados por el Departamento de Energía de los E.E.U.U., se ilustran a continuación. (pre-- cios en dólares de 1980), figura 1.

FIGURA 1.

HISTORIA Y LOGROS DE LA CONVERSION FOTOVOLTAICA  
(DOLARES 1980)



FUENTE: The Economics of thin Film Photovoltaicas  
Dr. Zoltan Kiss  
Chronar Corporation  
Princeton, N.J. 1981.

Debe notarse en esta tabla:

1.- La drástica reducción de costos lograda para la actual tecnología ( células solares de silicio monocristalino ) sobre los últimos años de 1000 dólares por vatio pico en 1973 a 10 dólares por vatio pico en 1979.

2.- La reducción adicional de costos prevista para el silicio monocristalino de 0.50 dólares por vatio pico para fines de los ochentas.

3.- El surgimiento de dispositivos de película delgada después de -

1986 y su reducción de precio de 0.22 dólares por vatio pico en 1990.

Sin embargo, de acuerdo al Dr. Zoltan Kiss, deben hacerse dos modificaciones significativas al pronóstico del Departamento de Energía.(3)

1.- El costo final de las celdas de silicio monocristalino no irá más abajo de 3 dólares por vatio pico y es más probable que permanezca arriba de tal precio. ( La Predicción del DOE para 1981 fué de 3 dólares por vatio pico y el costo real a ese año fué de 9 dólares por vatio pico ).

2.- Las celdas de película delgada pueden introducirse hasta 4 años antes que lo establecido en el pronóstico. La producción en masa será factible a mediados de 1986 a un costo de 0.50 dólares por vatio pico. Esto significa que la curva "C" de la figura, que representa los costos pronosticados y su viabilidad, deberán trasladarse aproximadamente al punto "B".

Del tipo de películas delgadas listas para la producción piloto, --- aquellas que emplean el silicio amorfo son las más promisorias. Su eficiencia se llegará a mantener en un 10% para un futuro inmediato ( el 5% en --- 1981 ), y con su costo substancialmente menor de producción, serán capaces de penetrar los mercados existentes.

La gran significancia de éstas reducciones de costo ha sido reconocida en Japón. Este país oriental, ha desarrollado investigaciones sobre silicio amorfo desde 1977. Entre otras, se encuentran involucradas en éste campo compañías como Sanyo, Fuji Electric, Matsushita, Mitsubishi, Teijin y Sony. En los Estados Unidos se han desarrollado tecnologías sobre proceso y producto en RCA, Exxon, Chronar, ECD, Xenox y Arco Solar. En Europa destaca la posición desarrollada por Siemens.

El proceso de fabricación de celdas fotovoltaicas de película delgada ( del que se hablará posteriormente con más detalle ), es similar al de la fabricación de espejos. El costo de 0.50 dólares por vatio pico para --

los paneles fotovoltaicos supone un costo de producción de 2.25 dólares por pie cuadrado, aproximadamente diez veces el costo de manufactura de espejos.

Para el uso de transductores fotovoltaicos deben de considerarse --- arreglos de un sistema completo que requiere de algunos elementos adicionales a la celda; tales como una superficie adecuada, estructura para ensamblaje y acondicionamiento para uso y almacenaje de energía. Obviamente que éstos factores influyen en la inversión y se denominan Balance del Sistema ( BOS - Balance of System ). Pueden aclararse algunos puntos a éstos elementos:

**Superficie.-** Aunque los costos de superficie varían con la localidad, casi cualquier terreno es adecuado y los costos de preparación son mínimos.

**Estructura de ensamblaje.-** Un estudio efectuado en los Estados Unidos en 1981 aclara que empleando armazones convencionales se obtiene un costo de 0.05 de dólar por vatio pico a un 10% de eficiencia.

**Acondicionamiento de energía.-** Depende del tamaño de la instalación. Para un sistema de 5 Kilo-vatios pico ( reemplazo de motores Diesel y aplicaciones residenciales ), se tiene un costo de 0.20 de dólar por vatio pico, pero en sistemas mayores, se obtienen costos menores, se supone de 0.05 de dólar por vatio pico.

**Almacenamiento.-** Este es un factor muy costoso. El método tecnológico para almacenar energía usa la energía eléctrica fotovoltaica para electrólisis del agua. El hidrógeno generado de éste modo, se almacena como un gas comprimido y sólido. En una etapa posterior, el hidrógeno se recombina químicamente dentro de una celda combustible con oxígeno ( puro o del aire ) para generar directamente electricidad. El costo de generación por éste método es de 0.20 de dólar por vatio.



Sin embargo, existe el método paralelo de almacenamiento mediante baterías eléctricas. Para un transductor de 5 Kilo-vatios pico, con una capacidad de almacenamiento de 3 días, el costo sería de 0.70 de dólar por vatio pico.

Este último es el método más empleado debido a problemas de factibi-  
lidad de producción en gran escala de las celdas de combustión.

De acuerdo al estudio anterior, ( realizado en Estados Unidos en --  
1981 ), el costo total para el BOS fue de 0.30 de dólar por vatio pico ----  
( sin contar el almacenamiento y según la eficiencia de la instalación ).

Si se incluye el costo de almacenamiento, el costo total del BOS va-  
ría de 1 dólar por vatio pico a 0.35 de dólar por vatio pico según se reem-  
placen las baterías por las celdas de combustión.

### 2.3.- MERCADO PARA LOS DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS DE PELICULA DELGADA EN ESTADOS UNIDOS EN 1981.

El doctor Zoltan Kiss reportó un estudio de mercado fotovoltaico pa-  
ra los Estados Unidos en 1981. Por considerarlo relevante y adecuado para  
ampliar la visión que se pueda tener sobre el tema, se resume a continua---  
ción algunos de los puntos más importantes.(3)

Los costos de generación fotovoltaica son significativamente económi-  
cos en relación a las cuatro alternativas energéticas de generación eléctri-  
ca en el presente: Hidráulica, generadores accionados por combustión de car-  
bón, generadores accionados por motores de combustión interna a base de com-  
bustibles derivados del petróleo y generadores nucleares.

La figura 2., compara el costo de estas alternativas para una inver-  
sión inicial de capital y costos de operación. En todos los casos se depre-

cia el capital a 20 años, pues es la vida de una celda fotovoltaica (ninguna celda en laboratorio ha durado menos de 10 años de operación).

FIGURA 2.

COSTO DE LA ELECTRICIDAD (¢ por Kwatio hora, costos en dólares de 1981)

	COSTO CAPITAL	COSTO DE OPE RACION Y COM BUSTIBLE	COSTO TOTAL	COSTO DE CONSTRUCCION
HIDRAULICA	3-4 ¢	1 ¢	4-5 ¢	3-5 años
CARBON	3-4 ¢	4 ¢	7-8 ¢	2-4 años
PETROLEO	3-4 ¢	6 ¢	9-10¢	2-4 años
NUCLEAR	5-7 ¢	2 ¢	7-9 ¢	8-12 años
ARREGLO FOTO- VOLTAICO (1984)	12 ¢	0.1 ¢	12 ¢	3-5 años

FUENTE: The Economics of Thin Film Photovoltaics  
Dr. Zoltan Kiss  
Chronar Corporation  
Princeton, N.J. 1981.

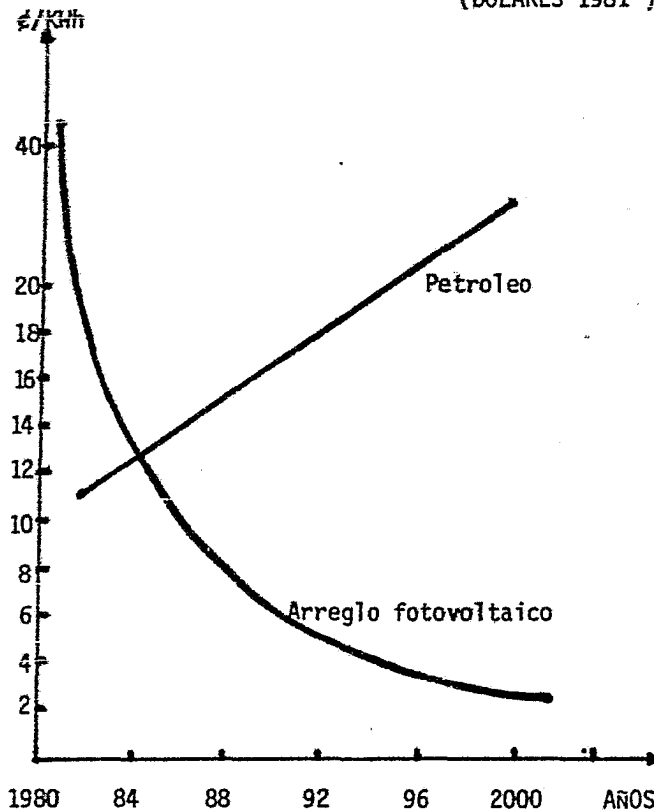
La planta fotovoltaica supone una carga pico de servicio sin almacenamiento en un costo de 2.30 dólares por vatío pico y 20 años de vida. De aquí que se pueda concluir que las celdas fotovoltaicas de película delgada serán competitivas en costo para 1984, comparadas con generadores accionados con derivados del petróleo para nuevas instalaciones y cargas pico.

La figura 3, compara el costo estimado en dólares de 1981 de la generación eléctrica usando petróleo contra arreglos fotovoltaicos para las próximas décadas.

El costo de generación de energía eléctrica por medios fotovoltaicos va en descenso. A finales de siglo se espera que el costo de generación eléctrica mediante petróleo será ocho veces mayor que el costo de generación fotovoltaica.

FIGURA 3.

COSTOS DE GENERACION: ARREGLOS FOTOVOLTAICOS VS. PETROLEO  
(DOLARES 1981 )



FUENTE: The Economics of Thin Film Photovoltaics  
Dr. Zoltan Kiss  
Chronar Corporation  
Princeton, N.J. 1981.

Otra forma de hacer la comparación consiste en notar que un barril de petróleo, para poder competir con las celdas solares, deberá tener un costo de menos de 10 dólares en el año 2000.

Las aplicaciones de mercado en los Estados Unidos para celdas fotovoltaicas son aquellas áreas donde el uso de fuentes convencionales de energía eléctrica es prohibitivamente caro. Los ejemplos son sistemas de comu-

nicación que repiten señales en cimas de montañas, equipo telemétrico, naves aeroespaciales, satélites, iluminación para boyas, estaciones climatológicas remotas y protección catódica (circulación de una corriente eléctrica a través de un metal para prevenir corrosión) de puentes y otras estructuras.

Adicionalmente, existe un mercado intermedio consistente en el reemplazo de generación de energía eléctrica con motores diesel.

Mientras el costo relativo de generación solar decaiga el número y variedad de aplicaciones aumentarán significativamente.

El mercado externo, especialmente en países en desarrollo, mostrará un desarrollo particularmente rápido. Debido a que éstos países no están enlazados a una estación central de energía, la energía fotovoltaica no tiene que reemplazar una fuente de generación ya existente y puede llegar a ser la primera fuente de electricidad para miles de poblados remotos en el mundo. Las plantas solares son especialmente adecuadas para éste tipo de aplicación dispersa y en pequeña escala, ya que pueden construirse y operarse económicamente en pequeñas unidades.

El mercado potencial en la industria, milicia y residencias es ilimitado. Bajo el acta de Políticas Regulatorias de Servicio Público, se exige a los usuarios a comprar exceso de energía a productores privados. Esto podría proporcionar un incentivo especial a la compra de sistemas fotovoltaicos.

Para 1986, será económicamente ventajoso para usos que requieran carga pico, la instalación de granjas generadoras fotovoltaicamente en vez de construir nuevas plantas de generación eléctrica con petróleo.

La predicción del tamaño potencial del mercado fotovoltaico solar es difícil debido a la incertidumbre económica y a diversos factores impondera

bles. Paul Maycock, un miembro antiguo del DOE (Departamento de Energía de Estados Unidos), ha dicho que "la energía fotovoltaica será económicamente viable antes de que los servicios públicos puedan construir su próximo reactor". La firma de asesoría privada Monegon Ltd., de Gaithersburg, Md, predijo que la industria fotovoltaica alcanzará 100 billones de dólares en ventas antes del año 2000.

El director de investigación de la Universidad Estatal de Arizona, - Doctor Charles Bakus, establece que la electricidad fotovoltaica puede proporcionar hasta el 10% de la electricidad de los Estados Unidos para el año 2000.

Para el futuro inmediato, la Asociación de Energía Solar predice ventas de 500 mil dólares para 1985.

La siguiente tabla (figura 4), resume las proyecciones sobre 4 de -- los mercados más promisorios abiertos a las aplicaciones fotovoltaicas solares.

FIGURA 4.

PROYECTO FOTOVOLTAICO DE VENTAS ANUALES POR SECCION

C O S T O *		MERCADO	TAMAÑO	FECHA POSIBLE
KVATIOS HORA	VATIOS PICO			
\$0.55	\$10	Potencia remota	\$300 M	1983
0.17	3/Wpico	Diesel pequeño	1000-3000M	1986-1990
0.12	1.50	Residencias	10000M	1990
0.09	1.00 ó menos	Utilidades	30000-100000M	2000

\*Costo total del sistemas instalado (\$=dólares; M=millones )

FUENTE: The Economics of Thin Film Photovoltaics  
Dr. Zoltan Kiss  
Chronar Corporation  
Princeton, N.J. 1981.

#### 2.4.- DESARROLLOS EN 1982.

Los datos anteriormente descritos, parecen por sí mismos adecuados para investigar su uso y producción en la República Mexicana. No obstante, en 1982 se produjeron nuevos desarrollos que modificaron la ya de por sí, privilegiada situación de las celdas solares de película delgada.

En mayo de 1982 se firmó un convenio entre los Estados Unidos y el gobierno de Marruecos para producir una planta fotovoltaica con una capacidad de 20 Mega vatios a un costo de 25 millones de dólares, siendo la primera orden de celdas de película delgada que se vende al extranjero.(4)

De entre las celdas de ésta naturaleza disponibles en la actualidad, destacan las de silicio amorfo y las de calcogénidos de cadmio. Se ha tomado una preferencia generalizada hacia el silicio amorfo, ya que es menos costoso y su proceso no es peligroso, debido a que las materias usadas en los calcogénidos son tóxicas. Además, tiene en estos momentos una atención primordial de parte de industriales e investigadores.

En el mismo mes de 1982, una compañía americana con un proceso un tanto diferente al usual en los Estados Unidos y Japón, logra reducir más los costos y asegura que puede producir paneles de silicio amorfo con capacidad de generar 4 vatios pico a un costo de 0.08 de dólar por vatio pico, con una eficiencia de 5%, y que a una eficiencia de 10% el mismo panel puede generar 8 vatios pico a 0.04 de dólar por vatio pico. Con ese proceso, una orden para un panel pequeño en el margen de 100 vatios pico podría adquirirse a 8.50 dólares por vatio pico; para un sistema residencial de 1 a 10 Kilo vatios pico el precio sería de 7 dólares por vatio pico, mientras que unidades del tamaño de una calculadora estarían por abajo de 2 dólares.

Los últimos avances tecnológicos y las importantes reducciones de --

costos en la manufactura de las celdas de silicio amorfo (alrededor de 0.50 de dólar por vatio pico), plantean promisorio el efectuar un análisis de -- mercado para la República Mexicana.

En los próximos incisos se buscará justificar (en caso de ser posible) la demanda de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo, suponiendo su fabricación en una planta ubicada dentro del territorio nacional con un costo de manufactura similar al obtenido en los Estados Unidos y a un precio de venta propuesto de 4 dólares por Vatio pico (600 pesos M.N./vatio pico), que es relativamente bajo respecto a los precios de dispositivos fotovoltaicos que existen dentro del mercado nacional.

## 2.5.- PERSPECTIVA FOTOVOLTAICA EN MEXICO.

Para analizar el mercado de los dispositivos de generación de energía eléctrica por medio de celdas fotovoltaicas, deben tomarse otros puntos de vista según las características propias del país.

A diferencia de los países que han desarrollado tecnologías importantes en el campo fotovoltaico, los países en desarrollo (México entre ellos), se caracterizan por una carencia del servicio de electricidad en un determinado grado. Es en éstos países, donde las celdas fotovoltaicas pueden cubrir esa falta de servicio satisfaciendo esa demanda y a la vez pueden -- sustituir a algunos medios convencionales de generación de energía eléctrica al ser más económicos, su perspectiva es pues más amplia, más aun si se toman proyecciones de demanda a futuro.

### 2.5.1.- Factibilidad de uso de dispositivos fotovoltaicos.

De obvia importancia para el uso de celdas solares es la radiación -

solar que incide sobre el territorio mexicano. Este factor debe tener la magnitud suficiente para justificar la introducción del producto al país.

R. Almanza y S. López, investigadores del Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M., publicaron un trabajo sobre la radiación solar total en la República Mexicana.(5)

En dicho trabajo los autores exponen la factibilidad de obtener un mapa de radiación solar media de un período de tiempo determinado para el país.

Para la elaboración de éstos mapas, se emplea generalmente medidas directas de la energía que incide por unidad de tiempo y por unidad de área en un plano horizontal, mediante el uso de un Pyranómetro. En el caso de ausencia de éstas medidas, es posible usar relaciones empíricas para estimar la radiación total de horas de insolación y el porcentaje de insolación o nubosidad posible. Como otra alternativa, para una región en particular, la radiación global puede estimarse por medio de información de localidades de similar latitud, topografía y clima. El uso de información de insolación y varios métodos para obtener información empírica sobre radiación total, tiene una aproximación de +/- 10%.

El método empleado en el caso de México en ésta investigación, es el empírico propuesto por Jeeranda y el uso de información meteorológica recopilada durante un gran período. Este método tiene una precisión de +/- 10%.

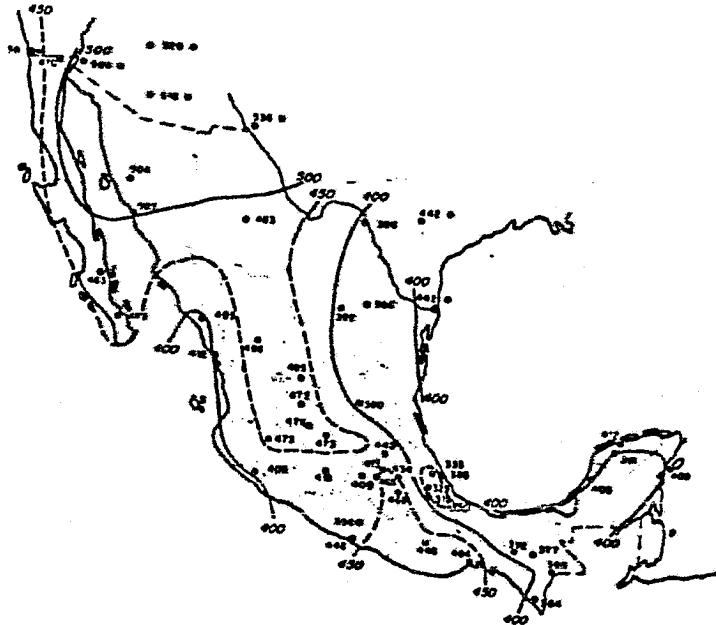
De esta forma se establecieron mapas mensuales de radiación solar sobre el territorio nacional en Langleys/día ( $1 \text{ ly/día} = 41.84 \text{ KJ/m}^2 \text{ día}$ ).

En base a esos mapas se estableció un mapa promedio anual de radiación solar total de la República. Ese mapa se representa a continuación, (figura 5).



FIGURA 5.

PROMEDIO DIARIO DE LA RADIACION SOLAR TOTAL  
( LANGLEYS POR DIA )



FUENTE: Almanza R. y López S.  
Total solar radiation in Mexico using sunshine hours & meteorological  
data  
Solar Energy  
Vol. 21, No. 5, 1978.

De este mapa se puede observar que el promedio de radiación global - mayor se registra en Sonora con 504 Ly/día y el menor con 316 ly/día en una pequeña porción entre Puebla y Veracruz, quedando los demás lugares comprendidos entre éstos valores. Casi todo Sonora, Norte de Chihuahua y porciones de Baja California Sur presentan un alto nivel de radiación (más de 500 ly/día).

Dos regiones presentan niveles mayores a 450 ly/día; la primera abarca casi toda la península de Baja California, Sur de Sonora y Chihuahua, -- norte de Sinaloa y gran parte de Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco

co, Queretaro y Guanajuato; la segunda abarca a gran parte de Puebla, Guerrero y Oaxaca.

Se puede decir que los niveles de radiación global promedio anual en el país son altos, especialmente en las regiones antes mencionadas. Pero - cabe preguntar: ¿ es ésta radiación suficiente para el uso adecuado de sistemas de generación de energía eléctrica mediante dispositivos fotovoltaicos ? . Citando a López y Almanza puede responderse esta pregunta.

"Debe notarse que más de la mitad del país recibe  $16\ 736\ \text{KJ/m}^2$  día - (400 ly/día) durante el año, lo que hace a México un país con un gran futuro para la energía solar como fuente energética. Esta podría usarse en el calentamiento de agua, secado de granos, cocinas, refrigeración, aire acondicionado, calentamiento, bombeo de agua, generación de energía eléctrica, etc."(5)

#### 2.5.2.- Aplicaciones.

La aplicación de los dispositivos fotovoltaicos en México, presentan algunas diferencias respecto a los usos determinados en los Estados Unidos.

Obviamente que el uso en aeronáutica y satélites espaciales no concierne a la realidad mexicana; no obstante, debido a las carencias energéticas en el medio rural, las aplicaciones fotovoltaicas abarcan un mayor número de aspectos.

En general se puede hablar de los siguientes usos para los dispositivos fotovoltaicos:

- Alumbrado rural (interior y exterior).
- Aparatos electrodomésticos de baja potencia en zonas rurales.

- Receptores rurales de T.V. (T.V. educativa, video grabaciones en escuelas, etc.).
- Estaciones receptoras de T.V.
- Suministro de agua para abrevaderos de ganado.
- Bombeo de agua en zonas rurales (pequeña capacidad).
- Detectores sismológicos y estaciones climatológicas.
- Señalamientos marítimos y en cruces de ferrocarriles.
- Refrigeración rural.
- Pequeños cargadores de granos.
- Protección catódica.
- Cría de animales.
- Bombeo para irrigación.
- Fabricación de hielo.
- Centros veterinarios.
- Secado de cacahuete.
- Empaque de vegetales, etc.

#### 2.5.3.- Electrificación rural.

Es obvio que la demanda de dispositivos fotovoltaicos radica, básicamente, en las zonas rurales y en función del grado de electrificación de dichas localidades.

La importancia de electrificar a las zonas rurales es vital para la República Mexicana. Un adecuado suministro de energía al campo influye en un mejoramiento del nivel de vida de sus habitantes, permite que se mejore la productividad en la producción de alimentos y racionaliza el uso de la energía de la nación.

El gobierno del sexenio 76-82 reconoció estos aspectos e identificó su posición respecto a las prioridades nacionales: alimentos y energéticos. (6)

La electrificación rural fue entonces incorporada a los planes de estrategia de la nación. El Sistema Alimentario Mexicano (SAM), plan global de desarrollo 1980-1982 y plan nacional de Electrificación rural 1979-1982.

El trabajo que en materia de electrificación rural se ha efectuado en México es muy elogiado, pero aun queda una gran demanda por cubrir.

A inicios de la administración actual del Lic. Miguel de la Madrid H., el país enfrenta una crisis económica que puede ser considerada como el punto principal a tratar en el sexenio.

No obstante, la electrificación rural es aun vital, pues directa o indirectamente influye en las soluciones que podrían aplicarse en mayor o menor grado. Un aumento en la producción agrícola y ganadera, efecto de una mejor electrificación, ayudaría a disminuir la dependencia alimentaria mexicana en la importación de productos básicos, a la vez que permitiría el logro de algunos excedentes aplicables a la exportación y a la captación de divisas.

El mejoramiento del nivel de vida del medio rural, producto de una mayor electrificación, aliviaría en algo los niveles de desempleo y subempleo en las zonas urbanas al reducirse la emigración del campo. Es pues obvia, la importancia de la electrificación rural en México.

De acuerdo a datos de la C.F.E. en "El Programa de Electrificación Rural en México", en 1980 el 33% del total de la población mexicana estaba compuesto por habitantes de zonas rurales. El aumento en el número de habitantes rurales en el período de 1970 a 1980 fue de 12%, que puede considerarse bajo y es debido a la emigración del campesino a las zonas urbanas o al extranjero. (6)

FIGURA 6.

RANGO DE POBLACION			LOCALIDADES
De	1 a	99	57 367
	100	249	16 279
	250	499	13 469
	500	999	8 960
	1000	2499	5 244
S U M A			101 319

FUENTE: El programa de Electrificación Rural en México; IX Conferencia de Latinoamérica de Electrificación Rural; C.F.E.

En la figura 6, puede notarse que el 38.97% de la población rural de 1980 estaba localizada en localidades de menos de 500 habitantes y siendo estas localidades en total 87 115.

La tabla siguiente (figura 7), muestra el avance de electrificación en el país.

FIGURA 7.

POBLACION		LOCALIDADES
SIN ELECTRIFICACION	RURAL*	21 484
	URBANA	3 096
	TOTAL	24 610
EN EL PAIS	RURAL	101 319
	URBANA	3 132
	TOTAL	104 451

\* Se entiende por población rural a aquella que habita en localidades de -- menos de 2 500 pobladores.

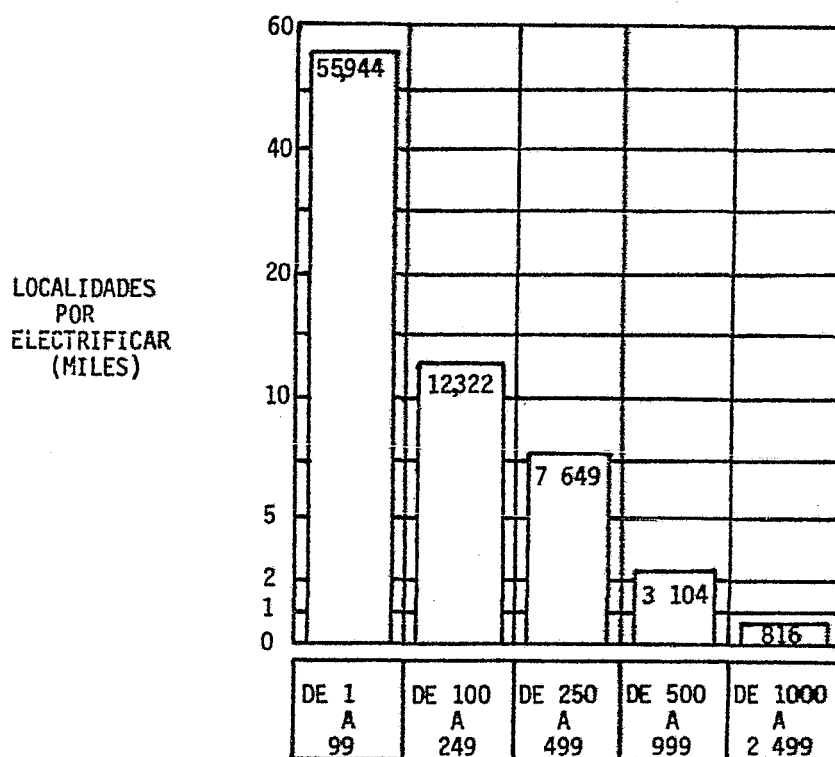
FUENTE: El Programa de Electrificación Rural en México; IX Conferencia de Latinoamérica de Electrificación Rural; C.F.E.

De esta tabla debe notarse que; el 23.56% de las localidades del --- país aún carecen de energía eléctrica y que, de éstas localidades el 87.3% - esta constituido por localidades rurales.

Un análisis más detallado conduce a la siguiente tabla (figura 8).

FIGURA-8.-

POBLACION RURAL SIN SERVICIO ELECTRICO



FUENTE: Comisión Federal de Electricidad  
El programa de Electrificación Rural en México  
Novena Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural  
1981.

Notese que de la totalidad de localidades sin electrificar en 1980, 79 871, el 95.09% lo constituyen localidades de menos de 500 habitantes.

Con los datos anteriores y otros más, tomados del XX Censo de población y vivienda del 4 de junio de 1980, es posible el obtener conclusiones interesantes.

Esto es, el crecimiento de 12% en la población del campo en 10 años arrojó un promedio de 3.6% cada 3 años. En base a ésto, y suponiendo que las condiciones que determinan el aumento de la población rural permanecen constantes, puede concluirse que un promedio de la población del país en zonas rurales en 1983 es de 23 036 900 habitantes, pues la población del país en México (en 1980) era de 67 383 000 con un 33% de población rural.

Proyecciones de la SPP y el CONAPO establecen que la población en México en 1983 es de 74 835 900 habitantes, por lo que puede inferirse que en la actualidad, el porcentaje de la población rural del país es del 30.78%, -aproximadamente.(7)

Para fines de comparación con objeto de obtener una cifra significativa, se considera que en la actualidad el porcentaje de localidades con menos de 500 habitantes es el mismo al de 1980 (38.97%) y se encuentra en un promedio de 88 000 localidades, podemos resumir que en este momento, 8 977 480 habitantes viven en localidades rurales del país de menos de 500 habitantes y suponiendo porcentajes similares a 1980, el 95.09% de las localidades sin electrificar en el país consta de menos de 500 habitantes.

Estos números expresan claramente la carencia de energía a la que se enfrenta un porcentaje importante de mexicanos.

Con datos de 1980 de la SPP y CONAPO, se puede contruir la siguiente tabla (figura 9), que ilustra sobre el grado de electrificación rural promedio en el país y por Estado de la República.

FIGURA 9.

ESTADO	NUMERO DE VIVIENDAS	HABITANTES POR VIVIENDA	VIVIENDAS SIN ELECTRICIDAD	% DE VIVIENDAS SIN ELECTRICIDAD
ZAC.	180 810	6.3	80 886	-44.74
YUC.	193 553	5.3	39 350	20.33
VER.	991 370	5.3	404 485	-40.8
TLAX.	88 505	6.2	15 317	17.31
TAMPS.	378 020	5.1	103 357	27.34
TAB.	190 818	6.0	105 678	-55.38
SON.	279 631	5.4	87 192	-31.18
SIN.	307 885	6.1	93 511	30.37
SLP.	287 518	5.8	148 032	-51.49
QR.	42 558	4.9	10 687	25.11
QRO.	123 095	5.9	43 855	-35.63
PUE.	582 079	5.6	166 658	28.63
OAX.	476 638	5.3	235 791	-49.47
NL.	444 164	5.5	50 729	11.44
NAY.	137 327	5.3	21 272	15.48
MOR.	168 583	5.5	24 226	14.37
MICH.	532 505	5.7	219 044	-41.13
MEX.	1 297 772	5.8	204 656	15.77
JAL.	748 264	5.7	113 369	15.15
HGO.	264 744	5.7	98 953	-37.38
GRO.	393 628	5.5	162 737	-41.34
GTO.	487 216	6.2	117 160	24.05
DGO.	185 530	6.3	46 517	25.07
D.F.	1 863 093	5.0	47 880	2.56
CHIH.	378 736	5.1	87 250	23.03
CHIS.	406 750	5.2	259 485	-63.79
COL.	64 332	5.3	7 555	11.74
COAH.	288 114	5.4	42 089	14.61
CAMP.	68 029	5.5	23 874	-35.10
BCS.	41 738	5.3	10 728	25.68
BC.	238 578	5.1	24 673	10.34
AGS.	84 834	5.9	11 324	13.35
MEXICO	12 216 462	5.6	3 108 384	25.45

HABITANTES SIN ENERGIA ELECTRICA(estimado en base al promedio) 17 099 500

FUENTE: Secretaría de Programación y Presupuesto y el Consejo Nacional de Población (SSP y CONAPO)  
 Datos básicos sobre la Población de México 1980-2000  
 México, D.F.

Finalmente, es posible resumir que 17 099 500 mexicanos carecían de energía eléctrica en 1980. Suponiendo que el porcentaje de habitantes sin electricidad de 1980 fuera igual al de 1983 (25.38%), existirían 18 993 351 habitantes sin energía eléctrica en 1983, de los que 8 997 480 viven en un



promedio de 88 000 localidades de menos de 500 habitantes.

Tomando en cuenta que en 1981 la generación bruta de Energía Eléctrica en el país fue de 68 215 GWh (8) y que de esa cantidad se utilizaron 11 622 GWh (8) para fines domésticos y 3 482 GWh (8) para fines agrícolas y suponiendo que los porcentajes de población rural-urbana-electrificada y sin electrificar fuesen similares a los determinados para 1983, puede establecerse que de una proyección de población para 1982 de 71 192 600 habitantes, el 25.38% (18 068 682) no tendría electricidad. Del 53 123 918 de habitantes restantes se puede tomar un promedio de consumo de:

$$\frac{11\ 622 + 3\ 482}{53\ 123\ 918} \frac{\text{GWh}}{\text{Hab}} = 284\ 316.38 \text{ Wh / Hab.}$$

debido a usos domésticos y agrícolas de la energía eléctrica.

Parece lógico suponer que el promedio anterior puede ser aceptable como un consumo por habitante en 1983, para fines de determinar una demanda aproximada, en zonas rurales de energía eléctrica.

Partiendo de este supuesto, para los 18 993 351 habitantes de 1983 sin energía eléctrica en el país, se requerirán 18 993 351 (284 316.38)Wh anuales =  $5.40 \times 10^{12}$  Wh.

Asimismo, los 8 997 480 habitantes que ocupan localidades de menos de 500 habitantes, requerirán  $2.56 \times 10^{12}$  Wh/año (47.4% del total).

Considerando 365 días al año, puede decirse que la demanda de energía eléctrica en localidades rurales sin electrificar, de menos de 500 habitantes, necesaria para proporcionar a sus pobladores un nivel de vida similar a la población ya electrificada, es de:

292 237 442.9 Vatios al año (1983)

292.2374429 MW aproximadamente.

Aunque esta cifra es solo una aproximación a un valor numérico que

pueda considerarse para diversos cálculos, puede considerarse representativa con algún margen de la demanda real de energía eléctrica en las zonas rurales de menos de 500 habitantes. La magnitud de éstas cifras habla por sí mismas.

¿ Por qué se ha repetido insistentemente poblaciones de menos de 500 habitantes ?

Bien, debido a la mayor cantidad de habitantes beneficiados por localidad y la factibilidad de suministro de energía eléctrica por medios convencionales al estar cerca de las redes actuales de distribución, la estrategia de la C.F.E. es electrificar primero a las comunidades rurales más grandes (más de 500 habitantes).(9) La prioridad se ha establecido para localidades situadas a no más de 7 millas (11.2654 Km) de las líneas primarias de distribución de potencia, de tal manera que pueden electrificarse usando transformadores de 20-30 KVA.(9)

Para algunas comunidades rurales de menos de 500 habitantes o mayores y muy alejadas de las redes de distribución, la C.F.E. proporciona electricidad por medio de generadores Diesel. Aproximadamente se instalaron 19 460 KW en generadores diesel entre 1978 y 1979.(9)

Es obvio que existe una demanda insatisfecha y de una gran magnitud para la generación de energía eléctrica en el medio rural mexicano; una gran parte de esa demanda no podrá ser satisfecha por medios convencionales en un mediano plazo, siendo un campo propicio para la implementación de celdas fotovoltaicas, especialmente las de silicio amorfo.

Por otra parte, una proporción de esa demanda puede cubrirse mediante fuentes convencionales; sin embargo, esta demanda puede ser satisfecha por sustitución mediante el uso de celdas fotovoltaicas en algunos casos en los que se presente un costo menor a las fuentes convencionales y/o una me-

por adecuación a la demanda existente.

Cabe mencionar al respecto, que en los años anterior, pese a la importancia que ya se daba al desarrollo y uso de fuentes de energía no convencionales que, pudieran sustituir el uso del petróleo y sus derivados en algunos casos, el interés mostrado por particulares nacionales y extranjeros fue muy bajo. Esto se debe principalmente a la estrategia mantenida por el gobierno mexicano de mantener subsidiados los precios de los derivados del petróleo en el interior del país. De esta forma, la mayoría de las fuentes no convencionales de energía resultaban poco competitivas respecto a los hidrocarburos dentro del mercado nacional, siendo su uso limitado a aquellas situaciones en que las fuentes convencionales eran poco prácticas o no podrían alcanzar a ciertas localidades.

Sin embargo, a raíz de la crisis de 1982, el gobierno vigente, encabezado por el Lic. Miguel de la Madrid Hurtado, toma la decisión de fijar un precio más equitativo a los combustibles de acuerdo al mercado mundial. A partir de ese momento, la conveniencia del uso de sistemas de generación de energía eléctrica no convencionales toma una nueva importancia dentro del país.

#### 2.5.4.- Sistemas fotovoltaicos dentro del mercado nacional actual.

Mediante el análisis de los fabricantes o proveedores de dispositivos fotovoltaicos en el país, se puede tener un visión más clara de lo que es el mercado de dichos productos en la actualidad.

Los sistemas fotovoltaicos instalados en el país en este momento, promedian unos 30 KW. Todos éstos sistemas, han sido adquiridos por el gobierno mexicano a través de sus dependencias tanto a productores nacionales

como a extranjeros.

Cabe mencionar, que el costo promedio de las celdas que se han importado ha ascendido a 40 dólares por vatio pico para una garantía de 5 años, lo que puede considerarse muy elevado.(10)

El productor nacional más relevante es el Departamento de Ingeniería Eléctrica del Centro de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. En dicha institución se trabaja bajo la meta de llevar la energía eléctrica a las zonas rurales aun no alcanzadas por la C.F.E. Como objetivo de los sistemas fotovoltaicos que desarrollan, pretenden llegar a un costo competitivo respecto a las aplicaciones mencionadas, es decir, de 12 a 15 dólares por vatio pico instalado.(10)

En el I.P.N. se ha montado una pequeña planta que produce celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino donde se habían procesado hasta antes de 1981, 20 000 obleas de dicho silicio para la obtención de celdas de 8.26 cm. de diámetro.(10)

La siguiente tabla (figura 10), refleja la actividad llevada a cabo en dicho centro.

FIGURA 10.

ACTIVIDAD EN CONVERSION FOTOVOLTAICA EN EL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA DEL C.I.E.A.-I.P.N.

1966-1968	Celdas solares de silicio en laboratorio (8% eficiencia)
1968-1970	Heterouniones Ge/Si.
1970-1973	Celdas solares de película delgada. Materiales: compuestos II-VI, ( $CdS$ , $Cu_xS$ , $CdS_x$ , $Se_{1-x}$ )
1974-1978	Celdas solares de silicio con 11%. Módulos prototipo de 7 Vatios. Celdas solares $CdS$ , con 3% por rocío químico. T.V. para educación. Proyecto de demostración. Crecimiento de lingotes de silicio. Celdas solares bifaciales.
Ayuda financiera externa de 80 000 Dlls. (OEA).	

1978-1980  
Ayuda financiera externa de 640 000 Dóls. (OEA; PNUD y CONACYT)

Línea piloto (Módulo de Si, 9% eficiencia, 300W/mes).  
Celdas de Si policristalino moldeado, 10% eficiencia.  
Celdas de GaAs de película delgada.  
Celdas de SiS, SnO<sub>2</sub>/Si(N), 14% eficiencia.  
Aplicaciones: T.V. educativa.  
Radiotelefonía.  
Retransmisores de T.V.  
Bombeo de agua.  
Alumbrado.

FUENTE: Pérez y Del Valle  
Las perspectivas fotovoltaicas en México.  
Departamento de Ingeniería Eléctrica.  
C.I.E.A.- I.P.N.

En una producción piloto, el I.P.N. ha logrado producir mediante tecnología propia 4 KW/año empleando un turno y a un costo directo de 23.00 Dólares por vatio pico, repartido de la siguiente manera:

Manufactura de las celdas . . .	53%
Montado y ensamblado . . . . .	.16
M. O. Directa . . . . .	31

El costo de las obleas fue de 30% del costo total y 46% del costo de manufactura de las celdas.

Ahora se trabaja en una planta con capacidad de 12 KW/año y con un precio de 13.5 Dólares por vatio pico. En estos momentos, toda la producción de la planta del I.P.N. es comprada por el gobierno del país.

Los fabricantes extranjeros de celdas fotovoltaicas que tienen presencia por sus productos en México son:

Solar Power Corp.- Alrededor de 1972-1973 inició la actividad comercial fotovoltaica en México, suministrando equipos de comunicaciones; cuenta con una representación local.

Philips.- Al igual que la anterior firma, comenzó sus actividades en México vendiendo equipo en general.

Telefunken, Spectrolab, Solarex, Motorola y Ocli han estado suministrando celdas al país aunque sin tener representante local.

En el suministro de sistemas completos más que paneles fotovoltaicos se han encontrado:

Thomson CSF.- Compañía francesa en estaciones de radiotelefonía rural.

Motorola y Loraine.- Americanas, estaciones de radiotelefonía rural.

Guinard y Briau.- Francesas, estaciones de bombeo de agua.

Tideland.- Americana, estaciones de ayuda a la navegación marina. (10)

Desde el año pasado se ha establecido un convenio entre la compañía mexicana Solvimex y Ocli, para ensamblar celdas fotovoltaicas en módulos nacionales. El precio ofrecido es de 40 dólares por vatio pico, sin incluir impuestos en módulos de 10% de eficiencia para 17 Vatios.

Por otra parte, la Compañía Tideland ha obtenido un permiso del gobierno mexicano para establecer una ensambladora de módulos solares (usando celdas Ocli por parte de Solvimex a un tercio del precio de las celdas Solvimex ya ensambladas), en la zona de maquiladoras del norte del país.

Parece ser que Telefunken esta interesada también en una ensambladora en la zona de maquila del país. (10) Existen otras 25 compañías que producen dispositivos de aprovechamiento de energía solar y en un momento dado podrían incursionar al mercado de las celdas fotovoltaicas.

Adicionalmente cabe señalar que se usan celdas fotovoltaicas en aplicaciones experimentales en:

C.I.E.A. - I.P.N., investigación en T.V. educativa, telefonía rural, bombeo de agua, iluminación, retransmisiones de T.V. rural y detección sísmológica.

D.I.G.A.S.E. S. (Dirección General para el Aprovechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar). Bajo el programa "Las Barrancas", entre México y la República Federal Alemana, experimenta con bombeo de agua y receptoras de T.V.

I.I.M.- U.N.A.M. Aparatos domésticos accionados con celdas fotovoltaicas.

Compañía local que investiga bombeo de agua empleando un motor desarrollado por ellos mismos de 12 V. C.D.

Compañía francesa Guinard. Bombeo de agua, capacidad 600 Vatios.

También se realiza investigación en cuanto a celdas fotovoltaicas en el C.I.E.A. - I.P.N. y el I.I.M. - U.N.A.M.; donde se ha comenzado un estudio de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo.

Es importante hacer notar que el costo supuestamente competitivo de las celdas de silicio monocristalino (23 dólares por vatio pico), fabricadas en el país por el C.I.E.A.- I.P.N. es muy superior al común obtenido en los Estados Unidos para las celdas de silicio amorfo. Por otra parte, el precio de 40 dólares por vatio pico de la importación de celdas es todavía más impresionante respecto al costo propuesto para el silicio amorfo. Toda la producción del I.P.N., ha sido comprada por dependencias del gobierno y un porcentaje alto ha sido importado en celdas de silicio monocristalino a 40 dólares por vatio pico.

Un estudio de mercado llevado a cabo por el C.I.E.A.- I.P.N., expuso que el mercado potencial mínimo para dispositivos fotovoltaicos en México es de 400-500 Kilovatios por año a precios no mayores a 28 dólares por vatio pico, entendiéndose que éste costo implica tanto las celdas (14 dólares), como el balance del sistema (BOS), que contiene el costo de almacenaje de energía, terreno, etc. (14 dólares). Este mercado podría mantenerse por unos 6 años.(10)

De aquí que la intención del I.P.N. sea reducir sus costos de 23 dólares por vatio pico a 12-15 dólares por vatio pico, que entrarían en los

márgenes antes situados.

La implementación de una planta formal sería una ayuda a mejorar los precios del mercado en cuanto a celdas fotovoltaicas. El CONACYT ha dado un financiamiento al I.P.N. para el desarrollo de un estudio de factibilidad para un planta de 300 Kilo vatios anuales, en dos turnos, con tecnología nacional.

Un estudio de mercado efectuado en julio de 1981 por la N.A.S.A y el D.O.E. de los Estados Unidos, encontró que algunas dependencias del gobierno mexicano pensaban en la utilización a corto plazo de celdas fotovoltaicas.(9)

De esas dependencias destacan:

S.E.P.- Proyecto de instalación de sistemas fotovoltaicos de 17.5 - vatios pico para accionar televisores en blanco y negro y/o grabadoras de video tape para educación rural en 700 localidades.

Departamento de Pesca.- Unidades portables de televisión (24 vatios) accionadas con celdas para proporcionar capacitación técnica a pescadores; pequeñas plantas productoras de hielo con celdas fotovoltaicas y sistemas pequeños de refrigeración de pescado.

P.E.M.E.X.- Protección catódica para tuberías y aparejos en el mar.

S.A.R.H.- Bombas de agua para irrigación (714 Vatios pico).

S.C.T.- Boyas señalizadoras marinas para navegación. En el plan Nacional de Telefonía Rural la instalación en 10 años de 1000 teléfonos rurales accionados fotovoltaicamente.

S.D.M.- Radio militar.

I.M.S.S.- Unidades hospitalarias rurales equipadas con lámparas ---



fluorescentes, unidades de refrigeración y radio.

### 2.5.5.- Equipos de energía eléctrica competitivos a las celdas solares.

El mayor distribuidor en México de generadores diesel es la compañía Maquinaria I.G.S.A.S.A. Aproximadamente el 90% de los generadores que se venden en el país se producen en México con motores diesel americanos o británicos, el 10% restante, se importa de los Estados Unidos. La capacidad de estos generadores es de 3-5000 Kilovatios en general.

En promedio, IGSA vende 200 generadores al año para usos agrícolas, principalmente en Sinaloa. Esto representa del 15-20% del total del mercado. La mayoría de los clientes de IGSA lo constituyen ejidatarios con créditos en Banrural, PEMEX (electrificación en campos petrolíferos) y el IMSS (clínicas rurales).

La tabla siguiente muestra algunos precios de venta de generadores en Guadalajara (figura 11). Los precios están en moneda nacional (1983).

FIGURA 11.

FIRMA	CAPACIDAD KILOVATIOS	COMBUSTIBLE	PRECIO*
HONDA	0.50	Gasolina	6 111.70
BRIGGS & STRATTON	0.65	Gasolina	5 856.38
BRIGGS & STRATTON	1.80	Gasolina	8 412.45
BRIGGS & STRATTON	3.00	Diesel	33 514.47
BRIGGS & STRATTON	4.00	Gasolina	12 222.77
BRIGGS & STRATTON	7.00	Gasolina	23 584.15
BRIGGS & STRATTON	7.50	Diesel	47 032.98
FAIRBANKS MORSE	10.00	Diesel	48 893.62
FAIRBANKS MORSE	20.00	Diesel	65 189.36

\* Los precios originales en dólares se basaban en una paridad de 23.51. En esta columna se toma el equivalente en moneda nacional a un tipo de cambio de 150 X 1. Los precios no incluyen IVA.

FUENTE: NASA & DOE  
 Market Assesment of Photovoltaic Power  
 Systems for Agicultural Applications in México  
 DOE/NASA/01813-3; NASACR-16544  
 July 1981.

De la tabla anterior se nota que el principal competidor para las celdas fotovoltaicas en sistemas pequeños (menos de 7.5 Kilovatios), lo constituyen los generadores de gasolina, más económicos para necesidades de baja potencia que los generadores diesel.

Los principales fabricantes de generadores de combustión interna en México son: Fairbanks Morse, S.A.; Kohler de México; International Harvester de México S.A. (fabricantes de motores diesel de 78 y 123H.P. para bombeo de agua); Worthington (bombas de agua accionadas por motores diesel).

Las siguientes compañías extranjeras participan en éste mercado nacional: Mitsubishi (Japón), Plantas generadoras diesel.

Honda (Japón). Generadores pequeños a base de gasolina o diesel.

Lister Engines LTD y Rolls-Royce (Inglaterra). Motores diesel de 10-15 H.P. para irrigación.

Caterpillar (E.E.U.U.). Generadores diesel o gasolina de menos de 400 kilo vatios.

Cummins (E.E.U.U.). Generadores diesel o gasolina de menos de 400 Kilo vatios.

Detroit Diesel Allison (E.E.U.U.). Generadores diesel o de gasolina de menos de 400 kilo vatios.

Briggs & Stratton (E.E.U.U.). Generadores diesel o de gasolina de menos de 400 kilovatios.(9)

#### 2.5.6.- Exámen de algunas alternativas de aplicaciones fotovoltaicas.

##### 2.5.6.1.- Suministro de agua para abrevaderos de ganado.

**NOTA:** Las siguientes

consideraciones se hicieron en base al ganado vacuno (reses).

En México existen alrededor de 16.6 millones de cabezas de ganado, - la mayoría criada para su venta como carne en ranchos particulares y ejidos de varias dimensiones con poca o ninguna alimentación suplementaria. En la mayoría de las áreas de pastizaje (especialmente en las áreas del norte del país), el agua superficial no se encuentra en las localidades convenientes, de tal forma que la crianza del ganado en la estación seca depende del suministro de agua; básicamente de pozos para abrevaderos.

Estos pozos están equipados por lo general de bombas accionadas por molinos de viento o, generadores diesel. Las profundidades a las que se encuentra el agua varían de 10 m., en las cercanías de las costas, a 150 m. o más. La capacidad de los pozos para ganado varía de menos de 0.5 l/seg. a 3 l/seg.

La creación de más pozos es necesaria para nuevas áreas de crianza, - así como para aumentar la capacidad de las ya existentes.

A la capacidad típica de densidad mexicana (30-40 Ha por cabeza), ---- aproximadamente 200-300 cabezas de ganado pastan dentro de un radio de 5 km, que es la máxima distancia recomendada para un pozo. Un pozo para este número de cabezas es accionado generalmente por un aeromotor (bomba de molino de viento). Un aeromotor típico con un pistón de 2" de diámetro y una - carrera de 25 cm, operado a 30 carreras por minuto proporciona 0.25 l/seg. Suponiendo que durante los meses de máximo calor una vaca madura consume -- 60 l/día y que el promedio consumido por el rebaño es de 45 l/día por cabeza, un aeromotor proporciona la cantidad requerida en 15 horas al día de operación; afortunadamente los meses antes mencionados presentan usualmente vientos. Los aeromotores constan también de un tanque de 30 m<sup>3</sup>, que para - 300 cabezas de ganado a 30 l/día duraría 3 días. Los aeromotores son máqui

nas robustas que necesitan poco mantenimiento; muchos molinos de viento de 60-80 años aun se encuentran en operación. El mantenimiento es básicamente el reemplazo de los sellos del pistón, y reparaciones adicionales sólo implican el cambio del pistón, cilindro y barras de conexión; la superestructura necesita muy poco mantenimiento. Por otra parte la inversión inicial de un aeromotor es alta en relación a la cantidad de agua bombeada, llegando a alcanzar de 3 300-5 500 dólares de acuerdo al tipo (incluyendo instalación, pero no perforación). Por consiguiente, los molinos de viento comparten muchas de las características de las bombas fotovoltaicas; costo relativamente alto, costos de operación despreciables, bajo mantenimiento y larga vida útil.

A pesar de estas características, los inversionistas mexicanos tanto públicos como privados, han optado por los sistemas de combustión interna con un costo inicial menor pero una menor vida útil, aunado a los precios relativamente bajos de los combustibles en México en los años pasados.

Los pozos recientes se encuentran equipados usualmente con motores diesel acoplados a dispositivos de bombeo de un mantenimiento ligero que proporcionan cerca de 1 l/seg a profundidades de 23m.

El uso de sistemas fotovoltaicos (celdas de silicio amorfo), posee ciertas características apropiadas para suministrar agua al ganado. Estas son:

- a). Los requerimientos de agua se incrementan con la radiación solar así como la descarga de una bomba fotovoltaica.
- b). Cuando esta nublado el cielo, y la bomba proporciona menos agua, usualmente llueve y el ganado abreva de cavidades superficiales; por esto, la reserva de 3 días es suficiente y no se necesita una inversión extra.
- c). Las bombas para ganado se encuentran en sitios remotos donde el transporte de combustible y el mantenimiento de motores diesel significan problemas difíciles.

d) Los requerimientos de potencia son pequeños, de tal forma que muchos motores diesel son sub-utilizados.

El aeromotor, que comparte muchas de las anteriores ventajas presenta el problema de su alto costo inicial, mucho más alto en relación a la inversión de un sistema fotovoltaico.

Para el caso tratado se efectuará una evaluación de alternativas con las siguientes consideraciones.

Los costos mencionados se basan en datos provenientes de la NASA y DOE para un estudio de mercado de sistemas fotovoltaicos agrícolas en México (1981).

Los valores originales en dólares se transforman a pesos en 1983 considerando una paridad de 23.5 por uno vigente en el momento del estudio. Posteriormente, se transforman dichos costos en pesos a su valor en 1983 tomando un promedio inflacionario de 30% para 1981 y 106% para 1982.

Cualquier costo adicional (sistema fotovoltaico, mano de obra, etc) se calcula de acuerdo a los valores aquí mencionados o a datos vigentes a la fecha de este trabajo (Febrero 1983).

#### Tasas Anuales.

Dada la vida útil de 20 años en promedio que se considera para un dispositivo fotovoltaico, el horizonte de tiempo a tratar es muy vasto y de difícil consideración, en cuanto a costos.

Debido a la magnitud de la inflación en el país en la actualidad y con efecto de poder dar un peso adecuado a tal valor respecto a los costos a futuro en el análisis de alternativas, se utilizó un programa que simula una tasa promedio anual de 10% a 100% en intervalos de 10%, desde 1983 hasta 2003. Los costos actuales se convirtieron en valores futuros según el año y la tasa de inflación considerada.

En el caso de los combustibles, se considera su valor en el mercado internacional y una tasa de inflación o deflación que varía de -3% a +3% anual (con intervalos de 2%) en promedio.

Para efectos de cálculo se emplea una tasa de retorno de 5 a 15% (con intervalo de 3%) para convertir valores futuros a presentes y evaluar alternativas.

Los 160 resultados que se obtuvieron al combinar las tasas mencionadas (10 de inflación por 4 de inflación de combustibles por 4 de tasa de retorno), sirven para obtener un análisis de tendencia de la evolución de alternativas más real y considerando las unidades monetarias de una manera más adecuada.

Para efectos de mano de obra, se considera un aumento anual de 3/4 partes de la tasa promedio de inflación.

#### Características del sistema:

- + Se supone una instalación típica en el NW mexicano.
- + La instalación básica será similar en ambos casos y por lo tanto se desprecian.
- + El sistema suministra agua para 300 cabezas de ganado maduro ( $18 \text{ m}^3/\text{día}$ ), bomba, tanque y pozo.
- + El bombeo se realiza en un promedio de 5 horas a  $3.6 \text{ m}^3/\text{hr}$ .
- + La profundidad del pozo es de 50 m. y se consideran pérdidas de fricción de 5 m.
- + El dispositivo de bombeo tiene una eficiencia de 0.35 y requiere de 2 H.P. del motor.

#### COSTOS DEL MOTOR DIESEL (1983 en moneda nacional).

Aunque un motor diesel de 4 H.P. sería suficiente, se considera uno de 6-7 3/4 H.P. (6 H.P. a 1800 R.P.M., 7 3/4 H.P. a 2500 R.P.M.), por no

ser comercial la potencia anterior.

A) Costo del motor (6-7.75 H.P.) *	151 039.00 MN
B) Reparación después de 3 años	90 624.00 MN
C) Reparación después de 5 años	105 727.00 MN
D) Pequeñas reparaciones y ajustes anuales.	3 147.00 MN
E) Diesel (5hr/día durante 365 días al año, consumo de 1.1 l/hr, a un precio internacional de 0.31 dólares por litro a una paridad de 150 por uno), más transporte de combustible al lugar de operación por caminos primitivos a 0.03 dólares por litro	102 382.50 MN
F) Cambio de aceite anual (2.5 l/100hr, a un precio Internacional de 1.50 dólares por litro)	10 265.62 MN
G) Operador (medio turno, 455 pesos/día, 365 días al año)	83 037.25 MN

#### COSTOS DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO (1983 en moneda nacional)

Se supone un arreglo fotovoltaico de celdas de silicio amorfo con un motor acoplado de C-D, que requiere una capacidad de 1800 vatios pico.

Debido a la falta de incidencia por días nublados, se considera una reserva para 4 3/4 días ( $17.5 \text{ m}^3/\text{día}$ ).

El balance del sistema (BOS) no incluye dispositivos de almacenamiento.

Arreglo fotovoltaico a la paridad de 150 por uno.

H) Celdas (1800 Wp a 4 dólares/Wp)	540 000.00 MN
I) BOS sin baterías, se consideran costos análogos a los proporcionados por el I.P.N. de 13 dólares por vatio pico en 1981 con una paridad de \$23.5, convertidos a pesos de 1983 y considerando que el 65% de dicho costo lo constituyen las baterías, aplicando entonces solo el 35% del costo total	515 421.27 MN
J) Mantenimiento anual del BOS (35%)	10 352.47 MN
K) Motor eléctrico (incluye arrancador switch y caja de fusibles, vida útil 10 años)	56 639.70 MN
L) Reembobinado después de 5 años	15 733.25 MN

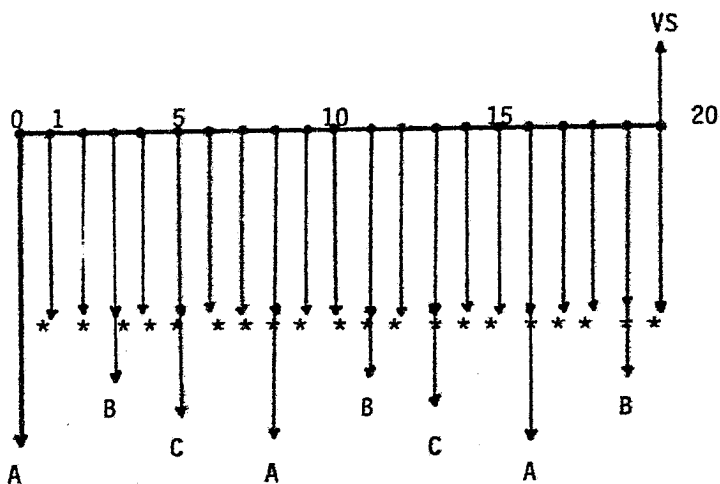
\* Vida útil = 8 años

M) Reserva . . . . . \$ 261 801.28 M.N.

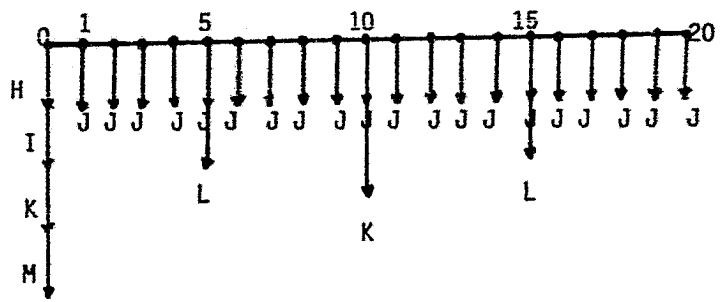
FLUJO DE EFECTIVO (Figura 12)

MOTOR DIESEL

\*= D + E + F + G



ARREGLO FOTOVOLTAICO



Método enoleado- Valor presente

$$VP = VF(1/(1+i)^n)$$

$$VF = VP(1+i)^n$$

n= número de años

VP= valor presente

VF= valor futuro

i = interés (11)



## Programa Empleado (BASIC RADIO SCHACK TRS-80 MODEL II)

```

1 INPUT "COSTO DE MANO DE OBRA ANUAL PARA EL MOTOR DIESEL";MO
2 INPUT "COSTO ANUAL DE CAMBIO DE ACEITE DEL MOTOR DIESEL";CA
3 INPUT "COSTO ANUAL DEL COMBUSTIBLE DIESEL";DI
4 REM *DI Y CA INCLUYEN TRANSPORTACION A LA LOCALIDAD RURAL
5 INPUT "COSTO ANUAL DE REPARACIONES LIGERAS DEL MOTOR DIESEL";RP
6 INPUT "COSTO DEL MOTOR DIESEL";NM
7 INPUT "COSTO ANUAL DE REPARACION MAYOR (3 ANOS)";RM
8 INPUT "COSTO ANUAL DE REPARACION MAYOR (5 ANOS)";RN
9 INPUT "COSTO DEL MOTOR DE CORRIENTE DIRECTA";ME
10 INPUT "COSTO DE LA RESERVA DE AGUA PARA EL SIST. FOTOV.";RE
11 INPUT "COSTO DE UN ARREGLO FOTOVOLTAICO (1.8 KHP)";FV
12 INPUT "COSTO DE REPARACION MOTOR C-D";E
13 INPUT "COSTO ANUAL DE MANTENIMIENTO DEL ARREGLO FOTOV.";MA
14 DIM MO(20): DIM CA(20): DIM DI(20): DIM RP(20): DIM NM(20): DIM RM(20):
    DIM MA(20)
15 FOR XX=1 TO 132: LPRINT "X";: NEXT XX
16 LPRINT " "
17 LPRINT "      EVALUACION DE ALTERNATIVAS (ARREGLO FOTOVOLTAICO CONTRA MOT
    OR DIESEL) PARA UN SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA A UN ABREVADERO DE"
18 LPRINT "      GANADO EN UNA ZONA RURAL SIN ENERGIA ELECTRICA"
19 LPRINT " "
20 LPRINT "SE TOMAN EN CUENTA DIFERENTES TASAS PROMEDIO DE INFLACION, INFLA
    CION DE LOS COMBUSTIBLES Y TASA DE RETORNO"
21 LPRINT " "
22 LPRINT "EL HORIZONTE CONSIDERADO ES DE 20 ANOS (1983-2003)"
23 LPRINT " "

```

```

24 FOR YY=1 TO 132: LPRINT "**";: NEXT YY
25DIM VS(20)
26 FOR G=10 TO 100 STEP 10
27 I=G/100
30 FOR S=5 TO 15 STEP 3
31 TMAR=S/100
40 FOR Q=1 TO 7 STEP 2
50 IC=(Q-4)/100
60 REM MO=MANO DE OBRA, CA=CAMBIO DE ACEITE, VS=VALOR DE SALVAMENTO, DI=DIES
    EL, RP=REPARACION PEQUENA, NM=NUEVO MOTOR DIESEL, RM,RN=REPARACIONES MAYO
    RES
70 REM
120 REM CALCULO DE LOS COSTOS ANUALES DEL MOTOR DIESEL
125 FOR N=1 TO 20
130 MO(N)=MO*(1+.75*I) + N
140 MO(0)=MO(0)+(MO(N))*(1/(1+TMAR) + N)
150 CA(N)=CA*(1+IC) + N
160 CA(0)=CA(0) + (CA(N)) *(1/(1+TMAR) + N)
170 DI(N)=DI*(1+IC) + N
180 DI(0)=DI(0) +(DI(N))*(1/(TMAR +1) + N)
190 RP(N)=RP*(I+1) + N
200 RP(0)=RP(0)+(RP(N))*(1/(1+TMAR) + N)
210 NEXT N
220 CO(0)=MO(0)+CA(0)+DI(0)+RP(0)
230 REM
235 NM(0)=NM
240 A=3

```

```

250 NM(A)=NM*(1+I) +A
260 NM(Ø)=NM(Ø)+(NM(A))*(1/(1+TMAR) + A)
261 A=A+8
262 IF A >16 THEN 280
270 GOTO 250
280 FOR Y=3 TO 19 STEP 8
290 RM(Y)=RM*(I+1) + Y
300 RM(Ø)=RM(Ø)+(RM(Y))*(1/(1+TMAR) +Y)
310 NEXT Y
320 RN(Ø)=(RN*(1+I) + 5)+(RN*(I+1) + 13)*(1/(1+TMAR) + 13)
370 VS(2Ø)=NM(16)*.625
371 VS(Ø)=VS(2Ø)*(1/(1+TMAR) + 2Ø)
380 REM COSTO DEL CICLO DEL MOTOR DIESEL
390 CD=CO(Ø)-VS(Ø)+RM(Ø)+NM(Ø)+RN(Ø)
400 REM CALCULOS DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO
410 REM RE=RESERVA, ME=MOTOR C-D, FV=ARREGLO FOTOVOLTAICO, E=EMBOBINADO, MA=
MTO,
420 FOR C=1 TO 20
430 MA(C)=MA*(1+I) + C
440 MA(Ø)=MA(Ø)+( MA(C))*(1/(1+TMAR) + C)
450 NEXT C
460 ME(Ø)=ME+(ME*(1+I) + 1Ø)*(1/(1+TMAR) +1Ø)
470 E(Ø)=(E*(1+I) + 5)*(1/(1+TMAR) +5)+(E*(1+I) +15)*(1/(1+TMAR) +15)
480 CF=RE+E(Ø)+MA(Ø)+ME(Ø)+FV
490 IF CF >CD THEN MAL=MAL+1
500 IF CF <CD THEN CELDA=CELDA + 1
510 LPRINT " "

```

```

520 FOR PP=1 TO 312: LPRINT "**";: NEXT PP
530 LPRINT " "
540 LPRINT " INFLACION PROMEDIO ANUAL=*;I*100;"% , TASA DE RETORNO=*;TM
      AR*100;"% , INFLACION DE COMBUSTIBLES ANUAL=*;IC*100;"% ."
550 LPRINT " "
560 LPRINT "COSTO TOTAL DEL CICLO DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO EN 1983=";CF
570 LPRINT "COSTO TOTAL DEL CICLO DEL MOTOR DIESEL EN 1983=";CD
580 LPRINT " "
590 IF CD < CF THEN 615
600 LPRINT " EL ARREGLO FOTOVOLTAICO ES UNA MEJOR OPCION"
610 LPRINT " "
611 GOTO 620
615 LPRINT " EL MOTOR DIESEL ES UNA MEJOR OPCION"
620 FOR TT=1 TO 132: LPRINT "**";: NEXT TT
630 NEXT Q
640 NEXT S
650 NEXT G
660 LPRINT " "
670 LPRINT "CELDA=";CELDA,"MAL=";MAL

```

El resultado obtenido al correr el pasado programa es impresionante.

De los 160 resultados logrados, en 160 ocasiones el arreglo fotovoltaico es más económico en el ciclo considerado.

Aun en el caso más favorable para la opción del motor diesel (inflación anual promedio de 10% de 1983 a 2003, deflación de los combustibles de 3% anual en promedio y una tasa de retorno del 14% anual), el costo del ciclo resultó ser de 43.0135 millones de pesos para Febrero de 1983 por 4.3893 millones de pesos para el arreglo fotovoltaico.

A medida que aumentan las tasas de inflación promedio e inflación de los combustibles y disminuye la tasa de retorno, la diferencia entre costos del ciclo se vuelve mayor, hasta llegar a 382 353 millones de pesos para Febrero de 1983 para el motor diesel y 118 317 millones para el arreglo fotovoltaico considerando una tasa promedio de inflación anual de 100% (1983- 2003), tasa de inflación de los combustibles de 3% y tasa de retorno de 14%.

Los anteriores costos demuestran que a un precio de venta de \$ 600 M.N. por Vatio-pico para Febrero de 1983, un arreglo fotovoltaico es una mejor inversión para un sistema de suministro de agua para un abrevadero de ganado a pesar de cualquier aumento de la tasa de inflación anual de 1983 a 2003, y que incluso una deflación anual de combustibles de hasta 3% no haría factible el uso de un motor diesel.

En base a estas consideraciones, basta solo determinar la demanda a cubrir para estos sistemas en zonas sin energía eléctrica, pues es factible el satisfacer dicha demanda con celdas fotovoltaicas por sustitución, ante los motores diesel.

De acuerdo a estos resultados, suponiendo la producción de arreglos fotovoltaicos y una introducción paulatina por parte de la SARH de tales sistemas en las zonas rurales, podría hablarse de una demanda cercana a 200 Kw/año en etapas de consolidación del producto (100 arreglos al año aprox.).

(9).

A medida que se obtenga una menor carga para el bombeo (En Yucatán, por ejemplo, 20 metros) será aun más económico el arreglo fotovoltaico.

Los aeromotores tienen un mantenimiento ligeramente inferior a los arreglos fotovoltaicos; sin embargo, su costo inicial es mucho mayor y su uso tiende a ser menor cada día debido a la falta de control sobre la acción

eficiente. En la medida en que disminuya su empleo, aumentaría el uso de los dispositivos fotovoltaicos.

#### 2.5.6.2.- Suministro Rural de Agua Potable

Las comunidades rurales mexicanas poseen por lo general un suministro de agua basado en un sistema que consta de un pozo, bomba, torre de almacenamiento, red de distribución y conexiones a domicilios o fuentes públicas. Según datos de la SAHOP, sólo el 11% de la población rural tuvo acceso al agua las 24 horas del día en el período 1976-1979.

Para suministrar agua a las localidades rurales, el sexenio 1976-1982 pretendió proporcionar agua hasta llegar a 5200 comunidades en 1982 a través del programa de COPLAMAR. Sin embargo, la mayoría de estos esfuerzos se dirigieron a localidades ya conectadas a la red eléctrica. Menos del 5% de esos desarrollos corresponden a motores diesel en comunidades rurales sin electrificación; la SAHOP rehusa implementar estos motores debido a los problemas de mantenimiento, de esta forma se capitalizan a zonas electrificadas recursos que de otro modo se destinarían a comunidades con estándares socio-económicos muy bajos.

Los proyectos de COPLAMAR se basan en la siguiente tabla. (Figura 12)

FIGURA # 12

CLIMA	CONEXIONES DOMICILIARIAS		FUENTES PUBLICAS	
	TEMPLADO	CALIDO	TEMPLADO	CALIDO
HUMANOS	75	100	25	35
HUMANOS Y ANIMALES DOMESTICOS	100	150	36	50

\* Datos en litros per capita/día

La carga hidráulica para estos sistemas, incluyendo elevación al depósito y pérdidas, varía de 20-100 metros. Las descargas típicas varían de 0.5 a 15 l/seg., el promedio de operación es de 4-6 horas al día y se requiere un motor de 5-30 Hp y un transformador de 7.5-30 KVA. Para una comunidad de 500 habitantes en clima cálido con fuentes públicas y una operación de 5 hr./día con carga dinámica de 50 metros y una eficiencia de la bomba del 60%, la descarga sería de 1 l/seg. La capacidad de la reserva se construye para 4-8 horas.

#### Evaluación de alternativas:

Se considera un sistema de suministro para una comunidad de 500 habitantes.

Se supone un tanque de almacenamiento de 5 días para el arreglo fotovoltaico y 6 horas para el motor diesel.

La SAHOP tiene como política instalar un pequeño motor diesel como repuesto en caso de falla; como ambas alternativas lo usan, se desprecia su costo.

#### Arreglo Fotovoltaico:

Se requiere para un gasto de 1 l/seg., 5 hr./día con una carga de 50 metros, un sistema similar al discutido anteriormente (1800 Wp) y un motor de 2 Hp. La diferencia de depósitos de reservas significa 4.75 días más (17.5 m<sup>3</sup>/día) para el arreglo fotovoltaico que a precios aproximados de \$ 3 146.65 M.N./m<sup>3</sup> significan \$ 261 565.28 M.N. (1983)

Este arreglo puede considerarse idéntico al propuesto para el sistema de suministro de agua para el abrevadero de ganado.

#### Motor Diesel:

Este caso es análogo al descrito en el abrevadero de ganado, dadas

las consideraciones expuestas.

En vista a lo anterior, las conclusiones obtenidas para el abrevadero de ganado son también válidas en este caso.

NASA y el DOE establecieron la factibilidad de demanda para 1983-1986 de estos sistemas fotovoltaicos en 300 Kw (300000 Wp, aproximadamente cien mil Wp al año); sin embargo, estas consideraciones fueron tomadas en base a precios de silicio monocristalino. Celdas de silicio amorfo a los precios mencionados (600 M.N./Wp) pueden aumentar este mercado considerablemente. Una estimación conservadora bien puede ser de 150 000 Wp/año para el silicio amorfo.

#### 2.5.6.3.- Dispositivos para Carga de Granos

BORUCONSA (Bodegas Rurales de CONASUPO) posee alrededor de 10 000 graneros en el territorio nacional para la compra y almacenamiento de grano a los campesinos. Aproximadamente, de esos graneros, 1000 son de pequeña capacidad (25-500 TM.), en localidades rurales sin electricidad.

Estos pequeños graneros constan de dispositivos de carga de 5 TM/hora (tornillo de Arquímedes, banda transportadora, etc.), accionados por motores eléctricos. (9).

La energía eléctrica se proporciona mediante generadores de gasolina de 3 Hp, aunque BORUCONSA ha tenido serios problemas con la operación de estos motores.

Los dispositivos mencionados trabajan un promedio de 4-6 hr./día.

**Evaluación de Alternativas:**

**Arreglo Fotovoltaico**



Sistema de un motor eléctrico de 2 hp con un arreglo de 2 000 Wp con BOS que incluye un sistema de almacenamiento para tres días.

#### Motor de Gasolina

Se supone un motor de gasolina con vida útil de 5 años, trabajando 5 horas por día, 230 días al año y consumiendo 0.75 l/hr. de gasolina a precios internacionales de combustibles.

Con objeto de no extenderse demasiado, como en el caso pasado, se utilizarán valores constantes (pesos de Febrero 1983) en la evaluación de alternativas con una tasa de retorno de 15%. Esta tasa es apropiada para considerarse en valores constantes, NASA y DOE la recomiendan y es un valor de uso común en evaluaciones en los Estados Unidos.

#### Costos:

##### Arreglo Fotovoltaico:

Motor 2 Hp (vida de 10 años) \$ 50 346.40

Rebobinado en quinto año \$ 13 984.71953

Arreglo de 2 000 Wp a 600 \$/Wp (silicio amorfo) \$ 1 200 000.00

BOS incluyendo baterías a costos manejados por el IPN (13 U.S./Wp) significa \$ 1 636 580.00

##### Motor de Gasolina:

Motor (vida útil 5 años) \$ 31 466.50

Reparación al tercer año \$ 15 733.25

Gasolina(0.75 l/hr.)(0.68 U.S./l x 150) (5 hr/día)(230 días/año)= \$ 87 975.00 M.N. (se asume un precio internacional de 0.64 U.S./l para la gasolina más 0.04 U.S./l debido al transporte de la misma por caminos rurales)

Aceite (10% de gasolina) \$ 8 797.50

Obra manual (1/2 turno anual) \$ 83 037.25

Reparaciones ligeras anuales \$ 655.60

Mediante el método del valor presente, en base a pesos de 1983, y con el factor  $P=A((1+i)^n-1)/(i(1+i)^n)$ , (11), se obtienen las siguientes ecuaciones: (11)

#### Arreglo Fotovoltaico

$$VP= 50\ 346,4 + 1\ 200\ 000 + 1\ 636\ 580 + 50\ 346,4 (P/F,15\%,10) + 13\ 984,71953 (P/F,15\%,15) + 13\ 984,71953(P/F,15\%,5) = 2\ 908\ 043,955$$

#### Motor de Gasolina

$$VP= 31\ 466,5 + (87\ 975,5 + 83\ 037,25 + 655,6)(P/A,15\%,20) + 31\ 466,5(P/F,15\%,5) + 31\ 466,5 (P/F,15\%,10) + 31\ 466,5 (P/F,15\%,15) + 15\ 733,25(P/F,15\%,3) + 15\ 733,25(P/F,15\%,8) + 15\ 733,25(P/F,15\%,13) + 15\ 733,25(P/F,15\%,18) = 1\ 207\ 659,872$$

El costo del ciclo es más económico para el motor de gasolina; sin embargo, BORUCONSA ha tenido que realizar manualmente operaciones de carga y descarga debido a fallas de operación de los motores de gasolina.

Si se toma en cuenta el empleo promedio de 5 personas (9), trabajando 230 días al año, cobrando salario mínimo (455 M.N./día), se tiene un costo anual de \$ 523 250 que en los 20 años significan \$ 3 275 195.194 más y de esta forma el costo del ciclo es más económico para la alternativa fotovoltaica.

La demanda potencial en este campo es de 2 000 Hp si se supone una distribución uniforme de esta demanda en el período 1983-2003, puede hablarse de 100 000 Hp al año.

#### 2.5.6.4.- Refrigeración Rural

En las zonas rurales se emplean aparatos de refrigeración para mantenimiento de alimentos, medicinas y bebidas. En zonas sin electricidad, los

refrigeradores accionan a base de gas butano; estos aparatos son muy resistentes y no requieren de mantenimiento. El funcionamiento es mediante una flama ligera (como el piloto de una estufa) que calienta un serpentín donde se transfiere el calor a un fluido congelante que se evapora y fluye hacia otro serpentín dentro del refrigerador donde se condensa absorbiendo calor y fluyendo de regreso hacia la flama.

La vida útil de estos refrigeradores es de 10-15 años, a un costo de \$ 195 000.00 M.N. (Son importados del Brasil a \$ 1 300.00 U.S.), y consumiendo 1 Kg/día de gas butano a un precio internacional de \$ 2.20 U.S./Kg. Se usan 8 horas al día.

Una alternativa fotovoltaica sería un arreglo de 250 Wp, con un refrigerador eléctrico de \$ 50 346.40 M.N., vida útil de 10 años y un compresor de vida útil de 5 años y costo de \$ 18 879.90 más el BOS por capacidad de almacenaje de 3 días

#### Refrigerador de Butano

$$VP = 195\ 000 + 195\ 000(P/F, 15\%, 10) + (365)(1)(2.20)(150)(P/A, 15\%, 20) \\ = \$ 997\ 140.476 \text{ (pesos de Febrero 1983)}$$

#### Arreglo Fotovoltaico

$$VP = 250(600) + 250(818.129) + 50\ 346.4 + 50\ 346.4(P/F, 15\%, 10) + 18\ 879.9(P/F, 15\%, 5) + 18\ 879.9(P/F, 15\%, 15) = \$ 429\ 031.7061 \text{ (pesos de Febrero 1983)}$$

El costo del ciclo es más económico para el arreglo fotovoltaico.

Actualmente se importan un promedio de 200 refrigeradores de butano al año; debido a los costos relativamente baratos de la alternativa fotovoltaica y suponiendo que un 80% de los compradores instalasen arreglos fotovoltaicos, se tendría una demanda anual de arreglos de celdas de silicio amorfo de  $200(.8)(250) = 40\ 000$  Wp.

#### 2.5.6.5.- Irrigación en Pequeñas Superficies (100-2500 ha.)

Prácticamente todos los desarrollos efectuados en el país respecto a irrigación se realizan a través de la SARH. En el período 1981-1982 se propuso un plan de acción para establecer 1 500 pozos para beneficiar 75 000 ha. y una meta consistente en lograr otros 200 000 pozos en el sexenio 82-88 9).

Básicamente todos los pozos instalados están electrificados mediante convenio entre BANRURAL, CFE y SARH; sin embargo, muchos de esos pozos no están conectados a la red y cuentan con generadores diesel a pesar del rechazo a su instalación de parte de SARH por fallas de operación.

La temporada de irrigación abarca de Octubre a Mayo. En algunos cultivos se distribuye agua hasta 14 horas al día, llegando a 24 horas en meses pico. Los granjeros irrigan en turno, las unidades pequeñas de bombeo trabajan usualmente 5 hr/día, la mayoría de las veces en las primeras horas de la mañana.

El número de irrigaciones para pasturas es de 10 o más por año y de 3 a 4 para vegetales.

Para evaluar las alternativas se supone una superficie de 4 ha., carga dinámica de 20 metros, 5 horas pico de insolación y una eficiencia de irrigación del 62%.

Los requerimientos de agua para un sistema de este tipo son 320 m<sup>3</sup>/día que implican un gasto de 64 m<sup>3</sup>/hora pico de insolación. Pudiendo emplearse para accionamiento un motor diesel de 9-13 Kw o un motor eléctrico accionado por un arreglo fotovoltaico de 7 Kw con una reserva para un día, ya que la irrigación no coincide con las horas de insolación adecuadas. (9).

Evaluación de alternativas:

### Motor Diesel

Motor 12-18 Hp (vida útil 8 años) \$ 241 662.72

Reparación a los 3 años \$ 144 745.9

Reparación a los 5 años \$ 169 289.77

Valor de salvamento al año 20 \$ 151 039.20

Chequeo de inyectores y reparaciones ligeras anuales \$ 6293.30

Diesel ( 41 l/hr., 5 hr/día, 9 meses/año, 0.36 U.S./l + 0.03 U.S/l)

= \$ 313 500.00

Aceite anual (10% del diesel) \$ 31 350.00

### Arreglo Fotovoltaico

Motor C-D 10 hp \$ 157 333.50 (vida útil 10 años)

Rebobinado al quinto año \$ 31 466.50

Reserva para un día (320 m<sup>3</sup>) \$ 402 771.20

Arreglo Fotovoltaico 7 Kw \$ 4 200 000.00

BOS (no incluye baterías) \$ 486 786.755

Mantenimiento anual del BOS \$ 114 538.06

### Motor Diesel (pesos de Febrero 1983)

$$\begin{aligned}
 VP = & 241\,662.72 + (313\,500 + 31\,350 + 6293.3)(P/A, 15\%, 20) + 144\,745.9(P/F, 15\%, \\
 & 3) + 169\,289.77(P/F, 15\%, 5) + 241\,662.72(P/F, 15\%, 8) + 144\,745.9(P/F, 15\%, 11) + \\
 & 169\,289.77(P/F, 15\%, 13) + 241\,662.72(P/F, 15\%, 16) + 144\,745.9(P/F, 15\%, 19) - \\
 & 151\,039.2(P/F, 15\%, 20) = \$ 2\,783\,311.19
 \end{aligned}$$

Sólo el costo del arreglo es mayor que el costo obtenido en la línea anterior. Para una tasa de retorno de 15%, el ciclo es más económico para el motor diesel.

### 2.5.6.6.- Fabricación de Hielo

El hielo tiene un uso muy difundido en zonas rurales como complemento en congeladores, venta de refrescos, preservación de pescado en costas, etc. La producción de hielo es un proceso con altos requerimientos de energía. La producción común es normalmente estable en el año, con un pico en el verano y en las costas durante la temporada de pesca (Sept-Enero).

Una planta de 10 Ton./día consta de un compresor de 40 hp. y dos bombas de 7.5 Hp y 1/4 Hp respectivamente. (9)

El IIM-UNAM tiene un sistema en desarrollo (150 Kg/día), cuyos resultados podrían determinar la factibilidad o no de la fabricación de hielo mediante celdas fotovoltaicas; sin embargo, la aplicación en este campo es muy discutible ya que se requiere un suministro constante (24 hrs./día) de energía, tal vez pudiesen usarse celdas para accionar las bombas del fluido congelante, pero esta aplicación es muy relativa y de pequeña escala.

#### 2.5.6.7.- Centros Veterinarios

Cada estado ganadero del país tiene algunos centros veterinarios rurales que ofrecen servicio a los ranchos vecinos. Cada centro consta de un refrigerador para conservación de medicinas veterinarias; no obstante, la mayoría de estos centros se encuentran ubicados en localidades con electricidad y se da un servicio diario mediante termos, por lo que la aplicación de las celdas fotovoltaicas se limita a unos cuantos centros, pudiendo sustituir a los refrigeradores de butano. La cuantía de esta demanda es relativamente pequeña.

#### 2.5.6.8.- Secado de Cacahuete

El cacahuate se deposita en amplias tinajas para su secado mediante hornos accionados por diesel o keroseno. La fibra del cacahuate no se emplea como combustible debido a que presenta inconvenientes de manejo. La capacidad típica de una planta es de 600-800 Ton./año. (9). Cada carga se seca por 24 horas de horneado continuo. Un pequeño ventilador se emplea para dirigir las flamas hacia las tinajas y es accionado por un pequeño motor diesel o eléctrico.

La aplicación de las caldas fotovoltaicas en estas plantas es muy relativa debido a que la mayoría de dichas plantas se encuentran en localidades electrificadas, la cantidad de combustible requerida para accionar los motores es mínima y la operación continua de la planta implica una gran capacidad de almacenaje que aumenta los costos considerablemente.

#### 2.5.6.9.- Empaque de Frutas y Vegetales

Algunos vegetales comerciales (tomates por ejemplo), se empaquetan en cajas cerca del área de cultivo para evitar se dañen durante el transporte. Frutas tales como plátanos y naranjas se recolectan y transportan en bruto a centros de empaque para su transporte ulterior.

El uso de dispositivos fotovoltaicos es limitado para esta aplicación, ya que los centros de empaque por regla general no requieren de maquinaria alguna que pudiese accionarse eléctricamente.

#### 2.5.6.10.- Cría de Animales

Ganado Vacuno (Ordeñamiento): Esta actividad necesita una ligera cantidad de energía eléctrica al día (para una instalación con 150 animales se necesitan solo 13 Kw, (9)); sin embargo, prácticamente todas estas instala-

ciones se localizan en localidades electrificadas donde se encuentra el suministro de alimentos para los animales. Sólo algunos ranchos pequeños se encuentran en zonas sin electricidad, siendo en ellos las labores manuales y por su tamaño el campo de aplicación de los dispositivos fotovoltaicos es muy limitado.

**Aves de Corral:** Para asegurar el suministro de carne de aves de corral a pequeños poblados y zonas rurales se ha fomentado la creación de granjas cooperativas. La cantidad de aves en dichas granjas es de 5000 en promedio y las necesidades de energía 1.15 Kw. (9).

La aplicación de dispositivos fotovoltaicos a estas granjas es nuevamente limitada. Las necesidades de energía, aunque muy pequeñas, son muy importantes; cualquier falla en el sistema de energía, aun por sólo una noche, mataría a la casi totalidad de los polluelos. Para evitar lo anterior se necesitaría de un sistema de almacenamiento muy seguro y consiguientemente costoso. Adicionalmente, las políticas de instalación de granjas se dirigen a poblados electrificados.

**Aquicultura:** Esta actividad se practica en tanques especiales de agua corriente o en lagunas grandes que garantizan una amplia superficie para el intercambio de oxígeno. Las tecnologías empleadas, por lo tanto, no requieren de bombeo de agua en donde pudiesen aplicarse celdas fotovoltaicas. Las aplicaciones marginales en este campo son muy pocas.

**Cría de Puercos:** Este caso es similar al de las aves, se fomenta la creación de granjas cooperativas para suministro de carne de puerco a zonas rurales. Los requerimientos de energía son mínimos, pero la política de instalación se dirige hacia zonas electrificadas.



## 2.6.- CUANTIFICACION DE LA DEMANDA GLOBAL ACTUAL

En base a las consideraciones anotadas en los números anteriores se puede concluir que existe un gran campo de aplicación para las celdas fotovoltaicas de silicio amorfo suponiendo un precio promedio de venta de \$ 600 pesos (Aproximadamente \$ 4 U.S.).

Se encontró factible el uso de dispositivos fotovoltaicos como suministro de energía en aquellas zonas rurales sin energía eléctrica de menos de 500 habitantes que no serán electrificadas en un futuro cercano. La demanda global anual para dichas zonas, suponiendo un consumo similar al de las zonas electrificadas es de 292.23 Megavatios.

Sin embargo, no es factible el producir a corto plazo una cantidad de celdas que suplieran ese mercado; además, la capacidad de pago de dispositivos de suministro de energía no se ha relacionado con la demanda. Por esta razón, y aunque la demanda es extraordinariamente grande, una demanda real (en función de la capacidad de compra de los dispositivos fotovoltaicos) para el presente momento es sólo una pequeña porción de la cantidad establecida.

Un análisis más detallado de algunas aplicaciones concretas arrojó los siguientes resultados:

USO	DEMANDA ANUAL
TELEVISION EDUCATIVA RURAL	12 250 Wp
ABREVADEROS DE GANADO	200 000 Wp
SUMINISTRO RURAL DE AGUA POTABLE	150 000 Wp
DISPOSITIVOS DE CARGA DE GRANOS	100 000 Wp
REFRIGERACION RURAL	40 000 Wp

No obstante, estas no son las únicas aplicaciones factibles. La demanda para protección catódica, unidades hospitalarias rurales, radio militar,

bayas' señalizadoras, estaciones meteorológicas, alumbrado rural, aparatos electro-domésticos, otros receptores rurales de T.V (Departamento de Pesca, privados, etc.), estaciones repetidoras de T.V., estaciones telefónicas rurales, señalamientos en ferrocarriles y estaciones sísmológicas puede estimarse en 1 000 000 Wp. Todas estas aplicaciones son poco adecuadas para el uso de motores diesel ya que se encuentran en lugares muy apartados, de difícil acceso donde es casi imposible el suministro constante de lubricantes y combustibles. Adicionalmente, todas las anteriores aplicaciones han sido consideradas en el estudio de mercado del IPW que determina una demanda global de 500 000 Wp para satisfacer dependencias gubernamentales que demandan las celdas a un precio 3 veces mayor al propuesto para las celdas de silicio amorfo, estableciéndose además, que no se puede abarcar todo el mercado, y que es necesaria la importación de celdas con precios de hasta \$ 40.00 U.S. por Wp.

Tomando en cuenta esas consideraciones, es posible el suponer una demanda global de 1 000 000 Wp para dichas aplicaciones. Ahora bien, un pronostico conservador, al suponer la introducción de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo al mercado puede fijarse en 1 500 000 Wp al año.

No existe información histórica adecuada para poder determinar una elasticidad precio de la demanda; sin embargo, con un mayor margen de seguridad, si se suponen como totales las ventas propuestas por el politécnico, es decir que se supone que para un precio de 23 \$ U.S/Wp se vendieron 4 000 Wp y que con un precio de \$ 14 U.S/Wp se venden 500 000 Wp es posible establecer un valor que refleje en algo la elasticidad precio de la demanda para las celdas fotovoltaicas. (10)

Se entiende por elasticidad precio de la demanda como la razón existente entre la cantidad demandada y el cambio del precio en porcentaje para

dicho cambio.

Si se establece la siguiente función:

$$q=f(p)$$

donde q= cantidad demandada

p=precio de la unidad demandada

Esta función se establece comunmente como una relación exponencial, es decir:

$$q=Kp^e$$

Aquí K es una constante y e es la elasticidad buscada.

Al tomar logaritmos es ambos miembros se obtiene:

$$\log q = \log K + e \log p$$

Diferenciando:

$$\frac{dq}{q} = e \frac{dp}{p}$$

La expresión anterior concuerda con la definición establecida para la elasticidad.

Si se tienen dos puntos de la función determinada, es decir:

$$\log q_1 = \log K + e \log p_1$$

$$\log q_2 = \log K + e \log p_2$$

Se llega a:

$$e = \frac{\log q_2 - \log q_1}{\log p_2 - \log p_1}$$

La fórmula anterior se emplea para cuantificar la elasticidad precio de la demanda.

Con las suposiciones antes mencionadas (datos del IPN), se tiene que a una demanda de 500 000 Wp, corresponde un precio de \$ 14 U.S. y que para una demanda de 4 000 Wp corresponde un precio de \$ 23 U.S.

Si se substituyen estos valores en la fórmula determinada se obtiene un valor de  $-9.72600$  para la elasticidad.

El valor anterior es impresionante. Obviamente proviene de una suposición y no necesariamente es exacto, pero es una aproximación adecuada a un valor de elasticidad que pueda tratarse en este trabajo.

Si se sustituye  $e$  en alguna ecuación con los puntos obtenidos, se logra obtener el valor de  $K=7.018E16$  que implica una venta increíble de celdas fotovoltaicas para un precio de venta menor ( $\$ 4$  U.S./Wp).

Obviamente que pueden existir cambios de demanda para una misma oferta que cuestionarían la validez de los datos antes empleados. Pero, tal y como se ha mencionado, al no existir una serie histórica de demanda-precio sobre celdas fotovoltaicas de silicio amorfo, solo es posible suponer una elasticidad como la anterior.

Con el valor de  $e$  y  $K$  obtenidos puede calcularse; si no hubiese cambio en la demanda, a oferta constante y con la suposición establecida, que la demanda para las celdas a un precio de  $\$ 4$  U.S/Wp es de  $97\ 850\ 000\ 000$  Wp. Esta cantidad aun aproximada, refleja la gran demanda al precio mencionado para las celdas fotovoltaicas de silicio amorfo en el caso de fabricarse y venderse en el país a los precios establecidos.

Un poco más conservadoramente, se puede establecer la demanda anual de las celdas en  $2\ 000\ 000$  Wp con un amplio margen de seguridad. Esta demanda incluye las cantidades determinadas para las aplicaciones cuantificadas en el trabajo, más las cantidades supuestas de acuerdo al estudio del IPN más un pequeño margen para otras aplicaciones no consideradas y que pueden presentarse. Este pronóstico es muy seguro, la demanda puede ser mucho mayor y máxime a futuro, en la medida en que se de a conocer el producto.

Notese que la demanda estimada de 2 000 000 Wp al año es únicamente el 0,68% de la demanda bruta estimada para las zonas rurales. La satisfacción de esta demanda únicamente, garantiza que una saturación futura del mercado es poco probable y que por el contrario, las expansiones en un mediano plazo en caso de obtenerse rentabilidad de producción son no solo factibles en cuanto a demanda, sino aconsejables también.

Cabe mencionar una pregunta que pudiese surgir; ¿ si el precio de \$ 600 M.H./Wp no está limitado por la demanda y pudiese aumentar, por qué tal precio?. La respuesta radica en que aunque internamente no existe algún competidor que pueda ofrecer celdas fotovoltaicas a un precio menor y que la importación presenta márgenes exagerados de utilidad para los países que exportan estos dispositivos, debido a los altos precios de venta (\$ 40 U.S./Wp), los precios de venta en el mercado estadounidense para dispositivos fotovoltaicos se han pronosticado de la siguiente manera: (3)

AÑO	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
PRECIO*	6	4	3	2.5	2.2	2	1.8

\* Precios en dólares americanos.

Debido a la incertidumbre que debe asociarse a los pronósticos; la espectacular reducción de costos lograda en el pasado, que podría ir aun más lejos si se desarrollan nuevas tecnologías y la posible aparición de nuevos competidores en el mercado, los precios aquí propuestos podrían disminuir.

El impuesto de importación para las celdas fotovoltaicas es de sólo el 15%. De este modo, si se buscara un precio mayor para las celdas podría ser más barata su importación y la demanda para tal producción sería mucho menor.

## 2.7.- EL MERCADO ENERGETICO EN MEXICO A FUTURO

La participación de las diversas fuentes de energía primaria en la satisfacción de la demanda energética es un factor que depende a su vez de causas variadas y complejas. Sin embargo, existen algunos modelos matemáticos que se han desarrollado y aplicado con éxito relativo.

Uno de estos modelos es el obtenido por Fisher y Pry para determinar la sustitución de tecnología en procesos de manufactura. (12)

Integrando dicho modelo, se llega a:

$$\ln( F/(1-F)) = Kt + C$$

donde F es la fracción del mercado total capturada por la nueva tecnología y K es una constante.

Según la tesis de Marchetti ( Marchetti, C. - On Strategies and Fate. Second Status Report of the IX ASA Project on Energy Systems, 1975, Laxenburg Austria), los recursos energéticos penetran al mercado, aumentan y disminuyen según el modelo descrito.

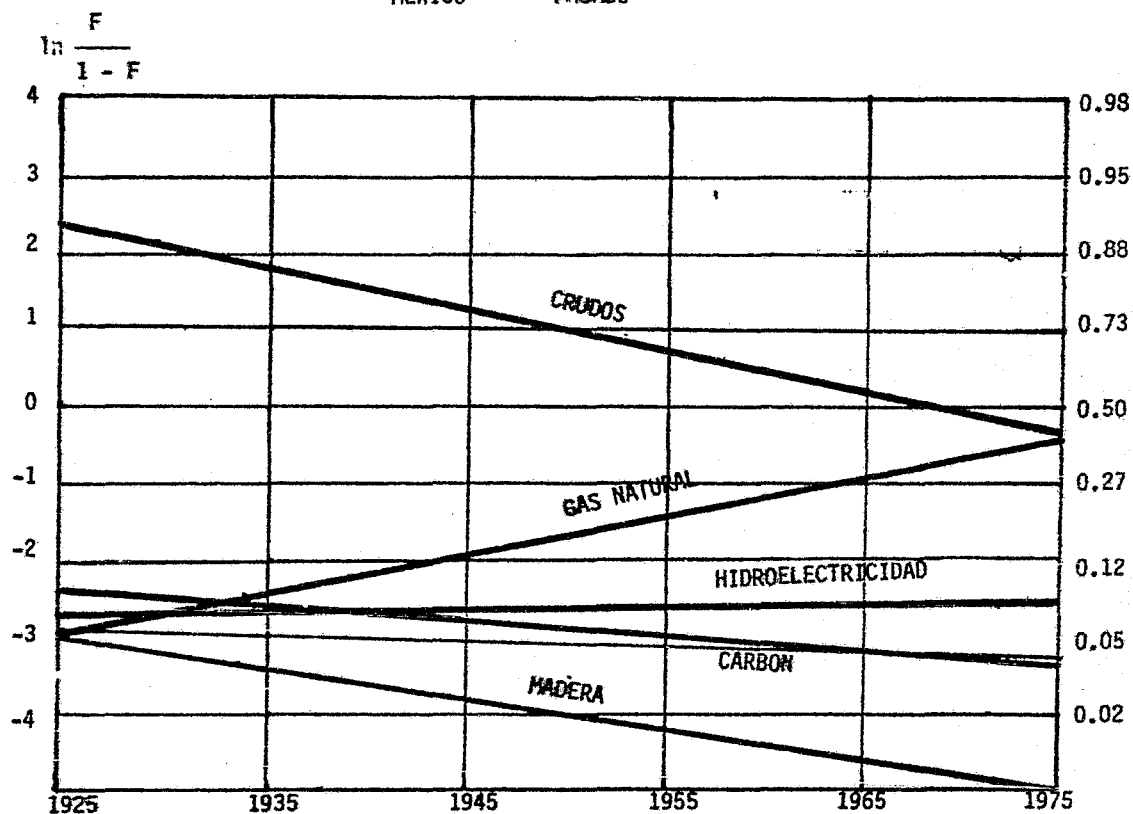
E. López Vancell aplicó este modelo al caso de México, obteniendo una tabla del pasado que se reproduce a continuación. (FIGURA 13).

En la figura se observa un constante descenso en el uso del carbón, la madera y crudos hasta 1975.

En base a predicciones de la Comisión Nacional de Energéticos se realizaron proyecciones de tendencia de variación de energéticos.

Una de estas proyecciones se refiere a la introducción de una nueva fuente el año 2000 con un 1% del mercado. Dicha fuente se denomina solar y se establece la demanda en tal año de acuerdo a la tabla que sigue (FIG. 14)

FIGURA 13  
MEXICO - PASADO



FUENTE: López Vancell de Medina Mora y Vélez Ocón

Proyecciones del Mercado de la Energía en México

Boletín IIE, Noviembre 1977

FIGURA 14

ENERGIA PRIMARIA	CONSUMO ANUAL (Billones Kcal)	FRACCION MERCADO
CRUDO	506	0.151
GAS	2045	0.61
CARBON	290	0.086
FISION	168	0.05
HIDRAULICA Y GEOTERMIA	33	0.093
SOLAR		0.01

Fuente: López VanceII de Medina Mora y Vélez Ocón  
 Proyecciones del Mercado de la Energía en México  
 Boletín IIE, Noviembre 1977

Con estos datos se obtuvo una gráfica que muestra la proyección de la energía solar para el futuro. Esta gráfica se enseña a continuación (Figura 15).

La gráfica de la proyección solar muestra un rápido crecimiento de la energía solar hasta llegar a cubrir casi todo el mercado para el año 2070, mientras que las fuentes alternativas decrecen paulatinamente hasta llegar a valores mínimos a mediados del siglo XXI.

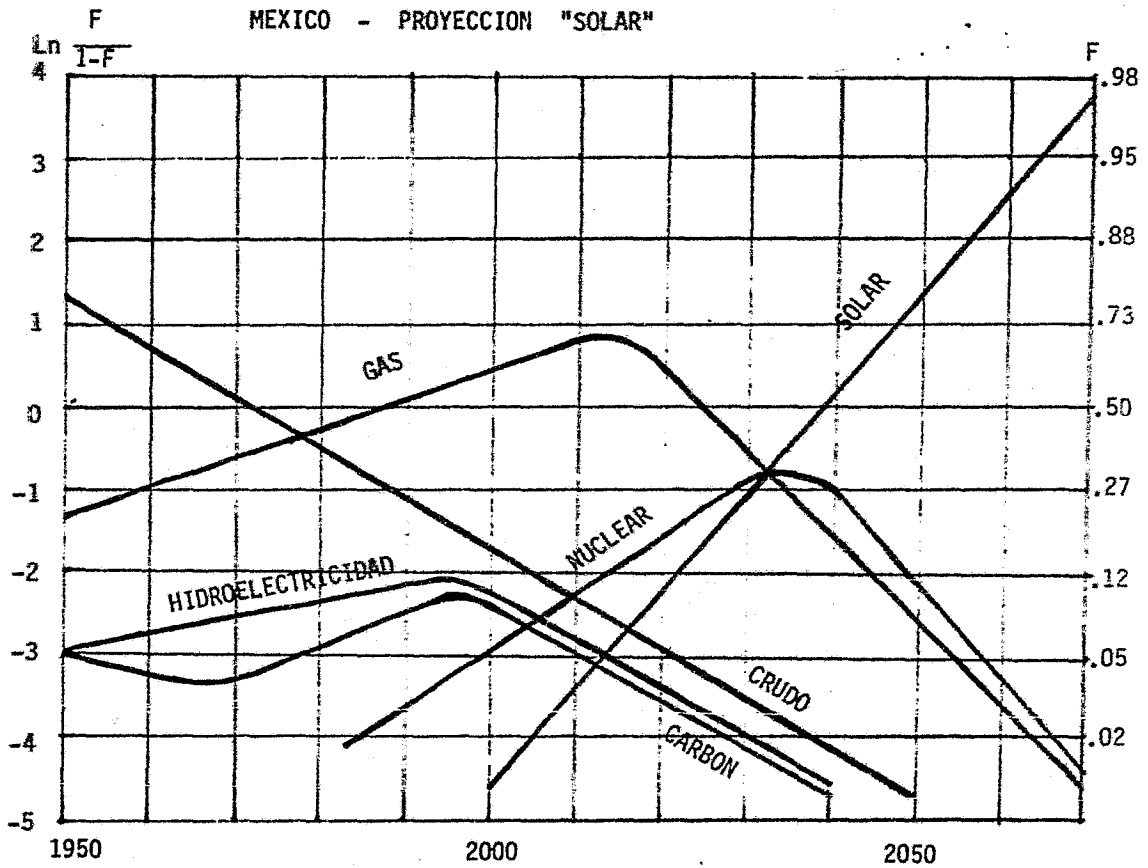
Los valores representados son relativos dada la complejidad del modelo; no obstante, la tendencia mostrada indica un auge creciente de la energía solar a partir de su introducción al mercado.

Esta tendencia ratifica lo dicho en secciones anteriores, pero deben considerarse aun otros aspectos:

- 1.- La energía solar se ha introducido mucho antes del año 2000



FIGURA 15



Fuente:

López Vancell de Medina Mora y Vélez Ocón  
 Proyecciones del Mercado de la Energía en México  
 Boletín IIE, Noviembre 1977.

2.- En la medida en que se ha desarrollado la tecnología "solar" se ha aumentado la fracción de su participación en el mercado.

Así pues, puede suponerse una tendencia similar a la mostrada, pero con un origen desplazado hacia la izquierda unos 15 años.

Con respecto a las celdas fotovoltaicas, es evidente que la de por sí gran demanda de energía eléctrica que actualmente puede satisfacerse por estos dispositivos tiende a expandirse en un futuro y a un ritmo sostenido en la medida en que se desplace a otras alternativas energéticas y los desarrollos tecnológicos continúen.

El establecimiento de una planta productora de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo tiene amplias expectativas de expansión, dependiendo del año de su inicio de producción.

## 2:8.- ELECTRIFICACION RURAL A FUTURO (MEDIANO PLAZO)

La Comisión Federal de Electricidad ha fijado metas de electrificación a "corto plazo bastante ambiciosas.

Para 1987 se pretende reducir el número de habitantes sin electrificar a 5 051 719, siendo 4 502 729 el número de pobladores de zonas rurales (89.13 % ) sin electrificar. De cumplirse este objetivo, México sería un país prácticamente electrificado en cuanto a zonas urbanas. (6)

Para lograr este fin se requiere de una fuerte inversión y una gran cantidad de trabajo. Como se ha mencionado anteriormente, un dispositivo fotovoltaico desplaza en cuanto a ciclo económico a un motor diesel en varias aplicaciones; si se pudiese tener una producción formal de celdas para antes de 1987 y en cantidades adecuadas, la demanda de esos arreglos se incrementaría por la aplicación directa dentro de los planes de instalación de sistemas de potencia de parte de CFE.

Aun suponiendo el logro de las metas de CFE para 1987, quedarían cerca de 3 793 799 sin electrificar para 1987 en localidades rurales de menos de 500 habitantes. De forma análoga al establecimiento de la demanda para 1983, estos habitantes significan un promedio de demanda insatisfecha de casi 123.13232 Megavatios anuales, cantidad aun extraordinariamente considerable.

## 2.9.- CANALES DE DISTRIBUCION

En la economía de nuestros días, la mayor parte de los productores no vende sus artículos directamente a los consumidores finales. En medio se mueve un ejército de intermediarios comerciales, que desarrollan diversas funciones y llevan nombres distintos. No todos estos intermediarios figuran en la totalidad de las industrias, y es sabido que los productores de una determinada industria contratan a diferentes intermediarios para distribuir productos análogos.

Hay dos aspectos que se tienen que considerar para una decisión sobre canales de distribución, según lo menciona Philip Kotler en "Dirección de Mercadotecnia". (13). El primero de estos aspectos es que los canales de distribución elegidos por la compañía para sus productos influyan íntimamente en cualquier otra decisión de mercadotecnia. El segundo aspecto es que imponen a la firma compromisos más o menos a largo plazo con otras organizaciones.

De acuerdo a Ralph Breyer (14), "existe un canal de distribución en cuanto se estipulan las condiciones de concesiones o acuerdos que cubren la distancia del productor al consumidor, entre organizaciones que se suponen dotadas de las capacidades comerciales necesarias".

Un canal de distribución puede tener un número determinado de etapas o vendedores intermediarios, entre el productor y el consumidor final. Presentándose, de este modo, canales de cero etapas donde se realiza o desarrolla una comercialización directa; el canal de una sola etapa tiene un intermediario vendedor, este en los mercados de consumo suele ser un comerciante al menudeo, en los industriales un agente de ventas o un corredor.

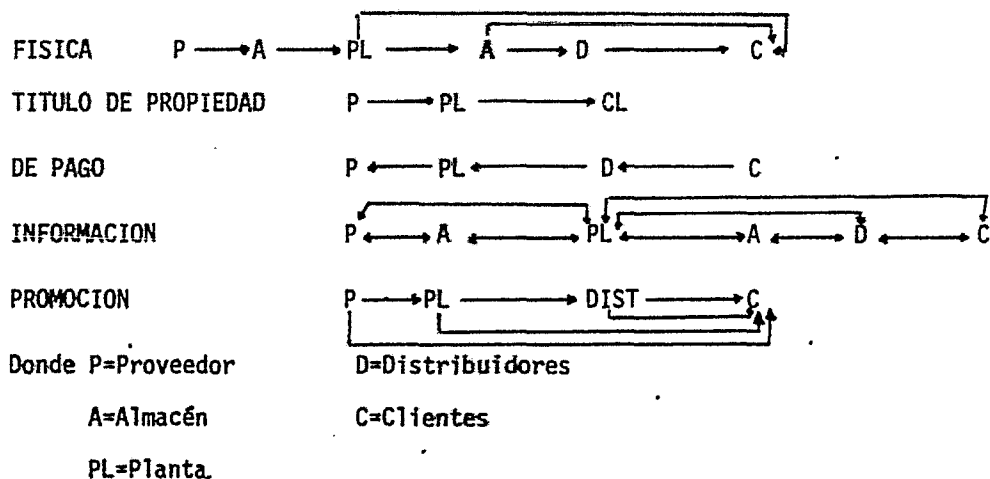
El canal de dos etapas tiene dos intermediarios. En los mercados de

consumo es casi siempre un mayorista y un minorista y en los industriales puede ser un agente de ventas y un mayorista.

El canal de tres etapas tiene 3 intermediarios, actuando un intermediario entre mayoristas y minoristas.

Por mercado de consumo se entiende: los productos o servicios adquiridos o conectados por los individuos y familias para uso personal (no de negocio). Mercado industrial son los distribuidores y las organizaciones que adquieren bienes y servicios destinados a la producción de otros productos o servicios para su venta o alquiler. Finalmente, mercado de distribuidores puede estar constituido tanto por individuos como organizaciones- intermediarios, corredores, minoristas, etc. que compran mercancía para revenderla o brindar un servicio con algún lucro.

Las instituciones que forman un canal de distribución están conectadas por diversos sistemas o tipos de circulación. Los más importantes son los de circulación física, de título de propiedad, de pago de promoción y de información. (Figura 16).



El de circulación física se refiere al movimiento de los productos físicamente

sicos, desde su estado de materias primas hasta que llegan a manos de los consumidores finales. Los de circulación de títulos (de propiedad) tratan la transmisión real del mismo, de una institución a otra. La circulación de pago indica que el cliente paga su factura al comerciante, éste remite el pago (menos la comisión que le corresponde) al productor, y el productor paga a los distintos proveedores. La circulación de información se refiere al intercambio de comunicaciones entre las instituciones que integran el canal de distribución y por último, la circulación de promoción se refiere al movimiento de las diversas actividades de influencia (anuncios, venta de personal, publicidad, etc.) de una a otra parte o partes del sistema.

Resumiendo; un canal de distribución es un medio de hacer llegar el producto o servicio por medio de un conducto activo, aclarando que este canal debe ser eficiente y económico para que se atienda al mercado de la mejor manera posible. Para escoger el canal apropiado al producto es necesario una investigación comercial como la realizada previamente, basándose en las experiencias de los competidores, en caso de que existan y analizar finalmente, los canales existentes.

La naturaleza del producto esta definida, asimismo el precio para el mercado se ha establecido; entonces se procede a escoger el canal más apropiado. Debido a que las ventas del producto propuesto se dirigen principalmente al gobierno federal más que a particulares, se centrará la elección para tal consumidor. Analizando las estructuras de los canales, la ruta más apropiada parece ser el canal de una etapa, es decir, de productor a consumidor:



Esto debido a que la dependencia gubernamental a la que se pretenda

vender fungirá como mayorista al distribuir, mediante sus sub-dependencias, el producto a los consumidores finales. Integrando a dicho producto los elementos adicionales que se requieren (BOS) e instalando el sistema completo.

Pudiese criticarse el hecho de dirigir la comercialización del producto únicamente al sector público, pero aun cuando pudiesen existir compras de particulares, estas serían muy específicas y aisladas por lo que su relación con respecto al gobierno es mínima. Esta postura es más realista y acorde con el producto y su mercado. Sin embargo, a medida que se difunda el uso de los dispositivos fotovoltaicos podría optarse por un segundo canal de distribución destinado a consumidores particulares mediante mayoristas en zonas de gran demanda.

En este momento, la distribución propuesta es muy similar a la empleada por el IPN, único fabricante en forma de productos análogos y a quien el sector público compra prácticamente toda su producción.

Adicionalmente, se planea un sistema de promoción que incluye ventas por medio de agentes de la misma compañía encaminados hacia las instituciones gubernamentales y apoyados por una campaña de promoción centrada en la difusión del producto para tales instituciones. La difusión se centra en las características técnicas de las celdas, sus ventajas físicas y de costo respecto a otras alternativas y la sencillez de su operación y mantenimiento.

## 2.10.- REFERENCIAS

- (1) Organización de las Naciones Unidas  
Manual de Proyectos de Desarrollo Económico  
México D.F., 1958
- (2) Hay, Hill, Harrison & Riaz  
The Economic Impact of Solar Cell Production Technologies  
Newcastle upon Tyne Polytechnic, England, NE1 8st  
ETSU, AERE Harwell, Oxfordshire, England
- (3) Kiss, Zoltan  
The Economics of Thin Film Photovoltaics  
Chronar Corporation  
Princeton, New Jersey, 1981
- (4) Solar Energy, Intelligence Report  
Vol. 8, No. 22  
May 31<sup>st</sup>, 1982
- (5) Almanza R. y López S.  
Total Solar Radiation in Mexico, using sunshine hours and meteorological data  
Solar Energy  
Vol. 21, No.5, 1978
- (6) Comisión Federal de Electricidad  
El Programa de Electrificación Rural en México  
Novena Conferencia Latinoamericana de Electrificación Rural  
1981



- (7) Secretaría de Programación y Presupuesto y el Consejo Nacional de Población  
Datos Básicos Sobre la Población de México 1980-2000  
México, D.F.
- (8) Comisión Federal de Electricidad  
Informe de Operación 1981
- (9) NASA & DOE  
Market Assessment of Photovoltaic Power Systems for Agricultural Applications in Mexico.  
DOE/NASA/0180-3; NASACR-16544
- (10) Pérez E. J. y Del Valle J.L.  
Las Perspectivas Fotovoltaicas en México  
Departamento de Ingeniería Eléctrica  
Centro de Estudios Avanzados del IPN.  
1981
- (11) Tarquin, Anthony & Blank, Leland.  
Ingeniería Económica  
Mc. Graw Hill  
México D.F. 1978
- (12) López Vancell de Medina Mora, Emma y Vélez Ocón, Carlos.  
Proyecciones del Mercado de la Energía en México  
Boletín IIE, Noviembre 1977
- (13) Kotler Philip  
Manual Diccionario de Mercadotecnia  
2ª Edición 1974

(14) Breyer, Ralph.

Some Observations On Structural Formation and the Growth of Marketing Channels.

CAPITULO III

ANALISIS DEL PRODUCTO.

### 3.1.- ANTECEDENTES.

Las décadas pasadas hicieron ver al mundo que requería de fuentes alternativas de energía y no seguir dependiendo del petróleo como única fuente.

Lo que algunos han dado en llamar "el fin del petróleo" (1), comenzó a sentirse en 1973 con la abrupta elevación de los precios del petróleo por parte del reducido grupo de países productores. Este acontecimiento obligó, principalmente a los países industrializados, a dar gran importancia a la búsqueda y desarrollo de fuentes alternas de energía.

Además, el darse cuenta de que los recursos naturales son de hecho finitos incrementó considerablemente la urgencia de fomentar las investigaciones de fuentes de energía no convencionales.

Es importante hacer una división entre fuentes de energía almacenada y fuentes de energía renovable (2). En cosa de décadas, los recursos naturales en todo el mundo se habrán agotado. Si se añaden los problemas ecológicos asociados con la extracción de esos recursos el problema se complica más.

Recursos como el carbón y el petróleo continuarán siendo fuentes esenciales de materiales para muchos usos industriales, demasiado importantes para decirse como para usarlos como combustibles (2).

La energía nuclear se enfrenta a un futuro limitado por la oposición pública (debido a los daños ecológicos que ocasiona), pero sobre todo por los serios cuestionamientos económicos a que se enfrenta (altísimos costos de producción) (2).

Todo lo anterior nos obliga a mirar hacia otro tipo de fuentes energéticas, las llamadas renovables, que son fundamentalmente:

- a).- Calentamiento y refrigeración solar.
- b).- Molinos de viento. (Energía eólica)
- c).- Corrientes oceánicas.
- d).- Generadores mareométricos.
- e).- Gradientes térmicos oceánicos.
- f).- Dispositivos fotovoltaicos.
- g).- Geotermia.

Generalmente, cuando se habla de "energía solar", se refiere a calentamiento solar (solar thermal heating), pero esos dos términos no son sinónimos. El calentamiento solar es solo un método de aprovechamiento de energía solar y no debe confundirse con otra tecnología solar como es la fotovoltaica.

Principalmente, el calentamiento solar (a base de colectores solares) es un método de calentamiento de agua para sistemas de bombeo y calefacción. Por lo tanto, se genera energía térmica y no eléctrica, pero tiene muchas limitaciones para su utilización práctica, particularmente en tiempos calurosos y áreas tropicales, donde se requiere más bien aire -- acondicionado que calefacción (3).

Los molinos de viento, corrientes oceánicas y gradientes térmicos están severamente limitados por factores geográficos y climáticos, pero quizá la mayor desventaja a la que se enfrentan es que dependen de la -- fricción que se produce en dispositivos mecánicos, ocasionando que se requiera un servicio de mantenimiento regular para una operación eficiente (2).

La Geotermia, a pesar de ser una fuente de energía estupenda presenta es inconveniente de que sólo algunas regiones del país pueden adoptar un aprovechamiento de este tipo, por lo que su uso es restringido. Cabe señalar que México ocupa el cuarto lugar en el mundo en capacidad instalada en plantas geotermoeléctricas (4).

La forma más práctica de aprovechamiento de energía solar es a través de su conversión a electricidad por medio de celdas solares. - Esta es la única fuente de energía con (2) :

- a) Partes no móviles.
- b) Operación limpia, es decir, sin polución.
- c) Fuente de alimentación gratuita e ilimitada.
- d) Capacidad de fabricación de grandes volúmenes con la tecnología existente.
- e) No interviene ningún ciclo termodinámico.

Debido a estas características, estos dispositivos tienen grandes tiempos de servicio ( superior a 20 años) y su eficiencia no esta limitada por el principio de Carnot, sino por mecanismos de tipo cuántico y el grado de perfección de los materiales utilizados para fabricar los dispositivos de conversión conocidos como celdas solares (5).

La energía solar recibida por la tierra es de  $5.5 \text{ Kw-h/ m}^2$  diarios en promedio, energía que equivale a 50 000 veces el consumo eléctrico mundial durante los próximos 50 años. Es decir, la energía solar que se recibe en un día promedio equivale a 7 000 años el consumo actual de energía (5).

Paradójicamente, los países que han desarrollado a un nivel comercial los generadores fotovoltaicos están fuera de las regiones de alta insolación.

Si tomamos en cuenta que la insolación promedio es de  $2\,000\text{ kw-h/m}^2$  anuales en las zonas tropicales y si se pudiese transformar en energía eléctrica con una eficiencia mínima del 10% (en sistemas fotovoltaicos se han conseguido eficiencias del 15%), nos bastaría con un área de  $150\text{ km}^2$  para cubrir el consumo mundial de energía eléctrica (de unos  $4.5 \times 10^{12}$  kw-h), ocupando apenas el 0.05% del área desértica del planeta. De la misma forma, el consumo nacional de energía eléctrica ( $4.5 \times 10^{10}$  kw-h) se cubriría con el 0.02% del área de los desiertos nacionales (un cuadrado de 15 km de lado)(5).

Todo lo anterior nos lleva a la conclusión de que la energía solar es abundante aunque también dispersa, haciendo que su aprovechamiento no sea sencillo.

### 3.2.- BOSQUEJO HISTORICO. (7)(8)

A continuación se tratará de dar un breve bosquejo histórico del desarrollo de las celdas fotovoltaicas; pretender abarcar todos los aspectos relacionados con ellas es prácticamente imposible, por lo que se limitará a incluir solo los aspectos más importantes.

1817.- Berzelius descubre el selenio.

1820.- Berzelius prepara silicio por primera vez.

1839.- Becquerel descubre el efecto fotovoltaico en celdas electrolíticas.

1873.- Willoughby Smith descubre la fotoconductividad del selenio.

1874.- Braun inventa el rectificador de contacto puntual.

1876.- Adams y Day observan el efecto fotovoltaico en una estructura de selenio de estado solido.

1882.- Fritts y Uljanin fabrican la primera celda fotovoltaica de selenio.

1884.- Fritts realiza la primera simulación de la respuesta del ojo humano mediante una combinación de celdas de selenio y filtros de colores.

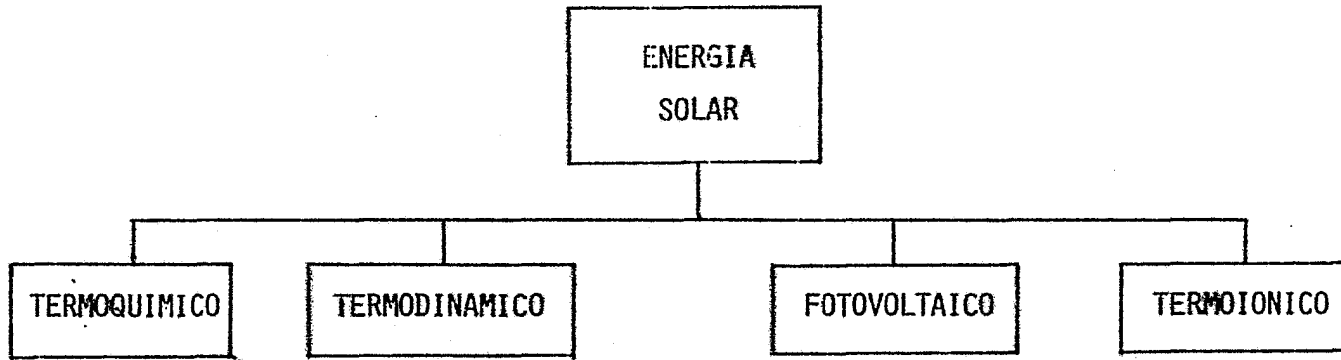


Fig. 17.- Diferentes caminos para generar potencia mediante energía solar (6).



- 1904.- Hallwachs descubre la fotosensibilidad del  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ .
- 1914.- Goldman y Brodsky aplican por primera vez el efecto fotovoltaico a una capa limitante.
- 1920.- Grondahl inventa el rectificador de  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ .
- 1927.- Grondahl y Geiger inventan la celda fotovoltaica de  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$ .
- 1928.- Strutt, Brillouin y otros dan su teoría de bandas para sólidos.
- 1930.- Schotky enuncia su teoría de celdas con barreras V- y H-.
- 1931.- Aparece la teoría de difusión electrónica de Dember. Característica de las celdas de  $\text{Cu-Cu}_2\text{O}$  y de Se, así como aplicaciones fotométricas por Lange.
- 1938.- Aparece la teoría de las barreras de metales y semiconductores por Mott y Schotky. Nix y Treptow logran una eficiencia del 1% en celdas de  $\text{Ti}_2\text{S}$ .
- 1941.- Ohl desarrolla una celda de silicio.
- 1945.- Teal produce una delgada película de silicio.
- 1949.- Shockley enuncia su teoría de las uniones p-n.
- 1953.- Trabajo sobre la unión p-n difusa por Fuller.
- 1954.- Aparece realmente la celda solar de silicio por Pearson, Fuller y Chapin.
- 1955.- Hace su aparición la celda solar de sulfuro de cadmio (Reynolds). Pfann y Roosbroeck publican su teoría de celdas solares.
- 1957.- Sah, Noyce y Shockley enuncian su teoría de las uniones p-n mejoradas.
- 1958.- Loferski, Rappaport y Wysocki publican su teoría de eficiencia de celdas solares y separaciones de banda.
- 1959.- Teoría de respuesta espectral y análisis de mecanismos Loss por Wolf.
- 1960.- Efectos de resistencia en serie y red de líneas por Wolf y Rauschenbach. Mandelkorn y Kesperis producen celdas de efecto n-p re-

sistentes a la radiación.

- 1961.- Contactos evaporados de Titanato de Plata.
- 1967.- Shiozawa fabrica un modelo de celdas solares de  $Cu_2S-CdS$ .
- 1969.- Spears y otros profesores de la universidad escocesa de Dundee inventan el método de depósito de descarga de luz usado en la fabricación de celdas solares de silicio amorfo.
- 1972.- La firma Mobil-Tyco inicia un programa de fabricación de tiras de silicio o listones. Los laboratorios de la RCA en Estados Unidos empiezan a trabajar con el método GD en la fabricación de celdas solares de silicio amorfo.
- 1975.- La RCA obtiene la primera celda solar de silicio amorfo por el método de GD.

A partir de la década de los setentas es prácticamente imposible -- continuar con la cronología, ya que los descubrimientos e inventos se suceden día a día.

Como corolario se puede afirmar que el estudio, desarrollo y tecnología de las celdas fotovoltaicas data de más de siglo y medio atrás. Lo que debe terminar con la creencia de que es una tecnología nueva y por lo tanto incierta.

### 3.3.- TEORIA DEL EFECTO FOTOVOLTAICO.

Se define el efecto fotovoltaico como "la generación de un potencial cuando una radiación ioniza la región cercana a la barrera de potencial de un semiconductor. Se caracteriza por una f.e.m. autogenerada y la habilidad para entregar potencia a una carga, proviniendo la potencia primaria de la radiación ionizante" (9).

La interacción de la energía radiante con la materia se puede estudiar desde dos aspectos (corpúscular u ondulatoria); para el estudio del fenómeno fotovoltaico, consideraremos el punto de vista corpúscular (10). Cada corpúsculo de energía está dado por (A) y recibe el nombre de fotón, donde  $h$  es la constante de Planck y  $\nu$  su frecuencia.

$$E=h\nu \quad \dots\dots\dots(A)$$

Cuando un haz de radiaciones incide en un material da origen a diversos efectos dependiendo de las características físicas de la radiación así como de los medios de propagación e incidencia. Esto hace que debido a la diferencia de índice de reflectividad de los medios, la radiación se rá parcialmente reflejada y parcialmente transmitida. La radiación que se transmite da lugar ocasionalmente a tres efectos principalmente (5):

a).- Efecto Fotoeléctrico.- Los átomos de material absorben la radiación transmitida. En este caso toda la energía  $h\nu$  del fotón incidente es cedida a un electrón ligado a un átomo siendo expulsado por una energía dada por (B) donde  $E_i$  es el potencial de ionización del electrón (9).

$$E_k = h\nu - E_i \quad \dots\dots\dots(B)$$

b).- Efecto de Dispersión o "Scattering".- La radiación transmitida es desviada de su trayectoria sin pérdida de energía (Efecto Thompson) o una pérdida muy pequeña (Efecto Compton) después de expulsar un electrón de un átomo o de chocar con un electrón libre (9).

c).- Generación de Pares de Electrón-Hueco o Efecto Fotoeléctrico Interno.- Si la energía contenida por el fotón transmitido es igual o mayor que el ancho de banda prohibida  $E_g$  (Forbidden Gap) de un material (generalmente semiconductor, donde  $E_g$  es pequeña), entonces un electrón de la banda de valencia absorberá la energía necesaria  $E_g$  para pasar a la banda de conducción dejando en su lugar un hueco. Así, la energía de radia-

ción se ha convertido en energía potencial del electrón y en presencia de un campo eléctrico externo se producirá un flujo de corriente que da lugar al efecto fotoconductor y el material se denominará fotoconductor (5)(9).

La luz del sol ya sea en la superficie terrestre o fuera de ella, tiene fotones con suficiente energía para formar pares electrón-hueco. También se utilizan otros tipos de radiación como la radiactividad y los rayos  $\beta$  y  $\gamma$  (5).

Para ilustrar el efecto fotoconductor, podemos recurrir a la Fig.18 donde sólo es necesario añadir que el nivel Fermi (F) está cerca del principio de la banda prohibida con muchos electrones  $n$ , en la banda de conducción y pocos huecos  $p$  en la banda de valencia. El concepto de portadores mayoritarios o minoritarios (electrones y huecos, respectivamente en este caso) es importante. Cuando la luz solar incide en el semiconductor, aquellos fotones que tienen energía mayor que la banda prohibida producen ambos tipos de portadores en números iguales. Una fuente de luz intensa puede incrementar la densidad de portadores minoritarios en varios órdenes de magnitud mientras que el efecto en los portadores mayoritarios es despreciable. Esos portadores fotoinducidos están excedidos en su número de equilibrio térmico y se distribuirán aleatoriamente cerca del semiconductor recombinándose en el orden de décimas de microsegundos (9).

La barrera de potencial en las uniones p-n proporciona el campo eléctrico para reunir los portadores generados por los fotones y obtener el efecto fotovoltaico en dispositivos como fotodiodos, fotoceldas y fototransistores. Para comprensión del efecto fotovoltaico, considérese que una radiación incide sobre la región angosta tipo p de una unión p-n creando pares electrón-hueco, ganando cada electrón una energía potencial  $E_g$ . En presencia de la barrera de potencial ( $q\phi$ ) de la unión, los electrones

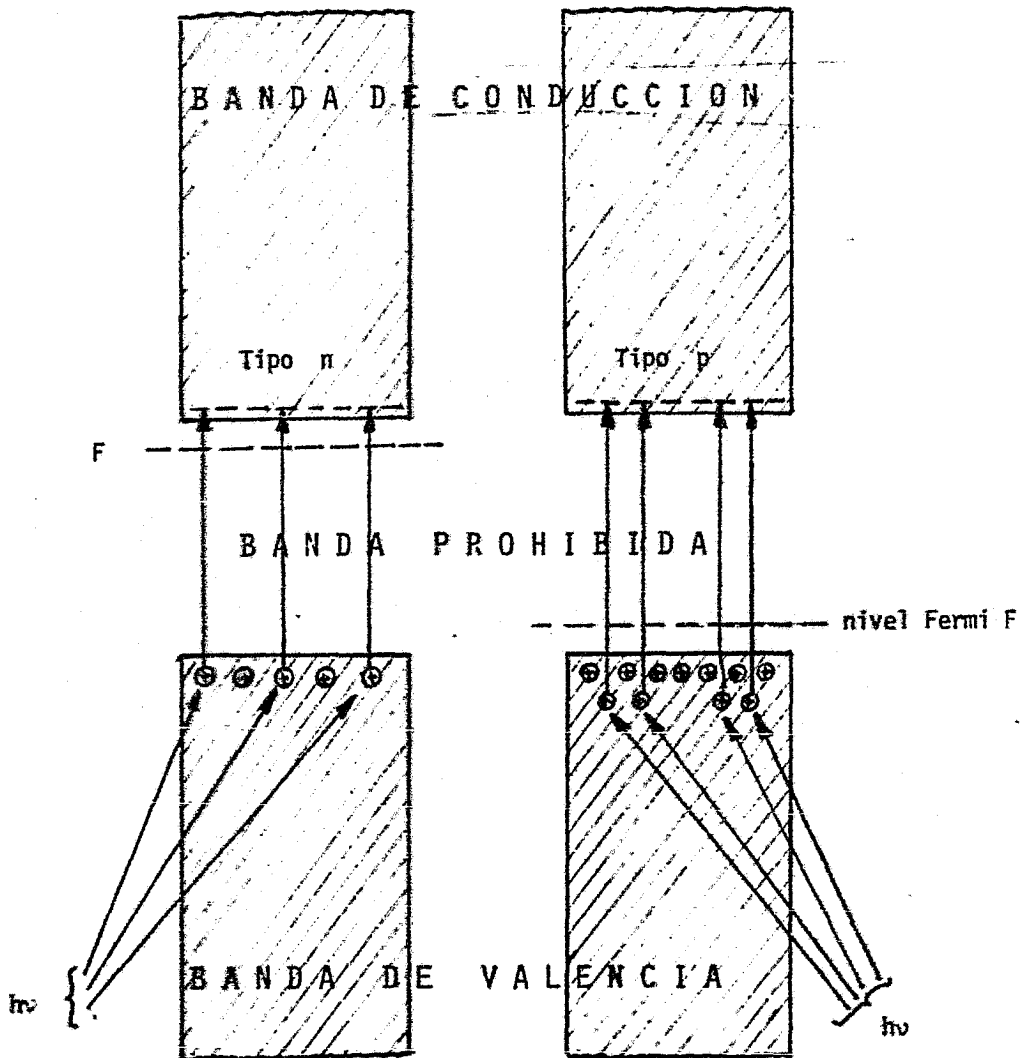


Fig. 18

generados (portadores minoritarios) dentro de una distancia no mayor a una longitud de difusión a partir de la región desértica, se moverán por difusión hacia ésta, en donde serán reunidos perdiendo energía potencial al -- vencer la barrera. Los portadores así reunidos están posibilitados para fluir en un circuito externo, desarrollando una potencia a expensas de la energía potencial obtenida por los portadores a partir de la energía incidente, perdiéndose parte de ésta en vencer la barrera. Los electrones generados -- fuera de una cierta distancia se recombinarán antes de alcanzar la región -- desértica. Algo similar sucede en la colección de portadores minoritarios si la radiación ioniza una región delgada tipo n; en este caso se reunirán huecos que se moverán por difusión hacia la región desértica (5).

Si los fotones generan los pares electrón-hueco en la región desértica, los electrones se moverán hacia la región n y los huecos hacia la región p debido al alto gradiente de potencial y contribuirán al flujo de un circuito externo. Por supuesto que los fotones incidentes pueden chocar con un electrón libre o un hueco y no con un electrón de valencia y transmitirles parte de su energía (efecto Compton) sin generar pares electrón-hueco; no obstante, aún en los semiconductores más fuertemente contaminados la concentración de portadores mayoritarios no es mayor de  $10^{26}/m^3$  siendo alrededor de 1/10 000 de la concentración de electrones de valencia tal que la probabilidad de que un fotón choque con un portador libre y le transfiera su -- energía es despreciable.

Por lo tanto, el efecto fotovoltaico se compone de tres etapas (5):

- a).- Absorción de los fotones, dando lugar a la generación de pares electrón-hueco.
- b).- Difusión de los portadores generados.
- c).- Colección de los portadores que fluirán en la carga, completándose así la transferencia de energía.

No obstante la región de la unión p-n donde se produzca la generación de pares electrón-hueco, el efecto neto es una corriente de portadores minoritarios; los huecos creados fluirán de la región n a la región p a través de la región desértica en tanto que los electrones lo harán en sentido inverso, resultando una corriente neta de portadores positivos de la región n a la región p en el interior, o sea de la región p a la región n a través de la carga en el circuito externo.

Al circular esa corriente en la carga se desarrolla un potencial que hace que al contacto con la región p más positivo respecto al contacto con la región n. Así, el potencial desarrollado en la carga provoca una autopolarización directa de la unión p-n originándose así una corriente que desafortunadamente es en sentido contrario a la generada por la luz, o sea de la región n a la región p a través de la carga. Con esto, la corriente que circula en la carga es menor que la generada por la radiación y en sentido contrario a la dirección normal del flujo de corriente en una unión p-n polarizada directa.

#### 3.4.- CARACTERISTICAS ELECTRICAS.

Una celda solar no iluminada tiene una característica corriente-voltaje similar a la de una unión p-n con una resistencia conectada en serie, como se muestra en la Fig. 19 (5)(9)(11).

La corriente I está dada por la ecuación

$$I = I_0 \left[ e^{\frac{q}{AKT} (V - IR_s)} - 1 \right] \dots\dots\dots(C)$$

donde:

I es el flujo de corriente en la unión p-n.

$I_0$  es la corriente de saturación inversa.

V es el voltaje aplicado.

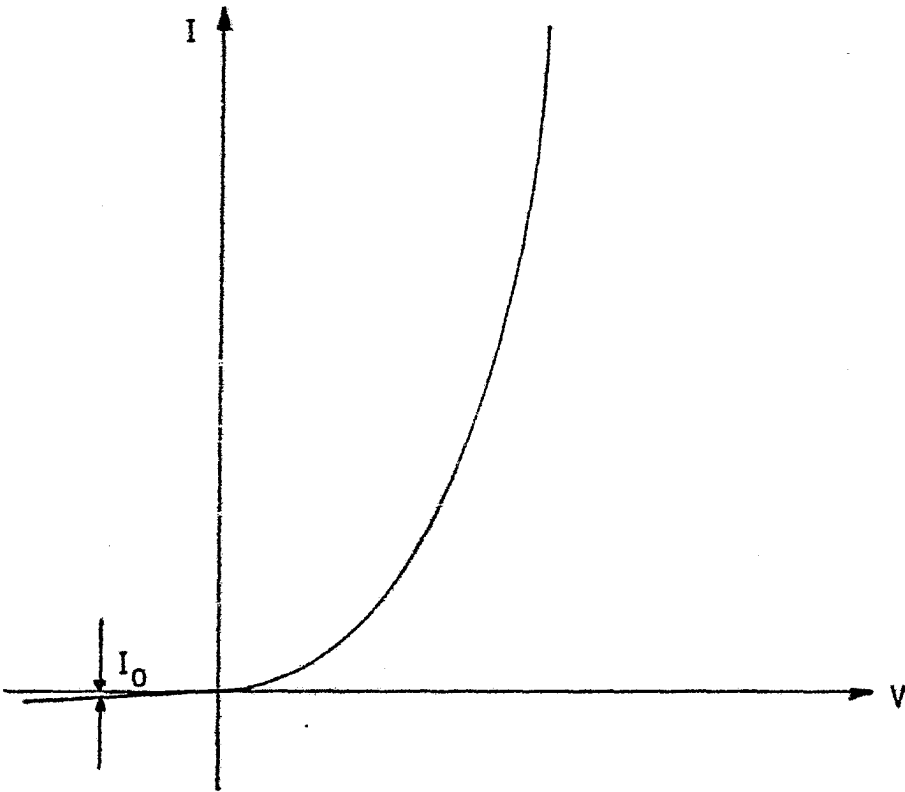
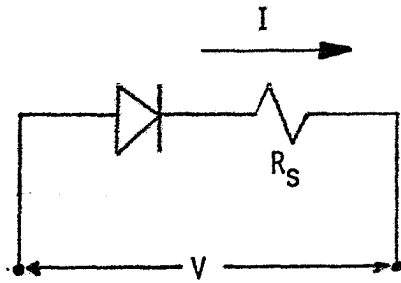


Fig. 19



$T$  es la temperatura en  $^{\circ}\text{K}$ .

$k$  es la constante de Boltzmann.

$q$  es la carga del electrón.

$A$  es el factor de curva adicional.

(A  $25^{\circ}\text{C}$ ,  $kT = 0.025$  eV).

La iluminación de la celda resulta en una corriente de iluminación  $I_L$ , como se muestra en la Fig. 20 (5)(9)(11).

La corriente está dada en este caso por:

$$I = I_0 \left[ e^{\frac{q}{AkT} (V - IR_s)} - 1 \right] - I_L \quad \text{.....(D)}$$

Además, como  $I_L \geq I$ , obliga a que  $I$  sea positiva.

Para condiciones de corto circuito ( $R_c = 0$ )

$$I \cong I_L \quad \text{.....(E)}$$

pues  $V \cong 0$  e  $IR_s \cong 0$  para  $R_s \rightarrow 0$ .

Para condiciones de circuito abierto ( $R_c \rightarrow \infty$ ) se obtiene el máximo fotovoltaje.

$$V_{oc} = \frac{AkT}{q} \ln \left[ \frac{I_L}{I_0} + 1 \right] \quad \text{.....(F)}$$

Para cualquier condición de carga ( $R_c \neq 0$ ), se cumplen las siguientes condiciones:

$$|V| < |V_{oc}| \quad \text{.....(G)}$$

$$e \quad |I| < |I_L| \quad \text{.....(H)}$$

A causa de que la característica  $I$  vs.  $V$  del dispositivo es no lineal, se tendrá un punto de máxima potencia entregada (gráficamente se observa por el área máxima de un rectángulo inscrito en la curva  $I$  vs.  $V$ ), si conectamos la resistencia óptima ( $R_{op}$ ) (3)(11)

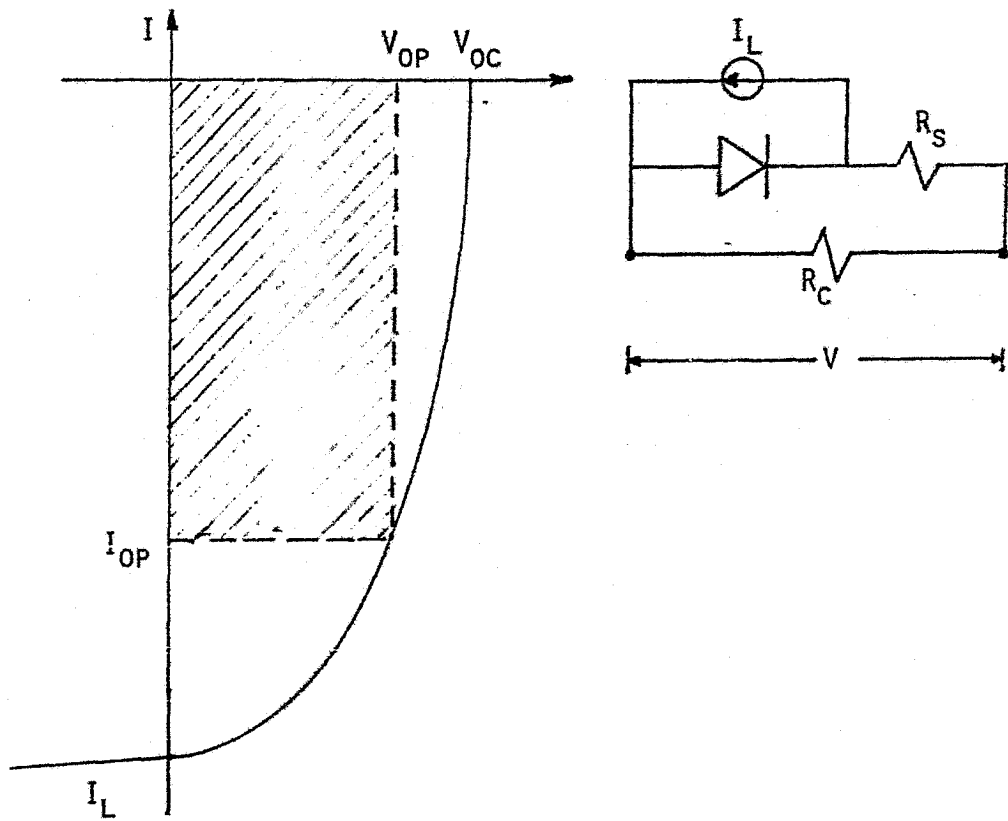


Fig. 20

$$R_{op} = \frac{V_{op}}{I_{op}} \quad \dots\dots\dots(I)$$

En estas condiciones, con una radiación solar incidente determinada (con una potencia incidente,  $P_{inc}$ ) la potencia estará dada por (5):

$$P_{max} = V_{op} I_{op} \quad \dots\dots\dots(J)$$

Y la eficiencia de las celdas solares es (5):

$$\eta = F_c \frac{V_{oc} I_{op}}{P_{inc}} \quad \dots\dots\dots(K)$$

Como  $V_{op}$  e  $I_{op}$  dependen de las características  $I$  vs.  $V$  de la celda ( $I_0$ ,  $A$ ,  $R_s$ ) y del valor  $I_L$  de la corriente de iluminación. Al tomar en cuenta este hecho, es conveniente y útil definir un factor experimental  $F_c$ , llamándolo factor de curva, como (5):

$$F_c = \frac{V_{op} I_{op}}{V_{oc} I_L} \quad \dots\dots\dots(L)$$

por lo que la eficiencia puede expresarse como (5):

$$\eta = F_c \frac{V_{oc} I_L}{P_{inc}} \quad \dots\dots\dots(M)$$

De esta manera es obvio que una celda será más eficiente conforme crezca  $F_c$  y la relación  $I_L/I_0$  sea lo más grande posible (5)(9).

A simple vista se podría decir que un factor  $A$  ( factor adicional de curva) grande aumentaría  $V_{oc}$ , pero ese no es el caso ya que se puede demostrar que un coeficiente  $A$  mucho mayor que la unidad es típico de mecanismos de transporte no ideales que aumentan la corriente de saturación  $I_0$ . En general, se caracterizan las celdas por medio de los siguientes factores, que permiten evaluar y controlar los procesos (5):

$I_L$ .- Densidad de corriente de corto circuito ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ ).

Parámetro de control: el espesor de la capa superficial y acabado superficial de las celdas.

$V_{OC}$ .- Voltaje de circuito abierto (mV).

Parámetro de control: densidad de corriente de saturación.

$F_C$ .- Factor de curva.

Parámetro de control:  $R_S$ ,  $I_0$ , A.

$R_S$ .- Resistencia en serie ( $\Omega$ ).

Parámetro de control: máximo punto de potencia.

A.- Factor de curva adicional.

Parámetro de control: Uniformidad de la difusión, procesos de recocido, precipitación de elementos metálicos.

$\eta_e$ .- Eficiencia eléctrica.

$$\eta_e = \frac{I_{OP}}{I_L} \times 100 \quad \dots\dots\dots (N).$$

Parámetro de control: Pérdidas por drenaje de corriente en la unión p-n.

$\eta$ .- Eficiencia Global.

Por supuesto que la densidad de corriente de saturación, el factor de curva adicional y la resistencia serie pueden evaluarse experimentalmente, determinando las características reales de la unión p-n por medio de una técnica de iluminación variable.

### 3.5.- MODULOS Y PANELES FOTOVOLTAICOS.

Debido al estado actual del desarrollo técnico-económico de las celdas solares para aplicaciones terrestres se considera que los generadores fotovoltaicos (módulos y paneles de celdas solares) están hechos a la medida para los países de fuerte insolación y que la mayor parte de las aplicaciones económicamente rentables requieren potencias pico de algunas

decenas o centenas de vatios o hasta kilovatios (5).

Como ya hemos visto, las celdas solares son dispositivos que generan potencia eléctrica a valores relativamente bajos:

- El voltaje óptimo que nos provoca una potencia máxima se situa alrededor de 0.45 v.
- La densidad de corriente óptima para la misma potencia es alrededor de  $30 \text{ mA/cm}^2$ .
- La potencia máxima proporcionada por una celda es alrededor de  $13.5 \text{ mW/m}^2$ .  
(Considerando una condición de iluminación de  $1 \text{ kW/m}^2$ )

Se puede observar que la corriente proporcionada por la celda es - proporcional a su superficie, en tanto que el voltaje es independiente de ésta, la potencia máxima total proporcionada por una celda será proporcional al área de la misma (5).

Para obtener las potencias necesarias para las aplicaciones presentes se diseñan arreglos serie o serie-paralelo de celdas solares (módulo) adecuados para proporcionar una potencia pico dada a un voltaje determinado por los rangos de operación de las baterías en flotación de los sistemas (comúnmente 6 y 12 v.). El arreglo serie-paralelo de estos módulos -- (paneles) proporcionará el voltaje y la corriente necesaria para la aplicación deseada (2).

En la figura 21 se ilustran las celdas solares, los módulos y los paneles.

Un generador fotovoltaico está compuesto por una estructura mecánica que sirve de soporte, de celdas solares, de interconexiones y de una encapsulación. El conjunto e interacción de estos componentes deberá asegurar durante un gran periodo (más de 10 años) el comportamiento normal del generador fotovoltaico, con mínima o nula degradación de sus características eléctricas bajo las condiciones ambientales (5).

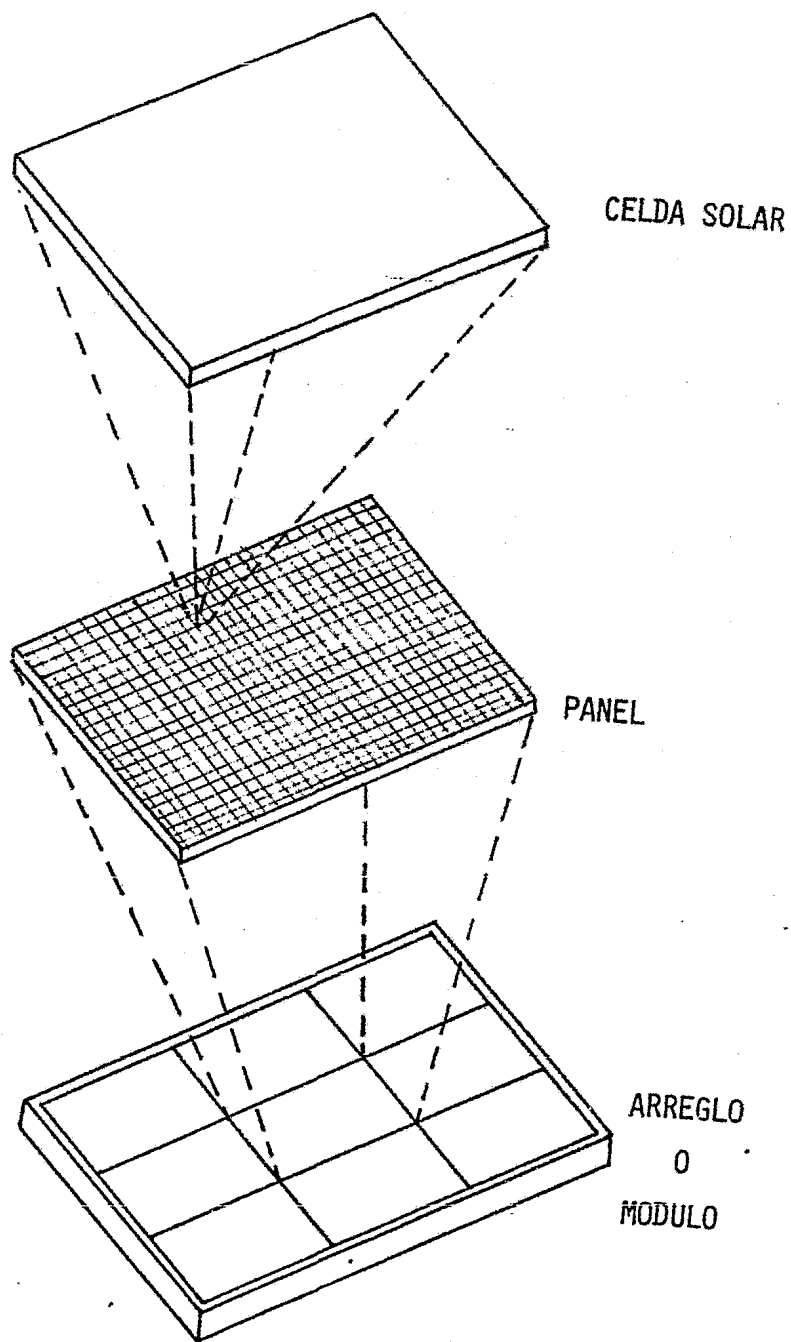


Fig. 21.

- Humedad; oxidación de los contactos.
- Esfuerzos térmicos; integridad de las conexiones.
- Esfuerzos mecánicos; efecto del viento y de diversos impactos.
- Depósitos de diversa naturaleza; pérdidas de potencia evitables o permanentes resultantes de estos depósitos.

### 3.6.- ALMACENAMIENTO Y CONVERSION A CORRIENTE ALTERNA.

Una vez generada la corriente directa, es necesario, la mayoría de las veces convertirla a corriente alterna según sea la aplicación que se busque, por eso es conveniente hablar brevemente de conversiones de ese tipo. Pero el problema con el que se ha enfrentado el hombre desde el comienzo de su estudio y de la utilización de la energía solar, es qué hacer cuando no hay sol como en los días nublados o simplemente durante las noches por lo que hace necesaria la búsqueda de un sistema de almacenamiento de energía

#### 3.6.1.- ALMACENAMIENTO.

Este problema no se ha resuelto de una manera decisiva, en sí, es uno de los factores en contra de los sistemas fotovoltaicos ya que a menudo su costo es superior al de las mismas celdas.

Para resolver el problema de almacenamiento se utilizan baterías o acumuladores.

La tecnología de almacenamiento más prometedora usa electricidad generada por un sistema fotovoltaico para efectuar la electrólisis del agua. El hidrógeno generado por este proceso es almacenado ya sea como gas comprimido o como un sólido híbrido. En una celda combustible, el hidrógeno se combinará con oxígeno (puro o con aire) para generar directamente electricidad. Los costos (es inevitable hablar de costos) que

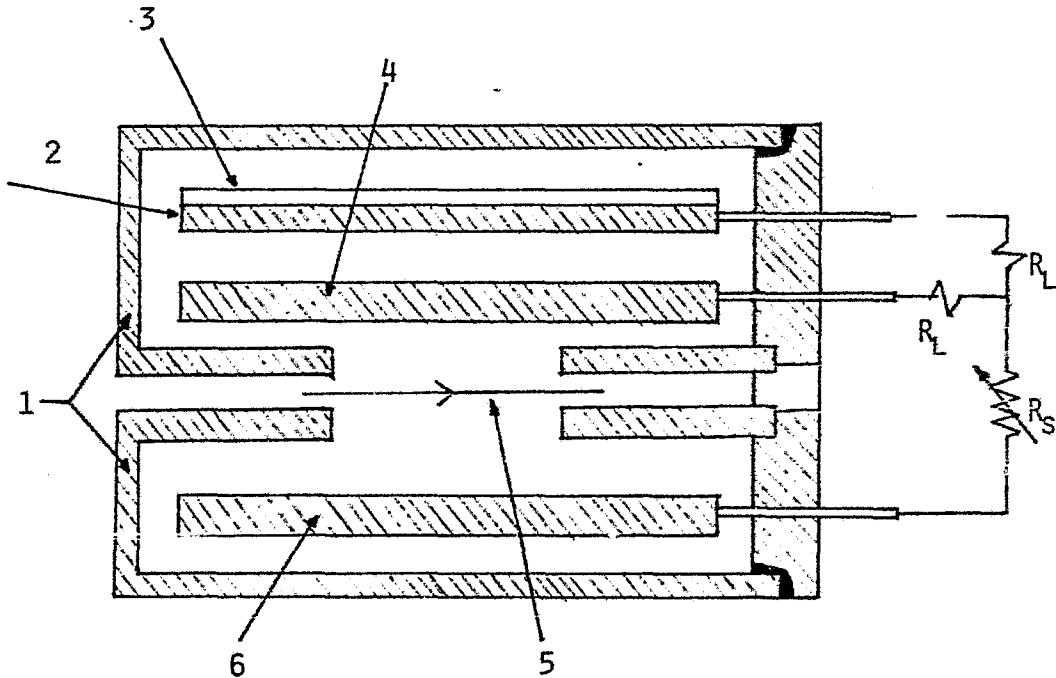
se han alcanzado para estas celdas combustibles son estimados de sólo 0.2 - dólares por vatio (2).

Existen unas celdas llamadas fotoelectroquímicas, que pueden generar electricidad y almacenarla al mismo tiempo, lo que sin duda revolucionará la tecnología solar, si no fuera porque su costo las hace definitivamente prohibitivas (12). Estas celdas constan de un fotoelectrodo y un contraelectrodo y se muestran en la Fig. 22.

En los Estados Unidos se desarrollan más de 20 baterías avanzadas, siendo las disponibles a corto plazo (1985) las que reciben el mayor apoyo del Departamento de Energía (DOE) y del EPRI : plomo-ácido, sodio-azufre, litio-sulfuro metálico y zinc-cloro. Existe un centro de pruebas de baterías y de equipo de almacenamiento de potencia en donde se instalan los bancos de baterías con una capacidad de 1 Mw durante 5 horas. En 1980 y 1981 se contaba ya con las de  $Pb/PbO_2$  y  $Zn/Cl_2$  y en 1984 y 1985 se incorporarán las de Na/S y Li/FeS<sub>2</sub> (13).

Aunque las baterías convencionales de plomo-ácido son las más desarrolladas, es conveniente hacer notar que su voluminosidad y su baja potencia son problemas de gran magnitud. La batería de sulfuro de sodio puede ser una futura alternativa (14). Innovaciones sustanciales en cuanto a potencia pueden ser obtenidas con sistemas de rueda volante. El concepto de rueda volante usando materiales más ligeros y fuertes como el sílice fundido ha sido propuesto para el almacenamiento de 20 Mw-h, con una rueda volante de 5 m. de diámetro (15). Para el almacenamiento a gran escala otra posibilidad es almacenar calor a grandes temperaturas usando mezclas eutécticas de metal fluorizado como el NaF/MgF<sub>2</sub>. El almacenamiento a alta temperatura podría ser usado como la fuente de un sistema de generación térmico convencional, pero la eficiencia será relativamente baja (16).





- 1.- Envoltura de plástico transparente.
- 2.- Fotoelectrodo.
- 3.- Capa de CdSe.
- 4.- Contraelectrodo.
- 5.- Membrana Selectiva.
- 6.- Electrodo de almacenamiento
- $R_L$  - Carga.
- $R_S$  - Resistencia Variable. (Almacenamiento)

Fig. 22.- Esquema de una celda de almacenamiento fotoelectroquímica.

### 3.6.2.- CONVERSION A CORRIENTE ALTERNA.

En cuanto a las tecnologías para la conversión de corriente directa a corriente alterna existen por lo menos nueve configuraciones básicas en las que se usan transistores y tiristores (anteriormente, válvulas de mercurio).

Los desarrollos más relevantes se efectúan en los Estados Unidos y Europa haciendo hincapié en diferentes aplicaciones. En Europa aproximadamente el 20% de la energía eléctrica generada se consume como corriente directa en locomotoras, motores, etc.. Para otras aplicaciones, el desarrollo de tiristores y sistemas convertidores es intensivo (como los tiristores - de 12.5 cm. de diámetro, 5KV) e intervienen las grandes compañías (Brown-Boveri, AEG Telefunken, Siemens AG.). En EE.UU., los esfuerzos se orientan a aplicaciones de convertidores en sistemas de baterías para nivelar la carga de los sistemas eléctricos, en unidades de generación a base de celdas combustibles, fuentes ininterrumpibles, controladores de velocidad de motores de corriente alterna, etc.. Participan principalmente el DOE y el EPRI con financiamientos a diferentes industrias para la realización de los proyectos de investigación y desarrollo.

La Tecnología de inversores puede considerarse como madura; las experiencias con fuentes ininterrumpibles, con controladores de motores y con transmisión de alto voltaje en corriente directa, han demostrado que estos equipos son muy confiables y que logran una eficiencia de conversión de alrededor del 95% (13).

### 3.7.- DIFERENTES TIPOS DE CELDAS FOTOVOLTAICAS.

Una celda solar, no es mas que un dispositivo fotovoltaico que, como ya se ha dicho, convierte en energía eléctrica, directamente, energía solar. De manera general, una celda solar consta de (17):

- a).- Capa Absorbente-Generadora que es la que absorbe la radiación solar y debido a esto, va a generar portadores minoritarios.
- b).- Capa Colectora-Convertidora que tiene la función de reunir a los portadores minoritarios y convertirlos en mayoritarios.
- c).- Contacto Transparente que se coloca sobre la capa absorbente-generadora y es el que está en contacto con la luz.
- d).- Contacto Opaco que se coloca del lado opuesto al contacto transparente.
- e).- Encapsulado Antirreflejante que puede tener la función de proteger a la celda solar del medio ambiente pero siempre haciendo mínimas las pérdidas de radiación por reflexión (18).

Existen muchos tipos de celdas fotovoltaicas dependiendo del material de que hayan sido fabricadas. La figura 23 muestra la clasificación de materiales y sus combinaciones para conversión fotovoltaica.

A continuación se enumeran los diferentes tipos de celdas fotovoltaicas.

#### 3.7.1.- CELDAS DE SILICIO CRISTALINO.

En la actualidad las celdas solares más económicas y eficaces son fabricadas con silicio. El silicio es el segundo elemento mas abundante en la superficie terrestre pero en forma de compuesto (5).

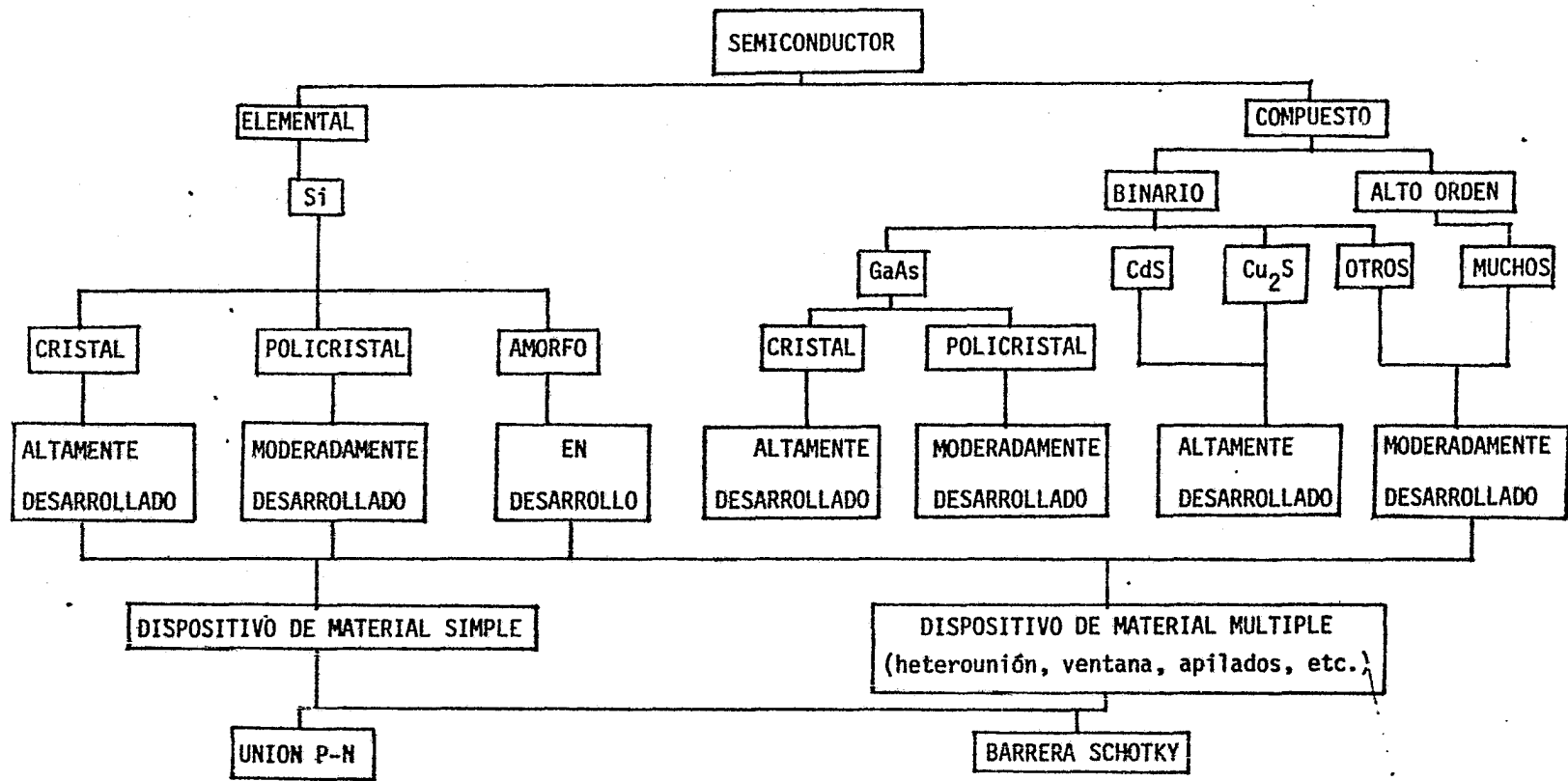


Fig. 23

### 3.I.I.1.- Las Celdas de Silicio Monocristalino.

Estas celdas tienen un alto costo debido a tres causas (9):

- a) El costo del material base: silicio policristalino en grado semiconductor.
- b) El costo de producción del silicio monocristalino grado semiconductor.
- c) El costo de fabricación de la celda.

El silicio policristalino se elabora con el proceso Siemens; de la arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) se eliminan impurezas para obtener silicio grado metalúrgico, produciendo tricloro silano ( $\text{SiHCl}_3$ ) que se descompone en silicio policristalino con pureza de grado semiconductor. La pureza se incrementa del 90 al 99.99% y con ella el costo pasa de 2 dólares/Kg a 70. El 90% de este costo se atribuye al proceso de reducción de impurezas (12).

El silicio monocristalino se obtiene por lo general con el método Czochralski: el silicio policristalino se somete a calentamiento (1 420°C) en un crisol, se introduce al crisol una barra de Si monocristalino de 4 cm de diámetro, y después se retira girando, formándose un lingote que por segregación elimina las impurezas no deseadas, agregando impurezas deseadas, como el Boro para obtener silicio monocristalino tipo p o n. El costo del silicio monocristalino es alrededor de cuatro veces mayor que el del silicio policristalino (12).

Otro método para producir silicio monocristalino (9) es el de fusión zonal, que consiste en desplazar una bobina de radiofrecuencia a lo largo de un lingote de silicio policristalino, el silicio se funde segregando las impurezas entre la fase sólida y la líquida y recristaliza como monocristal.

La fabricación de celdas de silicio monocristalino parte del corte del lingote en obleas (de 300-400 micrómetros de espesor). Durante este proceso se desperdicia del 40 al 60% del material (13), lo que aumenta considerablemente los costos económicos y energéticos. Sin embargo, también en esta etapa se han logrado avances empleando procesos con sierras o alambres mucho más delgados y altos rendimientos. Después del corte las principales etapas en la fabricación de una celda son: pulido y limpieza, difusión para lograr la unión p-n de capado, colocación de contactos y depósitos antireflejante. Con estas celdas se ensamblan los paneles interconectando varias celdas en serie sobre un sustrato y encapsulándolos con un superestrato normalmente de vidrio de buena calidad, para proteger el panel contra humedad, esfuerzos, degradación, etc.(13).

La eficiencia máxima de conversión teórica de estas celdas es de 22% y ya se alcanzaron del 17-19%. Los paneles comerciales presentan eficiencias del 10 al 13% bajo condiciones normales (un  $\text{kw/m}^2$  de insolación, 25 °C, sol en el cenit) (13).

En paralelo a los esfuerzos por reducir el precio de los paneles fotovoltaicos de celdas de silicio monocristalino, se trabaja en configuraciones de colectores que emplean la radiación solar para lograr reducir el área de celdas y por consiguiente el costo del vatio pico.

Importantes avances, podran hacerse al perfeccionar la tecnología, como al modificar el diámetro de los lingotes y de las obleas, obteniendo mayor eficiencia y menor costo (22).

### 3.7.1.2.- Celdas de Silicio Policristalino.

La materia prima para este tipo de celdas es también el silicio poli-

crystalino grado semiconductor. Las celdas de silicio policristalino pueden fabricarse empleando tres tecnologías: por corte de un lingote, por crecimiento de listones, y por formación de una película en un sustrato. En cada caso varía la eficiencia de conversión (13).

a) Método de Solidificación Direccional con Intercambiador de Calor:

El silicio se funde en un molde y se enfría, obteniéndose lingotes de silicio de alta pureza (pues se ha seguido un estricto control). De los lingotes se cortan obleas de 250 a 500 micrómetros de grueso y después se procesan siguiendo los mismos métodos de fabricación de las celdas de Si monocristalino. Se han obtenido celdas prácticamente monocristalina con eficiencias del 15% en condiciones normales. De las celdas semicristalinas se obtiene eficiencias del 12%.

b) Crecimiento de Listones: Para eliminar el corte de los lingotes en obleas y las pérdidas de materiales se han desarrollados procesos que permiten extraer listones directamente del silicio fundido en un crisol (23).

Se utilizan dos métodos básicos (13): crecimiento delimitado por los bordes de una matriz y crecimiento dendrítico. En el primero, la matriz esta parcialmente sumergida en el silicio fundido (introduciendo impurezas) que sube por capilaridad y es estirada para formar un listón. Las metas son tirar cuarenta listones de 10 cm de ancho, 100 micrómetros de grueso, a una velocidad de 5 cm/min y que den lugar a celdas de 20 cm<sup>2</sup> con eficiencias del 11%. En el segundo, dos dendritas se introducen en el silicio fundido y son retiradas, formandose capilarmente una película entre ellas. El material obtenido es de muy alta calidad, pues no hay contaminación. Las metas son: crear listones de 150 micrómetros de grueso a velocidades de 25 cm<sup>2</sup>/min dando origen a celdas con 15% de eficiencia.

c) Crecimiento de Silicio Policristalino en Hojas: Existen tres métodos básicos: Deposición Química en fase vapor, Deposición por bombardeo electrónico e inmersión en silicio fundido. En los tres el sustrato es el elemento básico (23) y se han utilizado metales, carbón, cerámicas, vidrio, silicio de grado metalúrgico. El tercer método es el mejor y el más práctico. Se utiliza un sustrato de cerámica (silicato de aluminio), se recubre uno de sus lados con carbón para facilitar la deposición, se introduce en silicio fundido y se retira lentamente formándose una película de silicio policristalino de aproximadamente 100 micrómetros. Las metas para este proceso son: Identificar un sustrato de bajo costo (5 dólares por metro cuadrado), crecer películas de 100 micrómetros a 175  $\text{cm}^2/\text{min}$  y obtener celdas con un 11% de eficiencia.

Los precios actuales de la celda de silicio policristalino que son similares a los de las celdas de silicio monocristalino, son altos debido a dos razones (13): el material base sigue siendo caro y la comercialización se inició recién en 1981 (10 dólares/Wp), que es un precio que hace prohibitivo su uso en muchas aplicaciones.

### 3.7.2.- CELDAS DE SILICIO AMORFO.

En la celda fotovoltaica de estructura cristalina se genera electricidad con la intervención de tres procesos básicos (9): generación de portadores (pares electrón-hueco) al absorberse parte de la energía solar incidente sobre un material semiconductor; alejamiento de los pares electrón-hueco por medio de un campo eléctrico interno y colección de los portadores para lograr una corriente eléctrica en un circuito externo.

Cada semiconductor tiene asociada una característica interna, el



ancho de la banda de energía, y absorbe la parte del espectro solar que contiene fotones de mayor o igual energía que esta banda. El valor óptimo de ella es de 1.5 eV aproximadamente y conduce a eficiencias máximas alcanzables del 30%. La unión de un semiconductor de tipo n (con exceso de electrones, logrado agregando átomos de mayor valencia que los del material cristalino) con uno tipo p (con carencia de electrones) logra que por difusión de partículas se logre un campo eléctrico interno. La eficiencia de la celda depende de la intensidad del campo eléctrico y de su extensión espacial. A su vez, la intensidad del campo depende de la banda de energía del material y la extensión espacial depende de la pureza de la estructura cristalina caracterizada por la densidad de estados por defectos estructurales (presencia de impurezas, dislocaciones, etc.); cuanto mayor sea esta densidad menor será la eficiencia de conversión ya que estos estados atrapan a los portadores que pueden producir una corriente eléctrica (recombinación de pares electrón-hueco antes que el circuito externo los reúna). Esta es la razón por la cual las celdas cristalinas necesitan materiales de alta pureza y gran costo (13).

El silicio amorfo (a-Si) presenta una alta densidad de estados lo que lo hace prácticamente inutilizable para uso fotovoltaico. Sin embargo, cuando una película de silicio amorfo se deposita en un sustrato, al pasar una descarga de radio frecuencia a través de una atmósfera de silano ( $\text{SiH}_4$ ) a presión de 1 Torr. Se incorporan átomos de hidrógeno que se ligan a los de silicio (24) disminuyendo enormemente la densidad de estados de defectos estructurales. El silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) descubierto en 1969 fue utilizado por primera vez para fabricar celdas fotovoltaicas de película delgada en 1974 (por la RCA) y en 1975 (Universidad de Dundee, Escocia) (25).

En la actualidad, hay cuatro tecnologías que son utilizadas en la fabricación de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo, y son (7):

- a) Evaporación Térmica.
- b) Pulverización Catódica a Radiofrecuencia.
- c) Deposición Química de Vapor.
- d) Deposición por Carga Gaseosa.

Cada tecnología será tratada con más detalle en el siguiente capítulo.

Las principales ventajas que presenta el silicio amorfo hidrogenado ( $\alpha$ -Si:H) son: (13)

- Puede depositarse sobre grandes áreas.
- El depósito se hace a baja temperatura ( $300^{\circ}\text{C}$ ) y no hay gasto energético elevado.
- No hay requerimientos de extrema pureza, el material resultante es muy impuro.
- Pueden agregarse impurezas muy fácilmente, mezclando gases ( $\text{PH}_3$  para material tipo n y  $\text{B}_2\text{H}_6$  para tipo p) al silano.
- Su coeficiente de absorción de luz es 10 veces mayor que el del silicio cristalino, y por tanto, una película de un micrómetro basta para absorber el espectro solar.
- La máxima eficiencia de conversión es de 20% aproximadamente, muy cercana a la de los materiales cristalinos.
- El ancho de banda óptico (equivalente al ancho de banda de energía) puede establecerse en 1.5 eV (óptimo) u otros valores de manera sencilla, variando las condiciones de deposición.
- El costo de deposición es de 20 dólares/ $\text{m}^2$  aproximadamente, muy inferior al del silicio cristalino ( 500 dólares/ $\text{m}^2$ ).
- El proceso es fácilmente adaptable a producción masiva.

- Los sustratos son de bajo costo.

Los principales problemas que presenta el desarrollo de estas celdas son:

- Aumentar la longitud de difusión de los portadores para mejorar la eficiencia de conversión.
- Aumentar la resistencia de la celda a daños mecánicos.
- Garantizar la estabilidad química con encapsulamiento adecuado.
- Mejorar el conocimiento de las propiedades del a-Si:H y de los parámetros que rigen el funcionamiento de la celda.

### 3.7.3.- CELDAS DE SULFURO DE CADMIO.

Entre las celdas de heterounión de película delgada destacan las de sulfuro de Cadmio/Sulfuro de Cobre (sistema  $CdS/Cu_2S$ ) debido a (13):

- Se elaboran con procesos de evaporación o rocío e inmersión que pueden escalonarse a producciones masivas automatizadas.
- La película es delgada y se deposita en sustratos como vidrio o cobre lo que da a lugar a un alto potencial de fabricación a bajo costo.
- La eficiencia teórica máxima es de 15% aproximadamente (26).

El proceso básico consiste (13) en depositar sobre un sustrato una película de CdS (semiconductor tipo n) por evaporación al vacío o por rocío químico. Después éste se sumerge en una solución de cloruro de cobre formándose una capa de  $Cu_2S$  de 0.2 micrómetros (material tipo p) se procede posteriormente con la formación de una rejilla de contacto y un capsulado adecuado.

Las mayores eficiencias de conversión (10.5%) se han logrado con las

celdas desarrolladas en la Universidad de Delaware ( $\text{Cu}_2\text{S}:\text{Zn}-\text{CdS}$ ); pero el problema de la estabilidad química de estas celdas no ha sido totalmente resuelto (13).

Otro tipo de celdas de CdS es la de Heterounión con Seleniuro de Cobre-Indio ( $\text{CdS}/\text{CuInSe}_2$ ) cuentan con alta eficiencia (10%) pero sólo pueden ser depositadas en pequeñas áreas (7). Además la escasez de Indio eleva considerablemente su costo. Aunque Barnett, de la Universidad de Delaware afirma (28) que al desarrollarse su tecnología se obtendrán celdas de bajo costo aptas para las aplicaciones terrestres (no solo en naves espaciales).

Ese tipo de celdas junto con las de Telenuro de Cadmio (que reciben el nombre de Calcogénidos de Cadmio) se enfrentan principalmente al problema de ser extremadamente tóxicos (7) y el manejar grandes materiales tóxicos presenta peligros obvios y además el humo debido al Cd, Se y Te puede provocar fuego (pues son inflamables).

#### 3.7.4.- CELDAS DE ARSENURO DE GALIO (AsGa).

En laboratorios de Inglaterra y de Estados Unidos se han fabricado celdas solares de Arsenuro de Galio con las eficiencias más altas en estructuras fotovoltaicas: 20 a 25% (29), sin embargo su explotación comercial no ha sido posible debido a su elevado precio y su limitación en tamaño. Su empleo bajo sistemas de concentración solar del orden de 1 000 veces, pudiera ser posible su aplicación en la generación de potencia. Sistemas de este tipo están en operación con propósitos de evaluación en Estados Unidos (5).

Existen otros tipos de celdas fotovoltaicas como las de  $\text{Zn}_3\text{P}_2$ ,  $\text{In}/\text{Cu}_2\text{O}$ .

InP, etc. (13) y que por estar en su etapa experimental no pueden competir con las demás.

### 3.8.- PROPIEDADES ELECTRONICAS Y LUMINICAS DEL SILICIO AMORFO.

Como ya hemos visto, las celdas fotovoltaicas de silicio amorfo son las más prometedoras por sus ventajas con respecto a las demás; por lo que es conveniente conocer sus principales propiedades tanto electrónicas como lumínicas.

#### 3.8.1.- FOTOCONDUCTIVIDAD.-

Fotoconducción es el proceso que ocurre al irradiar un semiconductor con luz de una longitud de onda suficientemente corta, para que ocurran transiciones del dc la banda de valencia hasta la de conducción, ocasionando que aumente la conductividad eléctrica del material (30).

La fotoconductividad es detectada mediante contactos óhmicos con el semiconductor (aplicando una tensión y midiendo la corriente). La condición necesaria para que se produzca este fenómeno es que

$$h\nu > E_g$$

donde  $E_g$  es la banda de energía.

La corriente fotogenerada depende de los tiempos de recombinación de los portadores excitados ( $\tau$ ), la movilidad de arrastre de los portadores ( $\mu$ ) y el coeficiente de absorción ( $\alpha$ ). Suponiendo que la corriente fotogenerada es linealmente dependiente con la intensidad luminosa, se puede obtener (31)

$$I_f = eN_0(1-R) e^{-\alpha d} \frac{n\tau}{t}$$

donde:

- No.- flujo de fotones
- R .- reflectividad
- $\alpha$  .- coeficiente de absorción
- $\eta$  .- eficiencia cuántica
- $\tau$  .- tiempo de recombinación
- t .- tiempo de transito
- d .- espesor de la película

Para conocer los valores de la fotoconductividad se efectuaron diferentes pruebas y se obtuvieron los datos de la tabla que se muestra en la Fig. 24 (18). En la gráfica de la Fig. 25 se muestra la característica de la fotoconductividad vs. la intensidad luminosa ( 32 ).

De los valores de la Fig. 24 se puede observar que los valores de fotoconductividad más altos se obtuvieron en películas producidas por descarga gaseosa en silano.

### 3.8.2.- RESISTIVIDAD.

Esta propiedad de los materiales nos permite conocer el grado de conductividad de un material. (la resistividad es el inverso de la conductividad).

La conductividad se obtiene (31):

$$\sigma = \sigma_0 e^{-\frac{\Delta E}{KT}}$$

donde:

- $\sigma_0 = e\mu_0 N_0(E) KT$
- $\mu_0$  .- es la movilidad de los portadores.
- $N(E)$  .- es la densidad de estados.
- $\Delta E$  .- energía de activación para la conductividad.

A continuación, en la Fig. 26 se muestran los valores experimentales obtenidos (18).

TECNICA DE FABRICACION	FOTOCONDUCTIVIDAD ( $\Omega\text{-cm}$ ) <sup>-1</sup>	TIPO DE ILUMINACION	GROSOR DE LA EP MUESTRA	ALEACION AMORFA
DESCARGA GASEOSA DE SILANO	1.3 a 5.6 x 10 <sup>-4</sup>	AM-1	1 $\mu\text{m}$	a:Si-H
DESCARGA GASEOSA EN SILANO A R.F. CON ACO- PLAMIENTO CAPACITIVO	10 <sup>-4</sup>	AM-1	—	Si-F-H
EVAPORACION CON HIDROGENO	—	LUZ BLANCA DE TUNGSTENO. $\lambda = 0.55 \mu\text{m}$	—	Si-H
PULVERIZACION CATODICA	10 <sup>-6</sup>	$\lambda = 632 \text{ nm}$	—	Si-O-H

Fig. 24

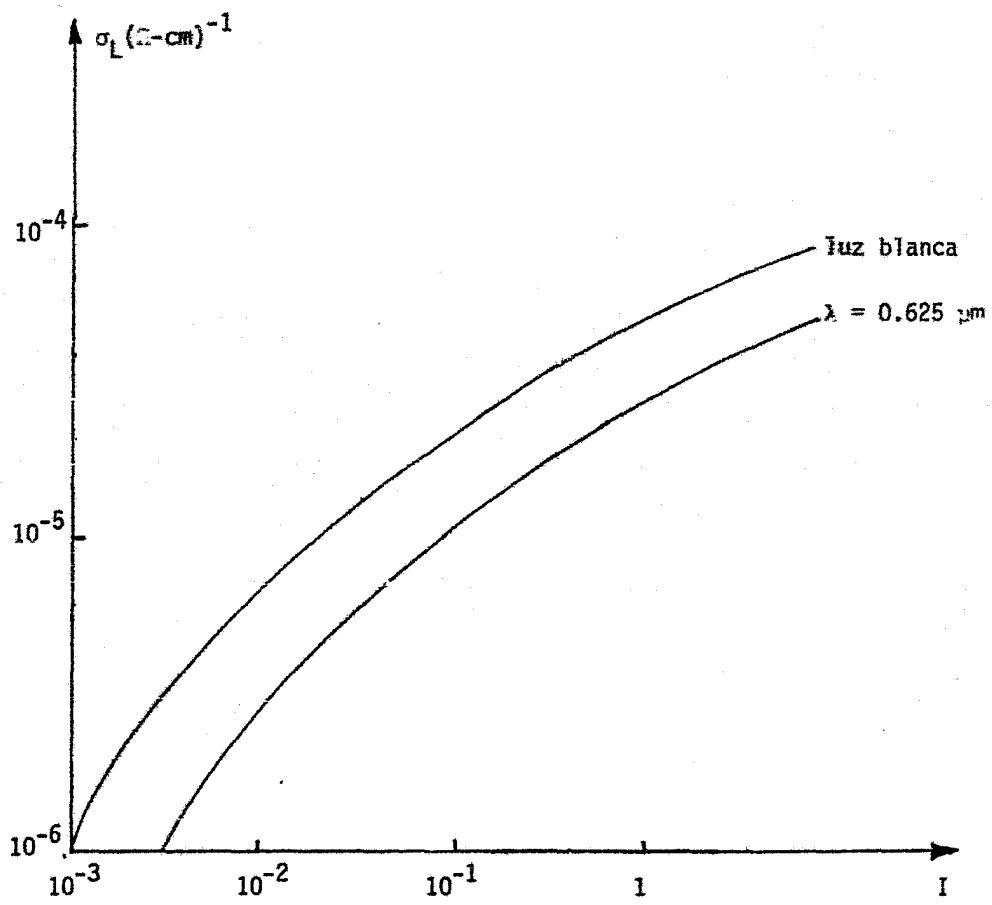


Fig. 25



TECNICA DE FABRICACION	RESISTIVIDAD ( $\Omega$ -cm)	$E_a$ (eV)	Aleación	$E_p$ ( $\mu$ m)	$T_s$ ( $^{\circ}$ C)
DESCARGA GASEOSA EN SILANO	53	0.17	Si-H envenenado con $PH_3$	1	200-420
DESCARGA GASEOSA R.F. INDUCTIVA.	$1.5 \times 10^{10}$ $4.0 \times 10^4$	0.83-0.21	Si-H	0.2 - 4	21 - 570

Fig. 26

De la comparación de estos datos, se concluye que las películas más conductivas fueron las de a-Si envenenadas con fosfina.

### 3.8.3.- MOVILIDAD DE ARRASTRE.

En el caso de muestras amorfas (33), los electrones van a interactuar con los estados localizados, durante su tránsito a través de "atrapamientos" y liberación térmica. El tiempo total que un portador transcurre en los estados localizados se incluye en la medida del tiempo de tránsito, conduciendo una movilidad de arrastre por control de trampas  $\mu$ , que está relacionada con la movilidad cerca de la parte superior de los estados extendidos ( $\mu_0$ ), por (18):

$$\mu = \mu_0 \alpha e^{-\frac{E_c - E}{KT}}$$

(suponiendo que la distribución de estados es uniforme para los portadores en exceso).

$$\alpha = \frac{N_c}{N_t} \quad , \quad \text{con : } N_c \text{.- densidad de estados en la parte superior de la banda.}$$

$N_t$ .- es la densidad de trampas.

En la tabla que se muestra en la fig. 27 se dan los resultados experimentales obtenidos (18).

### 3.8.4.- DENSIDAD DE ESTADOS EN LA BRECHA.

Los estados localizados y su distribución en energía son de importancia fundamental en la física de los sólidos no cristalinos (34). No obstante, el conocimiento acerca de su distribución en los sólidos amorfos es muy limitado y especulativo.

TECNICA DE FABRICACION	MOVILIDAD DE ARRASTRE ( $\mu$ ) ( $\text{cm}^2/\text{seg eV}$ )	$E_p$ ( $\mu\text{m}$ )	$T_s$	ALEACION	$E_a$ (eV)
DESCARGA GASEOSA EN SILANO	$2.5 \times 10^{-2}$ A TEMPERATURA AMBIENTAL	1	330 °C	Si-H TIPO n	0.19 ARRIBA DE 250 °K. 0.16 ABAJO DE 250 °K.

Fig. 27

En el experimento de "efecto de campo" se hace funcionar a un semiconductor como una de las placas de un condensador de placa paralela (35).

En la tabla que se muestra en la Fig. 28 se dan los resultados experimentales (18). De dicha tabla se puede apreciar que la técnica de fabricación que menos estados N(E) produce es la técnica de descarga gaseosa.

### 3.8.5.- LUMINISCENCIA.

El fenómeno de luminiscencia consiste en la emisión de luz por un sólido, después de haber impartido cierta energía de excitación (30).

Dependiendo del medio por el cual es provocada la luminiscencia queda clasificada como:

- a) Fotoluminiscencia.- Si la excitación se produce con luz.
- b) Electroluminiscencia.- Si el medio de excitación es debido a la acción de campos eléctricos .
- c) Cátodoluminiscencia.- Si es originada por bombardeo sobre la muestra con electrones.

En los semiconductores, se distinguen tres tipos de fotoluminiscencia: monomolecular, metaestable, y de recombinación (36). La radiación monomolecular y la metaestable ocurren cuando la absorción y la emisión de la luz tienen lugar dentro del centro de impureza. La radiación de recombinación de los semiconductores surge al recombinarse el electrón con el hueco directamente, esto sólo ocurre en semiconductores muy puros y de estructura cristalina perfecta.

Si  $G(\tau)$  es la distribución de probabilidad de que un par electrón-hueco radie en un tiempo  $\tau$ , bajo una condición particular de excitación, entonces la densidad de los pares generados al final de un pulso de duración  $T$  es (18):

TECNICA DE FABRICACION	DENSIDAD DE ESTADOS $N(E_f)$ $\text{cm}^{-3} \text{eV}^{-1}$	METODO PARA MEDIR N	ALEACION AMORFA	TEMPERATURA DEL SUBSTRATO
DESCARGA GASEOSA A R.F. EN SILANO	$10^{16}$	EFECTO CAMPO	Si-F-H	400-700 °K
C V D	$10^{18}$	EFECTO CAMPO	Si-H	350-600 °K
EVAPORACION	$10^{20}$	EFECTO CAMPO	Si-H	200 °K

Fig. 28

$$N(\tau, T) = \text{Cte. } G(\tau) \tau \left\{ 1 - e^{-\frac{T}{\tau}} \right\}$$

La intensidad de luminiscencia de esta población de pares generados al tiempo  $t$ , después de que termine la excitación está descrita por la ecuación (18):

$$I(t, \tau, T) = \text{Cte. } \tau^{-1} N(\tau, T) e^{-\frac{t}{\tau}}$$

En la fig. 29 se muestra un espectro de fotoluminiscencia de una película de a-Si:H.

Para películas depositadas con descarga gaseosa, en atmósferas que contienen alrededor de 1% de diborano o 1% de fosfina diluidos en silano no se observa señal de luminiscencia (18).

### 3.8.6.- COEFICIENTE DE ABSORCIÓN.

La capacidad de un material para absorber luz de una longitud de onda dada se mide cuantitativamente por medio del coeficiente de absorción ( $\alpha$ ).

El coeficiente de absorción para un material se calcula con la siguiente expresión (37).

$$\alpha = -\frac{1}{t} \ln \left\{ \frac{1}{8} \left[ A + \left( A^2 + 2BT(1 - R_2R_3) \right)^{1/2} \right] \right\}$$

donde,  $A = - (1 - R_1) (1 - R_2) (1 - R_3)$

$$B = 2T(R_1R_2 + R_1R_3 - 2R_1R_2R_3)$$

$t$ .- grosor.

$T$ .- es la transmitancia

$R_1$ .- reflectancia del aire- película.

$R_2$ .- Reflectancia película- sustrato.

$R_3$ .- Reflectancia sustrato- aire de las superficies de separación.

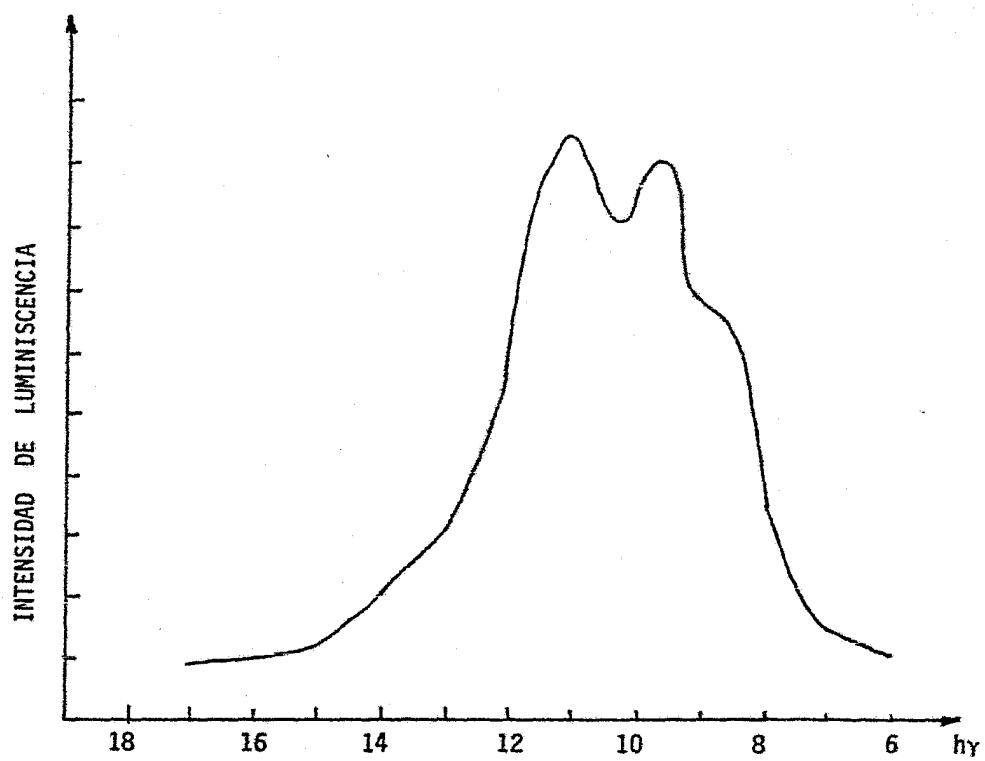


Fig. 29

En la tabla de la Fig. 30 se dan los resultados experimentales de coeficientes de absorción (18).

La película fabricada por descarga gaseosa a radiofrecuencia en  $\text{SiH}_4$  es la que posee un coeficiente de absorción más alto.

### 3.8.7.- BRECHA O BANDA DE ENERGIA (Eg).

La banda de energía determina la eficiencia máxima que se puede alcanzar en una celda solar usando una capa semiconductor absorbente- generadora (17).

La brecha de energía se puede determinar con precisión del espectro de absorción, midiendo la longitud de onda a la que se produce el borde de absorción.

### 3.8.8.- ABSORCION INFRARROJA.- (IR)

La absorción IR se ha practicado mucho en cristales para poder determinar el tipo de vibración de los átomos por medio de los picos que aparecen en el espectro de absorción infrarrojo. Cuando integran el área bajo ciertos picos se puede obtener información acerca del tipo de átomo contenidos en la muestra de estudio. Esto mismo se ha hecho en materiales amorfos, pero no ha sido clara la interpretación de los resultados (18). En la tabla que se muestra en la Fig. 31 se dan los resultados experimentales en la comparación de dos aleaciones amorfas (18).

### 3.9.- CONCLUSIONES.

Se puede concluir que las celdas fotovoltaicas de silicio amorfo son las más ventajosas en comparación a las otras. Dentro de éstas, la técnica de fabricación más prometedora (por sus valores experimentales) es la de descarga gaseosa en silano (18).



TECNICAS DE FABRICACION	BRECHA OPTICA $E_g$ (eV)	COEFICIENTE DE ABSORCION ( $\text{cm}^{-1}$ )	TIPO DE ALEACION	$E_p$	$T_s$ ( $^{\circ}\text{C}$ )
DESCARGA GASEOSA A R.F. EN $\text{SiH}_4$ .	—	$10^5 - 10^6$ $\lambda = 0.4-0.5 \mu\text{m}$	Si-H	1 $\mu\text{m}$	420
EVAPORACION CON HIDROGENO	1.55	100	Si-H	7 500 $\text{A}^{\circ}$	325
ÓVD EN ATMOSFERA DE $\text{SiH}_4$ EN $\text{PH}_3$ .	1.5	$10^3$	Si-H- $\text{PH}_3$	—	—

Fig. 30

PICOS IR	Si-F-H	Si-H	COMENTARIOS
2100 $\text{cm}^{-1}$	MUY PEQUEÑO	PRESENTE	SE ATRIBUYE AL GRUPO $\text{SiH}_2$ .
2000 $\text{cm}^{-1}$	AUSENTE	PRESENTE	SE ATRIBUYE USUALMENTE AL STRETCH Si-H.
830 $\text{cm}^{-1}$	PRESENTE	AUSENTE	SE ATRIBUYE USUALMENTE AL STRETCH Si-F
CONTENIDO DE $\text{H}_2$ .	0.5%	MAYOR A 5%	OBTENIDOS CON TECNICAS I.R.
CONTENIDO DE FLUOR	2 A 6%	NINGUNO	ESTIMADO DE MEDIDAS ESCA.

Fig. 31.

Es necesario hacer notar la dificultad que existe para interpretar los resultados experimentales, debido a la ausencia de una teoría que explique los fenómenos físicos que ocurren en un material amorfo (38).

## 3.10.- REFERENCIAS.

- 1.- Chabbaí, Robert et Michel Rodot; "Introduction a la conference de 1977 sur la conversión photovoltai de L'energie solaire", Centre National de la Recherche Scientifique, Paris.
- 2.- Kiss, Zoltan J.; " The economics of thin film photovoltaics" Chronar Inc., Princeton, New Jersey.
- 3.- Gleason García, Eduardo. " Las centrales Helioléctricas: una futura opción para generación de potencia eléctrica". Boletín IIE, Vol, 6, Núm. 7 y 8; Julio- Agosto 1982.
- 4.- Viqueira Landa, Jacinto; " Energéticos: La perspectiva para después del petroleo". Conferencia pronunciada en la Academia Mexicana de Ingeniería el 27-IX-1979. Ingeniería, vol. XLIX, núm.4, 1979.
- 5.- Pérez, Esteban Javier y Juan Luis del Valle P., "Conversión fotovoltai de la energía solar a la energía eléctrica", Depto. de Ingeniería Eléctrica del Centro de investigación del IPN.
- 6.- Almanza, Rafael y Gerardo Hiriart; "Conversión fototérmica de la energía solar a electricidad y a energía mecánica" Boletín IIE Vol. 2, Núm. 6, Junio de 1978.
- 7.- Dalal, Vikram L., " Photovoltaic Technology" Chronar Inc., Princeton, New Jersey.
- 8.- Wolf, M., "Historical Development of solar Cells"; Proc. 25th Power sources symp. , may 23-25, 1972, University of Pennsylvania.
- 9.- Rappaport, Paul; " The Photovoltaic effect and its utilization" RCA Laboratories, Princeton, N.J., 1959.
- 10.- Armin, Hermann; " Die neue Physik, der weg in das Atomzeitalter" Heinz Moos Verlag, Munich, Alemania Federal , 1979.

- 11.- Chapin, D.M., C.S. Fuller, G.L. Pearson; "A New Silicon p-n Junction Photocell for converting solar radiation into Electrical power". Bell Telephone Laboratories, Inc., Murray Hill, New Jersey. Journal of Applied Physics, Mayo 1954.
- 12.- Avigal, Y; D. Cahen, et al.; "Solar energy conversion and storage by a Photoelectrochemical storage cell". The Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel.
- 13.- Gleason García, Eduardo. "Centrales helioeléctricas plantas fotovoltaicas de potencia" Boletín del IIE. Vol 6 num. 7-8, Julio-Agosto de 1982.
- 14.- A Sort of battery, New Scientist 63 (905),77(1974).
- 15.- Post, R.F., and Post S.F.; Flywheels, Scientific American 17, Diciembre 1973.
- 16.- McVeigh, J.C.; "Sun Power, an introduction to the applications of Solar Energy"; Pergamon Press, Oxford, England, (1977).
- 17.- Barnett, A.M; Technical Report IEC/PV/TR/79/1. p.p. 1-19.
- 18.- Cortina Urrutia, Beatriz del Carmen; " Análisis y evaluación de celdas solares con silicio amorfo", Tesis Profesional, Fac. de Ciencias, UNAM, Mayo de 1980.
- 19.- Backus, Charles, "Photovoltaics-in the 1980's", Proc. of the 1980 annual Meeting, v.3.2. AS/ISBS.
- 20.- Wolf, M; "A new look at Silicon Solar cell performance", Energy conversion, vol. 11, Junio 1971, pp. 63-73.
- 21.- Rauschenbach, H.S., "Solar Cell Array Design Handbook". Van Nostrand Reinhold Co. 1980.
- 22.- Lauvray, H; Y. Salles; "Process to reduce the manufacturing cost of monocrystalline silicon solar cells", RTC (La radio-technique-Compelec). 1977.

- 23.- Fischer, H.; "Silicon solar cells from polycrystalline material", AEG-TELEFUNKEN, Serienprodukte AG, Heilbronn, Germany, 1977.
- 24.- Bebnay, B.T.; "A Model for Amorphous Silicon Solar Cells", Allen Clark Research Centre, Towcester, England, 1977.
- 25.- Carlson, D.E.; "Photovoltaics V: Amorphous silicon Cells" IEEE, Spectrum, Febrero, 1980.
- 26.- Gill, W.D. and R.H. Bube; "Photovoltaic properties of  $Cu_2S$ -CdS Heterojunctions", Applied Physics, Vol.41, Agosto 1970.
- 27.- Hill, R; "Thin Film Cuprous Sulphide-Cadmium Sulphide Solar Cells" Conference at the Royal Society. Septiembre 1979, UK/ISES.
- 28.- Barnett, A.M. and J.D. Meakin; "Progress in the development of high efficiency thin film cadmium sulfide solar cells", Newark, Delaware, 1977.
- 29.- Jenny, D.A; J.J. Lofferski and P. Rappaport; "Photovoltaic effect in GaAs p-n Junctions and Solar Energy Conversion", Physical Review, Febrero 1956.
- 30.- Ziel, A van der; Electrónica-Física del estado sólido; Prentice Hall int.; España 1968.
- 31.- Madan, A, S.R. Ovashinski, E.Benn; Philosophical magazine. (in press).
- 32.- Carlson, D.E., C.R. Wronski, Pankove, Zanzucchi, Stoebler; R.C.A. Review., 38 (1977).
- 33.- Le Comber, P.G.; W.E. Spear; Physics Review. Lett. 25 (1970).
- 34.- Le Comber, P.G., W.E. Spear; Non-crystalline, sol. 8-10 (1972).
- 35.- Hovel, H; Semiconductors and semimetals (solar cells). Vol.II 1975.
- 36.- Shalimora, K.V.; Física de los semiconductores, Ed. MIR, Moscú, URSS, 1975.

- 37.- Wilson, J.B.; J. Mc Gill, P. Robinson, 13th. Spec. Conf. (1978).
- 38.- Martínez Fernández, Manuel; Informe Interno. IIM, México 1980.

CAPITULO IV

ANALISIS DEL PROCESO.



#### 4.1.- INTRODUCCION.

El análisis de los procesos de fabricación del artículo que se desea producir es una parte muy importante del estudio previo a la realización de todo proyecto industrial.

Este análisis debe consistir en la investigación de todos los procesos existentes en el mundo y de los cuales se pueda obtener información. Deben determinarse con el mayor detalle posible las características de cada proceso y buscarse sus ventajas y sus desventajas.

Se analizará la disponibilidad en el mercado mundial de tecnología de los procesos que ofrezcan grandes ventajas y pocas desventajas para determinar cuál es el mejor proceso, el que mejor se adapte a los requerimientos de eficiencia, costo y disponibilidad que se hayan planteado previamente.

En este capítulo de nuestro estudio, presentaremos los métodos de fabricación más comunes que existen actualmente en el mundo para la fabricación de celdas solares. Revisaremos las tres generaciones de celdas en las que generalmente se dividen éstas según sus características, describiendo cada uno de los procesos que quedan comprendidos dentro de cada una de estas generaciones.

Se analizarán las características de cada proceso, sus ventajas y desventajas con el fin de obtener el máximo de información para hacer la selección del mejor proceso de fabricación.

Aunque básicamente estamos interesados en los procesos de fabricación de celdas de silicio amorfo, también haremos una revisión de los procesos para la producción de otros tipos de celdas con el fin de pro--

porcionar un panorama más amplio en el renglón de fabricación de celdas solares.

#### 4.2.- TECNICAS DE FABRICACION DE CELDAS FOTOELECTRICAS.

En el caso de la fabricación de celdas solares, se cuenta en la actualidad con los siguientes procesos (1):

- a).- Obleas de silicio cristalino.
- b).- Cintas de silicio.
- c).- Proceso Webb-Westinghouse.
- d).- Silicio semicristalino.
- e).- Calcogénidos de cadmio.
- f).- Evaporación térmica.
- g).- Pulverización catódica a radiofrecuencia.
- h).- Descarga gaseosa.
- i).- Depósito químico de vapor.
- j).- Silicio policristalino.

#### 4.3.- GENERACIONES DE CELDAS FOTOELECTRICAS.

En la pasada década, la tecnología fotovoltaica ha sido objeto de un silencioso pero rápido progreso, empezando con el desarrollo de celdas basadas en obleas de silicio cristalino para proveer de energía a los satélites de la NASA. Estas celdas de silicio cristalino fueron consideradas en un principio como un interesante ejemplo de tecnología aeroespacial pero con aplicaciones muy limitadas como fuentes de energía en la tierra.

Sin embargo, la escalada explosiva de los precios del petróleo en 1973 hizo que se dedicara una atención seria al potencial de las celdas

de silicio para suministrar energía a pequeños sistemas de potencia en localidades aisladas, que deberían funcionar de manera autónoma. El tomar conciencia de que los recursos del petróleo son, de hecho, finitos, añadió urgencia a la situación y se iniciaron programas intensivos de investigación, desarrollo y comercialización en los Estados Unidos y Japón.

En los últimos ocho años, estos esfuerzos han traído como resultado, dramáticos progresos en el desarrollo de tecnología, los cuales pueden ser clasificados dentro de tres categorías generales (1):

- a).- Tecnología de la primera generación basada en obleas de silicio cristalino.
- b).- Tecnología de la segunda generación basada en láminas cristalinas, - semicristalinas y policristalinas.
- c).- Tecnología de la tercera generación basada en materiales avanzados - que pueden ser aplicados en forma de películas muy delgadas sobre -- substratos de metal, plástico o vidrio.

De estas tres categorías, solamente la tercera, la tecnología de películas delgadas, tiene el potencial de lograr reducciones dramáticas en costo y materiales combinada con sistemas automáticos de procesamiento. Estas condiciones son esenciales para lograr el gran volumen de producción requerido por el mercado de celdas fotovoltaicas.

Hagamos una breve revisión de las tres generaciones tecnológicas - vistas anteriormente.

#### 4.4.- TECNOLOGIA DE LA PRIMERA GENERACION.

Esta tecnología confía en el mejoramiento de las técnicas actuales para la producción de celdas solares con obleas de silicio cristalino.

El silicio monocristalino se obtiene del silicio policristalino. El silicio policristalino se elabora con el proceso Siemens. De la arena de sílice ( $\text{SiO}_2$ ) se eliminan impurezas para obtener silicio grado metalúrgico, produciendo triclorosilano ( $\text{SiHCl}_3$ ), que se descompone en silicio policristalino con pureza de grado semiconductor. La pureza se incrementa del 90 al 99.99% y el precio del silicio así obtenido se eleva aproximadamente 35 veces con respecto al paso anterior debido al alto costo del proceso de purificación (2).

El silicio monocristalino se produce por lo general utilizando la técnica Czochralski que básicamente consiste en que el silicio policristalino se calienta hasta una temperatura de  $1400\text{ }^\circ\text{C}$ ; posteriormente se introduce al silicio caliente una barra de silicio monocristalino de 4 mm de diámetro y se saca girando, formándose un lingote que por segregación elimina las impurezas indeseables, agregando el material adecuado para envenenamiento, por ejemplo boro, para obtener silicio monocristalino tipo P o tipo N. El costo del silicio monocristalino es casi cuatro veces mayor que el del silicio policristalino.

Otro método para producir silicio monocristalino es el de fusión zonal, que consiste en desplazar una bobina de radiofrecuencia a lo largo de un lingote de silicio policristalino. El silicio se funde segregando las impurezas entre la fase sólida y la líquida y recristaliza como monocristal (4).

El proceso continúa rebajando obleas de trozos de silicio semiconductor puro. Las obleas son entonces procesadas hasta convertirlas en celdas solares. En seguida, las celdas son montadas en tableros e interconectadas por soldadura automática. El paso final es su encapsulado bajo una cubierta de vidrio (1).

Esta tecnología produce celdas con una eficiencia de conversión relativamente alta, de alrededor de 15% la cual cae a una eficiencia aún muy buena de 10% cuando las celdas son montadas en paneles.

Sin embargo, el principal obstáculo para la producción de obleas - de silicio es su costo, relativamente alto, resultado de un sistema de procesamiento por lotes de tipo intermitente, un alto consumo de materiales, altos requerimientos de energía y un gran desperdicio. Para producir --- 1000 Mw de paneles solares utilizando silicio cristalino en forma de obleas, se requieren 15 000 toneladas de silicio. Debido a que esto es aproximadamente ocho veces la producción total mundial anual de silicio, se ve claramente que esta tecnología estará limitada a mercados especializados más que a la producción económica de grandes paneles.

Las organizaciones que se encuentran involucradas con este tipo de tecnología se encuentran localizadas en Estados Unidos principalmente, aun que hay pequeños núcleos de producción en otros países; estas empresas son Solarex, ARCO Solar (una división de Atlantic-Richfield), Solar Power Corporation (una subsidiaria de Exxon), Applied Solar Energy, Photowatt International y Motorola. La participación de otros países que es digna de tomarse en cuenta está limitada a pequeñas ventas hechas por Phillips de Holanda y por Japón.

#### 4.5.- TECNOLOGIA DE LA SEGUNDA GENERACION.

##### 4.5.1.- CINTAS DE SILICIO.

En 1972, Mobil-Tyco, una subsidiaria de Mobil Oil, inició un programa para producir láminas de aluminio o cintas. El objetivo fué crear técni

cas de procesamiento continuo automático que producirían paneles solares en grandes cantidades mientras se eliminaban el desperdicio y el procesamiento de tipo intermitente requerido por la técnica de obleas de silicio.

Básicamente, la tecnología consiste en sacar, tirando de ella, una cinta de silicio de 5-10 cm de ancho de un baño de silicio fundido a 1400 grados Celsius. Las cintas son típicamente de 200 micras (0.008") de espesor y son sacadas a una velocidad de 4-5 cm/min., resultando en un procesamiento de alrededor de 40 cm<sup>2</sup> de cinta de silicio por minuto. Las cintas se pasan entonces a través de hornos de difusión para el proceso usual de fabricación de celdas solares de silicio.

Aunque el proceso de cintas de silicio tiende a eliminar el desperdicio y el procesamiento de tipo intermitente asociados con las obleas de silicio, aún existen desventajas de importancia. El costo se incrementa por la necesidad de materiales con un grado muy elevado de pureza. Debido a que el silicio absorbe de manera muy mala la luz, se requieren alrededor de 5000-7000 toneladas de silicio para producir 1000 Mw de paneles solares. Hay desventajas adicionales como el hecho de que el proceso utiliza muy altas energías y se obtiene una producción muy baja.

De lo anterior se deduce que la tecnología de cintas, aunque es potencialmente más barata que las obleas de silicio, no es de esperarse que produzca reducciones substanciales en el precio de las celdas solares.

Además de Mobil-Tyco, Westinghouse tiene un proceso de cintas de silicio llamado proceso Webb con limitaciones de producción similares. Una pequeña compañía, Energy Materials Corporation, está trabajando en una variante del proceso de cintas con el objeto de incrementar las tasas de producción hasta alrededor de 300 cm<sup>2</sup>/min. Sin embargo, las tasas de producción

actuales están todavía en  $40 \text{ cm}^2/\text{min}$ . Una compañía japonesa, Japan Solar Energy, está trabajando también en la tecnología de cintas de silicio bajo licencia de Mobil-Tyco (1).

#### 4.5.2.- SILICIO SEMICRISTALINO.

Una tecnología relacionada con la anterior es la llamada Silicio Semicristalino, y ha sido desarrollada por Wacker Chemie en Alemania y por Solarex en Estados Unidos. El proceso consiste en usar silicio que es un poco menos puro y moldearlo en un trozo cuadrado. Es necesario cortar obleas de este trozo cuadrado y fundir y recristalizar el silicio. Siendo en esencia un proceso de tipo intermitente, sufre de la mayoría de las desventajas de la tecnología de obleas de silicio de la primera generación.

#### 4.5.3.- SILICIO POLICRISTALINO.

Existen tres métodos básicos para obtener el crecimiento de silicio policristalino en hojas:

- Depósito químico en fase de vapor.
- Depósito por bombardeo electrónico.
- Inmersión en silicio fundido.

En los tres, el sustrato es el elemento clave (5); se han utilizado metales, carbón, cerámicas, vidrio y silicio en grado metalúrgico. El último método es el que presenta mayores ventajas y es el que describiremos (4).

Se utiliza un sustrato de cerámica (silicato de aluminio), se recubre uno de sus lados con carbón para facilitar el depósito; se introduce en silicio fundido y se retira lentamente, formándose una película de

silicio policristalino de aproximadamente 100 micras. Con este método se pueden obtener celdas hasta con 11% de eficiencia.

Los precios actuales de las celdas de silicio policristalino son altos debido a que el material base sigue siendo caro y la comercialización de las celdas se inició apenas en 1981. 10 dólares/Wp es un precio que vuelve prohibitiva una amplia gama de aplicaciones para este tipo de celdas (4).

#### 4.6.- TERCERA GENERACION. TECNOLOGIA DE PELICULAS DELGADAS.

En años recientes, la investigación y el desarrollo intensivos han tenido éxito al proporcionar un gran número de métodos para producir celdas solares de gran área a bajo costo usando tecnología automatizada. La base para todos estos procesos es el depósito de películas muy delgadas de material semiconductor en sustratos de muy bajo costo (1).

Debido a que hay materiales que presentan características de absorción de luz mucho mejores que el silicio cristalino, una celda solar puede ser hecha depositando una micra ( $0.00004''$ ) de uno de esos materiales en un polímero, lámina de metal o sustrato de vidrio.

Hay actualmente dos materiales líderes en el campo del desarrollo de tecnología sobre fabricación de celdas solares por medio de películas delgadas: los calcogénidos de cadmio y el silicio amorfo.

##### 4.6.1.- CALCOGENIDOS DE CADMIO.

Estas celdas utilizan una combinación de sulfuro de cadmio y material calcogénido tal como el sulfuro de cobre o el seleniuro de cobre-indio. La conversión de energía solar tiene lugar en el calcogénido,



mientras que el sulfuro de cadmio sirve como colector de los electrones - fotogenerados (1).

En la primera de estas celdas, la celda de  $\text{CdS}/\text{Cu}_2\text{S}$ , ha estado bajo estudio por cerca de 20 años. Esta ha logrado una respetable eficiencia de conversión de alrededor del 10% y es muy simple de fabricar. El trabajo más promisorio ha sido realizado por un equipo de investigación de la Universidad de Delaware, con el apoyo del Departamento de Energía de Estados Unidos y de alguna participación industrial. Muchas otras firmas, particularmente SES (una subsidiaria de Shell), Chevron y Photon Power Corporation (una filial de Total) también están trabajando en ella.

La mayor desventaja de este sistema de celdas es su inestabilidad, ya que pierde su alta eficiencia en cuestión de semanas. Debido a que las últimas investigaciones indican que será imposible evitar esta rápida degradación, este material parece que será abandonado.

La otra tecnología de calcogénidos de cadmio siendo investigada en el laboratorio es la celda de  $\text{CuInSe}_2/\text{CdS}$ . Este proceso consiste en depositar sucesivamente  $\text{CuInSe}_2$  y  $\text{CdS}$  en un sustrato de cobre. Aun cuando las celdas tienen gran eficiencia (10%), pueden ser fabricadas únicamente en pequeñas áreas. También, la escasez de indio aumenta el cuestionamiento sobre su viabilidad económica.

La única compañía trabajando activamente en esta tecnología es - Boeing, aunque otras como Chevron y ARCO Solar empezarán a trabajar en ella en poco tiempo.

Otro material atractivo para conversión de energía solar es el -  $\text{CdTe}$  debido a que puede ser depositado en forma de películas delgadas - fácilmente y produce dispositivos efectivos (7-8%). Ametek es la única

compañía que se sabe está trabajando en esta tecnología.

Un grave problema con este tipo de sustancias es su extrema toxicidad. El manejo de grandes cantidades de materiales tóxicos presenta peligros obvios y no es alentador el contemplar los grandes riesgos de los vapores tóxicos de cadmio, selenio y telurio, los cuales además, son altamente inflamables.

Otro elemento en contra de la tecnología de calcogénidos es la ausencia de apoyo industrial: el momento científico-industrial está concentrado en el silicio amorfo (6). Los japoneses, por ejemplo, quienes fueron los más activos en calcogénidos, los han abandonado casi completamente en favor del silicio amorfo.

#### 4.6.2.- SILICIO AMORFO.

El material más prometedor para el depósito de películas delgadas es el silicio amorfo. Similar al silicio cristalino en propiedades electrónicas, el silicio amorfo requiere únicamente alrededor de una micra de película para absorber la luz. Puede ser depositado continuamente en una lámina usando variantes de la tecnología del silicio y es completamente compatible con las técnicas de unión y fabricación de contactos existentes (7).

Como resultado de lo anterior, todos los esfuerzos de la industria están siendo dirigidos hacia la manufactura de celdas de silicio amorfo con los primeros modelos disponibles comercialmente desde 1982 (6).

Actualmente están siendo utilizados cuatro métodos principales para la fabricación de celdas fotoeléctricas de silicio amorfo; estas son:

- 1.- Evaporación térmica.
- 2.- Pulverización catódica a radio frecuencia.
- 3.- Depósito químico de vapor.
- 4.- Depósito por descarga gaseosa.

La mayor parte de la industria está utilizando depósito por medio de descarga gaseosa (GD o Glow Discharge) de gases conteniendo silicio, como el  $\text{SiH}_4$  ó el  $\text{SiF}_4 + \text{H}_2$ , para depositar silicio amorfo.

Hay un gran número de factores que se deben manejar apropiadamente en los procesos antes mencionados. Algunos de esos factores son (8):

- a).- Temperatura de los substratos.
- b).- Presión de la Cámara.
- c).- Velocidad de depósito.
- d).- Distancia entre el material que va a producir la sustancia amorfa y el substrato.
- e).- Tipo de substrato.
- f).- Espesor de la película amorfa.
- g).- Tiempo y temperatura del tratamiento térmico.
- h).- Presión de los gases.
- i).- Proporción de los gases contaminantes.
- j).- Geometría de la cámara de reacción
- k).- Potencia del campo magnético.

#### 4.7.- PULVERIZACION CATODICA A RADIOFRECUENCIA.

La técnica de pulverización catódica a radiofrecuencia consiste en bombardear, en vacío, una muestra de silicio cristalino con átomos de un gas inerte, como el argón. De esta manera se depositan dichos átomos sobre

substratos colocados en las cercanías (9). En el transcurso de este método pueden introducirse hidruros de fósforo o boro, diluidos con hidrógeno, dentro de la cámara de reacción, si se desea obtener silicio amorfo tipo n o tipo p, según sea el caso.

#### 4.8.- EVAPORACION TERMICA.

La técnica de evaporación térmica se utiliza en la preparación de muchos semiconductores amorfos. Este proceso consiste en la expulsión, - por calentamiento en vacío, de átomos de una muestra de silicio. Dicho - proceso se efectúa en las cercanías de un sustrato frío y como resultado se obtendrá la formación de una capa de silicio amorfo sobre dicho -- sustrato (17).

#### 4.9.- DESCARGA GASEOSA.

El depósito de silicio amorfo por medio de descarga gaseosa fué inventado en 1069 por un grupo de científicos en Inglaterra. El profesor Spears de la Universidad de Dundee reconoció su importancia y desarrolló algunas de sus propiedades electrónicas. En 1972, los laboratorios RCA - en los Estados Unidos, independientemente empezaron a trabajar en la misma tecnología y desarrollaron las primeras celdas solares en 1975. Desde 1977, mas de 20 compañías y un aún mayor número de universidades en - todo el mundo se han unido en la investigación y desarrollo en la técnica de descarga gaseosa (1).

Las ventajas de la descarga gaseosa de silicio amorfo incluyen facilidad de depósito, control de envenenamiento y una alta absorción óptica. También es intrínsecamente estable a diferencia del sulfuro de cobre.

La eficiencia es moderadamente exitosa, con celdas en el rango de 6-8% y paneles con eficiencia en el rango de 4-6%.

Sin embargo, hay algunas desventajas. Primero, el depósito de plasma requiere una gran energía, con solamente el 5-10% de la alimentación de silano convirtiéndose en silicio. Segundo, el plasma sujeta la película a bombardeo iónico, lo cual lleva a obtener pobres propiedades electrónicas. Finalmente, la brecha de energía es un poco más alta que lo deseado para conversión óptima de energía solar en electricidad, resultando en una pérdida de eficiencia.

Para hacer el examen de los plasmas usados en el proceso se utilizan principalmente dos técnicas que son: la espectroscopía por emisión óptica y la espectroscopía de masas.

Un factor importante que hay que tomar en cuenta es que a mayor potencia del campo magnético de la cámara de depósito, se obtiene una mayor cantidad de hidrógeno en la película amorfa. Esta cantidad excesiva de hidrógeno no es conveniente ya que como nos lo demuestran las últimas investigaciones de la física del estado sólido, el hidrógeno en exceso puede romper las uniones moleculares de la red, llevando lo anterior a obtener películas defectuosas de silicio amorfo (8).

A pesar de todos estos obstáculos, hay poca duda de que puedan ser fabricados paneles con gran eficiencia por medio de la técnica de descarga gaseosa a un costo relativamente bajo. Precios por debajo de 1 dólar/Wp son perfectamente posibles y la producción de una gran área no presenta problemas. La descarga gaseosa de silicio amorfo está llamada a ser por todo lo anterior, la primera tecnología de la tercera generación en penetrar en el mercado.

Muchas grandes compañías están involucradas en la técnica de descarga gaseosa de silicio amorfo. Los japoneses en particular, han decidido - que el silicio amorfo es el material del futuro para celdas solares. Todas las grandes compañías electrónicas en el país, incluyendo a Sanyo, Fuji - Electric, Matsushita, Mitsubishi, Teijin y Sony han invertido en gran escala en las tecnologías de producción de silicio amorfo. Las estimaciones revelan que han gastado entre 200 y 300 millones de dólares (10).

En los Estados Unidos, RCA, Exxon, ECD, Xerox y ARCO Solar tienen grandes programas en la técnica de descarga gaseosa de silicio amorfo, -- aunque únicamente ECD se ha dedicado a la tarea de desarrollar un proceso comercial.

ECD ha patentado un sistema basado en silicio amorfo fluorinado, sus dispositivos se espera que sean similares a los del silicio amorfo - convencional. En Europa, Siemens es la única compañía trabajando seriamente en la técnica de descarga gaseosa.

La técnica de descarga gaseosa tiene dos posibilidades de acoplar la potencia de radiofrecuencia en el sistema de fabricación. Estos dos arreglos son: inductivo y capacitivo.

El sistema inductivo para depositar silicio amorfo hidrogenado puede consistir de un tubo Pyrex o de cuarzo con un diámetro de 3 cm y una longitud de 40 cm (11). El gas pasa a través del tubo de cristal y pasa por un sustrato que se sostiene en un pedestal calentado a cierta temperatura (12). La presión del gas dentro del tubo se controla con una - bomba de vacío. Una bobina de radiofrecuencia se encuentra circundando - al tubo, que es la que provee la estimulación para efectuar la reacción del gas silano, diluido con hidruros de fósforo o boro cuando éstos son introducidos al tubo.

El silicio amorfo se deposita sobre las paredes del tubo de reacción al igual que lo hace en los substratos colocados en una región específica del tubo. El depósito se efectúa a razón de unas pocas micras por hora.

En la figura 32 tenemos el diagrama de un sistema experimental para la producción de películas de silicio amorfo con Descarga Gaseosa usando el acoplamiento inductivo.

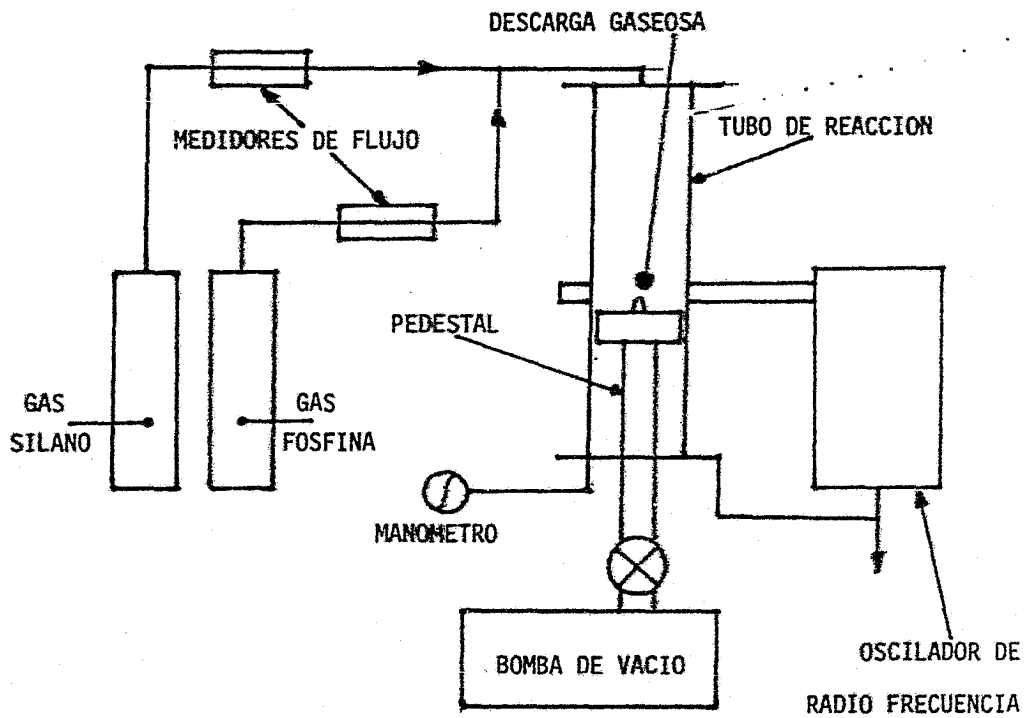
En el caso del acoplamiento capacitivo, los factores que intervienen en el proceso no varían con respecto al método anterior, sino por la aplicación de la radiofrecuencia a un capacitor y haciendo que el gas pase a través de las placas de éste. El silicio amorfo se depositará en un substrato que se encuentra colocado en una de las placas (12).

En la figura 33 tenemos el esquema de un sistema experimental para la producción de películas de silicio amorfo usando Descarga Gaseosa con acoplamiento capacitivo. Este arreglo ha sido usado para depositar muestras de área grande.

#### 4.10.- DEPOSITO QUIMICO DE VAPOR.

El Depósito Químico de Vapor, un proceso de producción probado para otros materiales electrónicos, es una técnica ideal para depositar silicio amorfo.

La técnica de Depósito Químico de Vapor utiliza una potencia de radiofrecuencia (7), cuya energía se emplea para descomponer al silano o a algún otro gas halogenado, por ejemplo, triclorosilano pirólítico. Si se desea envenenar la muestra con fósforo o boro, es necesario diluir los gases en un tanque y después hacerlos pasar por un tubo horizontal de cuar-



DETALLE DE LA APLICACION DE  
LA RADIO FRECUENCIA (R.F.)  
SOBRE EL GAS SILANO.

- S ES EL SUBSTRATO.
- T ES EL TUBO DE REACCION.
- G ES EL GAS.

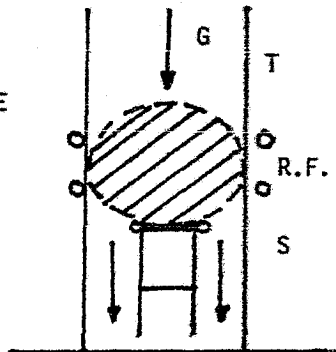


Fig. 32.- SISTEMA EXPERIMENTAL PARA LA PRODUCCION DE PELICULAS DE SILICIO AMORFO CON DESCARGA GASEOSA A RADIOFRECUENCIA, USANDO EL ACOPLAMIENTO INDUCTIVO.



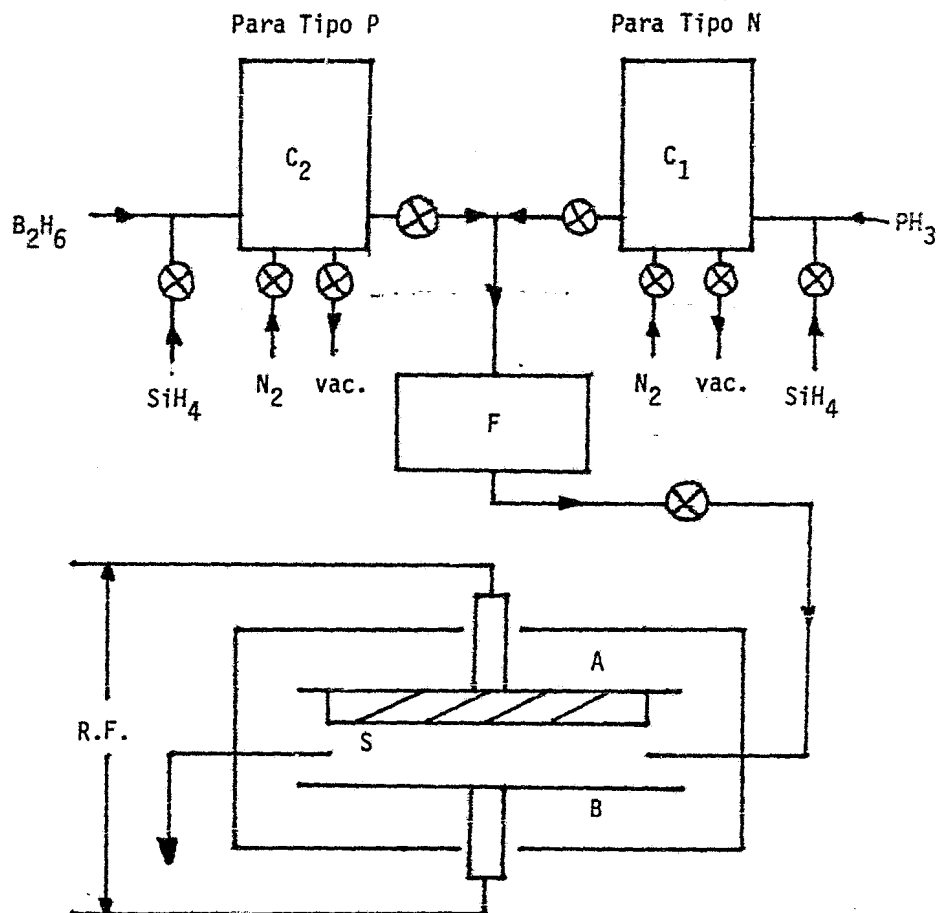


Fig. 33.- ESQUEMA DEL MONTAJE EXPERIMENTAL PARA DESCARGA GASEOSA CON ACOPLAMIENTO CAPACITIVO.

LOS CILINDROS  $C_1$  Y  $C_2$  ENCIERRAN A LOS GASES ENVENENANTES.

F ES UN MEDIDOR DE FLUJO.

S ES EL SUBSTRATO.

A Y B SON LAS PLACAS DEL CONDENSADOR.

zo (13). La descomposición térmica de la mezcla de gases va a ocasionar el crecimiento de películas de silicio amorfo sobre sustratos colocados en el tubo de reacción. Las temperaturas típicas de los sustratos para este proceso están alrededor de los 650 °C, ya que la temperatura de -- transición de una estructura amorfa a una cristalina es de 680 °C (14).

La técnica de Depósito Químico de Vapor es capaz de un alto aprovechamiento del material de alimentación, (50% en comparación con 5-10% para la Descarga Gaseosa) y tiene altas tasas de producción, tomando unicamente 1-5 minutos para un depósito de una micra.

Reconociendo las ventajas del proceso de Depósito Químico de Vapor, algunas compañías, particularmente Thomson-CSF en Francia, han trabajado sobre esta técnica usando silano ( $\text{SiH}_4$ ) a altas temperaturas -- (600 °C) para producir silicio amorfo. Sin embargo, el silicio amorfo -- resultante tiene pobres propiedades electrónicas y debe ser hidrogenado en un plasma por una hora para producir películas aceptables. Este es -- un serio defecto del proceso de producción (1).

#### 4.11.- PROCESO CHRONAR.

La compañía norteamericana Chronar Corp., con sede en Princeton, New Jersey, captó este problema e inventó un nuevo proceso para producir películas delgadas de silicio amorfo: Depósito Químico de Vapor, utilizando para ello disilano, ( $\text{Si}_2\text{H}_6$  en lugar de  $\text{SiH}_4$ ). El Depósito Químico de Vapor utilizando silano ( $\text{SiH}_4$ ) requiere la ruptura de la unión silicio-hidrógeno. Debido a que esta unión es relativamente fuerte, el depó sito requiere de un campo eléctrico muy poderoso y un alto vacío. Tam- bien es necesario calentar el sustrato.

El proceso Chronar, por otra parte, toma ventaja de la debilidad de la unión silicio-silicio del  $\text{Si}_2\text{H}_6$  la cual puede ser rota empleando - para ello solamente calor, llevando esto a un proceso mucho más sencillo. El depósito se puede hacer a bajas temperaturas (400 °C), resultando en películas de silicio amorfo con excelentes propiedades electrónicas.

En la figura 34 tenemos los diagramas que nos muestran la estructura molecular del silano ( $\text{SiH}_4$ ) y del disilano ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ).

El sistema Chronar, también hace posible un método de manufactura con un proceso de flujo continuo, en lugar del mucho más costoso proceso de tipo intermitente, necesario en el sistema de Descarga Gaseosa. Además de una alta tasa de producción, la susceptibilidad a las impurezas es baja y no hay problemas de agujeros (15).

Una ventaja adicional de las nuevas películas de silicio amorfo es que la brecha de energía es de alrededor de 1.5 eV, óptima para la conversión de energía solar. Esta brecha óptima debe llevar a eficiencias prácticas de conversión de energía de más de 10% comparada con el 8% de las películas fabricadas por Descarga Gaseosa .

En la figura 35 aparece la comparación de la curva de absorción para el silicio amorfo producido por el método de Depósito Químico de Vapor de Chronar y la curva de absorción del silicio amorfo producido por el método de descarga gaseosa.

El nuevo proceso de Chronar y sus nuevos materiales prometen producir paneles de silicio amorfo de alta eficiencia con costos de producción muy bajos. La compañía está desarrollando actualmente diseños para depósito en gran área por medio de sistemas automatizados lo cual permitirá la

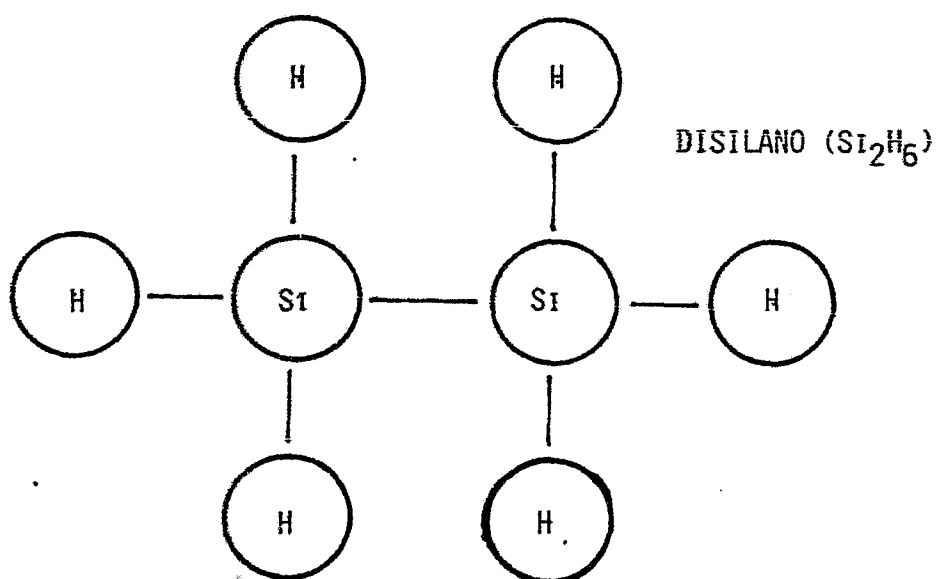
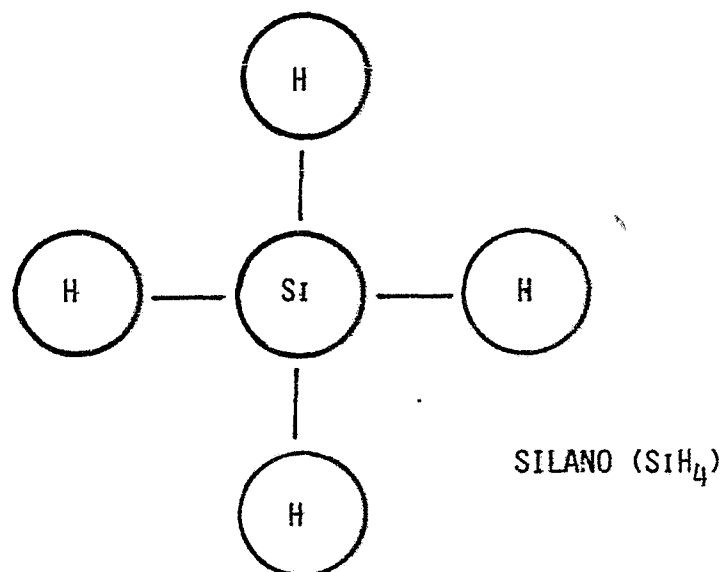


Fig. 34.- ESTRUCTURAS MOLECULARES DEL SILANO Y DEL DISILANO.

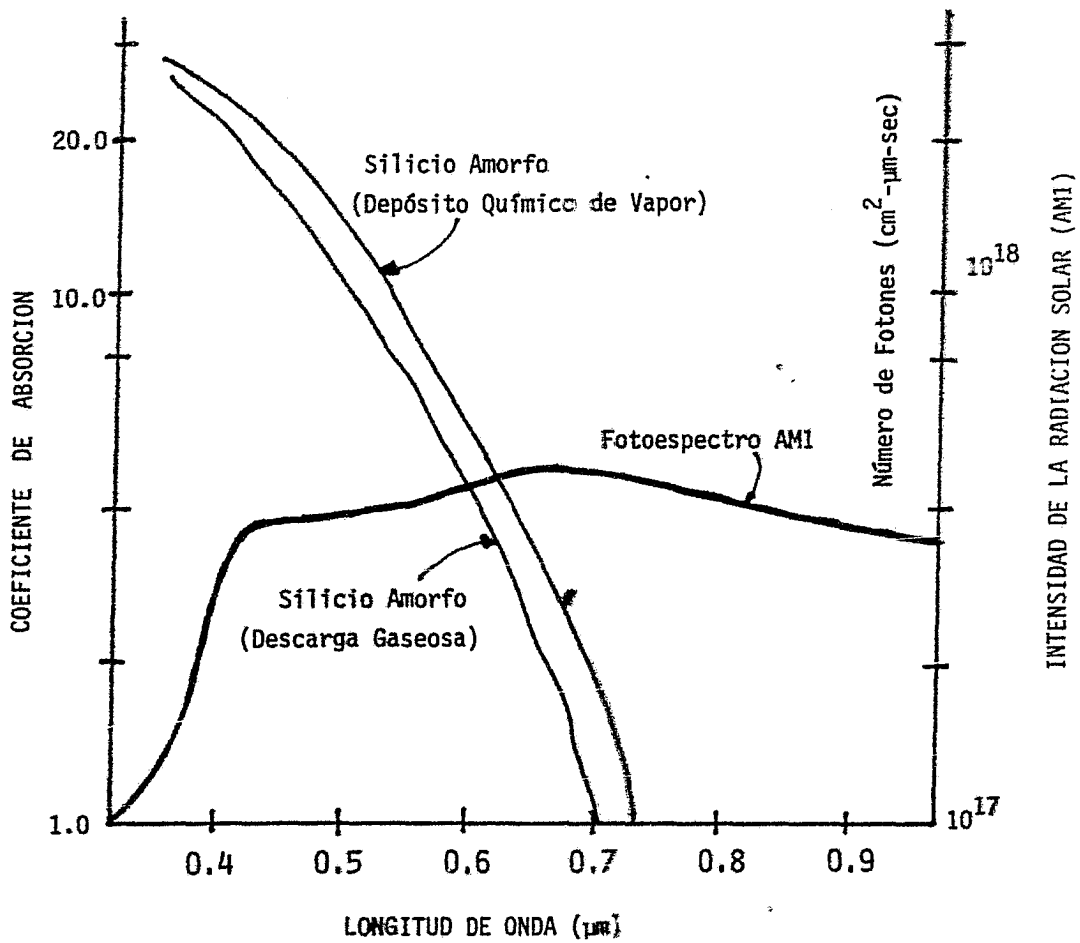


Fig. 35.- CURVAS DE ABSORCION DE SILICIO AMORFO PRODUCIDO POR DESCARGA GASEOSA Y POR DEPOSITO. QUIMICO DE VAPOR USANDO DISILANO.

comercialización de los paneles hacia 1983 (10).

Descripción del Proceso de Fabricación de Celdas de Silicio Amorfo Chronar.

- 1.- El substrato de vidrio se recubre con una capa conductora transparente. Se deposita óxido de estaño por medio de un proceso de depósito químico por aspersión proviniendo aquel de compuestos organometálicos de estaño. (Fig. 36)
- 2.- Se divide el conductor transparente en áreas conductoras y no conductoras por medio de la remoción de óxido de estaño empleando un láser de alto poder. (Fig. 37)
- 3.- Se deposita el silicio amorfo por medio de una proceso de Depósito Químico de Vapor en varias cámaras de tratamiento utilizando disilano. El dispositivo produce tres diferentes capas de silicio amorfo: una capa con conductividad tipo p, una capa i intrínseca en la parte media y una capa superior con conductividad tipo n. (Fig. 38)
- 4.- Se remueven algunas áreas de la película de silicio amorfo utilizando técnicas láser similares a las del paso 2. (Fig. 39)
- 5.- Se imprime el electrodo posterior en la capa superior de silicio amorfo. El electrodo posterior consiste de talco de aluminio en un aglomerante orgánico. Como parte del proceso de impresión, la capa impresa es curada para remover el aglomerante. En el mismo proceso de impresión, se imprimen dos bandas conductoras, hechas de aluminio, en los dos bordes opuestos del panel. Estos bordes se utilizan para conectar los paneles entre sí dentro del arreglo. (Fig. 40)
- 6.- Se deposita una capa protectora de polímero orgánico en la parte posterior del panel usando un proceso combinado de inmersión-aspersión. (Fig. 41).

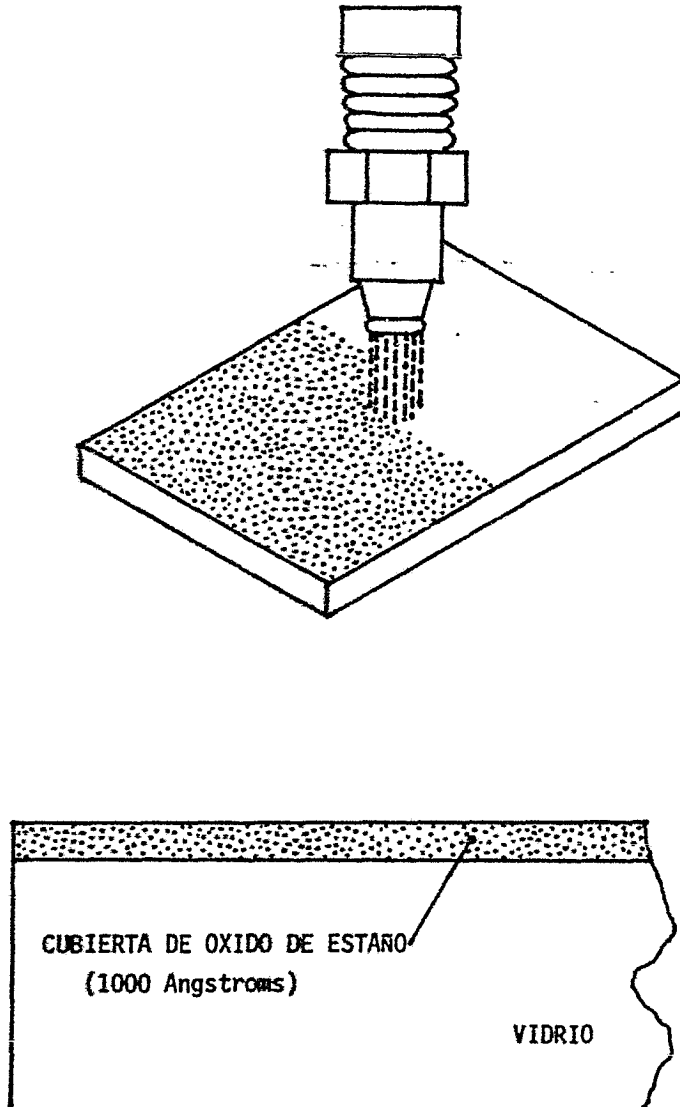


Fig. 36.- RECUBRIMIENTO DEL SUBSTRATO DE VIDRIO CON UNA CAPA CONDUCTORA DE OXIDO DE ESTAÑO.

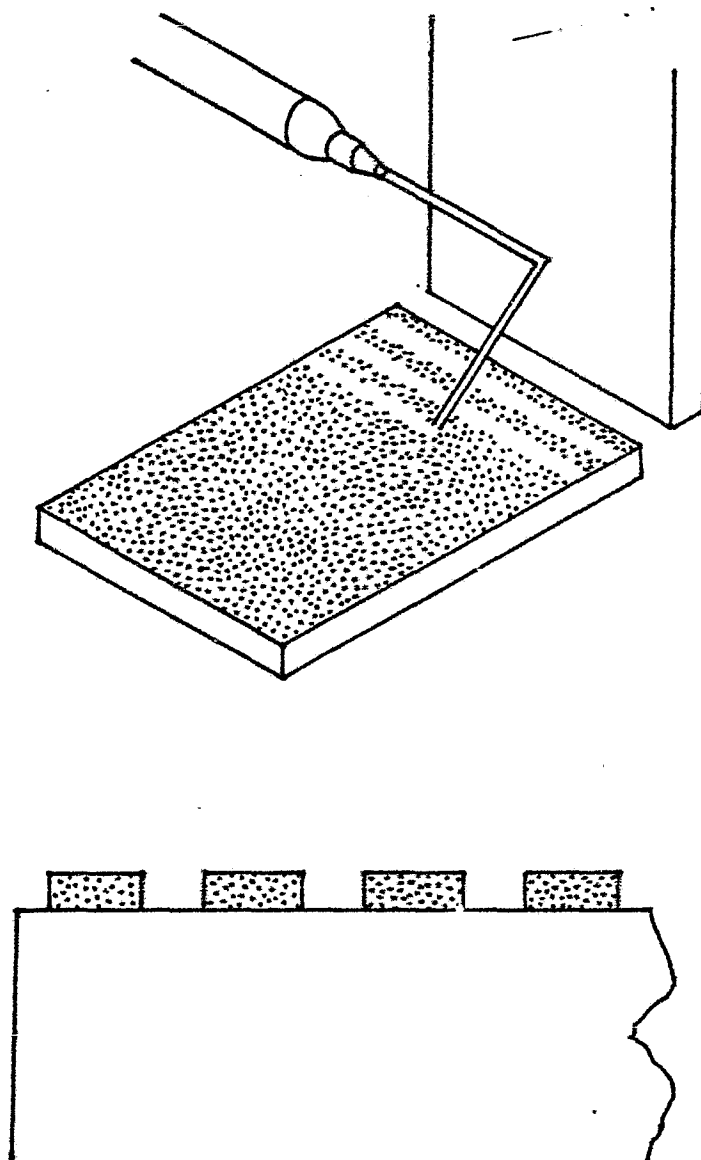


Fig. 37.- LA CAPA APLICADA DE OXIDO DE ESTAÑO ES DIVIDIDA EN AREAS CONDUCTORAS Y NO CONDUCTORAS MEDIANTE UN LASER DE ALTO PODER.



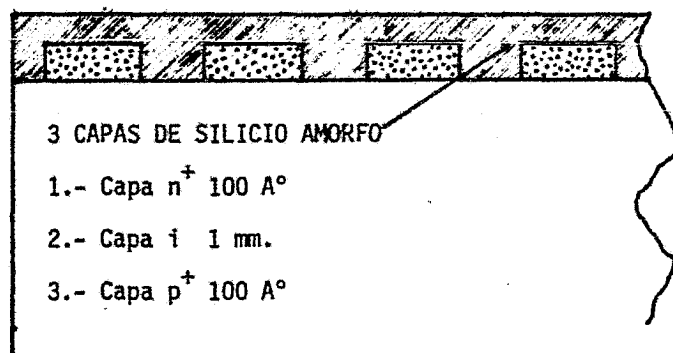
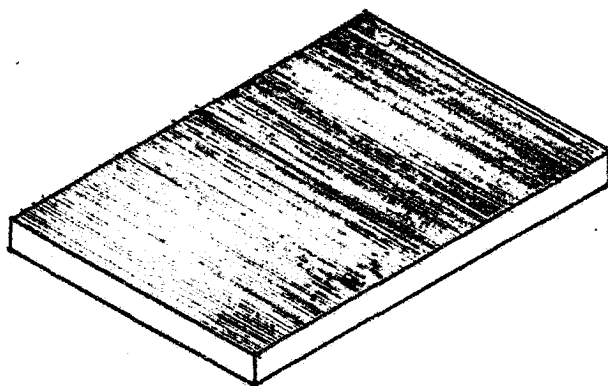


Fig. 38.- DEPOSITO DEL SILICIO AMORFO POR MEDIO DEL PROCESO CVD.

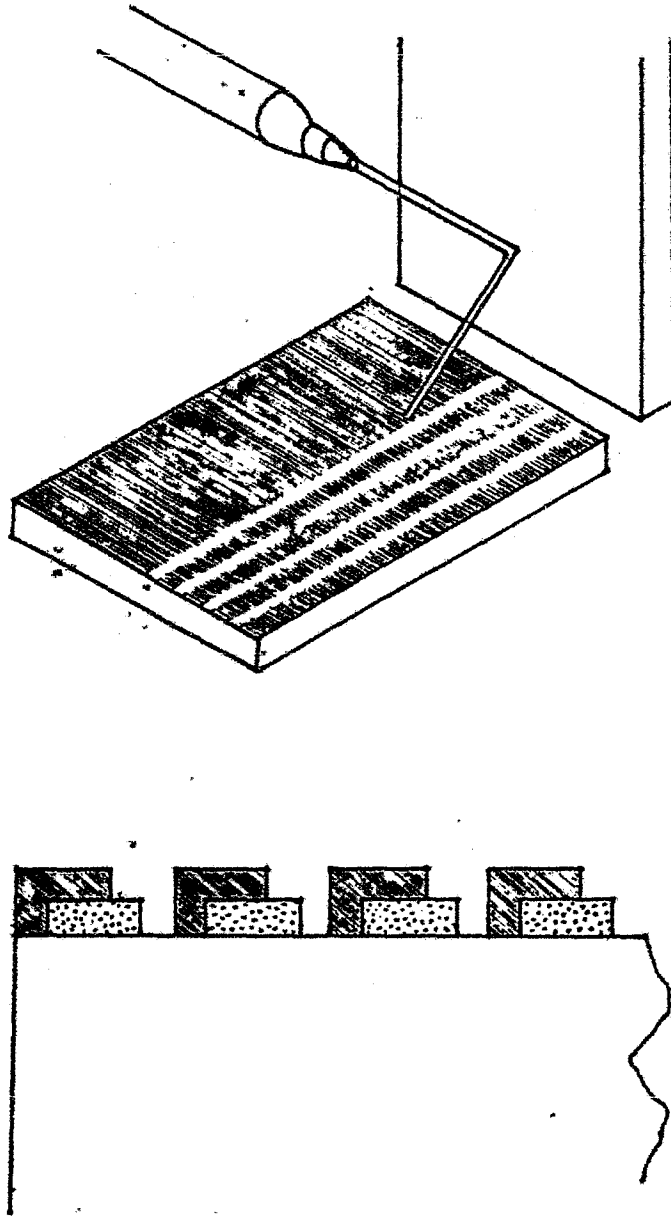


Fig. 39.- REMOCION DE AREAS DE SILICIO AMORFO POR MEDIO DE LASER.

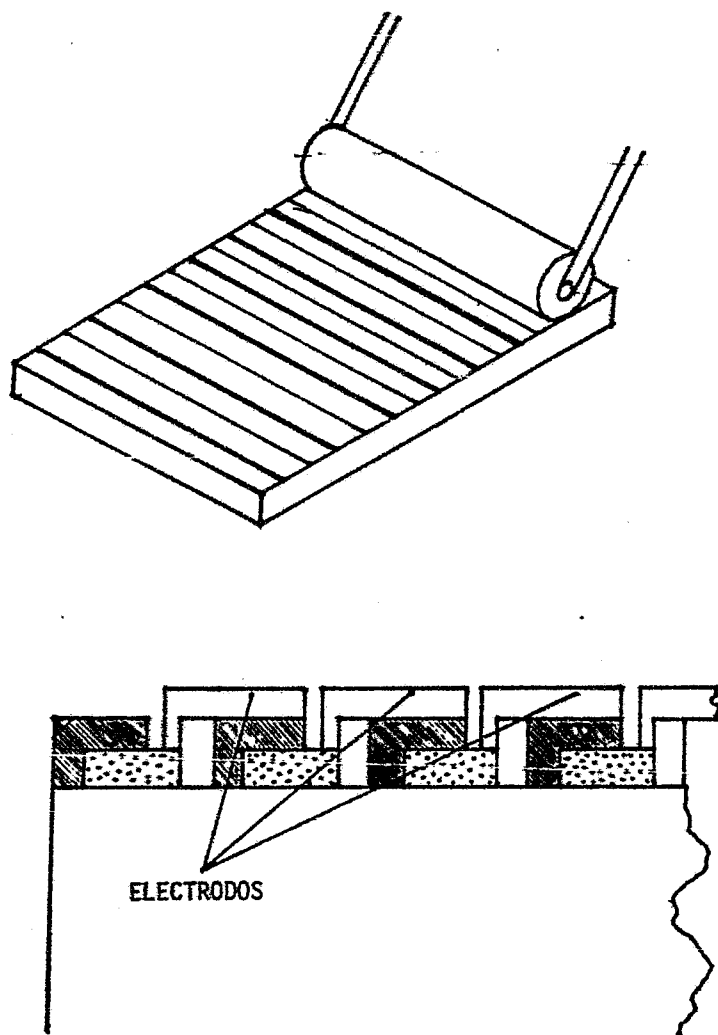


Fig. 40.- IMPRESION DEL ELECTRODO POSTERIOR, ELIMINACION DEL AGLOMERANTE.  
COLOCACION DE LOS CONECTORES DEL PANEL.

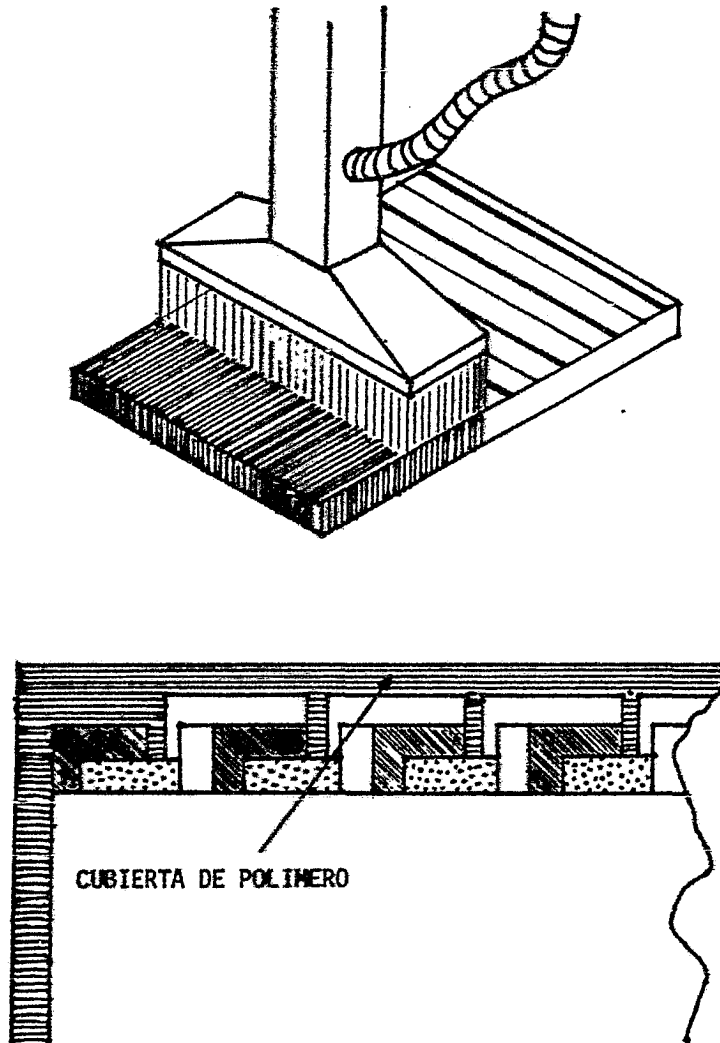


Fig. 41.- APLICACION DE UNA CAPA PROTECTORA DE POLIMERO.

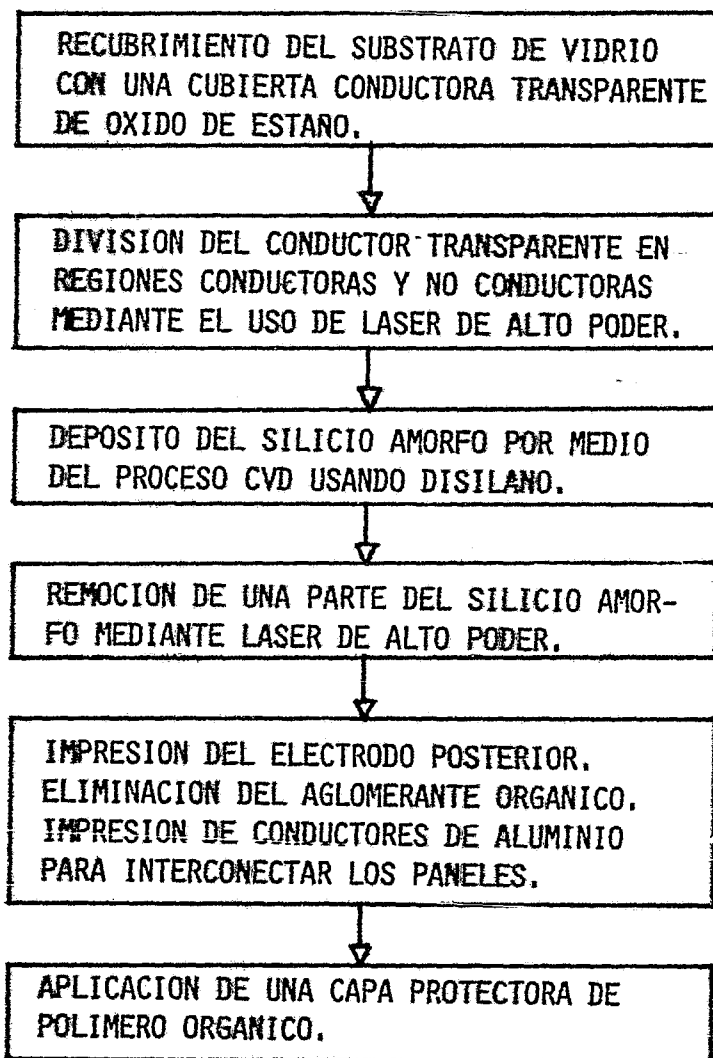


Fig. 42.- DIAGRAMA DE BLOQUES DEL PROCESO CHRONAR PARA LA FABRICACION DE CELDAS SOLARES DE SILICIO AMORFO.

El producto final es un panel integrado con un tamaño de 12" x 12", siendo los conductores de salida, dos cintas de aluminio en los bordes -- opuestos del panel. El sistema de conexión para los paneles montados en arreglos se encuentra en la estructura misma de soporte del arreglo.

El producto final puede ser entregado, ya sea como un panel o ensamblado en arreglos de tamaños y capacidades diferentes. Se sugiere utilizar soportes hechos de plástico moldeado por inyección comprados a proveedores externos. El ensamble del arreglo será hecho inicialmente por medio de trabajo manual.

#### 4.12.- CONCLUSIONES.

El análisis de los procesos anteriormente revisados nos lleva a concluir que el más conveniente es el basado en el Depósito Químico de Vapor utilizando para ello disilano ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ), proceso que ha sido desarrollado por la compañía norteamericana Chronar Corp., la cual es propietaria de la tecnología y tiene sus oficinas centrales en Princeton, NJ en los Estados Unidos.

Los hechos que nos han llevado a la anterior conclusión han sido los siguientes:

- 1.- El proceso Chronar hace posible un proceso de manufactura con un método de flujo continuo en lugar del mucho más costoso proceso de tipo intermitente usado por otros procesos.
- 2.- Se obtiene una alta tasa de producción debido a un mucho menor tiempo de procesamiento en comparación con otros procesos.
- 3.- La susceptibilidad a las impurezas es baja.
- 4.- El problema de agujeros es prácticamente inexistente.

- 5.- El proceso solamente emplea calor, llevando esto a un proceso mucho más sencillo.
- 6.- El depósito de silicio amorfo se puede obtener a bajas temperaturas. (Aproximadamente 400 °C).
- 7.- Se obtienen películas de silicio amorfo con excelentes propiedades electrónicas.
- 8.- No se requiere para el proceso de un campo eléctrico muy poderoso como en el proceso que utiliza silano  $\text{SiH}_4$ .
- 9.- No se requiere, como en otros sistemas, un alto vacío.
- 10.- No es necesario efectuar precalentamientos en el sustrato.
- 11.- Esta técnica puede obtener un alto aprovechamiento del material de alimentación (50%).
- 12.- No se requiere rehidrogenación posterior en plasma.
- 13.- Los costos totales resultan ser bastante bajos en comparación con todos los demás procesos.
- 14.- La compañía Chronar está dispuesta a vender un paquete completo en el que se incluye la maquinaria, la instalación y puesta en funcionamiento de la misma, entrenamiento para el personal necesario, actualización de la tecnología, etc.
- 15.- En las celdas producidas por este método se pueden alcanzar eficiencias de conversión superiores al 10%.

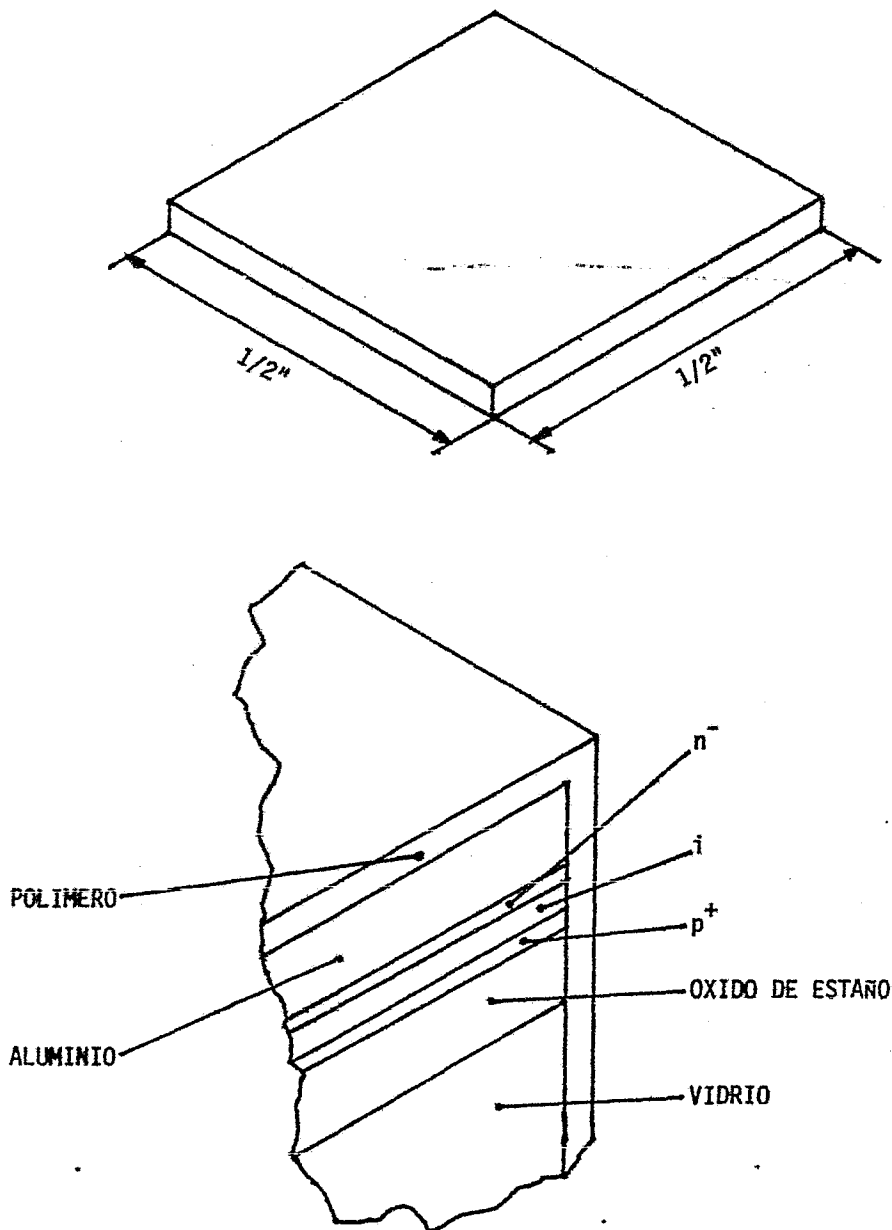


Fig., 43.- CELDA SOLAR.- CADA CELDA SOLAR ESTA FORMADA POR LAS CAPAS QUE SE MUESTRAN, DEPOSITADAS SOBRE UN SUBSTRATO DE VIDRIO DE  $1/8''$  Y PROTEGIDAS POR UNA CUBIERTA DE POLIMERO.



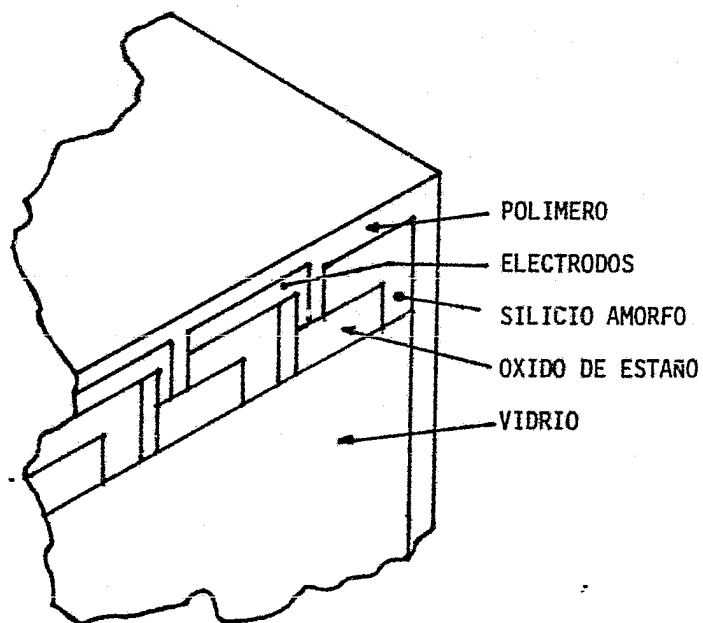
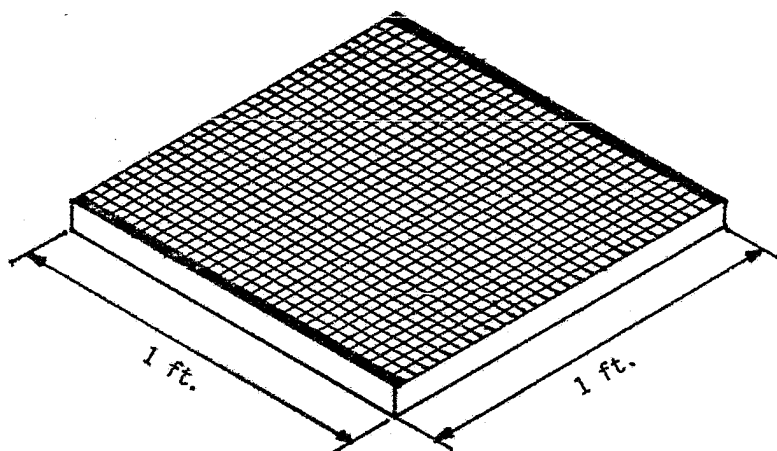


Fig. 44.- PANEL.- LAS CELDAS SE INTERCONECTAN PARA FORMAR UN PANEL DE 1 ft<sup>2</sup>.

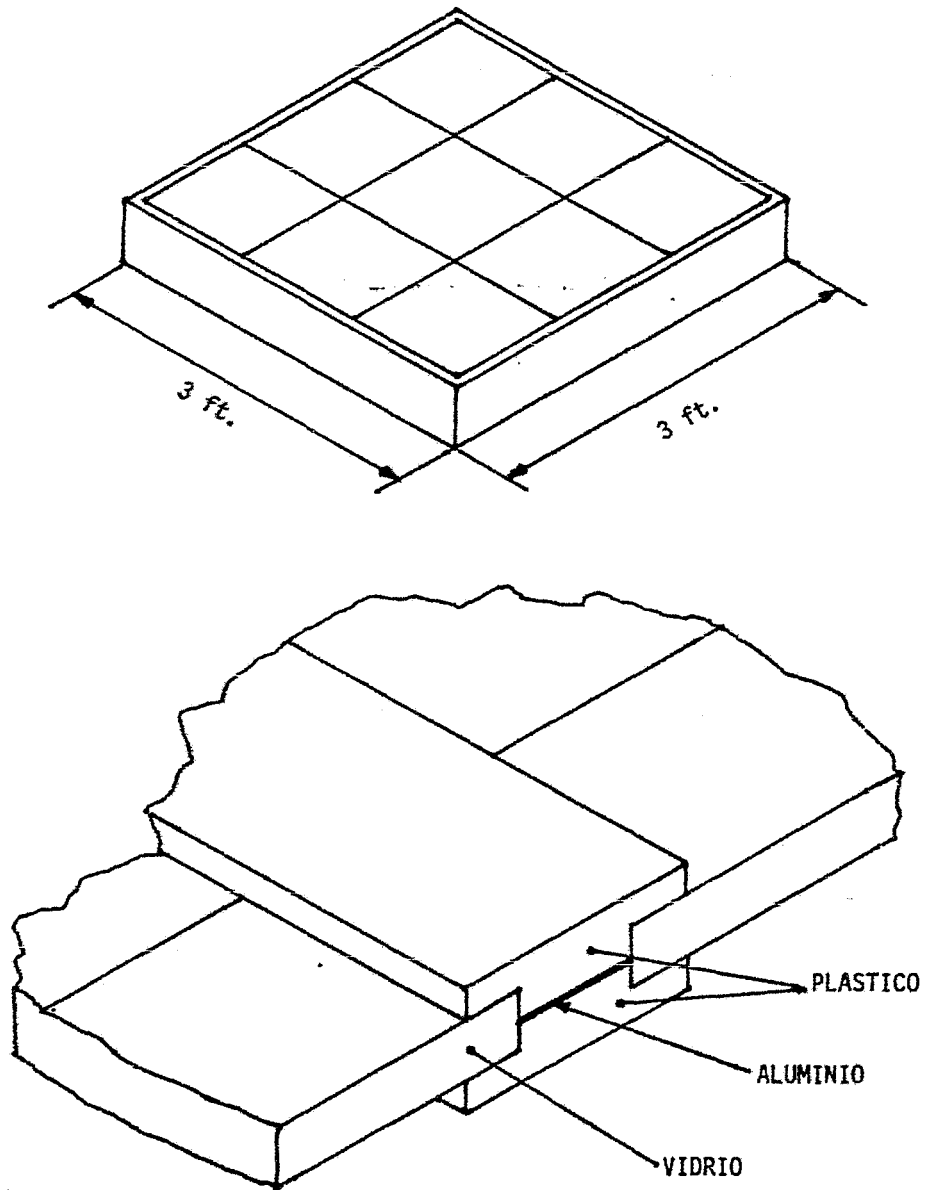


Fig. 45.- ARREGLO.- UN ARREGLO BASICO CONSISTE DE NUEVE PANELES INTERCONECTADOS.

4.13.- REFERENCIAS.

- 1.- Dr. Vikram L. DalaI. "Photovoltaic Technology".  
New Jersey, USA, 1982.
- 2.- Backus, Charles; "Photovoltaics in the 80's".  
1980 annual meeting V.3.2. AS/ISBS.
- 3.- Wolf, M.; "A new look at Silicon Solar Cell Performance".  
Energy Conversion, Vol. II, junio 1971.
- 4.- Gleason Garcia, Eduardo; "Centrales Helioléctricas: Plantas Fotovol-  
táicas de Potencia". Boletín del IIE. Vol. 6 # 7 y 8. Jul-Ago 1982.
- 5.- Fischer, H.; "Silicon Solar Cells from polycrystalline material".  
AEG-Telefunken, Serienprodukte AG, Heilbronn, Alemania, 1977.
- 6.- Leonard A. Eisener; "Solar Energy Intelligence Report".  
Mayo 31, 1982, Pag. 177. USA.
- 7.- M. H. Brodsky; "Thin Solid Films". Pag 57-67.
- 8.- Dr. Arun Madan; "Aplicaciones del Silicio Amorfo". Conferencia dictada  
en el Instituto de Investigación de Materiales de la UNAM. Feb. 2, 83.
- 9.- J. I. B. Willson, J. McGill, D. Meaire. "Advanced Physics".  
Cap. 27. Pag. 365-385 (1978).
- 10.- Dr. Zoltan J. Kiss. "The Economics of Thin Film Photovoltaics".  
New Jersey, USA, 1981.
- 11.- R.C. Chittick, J.H. Alexander, H.F. Sterling.  
Solid State Science, Pag. 77-81 (1969).
- 12.- W.E. Spear; "Advanced Physics" Pag. 811-845. 1977.

- 13.- M. Taniguchi, M. Hirose, Y. Osaka;  
J. of Crystal Growth. Pag. 126-131, 1978.
- 14.- T. Nakashita, M. Hirose, Y. Osaka;  
"Applied Physics". Pag. 405-406. 1979.
- 15.- Chronar Corporation. Photovoltaic Technology.  
Chronar's Proprietary Position, 1981, USA.
- 16.- Chronar Corporation. "Amorphous Silicon Photovoltaic Panel Manufacturing Plant". Princeton NJ, USA, 1981.
- 17.- D. Weaire, "Contemporary Physics". Cap.17. Pag. 173-191, 1976.

CAPITULO V

DESCRIPCION DE LA PLANTA.

### 5.1.- ANTECEDENTES.-

Como ya se vió en el capítulo anterior, el proceso Chronar es el que ofrece las mayores ventajas con respecto a los demás. En este capítulo se tratarán, los diferentes requerimientos que presenta este proceso.

La corporación Chronar ofrece la tecnología y maquinaria necesaria para producir celdas fotovoltaicas de silicio amorfo ( a-Si ) en forma de paneles. La planta que propone Chronar tiene una construcción modular basada en líneas. Cada línea de fabricación tiene una capacidad de producción de  $46\ 360.125\ m^2$  ( $500\ 000\ ft^2$ ) de paneles, capaces de entregar 2 megavatios pico (2MWp) por turno anual de 2 000 horas.

El costo de la primera línea (incluyendo la tecnología asociada y la destreza de fabricación -know how-) es de 8 millones de dólares. Cada línea adicional tiene un costo de 3 millones de dólares. Chronar recomienda una planta con seis líneas de fabricación, a un costo de 23 millones de dólares. La operación de una planta como la anterior a tiempo completo, trabajando dos turnos, nos daría una producción anual de  $463\ 601.25\ m^2$  (5 millones de  $ft^2$ ) de paneles fotovoltaicos de silicio amorfo con una capacidad de generación de 20 MWp.

Como se vió en el capítulo II, se piensa abastecer un mercado de 2MWp por año, por lo que la planta que se propone consiste en una sola línea de fabricación, cuya producción, satisface dicha demanda.

Chronar recibirá por concepto de regalías el 5 % de los ingresos debidos a las ventas.

Chronar está preparado para manejar las operaciones en dos for-

mas:

- 1.- Sobre un subcontrato de administración de fabricación, o.
- 2.- Como socio participante (50%) en lugar del pago de administración.

## 5.2.- LA PLANTA DE FABRICACION.-

### 5.2.1.- TAMAÑO OPTIMO DEL SUSTRATO DE VIDRIO.-

La escala y el módulo unitario de la línea de fabricación son determinados por la tasa óptima y la facilidad de manejo de los sustratos de vidrio. El tamaño más razonable es el de un panel de aproximadamente 0.4572 x 0.4572 m (18" x 18"). El módulo básico de la planta será diseñado para manejar este tamaño de panel, a una velocidad determinada por la tasa limitante más lenta, que es la deposición del silicio amorfo.

### 5.2.2.- TASA DE FABRICACION POR LINEA.-

Para alcanzar 2 MWp por año por turno de capacidad de generación a un 5% de eficiencia, debemos producir a la siguiente tasa:

$$R = \frac{2 \text{ MWp} / \text{año} / \text{turno}}{4 \text{ W} / \text{ft}^2}$$

$$R = \text{ft}^2 / \text{año} / \text{turno} \times \frac{5 \times 10^5}{2000 \times 60 \text{ min.} \times \text{turno}}$$

$$R = 4.1666 \text{ pie}^2 / \text{minuto} = 0.387096 \text{ m}^2 / \text{min.}$$

Suponiendo un rendimiento de producción del 80%, 5.21 pies cuadrados de vidrio deberán ser procesados por minuto para alcanzar

2 MWp. de capacidad anual.

### 5.2.3.- PASOS EN EL PROCESO DE FABRICACION.-

El proceso de fabricación y sus pasos fueron analizados en el capítulo anterior. La línea de fabricación consta del siguiente equipo:

- 1.- Equipo para la preparación del vidrio.
- 2.- Equipo para revestir la capa conductiva de SnO<sub>2</sub>.
- 3.- Equipo para la distribución de regiones por laser.
- 4.- Multicámaras para el proceso CVD.
- 5.- Equipo para revestir la capa de aluminio.
- 6.- Equipo para la distribución de regiones de silicio amorfo.
- 7.- Encapsuladoras.
- 8.- Equipo para la preparación de la capa de polímero.

Más equipo de suministro de gas, electricidad, equipo de prueba óptica y accesorios para 2 MWp de capacidad.

El producto final por línea es un panel integrado de tamaño máximo de 18" x 18". El producto puede ser entregado como un panel o ensamblado en arreglos de diferentes tamaños y capacidades. Una armadura de plástico moldeado sería recomendable. El ensamblado del arreglo sería hecho inicialmente en forma manual.

### 5.2.4.- AREA REQUERIDA POR LA LINEA DE FABRICACION.-

A continuación se dan las áreas recomendadas por Chronar.

Espacio de fabricación .....	500 m <sup>2</sup>
Area de almacenamiento adicional !...	200 m <sup>2</sup>
Area de ensamblado de arreglos .....	300 m <sup>2</sup>
Supervisión: espacio de oficina .....	200 m <sup>2</sup>



lo que nos da un total de  $1\ 200\ m^2$ .

Considerando estacionamiento, posibles ampliaciones y demás se propone un área de  $6\ 000\ m^2$ .

#### 5.2.5.- FUERZA DE TRABAJO REQUERIDA POR LINEA.-

Número de operadores .....	8
Número de obreros de ensamblado .....	8
Total	16 obreros
Supervisor de fabricación .....	2 técnicos
Supervisión administrativa .....	1 administrador.

Los anteriores son los empleados necesarios para el proceso, siendo también necesarios otros empleados como:

2 empleados de mantenimiento

2 secretarias

1 gerente administrativo

1 velador

4 vendedores

Lo que nos da un total de 29 empleados.

#### 5.3.- REQUERIMIENTOS DE MATERIA PRIMA .-

Los siguientes son los requerimientos de materias primas, energía y otros conceptos que intervienen en el proceso. Estos requerimientos fueron obtenidos considerando una eficiencia de conversión del 5% ( $4\ Wp / pie^2$ ) y un 80% de rendimiento de producción.

##### a) Materiales

Vidrio .....	50 322.48 $m^2$ /año
Aluminio .....	2 500 Kg /año

Oxido de estaño ( $\text{SnO}_2$ ) .....	50 Kg /año
Silano .....	25 Kg /año
Polímeros .....	5.000 Kg/ año
Materiales indirectos .....	----

b) Energía eléctrica ..... 64 778.7 KW-h/año

#### 5.4.- ARREGLO ECONOMICO CON CHRONAR Y CALENDARIO DE ENTREGA.-

Chronar propone colocar y entregar una planta de fabricación de celdas fotovoltaicas sobre un periodo de tres años. El programa consiste en cinco grandes etapas, contra pagos progresivos en cada etapa. - Chronar sugiere dos arreglos posibles:

a) Chronar recibe un pago en concepto de regalías entre el 5 y el 7% basado en el funcionamiento de la planta ( Eficiencia, rendimiento, etc.), o

b) En lugar de regalías, Chronar recibe utilidades en la planta de fabricación como socio ( riesgo compartido ).

La primera línea modular, junto con servicios de ingeniería y paquete inicial de capacitación tiene un costo de 8 millones de dólares.

#### 5.5.- PROGRAMA DE ARRANQUE DE LA PLANTA .-

##### 5.5.1.- ACTIVIDADES .-

A continuación se enumeran las principales actividades hasta la puesta en marcha de la planta.

- A) Negociación de créditos.
- B) Licencias y permisos.
- C) Firma del contrato con Chronar.

- D) Negociación de contratos con proveedores.
- E) Entrega del plan maestro y el plan de tecnología.
- F) Localización y compra del terreno.
- G) Adecuación y análisis del plan maestro en función del terreno.
- H) Análisis del plan de tecnología y del equipo a utilizar y del entrenamiento requerido.
- I) Especificaciones de la planta y dibujo arquitectónico.
- J) Obra civil.
- K) Entrenamiento en Chronar!
- L) Instalación de maquinaria y pruebas en planta.
- M) Puesta en marcha.

En la fig. 46 se muestra por medio de una tabla la duración de cada actividad, así como su correspondiente secuencia.

#### 5.5.2.- RUTA CRÍTICA.

Es conveniente identificar aquellas actividades críticas que podrían influir en un momento dado en un posible retraso en la realización del proyecto. La ruta crítica nos permite identificar dichas actividades.

La ruta crítica nos indica las actividades en las que hay que poner especial esmero para su realización, Así mismo nos indica el tiempo máximo de duración del proyecto ( En este caso, hasta la puesta en marcha).

En la fig. 47 se muestran los cálculos de la ruta crítica cuyos resultados se pueden observar en la fig. 48.

Fig. 46

DURACION (meses)	ACTIVIDAD	SECUENCIA
	inicio	A, B, C, D
4	A	E, F
3	B	E, F
3	C	E, F
4	D	L
2	E	H
4	F	G
4	G	I
4	H	I
5	I	J, K
10	J	L
5	K	L
4	L	M
2	M	FIN

ACTIVIDAD ( i, j )	DURACION Dij	MAS PROXIMO		MAS LEJANO		HOLGURA
		COMIENZO Cpi	TERMINACION Tpij	COMIENZO Clij	TERMINACION Tlij	TOTAL Htij
D ( 1-5 )	4	0	4	23	27	23
A ( 1-4 )	4	0	4	0	4	0
C ( 1-3 )	3	0	3	1	4	1
B ( 1-2 )	3	0	3	1	4	1
\$ ( 5-11 )	0	4	4	27	27	23
\$ ( 4-3 )	0	4	4	4	4	0
\$ ( 2-3 )	0	3	3	4	4	1
E ( 3-6 )	2	4	6	6	8	2
F ( 3-7 )	4	4	8	4	8	0
H ( 6-8 )	4	6	10	8	12	2
G ( 7-8 )	4	8	12	8	12	0
I ( 8-9 )	5	12	17	12	17	0
K ( 8-10 )	5	12	17	22	27	10
J ( 9-11 )	10	17	27	17	27	0
\$ ( 10-11 )	0	17	17	27	27	10
L ( 11-12 )	4	27	31	27	31	0
M ( 12-13 )	2	31	33	31	33	0

\$.- Actividad Ficticia.

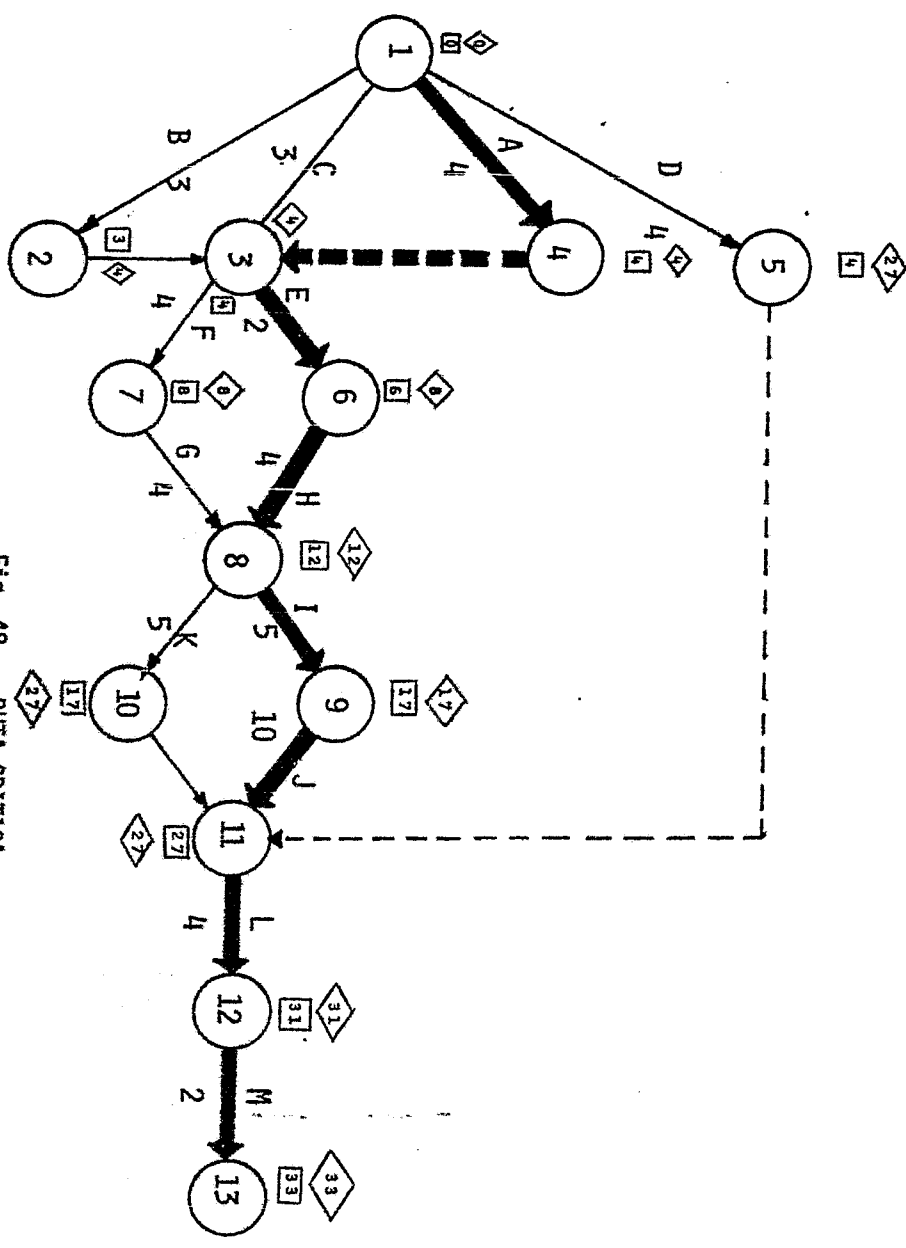


Fig. 48.- RUTA CRITICA

## 5.6.- BIBLIOGRAFIA. -

- 1.- Chronar Corporation, inc.; "Manufacturing Plant for -  
amorphous silicon ( a-Si ) Photovoltaic panels" ; Prin-  
ceton, New Jersey, USA, 1982.
- 2.- Hillier, F.S., G.J. Lieberman; " Introduction to opera-  
tion research"; Holden-Day; inc. ; San Francisco, USA  
1974.

CAPITULO VI

LOCALIZACION.



## 6.1.- LOCALIZACION DE LA PLANTA DE FABRICACION

En el presente capítulo se pretende determinar la localización más adecuada para la ubicación de la planta de fabricación de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo.

Primeramente se definirán los parámetros y objetivos que permitirán evaluar, en base a un enfoque sistémico, las alternativas que puedan presentarse.

El estudio del emplazamiento consiste en analizar las variables, que se pueden llamar fuerzas locacionales, a fin de buscar la localización en que la resultante de estas fuerzas conduzca a una máxima tasa de ganancia y un mínimo costo unitario.

El problema de localización se suele abordar en dos etapas: La macrolocalización, en la que se decide la zona general en que se instalará la empresa; y la microlocalización, en la que se elige el punto preciso, considerando ya los problemas a detalle.

"Se ha dicho que la elección del lugar es un problema de ingeniería y la de la zona un problema económico. En tal caso, el resultado de la elección de ingeniería, en cuanto al sitio, depende en gran medida de la elección económica de la región; para ser eficientes una y otra deben tomar en consideración las influencias sociológicas, políticas y psicológicas".(1)

La teoría de la localización de planta permite concebirla como si hubiera atravesado cuatro fases:(1)

- 1) La que concierne al sitio de menor costo de producción.

- 2) La fase de la cercanía de los mercados.
- 3) La correspondiente a la maximización de utilidades.
- 4) La que atañe al menor costo al cliente.

La localización industrial es un asunto crítico. Una vez establecido impone restricciones a las operaciones y a la administración de la planta que limitan su eficiencia. Los límites de costos y utilidades, realmente factibles, dependen en buena medida de la ubicación de los medios. En apoyo a esto, se puede citar a Edgar M. Hoover, quien menciona: "La elección de una localización apropiada puede significar la diferencia entre éxito económico y fracaso".(2)

En todos los casos el problema de localización consiste en tres elementos principales: (3)

- 1) Determinar las necesidades específicas.
- 2) Determinar las posibilidades disponibles.
- 3) La elección de la alternativa más adecuada.

Ahora bien, los factores de análisis regional más importantes son:

- 1) Disponibilidad de mercados, desde los puntos de vista de concentración y tiempos de entrega.
- 2) Disponibilidad de materias primas.
- 3) Sistemas de transporte: variedad, concentración y tarifas. En sus términos más simples, el problema se concreta a saber si la industria quedará cerca de las materias primas y origen de los recursos necesarios, en general, o cerca del mercado en que se venderán sus productos; de ahí que se suele hablar de industrias "orientadas al mercado" e industrias "orientadas a los insumos".
- 4) Mano de obra y salarios disponibles.
- 5) Disponibilidad y costos de energía, actuales y futuros.
- 6) Influencias climatológicas, sobre todo las que afectan la construcción, costos de calefacción y refrigeración.

- 7) Políticas impositivas y otras influencias legales.
- 8) Agua y eliminación de desperdicios.
- 9) Características de la comunidad e Imponderables.

Todo el esfuerzo depositado en un trabajo de investigación y estudio para una posible localización puede ser estéril si se toman en cuenta los factores como estáticos sin considerar su movilidad y cambio, tratando de buscar aplicaciones o cambios a futuro. Walter Isard menciona al respecto: "Teóricos de nuestro tiempo están preocupados principalmente con introducir el elemento tiempo por completo en sus análisis y la literatura abunda con modelos de naturaleza dinámica. Sin embargo, ¿Quién puede negar el aspecto espacial del desarrollo económico: Qué todo el proceso económico existe en el espacio, así como a través del tiempo? Realmente, ambos tiempo y espacio deben ser consideraciones vitales en cualquier teoría de Economía".(4)

Es necesario hacer notar que no existe ninguna teoría económica general de localización directamente adaptable a la práctica.

Si existiera la posibilidad de asignar valores monetarios, los factores deberían manejarse como factores de costos y solo los intangibles tendrían que evaluarse en función de un plan de clasificación. En este trabajo se establecerá una localización general, por lo tanto se manejarán todos los factores en función de un plan de clasificación.

Cuatro métodos generales de clasificación se encuentran en la literatura sobre el tema:

- 1) Asignar pesos iguales a todos los factores y evaluar cada localización según la escala de factores.
- 2) Señalar pesos variables a cada factor y evaluar cada localización según la escala de factores.

- 3) Fijar pesos variables a cada factor. En ese caso, las localizaciones se clasifican de acuerdo con una escala común para cada uno. La puntuación que se ha de asignar a cada lugar según los factores se obtiene entonces multiplicando la clasificación de cada factor por el peso que se le dio.
- 4) Establecer una escala subjetiva común a todos los factores. Conceder a cada uno una puntuación de acuerdo con esta escala. Clasificar la localización según la escala subjetiva y asignar a cada factor una puntuación según la clasificación subjetiva

Para este caso utilizaremos el tercer método y además, se basará en el Plan de Desarrollo Industrial que de acuerdo con NAFINSA continuará vigente los primeros años de este sexenio en lo referente a la des-concentración industrial.

"La economía de México ha tenido una notable evolución en las últimas décadas, sin embargo, su crecimiento se ha sostenido con base en un desarrollo regional desequilibrado; si bien el incremento de la actividad económica es notable, no son menos claras las ineficiencias generadas por los cuellos de botella y desequilibrios sectoriales y territoriales.

Debido a lo anterior, el gobierno de la República ha reconocido la urgencia de adoptar medidas que coadyuven a mejorar éstos aspectos y, muy especialmente, el desequilibrio en el desarrollo regional. Este desequilibrio es especialmente notable en el caso particular del Valle de México en el que en 1976 se concentraba el 47% del valor de la producción industrial y el 21% de la población en tan sólo un 0.32% del Territorio Nacional".(5)

En el Plan de Desarrollo Industrial se han diferenciado diversas regiones del país de acuerdo a sus características y potencial de desarrollo, creando una nueva clasificación por zonas económicas; así, 123

municipios conforman la zona I ó de estímulos preferenciales para los cuales se conceden los máximos beneficios fiscales, crediticios y de inversión pública, en contraste con la zona III, de ordenamiento y regulación, para la cual no se concede ningún tipo de incentivos, o se dan en forma restringida y selectiva. Por otra parte, los gobiernos de los Estados en coordinación con las Secretarías de Estado han definido la zona II, de prioridades estatales, para las cuales igualmente han sido establecidos estímulos para la inversión industrial.(fig 49).

Se ha dicho que el elemento de juicio más importante para determinar el tamaño de la planta es generalmente la cuantía de la demanda que ha de atenderse (6). Tomando como base el estudio de Mercado se ha encontrado que existe un mercado potencial alto de celdas fotovoltaicas de silicio amorfo en toda la República, principalmente en las zonas de mayor insolación, por lo tanto, en este caso la cuantía de la demanda no presenta limitaciones prácticas en cuanto a escala de producción. Realmente el elemento de juicio a considerar en la determinación del tamaño de la planta es el aspecto técnico.

De acuerdo con la Descripción de la Planta, el tamaño de la misma quedará determinado por una línea de producción, que se trabajará un turno, y cuya producción anual será de 500 000 ft<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos de silicio amorfo con una capacidad de generación de energía de 2 Mwp por año.

Como se mencionó anteriormente las principales materias primas a utilizar son: Silano (Si<sub>2</sub>H<sub>6</sub>), Oxido de Estaño (SnO<sub>2</sub>), vidrio, Aluminio (Al), y polímeros.

De acuerdo con CANACINTRA, los principales productores de las

CUADRO DE ESTIMULOS PARA LA DESCONCENTRACION DE LAS ACTIVIDADES INDUSTRIALES PRIORITARIAS

FIGURA 49

		Estímulos preferenciales	Prioridades Estatales		De crecimiento y regulación	De crecimiento y regulación
ZONAS		I	II	Resto del país	III-B Area de Consolidación	III-A Area de C. Controlado
BENEFICIARIOS					20% de la inversión por a.-	no hay estímulo
P R I O R I T A R I A  I N D U S T R I A	CATEGORIA I.	20% de la inversión 1			20% de la inv. por a.-	no hay estímulo
		20% del empleo generado por inversión 2				
	CATEGORIA II.	15% inversión	10% inversión	10% de la inversión por ampliación		no hay estímulo
		20% del empleo generado por inversión				
	PEQUENA INDUSTRIA	25% inversión		25% inversión por ampliación		no hay estímulo
	TODA LA INDUSTRIA MANUFACTURERA	20% empleo generado por turnos adicionales				no hay estímulo
	TODAS LAS ACTIVIDADES ECONOMICAS	5% adquisición bienes de capital nacionales y nuevos.				

NOTAS: (1) Inversión: Construcción de edificios e instalaciones y adquisición maquinaria y equipo nuevos, relacionados con el proceso productivo para iniciar o ampliar alguna actividad industrial.  
 (2) Empleo: Se otorga por 2 años.

FUENTE: NAFINSA-PAI.

materias primas arriba mencionadas se encuentran en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Remitiéndonos a la Descripción de la Planta la línea consiste del siguiente equipo:

- 1) Equipo para la preparación del vidrio.
- 2) Equipo para revestir la capa conductiva de  $\text{SnO}_2$ .
- 3) Equipo para la distribución de regiones por Laser.
- 4) Multi-cámaras para el proceso CVD.
- 5) Equipo para la distribución en regiones de Si-a.
- 6) Equipo para revestir la capa de aluminio.
- 7) Encapsuladoras.
- 8) Equipo para la preparación de la capa de polímero.

Como equipos auxiliares: Un equipo de suministro de gas, equipo de prueba óptico y eléctrico y accesorios para una capacidad de 2 MWatios anuales.

De lo anterior se observa que el equipo a utilizar es un equipo especial, que trabaja con energía eléctrica y que requiere para su manejo de mano de obra calificada.

Se requerirá de servicios públicos, tales como: agua, eliminación de desperdicios, teléfono, etc.

En cuanto a transporte se utilizarán principalmente camiones y ferrocarril.

Se pretenderá obtener todas las ventajas impositivas posibles.

No se dará un peso muy elevado al costo del terreno, debido a que el costo de la tierra es relativamente pequeño comparado con la inversión total.(3)

Dado que las materias primas proceden de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México la selección se enfocará a la Zona Central del país, tomando solo en cuenta aquellos Estados que entren dentro de la Zona I-B y de la Zona II. Dichos Estados son: Hidalgo, Estado de México, Morelos; Puebla, Queretaro y Tlaxcala. (figura 50)

Evaluación por puntos de los Estados: (figura 51)

De la figura 51 se observa que el Estado donde puede quedar ubicada la planta de fabricación es el Estado de Querétaro.

Evaluación por puntos de los Municipios de Querétaro. (figura 52)

De la figura 52 se observa que la planta puede quedar ubicada en Querétaro, Querétaro; en un Parque Industrial.

La localización quedará completa una vez que quede seleccionado el terreno.

En una forma amplia y general, puede decirse que se han considerado las necesidades y los posibles lugares para la futura localización.

Por último será práctico referir la siguiente lista de errores más comunes en un análisis de localización como los menciona Richard Muther.(7)

- 1) Investigación incompleta que no incluye requisitos indispensables.
- 2) Demasiada atención a los costos de la tierra.
- 3) Subestimar costos de mudanza.
- 4) Prejuicios o preferencias de los ejecutivos claves en la selección en vez de hechos recogidos en forma imparcial.
- 5) Resistencia al cambio de los ejecutivos. (de moverse de sus residencias).
- 6) Escoger áreas demasiado industrializadas, o que, en el futuro,





EVALUACION POR PUNTOS DE LOS ESTADOS  
(FIGURA 51)

FACTORES	PESO	ESTADOS					
		HIDALGO	EDO.MEXICO	MORELOS	PUEBLA	QUERETARO	TLAXCALA
FUENTE DE MATERIAS PRIMAS	5	3/15	5/25	4/20	3/15	3/15	3/15
ACCESO POR CARRETERA	4	3/12	4/16	4/16	3/12	4/16	3/12
ACCESO POR FERROCARRIL	4	1/ 4	2/ 8	4/16	4/16	4/16	4/16
COSTO MANO DE OBRA	2	3/ 6	1/ 2	1/ 2	2/ 4	3/ 6	3/ 6
CALIDAD MANO DE OBRA	4	1/ 4	4/16	3/12	2/ 8	3/12	1/ 4
DISPONIBILIDAD DE ENERGIA ELECTRICA	4	3/12	4/16	4/16	3/12	4/16	3/12
DISP. AGUA Y ELIMINACION DE DESPERDICIOS.	2	3/ 6	3/ 6	4/ 8	3/ 6	3/ 6	2/ 4
INCENTIVOS	5	4/20	4/20	4/20	4/20	5/25	4/20
GAS	4	3/12	3/12	3/12	3/12	3/12	3/12
CLIMA	1	3/ 3	3/ 3	2/ 2	2/ 2	4/ 4	3/ 3
COSTO TERRENO	1	3/ 3	2/ 2	2/ 2	3/ 3	3/ 3	3/ 3
PARQUES INDUSTRIALES	4	1/ 4	2/ 8	1/ 4	1/ 4	4/16	1/ 4
PLANTELES EDUCATIVOS	2	2/ 2	3/ 6	3/ 6	3/ 6	3/ 6	2/ 4
SERVICIOS MEDICOS	3	3/ 9	3/ 9	4/12	3/ 9	4/12	3/ 9
TOTALES		113	149	148	129	165	124

NOTA: El análisis del peso de los factores está en función de las necesidades de la planta establecidas previamente. (Análisis del Proceso y Descripción de la Planta).

El análisis de como cumplen los diferentes Estados con los factores se obtuvo de "Alternativas Para el Desarrollo Regional y La Desconcentración Industrial". (NAFinsa-PAI).

EVALUACION POR PUNTOS DE LOS MUNICIPIOS  
(FIGURA 52)

FACTORES	PESO	MUNICIPIOS DE QUERETARO			
		SAN JUAN DEL RIO	CADEREYTA	CORREGIDORA	QUERETARO
FUENTE DE MATERIAS PRIMAS	5	5/25	5/25	4/20	4/20
ACCESO POR CARRETERA	4	4/16	4/16	4/16	5/20
ACCESO POR FERROCARRIL	4	4/16	3/12	3/12	5/20
COSTO MANO DE OBRA	2	3/ 6	4/ 8	3/ 6	2/ 4
CALIDAD MANO DE OBRA	4	2/ 8	2/ 8	2/ 8	3/12
DISPONIBILIDAD DE ENERGIA ELECTRICA	4	3/12	2/ 8	2/ 8	4/16
DISP. AGUA Y ELIMINACION DE DESPERDICIOS.	2	4/ 8	1/ 2	2/ 4	3/ 6
INCENTIVOS	5	4/20	4/20	4/20	5/25
GAS	4	3/12	3/12	3/12	5/20
CLIMA	1	3/ 3	2/ 2	2/ 2	2/ 2
COSTO TERRENO	1	3/ 3	4/ 4	4/ 4	3/ 3
PARQUES INDUSTRIALES	4	3/12	1/ 4	1/ 4	5/20
PLANTELES EDUCATIVOS	2	3/ 6	2/ 4	1/ 2	4/ 8
SERVICIOS MEDICOS	3	3/ 9	3/ 9	3/ 9	4/12
<b>TOTALES</b>		<b>156</b>	<b>134</b>	<b>127</b>	<b>188</b>

NOTA: El análisis del peso de los factores está en función de las necesidades de la planta establecidas previamente. (Análisis del Proceso y Descripción de la Planta).

El análisis de como cumplen los diferentes Municipios de Querétaro con los factores se obtuvo de "Alternativas Para el Desarrollo Regional y La Desconcentración Industrial". (NAFINSA-PAI).

puedan llegar a ser densamente pobladas.

- 7) Basar la mudanza solo en beneficios inmediatos o a corto plazo.
- 8) Niveles educacionales y culturales bajos que no serían aceptables para que el personal se desplazara.
- 9) Evaluar la provisión del personal basado en los salarios sin considerar productividad y normas de trabajo.

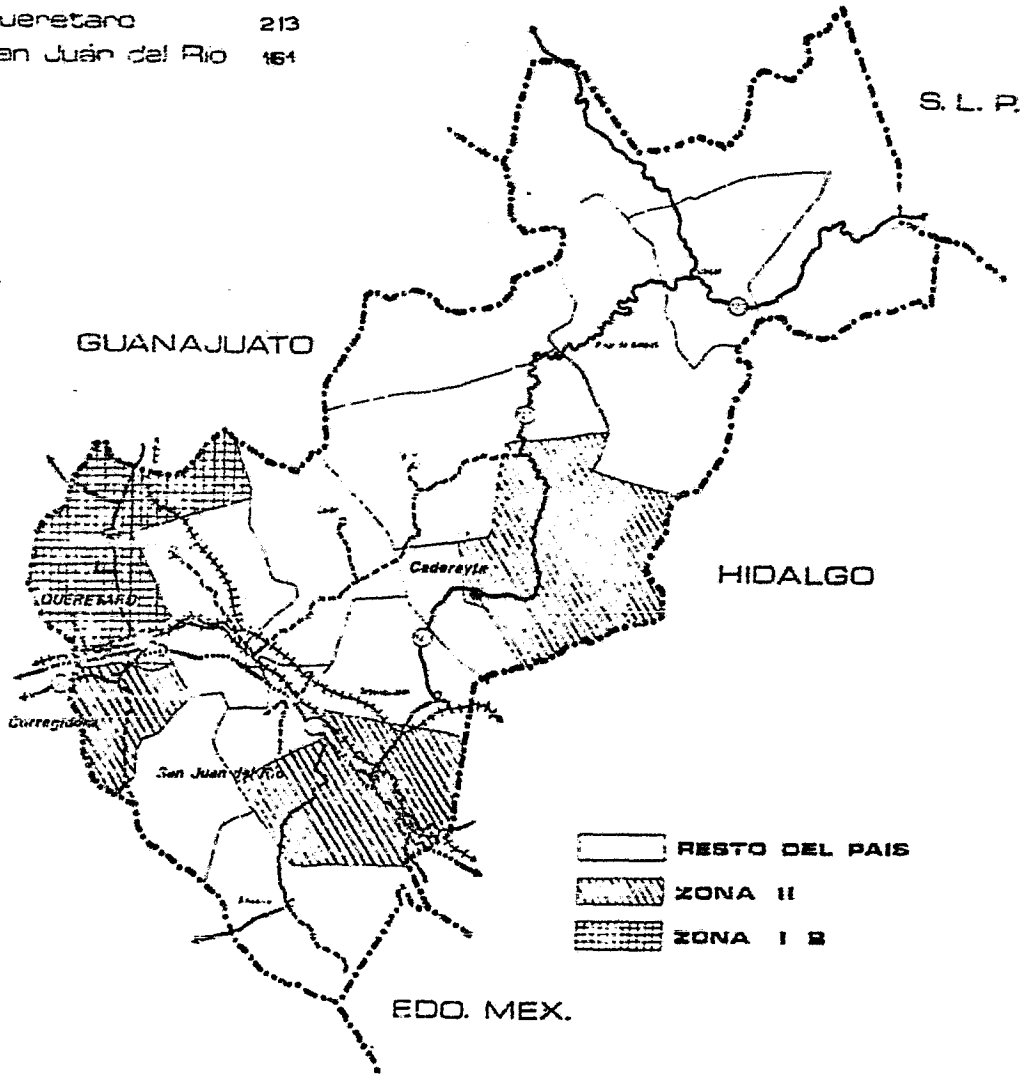
Figura 53

# QUERETARO

## Zonificación para el Desarrollo Regional

DISTANCIA EN Kms. AL D.F.

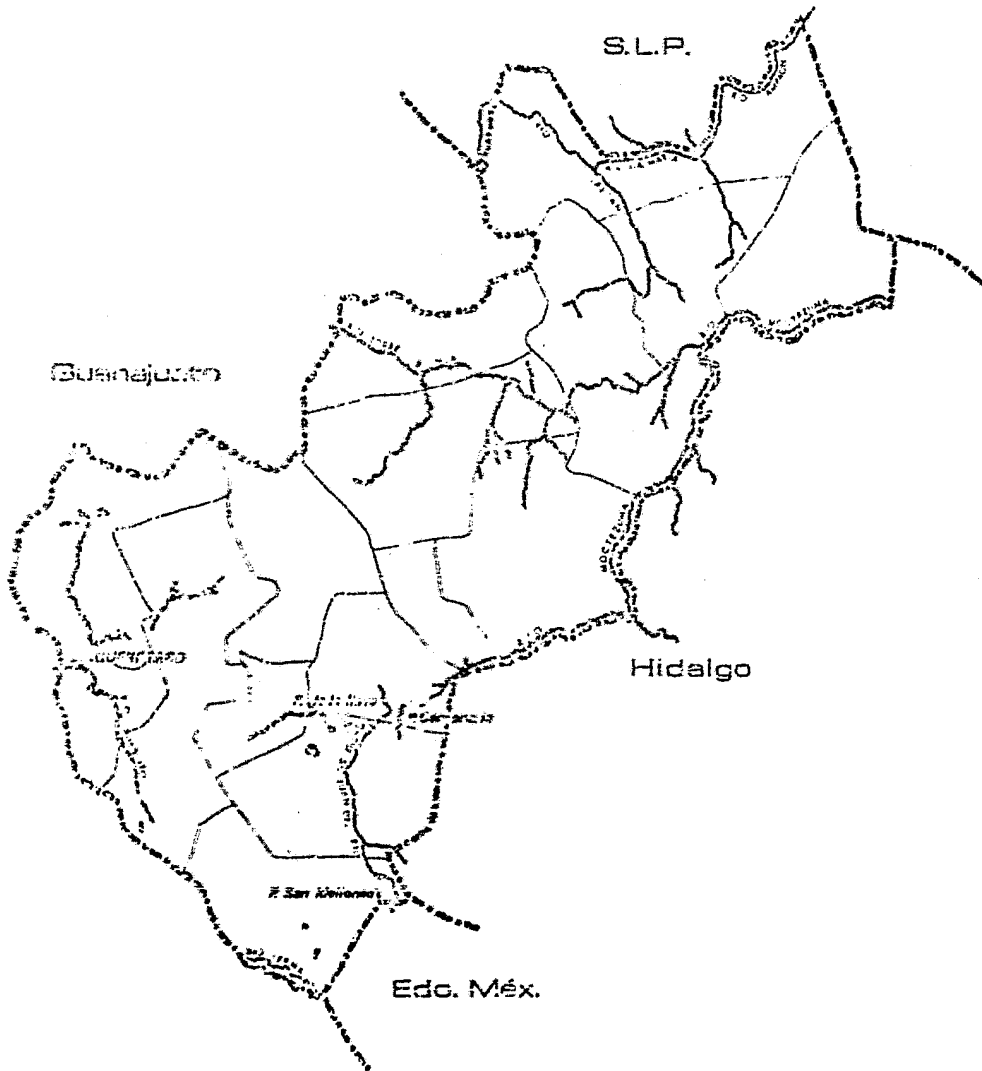
Cadereyta	203
Corregidora	219
Queretaro	213
San Juan del Rio	164



Fuente: NAFINSA - PAI

Figura 54

# QUERETARO HIDROLOGIA



Fuente: NAFINSA - PAI

Figura 55

MUNICIPIOS DEL ESTADO DE QUERÉTARO	SAN JUAN DEL RIO	CADREYTA	CORREGIDORA	QUERÉTARO (ZONA I-B)
Distrito Federal	161 Kms.	203 Kms.	218 Kms.	210 Kms.
DISTANCIA A: Capital Estatal	52 Kms.	94 Kms.	6 Kms.	—
POBLACION 1976	85,000 Habs.	8,000 Habs.	14,000 Habs.	306,000 Habs.
ALTITUD	1,920 Mts. s.n.m.	1,875 Mts. s.n.m.	1,800 Mts. s.n.m.	1,965 Mts. s.n.m.
CLIMA	Semiseco, Semiarido, templado.	Seco, semiarido.	Semiseco, Semicálido.	Semiseco, semicálido.
TEMPERATURA MEDIA ANUAL	19°C.	25°C.	20°C.	20°C.
SALARIO MINIMO URBANO 1981	\$ 150.00.	\$ 135.00.	\$ 150.00.	\$ 170.00.
INCENTIVOS	Los correspondientes a zona II.	Los correspondientes a zona II.	Los correspondientes a zona I.	Los correspondientes a zona I-B.
DISPONIBILIDAD GAS	Hay Distribuidores particulares.	Hay distribuidores privados.	Hay distribuidores privados.	Gasoducto y abundante disponibilidad del energético.
ACCESO POR CARRETERA	Via autop. México-Querétaro y carretera a Tequisquiapan.	Tiene comunicación con San Juan del Río (Autop. México-Oro.) y la carr. a Fco Verde, S.L.P.	6 Kms. a Querétaro y 53 a Celaya.	De México por Autop., Carr. a S.L.P. y Celaya (Bajo)
ACCESO POR FERROCARRIL	Estación del FF.CC. México-Querétaro y México-Tequisquiapan.	La estación del FF.CC. más cercana está en Tequisquiapan.	La estación del FF.CC. más cercana está en Querétaro, a 6 Kms.	Ferrocarril México-Querétaro-S.L.P. y el ramal a Celaya.
PLANTELES EDUCATIVOS	Primarias, secundarias y preparatorias son insuficientes debido al crecimiento cívico.	Hay escuelas primarias y secundarias.	Escuelas primarias saturadas, la educación la absorbe Querétaro.	Existen planteles educativos a todos niveles pero no se alcanza a cubrir la demanda.
SERVICIOS MEDICOS	Clinicas del IMSS, ISSSTE y SSA, también 3 clínicas privadas con 30 camas y 8 médicos.	Existen 88 camas en las clínicas de la localidad (IMSS, ISSSTE y SSA) 13 Médicos.	Clinica de la SSA y cercanía a los servicios médicos de Querétaro, Oro.	Clinicas del IMSS, ISSSTE y SSA, también Cruz Roja y 7 clínicas particulares.
PARQUE INDUSTRIAL	Parque Industrial de FIDEIN-SAHOP.	No hay.	No hay.	Existen 3 parques ind. entre ellos FIDEIN, también el corredor Oro-S. Juan del Río.
PRINCIPALES ACTIVIDADES	Industria de transformación, petroquímica y es importante el cultivo de la vid.	80% de la P.E.A. activ. Primarias, el 40% al comercio y servicios. Benef. del Mercurio.	Explotación agrícola, ganadería, avicultura y pequeña industria.	Industria pesada, mediana y pequeña, comercio y servicios.
DISPONIBILIDAD DE AGUA	5% de carencia, sobre los requerimientos de la población.	20% de carencia sobre los requerimientos de la población.	15% de carencia, sobre los requerimientos de la población.	10% de carencia, sobre los requerimientos de la población.
PLANTA INDUSTRIAL	Vinculada, del vestido, de casas prefabricadas metal-mecánica, empaquetadoras de alimentos, etc.	Mínima, no es representativa.	Agroindustria, Materiales para la construcción.	Diversificada en cuanto a rama y magnitud, predomina Metal-mecánica, alimenticia y bienes de capital.
OPORTUNIDADES DE INDUSTRIALIZACION	En todas áreas pero básicamente en la ind. de la Vid. Agroindustria, del vestido y metal-mec.	En el beneficio del mercurio y minerales, también agroindustria.	Vastas, Agroindustria, textil y metal-mecánica.	Es ideal para la inversión en cualquier rama industrial, especialmente alimenticia y metal-mecánica.
COMENTARIOS	Zona Industrial con óptimas condiciones. Excelente sitio para la inversión. Moderno y bien comunicado con suficiente energía eléctrica, agua y gas natural.	Situado en corredor semidesértico. Terrenos industriales a muy bajo costo.	La cercanía a la Ciudad de Querétaro lo hace muy favorable para la inversión industrial.	Como zona I-B, su cercanía a los princ. centros de consumo, disponibilidad de mano de obra e infraestructura, resulta ideal para la inversión industrial.

96

205

## 6.2. REFERENCIAS.

- 1.- Rudde! Reed.  
Localización, "Lay Out" y Mantenimiento de Planta.  
El Ateneo, 1976.
- 2.- Hoover, Edgar M.  
The Location of Economic Activity.  
Mc Graw-Hill, 1963.
- 3.- DiMatteo Camoirano, Juan José.  
Apuntes de Diseño de Sistemas Productivos.  
Facultad de Ingeniería, UNAM, Febrero 1982.
- 4.- Isard, Walter.  
Location and Space-Economy.  
The M.I.T. Press, 1972.  
Cambridge, Massachusetts.
- 5.- Alternativas para el Desarrollo Regional y la Desconcentración Industrial.  
NAFINSA-PAI (Programa de Apoyo Integral a la Industria Pequeña y Mediana), 1981.
- 6.- Manual de Proyectos de Desarrollo Económico.  
Naciones Unidas.
- 7.- Muther, Richard.  
Systematic Lay-Out Planning.  
Mc Graw-Hill, 1965.



CAPITULO VII

FINANCIAMIENTO.

### 7.1.- INTRODUCCION.

Dentro de los problemas que se enfrentan al hacer el estudio previo a la creación de una empresa, destaca uno que por su importancia es imprescindible contemplar, ya que de su solución depende que la empresa tenga una óptima proyección en el futuro; nos referimos al problema de financiamiento, que constituye invariablemente un factor problemático para el desarrollo de las industrias (6).

Antes de instalar una planta industrial y como parte medular del estudio de preinversión, es de suma importancia analizar las fuentes y procedimientos de financiamiento a los cuales se va a recurrir para la realización del proyecto.

Los planes de inversión de los empresarios son cada vez más numerosos y mejor concebidos. La consultoría ha incorporado en sus actividades la formulación y evaluación de estudios de preinversión y la banca ha -- agregado entre sus servicios normales, el crédito en función de la viabilidad y la capacidad de pago previsible de las empresas (7).

Como parte importante del estudio para la instalación de una planta de fabricación de celdas solares de silicio amorfo, en este capítulo haremos una descripción de las fuentes de financiamiento para la industria que existen en México, analizando su posibilidad de utilización en nuestro proyecto considerando las características particulares que posee este último.

Primeramente, se hará el examen de las características del Programa de Apoyo Integral a la Industria Pequeña y Mediana (PAI) y de las entidades financieras que lo componen. Estas son:

- a).- Fondo Nacional de Estudios y Proyectos (FONEP).
- b).- Fondo de Garantía y Fomento a la Industria Mediana y Pequeña (FOGAIN).

- c).- Fondo Nacional de Fomento Industrial (FOMIN).
- d).- Fideicomiso de Conjuntos, Parques, Ciudades Industriales y Centros - Comerciales (FIDEIN).

Posteriormente, analizaremos las características del Fondo de Equipamiento Industrial del Banco de México (FONEI) y describiremos brevemente sus procedimientos generales de operación, mediante los cuales otorga financiamiento para:

- a).- Equipamiento Industrial.
- b).- Programas de Control de la Contaminación.
- c).- Programas de Desarrollo Tecnológico.
- d).- Estudios de Preinversión.

Se hará también la revisión de los procedimientos de financiamiento de los principales organismos que en este renglón tiene el país, los cuales son Nacional Financiera y Somex. Debido a que estos procedimientos son muy similares en estas dos entidades, solamente se hará la descripción correspondiente a Nacional Financiera. Estos organismos se encargan de apoyar los proyectos más grandes y que requieren de las mayores inversiones.

Debido a la crisis económica existente en el país, los sistemas de financiamiento han modificado sus líneas generales de funcionamiento. Haremos la descripción de los problemas de financiamiento existentes en el momento actual en México, así como de la manera que estos problemas afectan a la industria y en particular al proyecto que nos ocupa.

Presentaremos por último, las posibles alternativas que se podrían tomar para la realización del proyecto de la planta de fabricación de celdas solares de silicio amorfo.

## 7.2.- PROGRAMA DE APOYO INTEGRAL A LA INDUSTRIA PEQUEÑA Y MEDIANA (PAI).

Nacional Financiera, como copartícipe de la acción gubernamental en materia de fomento industrial, ha creado el Programa de Apoyo Integral a la Industria Pequeña y Mediana (PAI). El objetivo central consiste en fortalecer y canalizar de manera coordinada, los apoyos técnicos y financieros que se otorgan a este tipo de empresas, de acuerdo con los lineamientos de política económica señalados por el Gobierno Federal.

### 7.2.1.- CONTENIDO DEL PROGRAMA.

El Programa de Apoyo Integral a la Industria Pequeña y Mediana incluye los servicios que a continuación se mencionan:

- a).- Asistencia Técnica.- Este servicio está a cargo del PAI y de las instituciones INFOTEC-CONACYT (Información Técnica del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología), CENAPRO-ARMO (Centro Nacional de Productividad -- Adiestramiento Rápido de Mano de Obra) e IMIT (Instituto de Apoyo Técnico para el Financiamiento a la Industria).
- b).- Estudios y Proyectos.- Tiene por objeto otorgar crédito en forma directa a los empresarios industriales, para cubrir los costos de la elaboración de estudios de investigación y proyectos cuya finalidad sea una inversión, estudios complementarios, incluyendo especificaciones de ingeniería, planos y diseño final y estudios destinados al mejoramiento de la capacidad administrativa, operacional, productiva y de mercado. Estos créditos se otorgan a través del FONEP (Fondo Nacional de Estudios y Proyectos).
- c).- Créditos.- Por conducto del FOGAIM (Fondo de Garantía y Fomento a la Industria Mediana y Pequeña), se otorgan créditos de habilitación o avío, refaccionarios e hipotecarios industriales.

d).- Garantías de Créditos.- El FOGAIN también maneja un sistema de garantías de los préstamos que otorga la banca, para que la industria pequeña tenga un mayor acceso al crédito.

e).- Aportación de Capital Accionario.- A través del Fondo Nacional de Fomento Industrial, se aporta temporalmente capital social representado por acciones comunes o preferentes y de otros instrumentos financieros convertibles en acciones, en proporción no mayor de una tercera parte del capital social.

f).- Instalaciones Físicas.- Por conducto del FIDEIN (Fideicomiso de Conjuntos, Parques, Ciudades Industriales y Centros Comerciales), se ofrece la venta de terrenos urbanizados y arrendamiento simple o con opción de compra de naves industriales, maquinaria y centrales de servicio. FIDEIN apoya mediante el otorgamiento de créditos para la instalación de industrias en los conjuntos, parques y ciudades industriales.

El PAI se coordina con los siguientes organismos del sector público:

- Fondo Nacional de Equipamiento Industrial (FONEI).
- Fondo Nacional de Fomento para las Exportaciones de Productos Manufacturados (FOMEX).
- Instituto Mexicano de Comercio Exterior (IMCE).
- Consejo de Recursos Minerales.
- Comisión de Fomento Minero.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA).

#### 7.2.2.- POLITICAS DE APLICACION GENERAL PARA LOS SERVICIOS DEL PAI.

El PAI establece las siguientes políticas de observancia general para todos los servicios:

a).- Unicamente atiende a empresas industriales que se dediquen a transformar materias primas en productos terminados y que reflejen en sus estados financieros capitales contables entre los 50 000 y los 60 000 000 de pesos. Conviene precisar que por capital contable se entiende la diferencia entre los recursos propios y los ajenos de la empresa. Tratándose de sociedades mercantiles, el capital contable puede estar representado por el capital social, reservas, aportaciones adicionales, utilidades acumuladas y finalmente, la utilidad o pérdida del ejercicio.

b).- El PAI mantiene como criterio de elegibilidad cuatro aspectos:

- 1.- Ubicación de la empresa.
- 2.- Tamaño.
- 3.- Actividad Industrial.
- 4.- Características Financieras.

#### 7.2.3.- FONDO NACIONAL DE ESTUDIOS Y PROYECTOS (FONEP).

El Fondo Nacional de Estudios y Proyectos (FONEP), otorga créditos para la realización de estudios a los empresarios que deseen conocer anticipadamente los resultados de su inversión.

El FONEP opera directamente con los empresarios que lo requieran, tanto del sector público como del privado.

Los estudios son efectuados por empresas consultoras registradas - en este organismo, que cuenten con la organización adecuada para elaborar proyectos.

Los recursos del FONEP pueden ser utilizados para financiar los siguientes estudios:

a).- Prefactibilidad técnica y económica de programas o proyectos que ten

gan por objeto crear una nueva empresa o ampliar la ya existente.

- b).- Especificaciones de ingeniería y diseño final, previos a la etapa de ejecución de proyectos, cuya viabilidad haya sido demostrada.
- c).- Estudios generales de prefactibilidad de carácter regional, sectorial o subsectorial, incluyendo estudios de cuencas, recursos naturales y humanos e investigaciones aerofotogramétricas.
- d).- Estudios destinados al mejoramiento de la capacidad administrativa, operacional, productiva o de mercado.
- e).- Asesoría directa a los empresarios durante todas las etapas del estudio de preinversión, analizando y evaluando las mejores alternativas para el proyecto.

Los requisitos generales para hacer uso de los servicios que presta el FONEP, son los siguientes:

- a).- La cantidad mínima de los préstamos es de 50 mil pesos.
- b).- En caso de que el empresario industrial seleccione una firma consultora que no esté inscrita en el FONEP, se deberán cumplir con los requisitos establecidos por todas las firmas que se tienen registradas.
- c).- Los sujetos de crédito deberán aportar un mínimo de 5% del costo del estudio.
- d).- Las garantías de los préstamos serán las que se juzguen adecuadas en cada caso.

Los plazos de amortización, incluyendo un período de gracia, varían de 2 a 8 años y son fijados en cada caso de acuerdo con las características especiales de los estudios.

La tasa de interés es de 10% anual sobre saldos insolutos.

#### 7.2.4.- FONDO NACIONAL DE FOMENTO INDUSTRIAL (FOMIN).

El Fondo Nacional de Fomento Industrial (FOMIN), se asocia con las empresas mediante:

- a).- La aportación temporal de recursos como capital de riesgo.
- b).- Crédito-subordinado convertibles.

El FOMIN opera en forma directa con los solicitantes que pretendan obtener recursos financieros. Puede aportar hasta 49% del nuevo capital social de la empresa, incluyendo su propia aportación, mediante la suscripción de acciones comunes o preferentes y vende su participación una vez que la empresa no requiera de su apoyo.

El FOMIN también otorga créditos a largo plazo, sin garantía, con períodos de gracia atractivos y con una tasa de interés hasta cinco puntos abajo de los prevalecientes en el mercado.

Para hacer uso de los servicios del FOMIN, los industriales deberán presentar un estudio económico, técnico, financiero y de organización administrativa. En su caso, el costo del estudio que se menciona se toma en cuenta como aportación de los empresarios.

El FOMIN, como socio minoritario, no dirige la empresa, únicamente participa en el consejo de administración en los términos de la Ley General de Sociedades Mercantiles.

Superada la etapa que dio origen para que el FOMIN participara, sus acciones se ponen a la venta, dando preferencia a los accionistas de la empresa industrial con la que temporalmente se asoció.



#### 7.2.5.- FONDO DE GARANTIA Y FOMENTO A LA INDUSTRIA MEDIANA Y PEQUEÑA.

El Fondo de Garantía y Fomento a la Industria Mediana y Pequeña - (FOGAIN), otorga apoyo financiero y garantías a los pequeños y medianos industriales por conducto de la banca.

Los servicios que ofrece el FOGAIN son:

- a).- Financiamiento.- El FOGAIN concede créditos a los pequeños y medianos industriales por conducto de las instituciones de crédito nacionales.
- b).- Garantías.- Puede garantizar a las instituciones y uniones de crédito hasta un 75% de los créditos de habilitación o avío y/o refaccionarios, cuando el monto total no exceda de un millón de pesos.

Los tipos de crédito que ofrece el FOGAIN son:

- a).- Créditos de habilitación o avío hasta por 8 millones de pesos. Estos préstamos se utilizan para la adquisición de materias primas, materiales o para el pago de salarios del personal de producción.
- b).- Créditos refaccionarios hasta por 11 millones de pesos. Estos préstamos se utilizan para adquirir e instalar maquinaria y equipo; para la compra de inmuebles que necesiten las empresas para sus actividades industriales; y para construir, modificar o ampliar lo que se requiera.
- c).- Créditos hipotecarios industriales hasta por 9 millones de pesos. Estos préstamos se usan para el pago de pasivos a corto plazo.

Cuando se concedan a una empresa más de uno de estos créditos, su importe no deberá exceder de 24 millones de pesos, sin rebasar la cantidad máxima de cada uno de los créditos que se ha mencionado.

Como complemento de actividades crediticias que realiza la banca, FOGAIN puede garantizar créditos para dar un mayor acceso al financiamiento a los empresarios de las industrias pequeñas.

Los plazos para amortizar los créditos fluctúan en la práctica, como se indica: habilitación o avío: de 18 a 30 meses; refaccionarios: de 3 a 6 años; y los hipotecarios industriales: de 4 a 7 años.

Para los efectos de las operaciones del FOGAIN es industria pequeña aquella que cuenta con un capital contable entre 50 mil y 7 millones de pesos. Se considera industria mediana la que cuenta con un capital contable entre 5 y 60 millones de pesos.

#### 7.2. 6.- FIDEICOMISO DE CONJUNTOS, PARQUES, CIUDADES INDUSTRIALES Y CENTROS COMERCIALES (FIDEIN).

El Fideicomiso de Conjuntos, Parques, Ciudades Industriales y Centros Comerciales (FIDEIN), coadyuva a la descentralización industrial, dotando a las empresas de instalaciones físicas y otros servicios.

Realiza actividades en forma directa con los empresarios industriales a través de la venta de terrenos urbanizados y arrendamientos de instalaciones.

El FIDEIN ofrece los siguientes servicios:

- a).- Venta al contado y a plazos de terrenos urbanizados: industriales, comerciales, habitacionales y de servicios.
- b).- Arrendamiento simple y con opción de compra, de naves industriales localizadas en los principales polos de desarrollo así como arrendamiento de maquinaria y equipo.
- c).- Centrales de Servicios.

Para hacer uso de los servicios del FIDEIN, se deben cumplir los siguientes requisitos:

- a).- Tratándose de terrenos, todas las empresas pueden pedir apoyo sin importar tamaño, a excepción de aquellas que sean altamente contaminantes.

- b).- En lo que se refiere al arrendamiento de instalaciones físicas, las empresas deberán tener un capital contable no menor de 50 mil pesos ni mayor de 60 millones de pesos; además:
- Que el propósito sea establecer nuevas empresas o aumentar la capacidad de producción de las ya existentes.
  - Incluir un estudio que refleje la viabilidad del proyecto desde los puntos de vista técnico y económico.
- c).- Tratándose de arrendamiento simple de naves industriales estándares, se deberán anticipar tres meses de renta y cinco en caso de naves especiales. El período de contratación para las primeras será como mínimo 5 años y de 13 para las segundas.
- d).- Para el caso de arrendamiento con opción a compra, se solicitan los mismos anticipos que se mencionan, pero se especificará en el contrato la cantidad que se bonificará por las rentas pagadas en el momento de la compra.

Las tasas de interés varían entre el 15 y el 18.5% anual sobre saldos insolutos.

### 7.3.- FONDO DE EQUIPAMIENTO INDUSTRIAL DEL BANCO DE MEXICO (FONEI).

El Fondo de Equipamiento Industrial (FONEI), es un fideicomiso del Gobierno Federal, administrado por el Banco de México.

#### 7.3.1.- OBJETIVOS DEL FONDO.

El Fondo de Equipamiento Industrial (FONEI) tiene los siguientes objetivos:

- a).- Fomentar la producción eficiente de bienes industriales y de servicios.
- b).- Inducir a las instituciones y organizaciones auxiliares de crédito del país (intermediarios financieros), para que tomen en cuenta la viabilidad de los proyectos de inversión en sus decisiones de crédito.

### 7.3.2.- DISPOSICIONES GENERALES.

Operaciones.- FONEI podrá efectuar las siguientes operaciones:

- a).- Financiar a los intermediarios financieros, préstamos que estos otorguen para la adquisición de activos fijos, para la elaboración de estudios de preinversión y para programas de adaptación, producción, integración y desarrollo de tecnología.
- b).- Realizar operaciones de financiamiento conexas a las mencionadas en el inciso anterior.
- c).- Otorgar su garantía para proteger a los intermediarios financieros - contra los riesgos por falta de pago de los créditos, a que se refiere el inciso (a).
- d).- Otorgar subvenciones a las empresas, en apoyo del desarrollo tecnológico.

Moneda.- Las operaciones activas de FONEI se harán en moneda nacional.

Límites de Crédito.- El monto máximo de los financiamientos que -- otorgue FONEI para cada proyecto o programa será de 200 millones de pesos. Para proyectos de alta prioridad, El Comité podrá otorgar créditos por montos mayores, sujeto a la ratificación del Fideicomitente.

Plazo Máximo.- Atendiendo a las características del caso, el Comité Técnico determinará el plazo y demás condiciones de cada financiamiento. El

plazo máximo a que se podrán facilitar los recursos del FONEI, dependiendo del proyecto, será de trece años, incluido un plazo de gracia. Este, a su vez, no podrá ser mayor de tres años.

Tasa de Interés.- La tasa neta de interés anual, aplicable a los diversos programas de FONEI, será sobre saldos insolutos y estará referida al costo porcentual promedio (CPP) por concepto de tasa y, en su caso, sobretasa de interés, de los pasivos en moneda nacional correspondientes a préstamos de empresas y particulares, depósitos a plazo, excepto de ahorro, así como, en su oportunidad, bonos bancarios del conjunto de banca del país, con base en las estimaciones que elabora mensualmente el Banco de México. El CPP se redondeará al décimo de por ciento más cercano.

La tasa inicial que se aplique será la vigente en el mes inmediato anterior al de contratación del crédito entre la institución y su acreditado y se modificará trimestralmente se es necesario, aun cuando las amortizaciones sean mensuales o trimestrales, conforme a lo establecido en el párrafo anterior.

Diferencial por Descuento.- El diferencial por descuento a favor de las instituciones intermediarias será, en todos los casos, de dos puntos sobre saldos insolutos. Sin embargo, FONEI podrá aumentar ese diferencial en los siguientes casos:

- a).- Hasta en 0.5 puntos de por ciento cuando los intermediarios se hagan cargo de la evaluación de los proyectos, si los activos totales antes de la inversión del proyecto en una empresa existente o los previstos en una empresa nueva son menores de 100 millones de pesos, y en 0.25 puntos cuando los activos superen ese monto.
- b).- Anualmente hasta en 0.25 puntos de por ciento, previa presentación -

a FONEI del o de los informes de supervisión.

En ambos casos, los intermediarios podrán realizar estas tareas con su propio equipo técnico o por medio de consultores externos, previo acuerdo y conforme a los términos de referencia que les fije FONEI.

Lineamientos para los Intermediarios.- La institución de crédito - que actúa como intermediario financiero en los créditos que otorga FONEI se ajustará a los lineamientos básicos siguientes:

- a).- En programas en los que FONEI sólo financie la adquisición de activos fijos, deberá asegurarse que la empresa acreditada contará con recursos suficientes para atender sus necesidades de capital de trabajo.
- b).- No trasladará al acreditado los costos en que incurra por la evaluación y la supervisión del proyecto.
- c).- Salvo por la parte subordinada del descuento, se obligará a cumplir puntualmente con el servicio completo de la deuda a su cargo, independientemente de que la misma reciba o no los pagos de su acreditado. Asimismo, deberá entregar a FONEI, de inmediato, el importe de las recuperaciones anticipadas que llegue a recibir.

Financiamientos Complementarios.- En el financiamiento de los proyectos y programas apoyados por FONEI también podrán participar, además del intermediario financiero, otras instituciones de crédito, proveedores de equipo y, en general, cualquiera otra fuente de recursos.

Aportaciones del Acreditado.- Las aportaciones del usuario final se harán mediante los aumentos del capital social, o a través de generación interna de recursos, durante el período de ejecución del proyecto, en empresas ya establecidas.

Comisión de Compromiso.- FONEI cargará a los intermediarios financieros una comisión de compromiso del uno por ciento anual sobre los saldos no dispuestos. Por su parte, los intermediarios financieros podrán repercutir al usuario final del crédito la misma comisión.

Derechos del FONEI.- En los contratos que celebre FONEI con los intermediarios financieros y en los que éstos suscriban con los usuarios finales de los créditos, se estipulará el derecho del propio Fondo, sin detrimento de los que asistan a los intermediarios para obtener, en todo tiempo, la información que estime adecuada sobre la ejecución de los proyectos o programas; de inspeccionar y supervisar la realización y operación de los mismos y de requerir a los usuarios finales la presentación de sus estados financieros certificados por auditores externos.

Convenios de Coordinación.- FONEI podrá celebrar convenios de coordinación con otros fideicomisos o entidades, para el otorgamiento de sus apoyos a las empresas, en los términos de sus Reglas Generales de Operación.

Límite de Cartera.- FONEI limitará a 5% de sus activos totales, su cartera de créditos por empresa.

Fuentes Alternativas.- FONEI no concederá financiamiento para proyectos o programas que cuenten con fuentes alternativas, adecuadas y suficientes de recursos.

### 7.3.3.- PROGRAMA DE EQUIPAMIENTO.

FONEI podrá financiar (3):

a).- El equipamiento de nuevas plantas industriales y la ampliación, modernización o relocalización de las existentes que correspondan, con eficiencia, a los objetivos nacionales de desarrollo industrial, o cuyos --

productos cuenten con posibilidades razonables de colocarse en el mercado exterior.

- b).- El equipamiento, ampliación o modernización de empresas cuyo objeto sea prestar servicios que generen o ahorren divisas eficientemente.

Por eficiencia se deberá entender, que los costos del proceso de producción hagan posible que los productos o servicios compitan, o lleguen a competir, en cuanto a calidad y precio, con iguales o similares del exterior.

Los recursos del FONEI en este programa deberán dedicarse únicamente a la adquisición de maquinaria, equipos e instalaciones; su acondicionamiento y montaje; la construcción de edificios en que estos se instalen y los gastos preoperatorios.

Para la selección de los proyectos objeto de financiamiento de FONEI en este programa, se considerarán, entre otros, la prioridad de la actividad, la generación o ahorro de divisas, la desconcentración industrial, el desarrollo regional, la creación de empleos, el valor agregado y las tasas de rentabilidad económica y financiera.

Con un mínimo de 4.5 millones de pesos, FONEI financiará la compra de activos fijos en las siguientes proporciones:

- a).- Para proyectos cuyo objeto sea el establecimiento de nuevas empresas, hasta el 65% de los activos fijos del proyecto. El intermediario financiero participará con recursos propios equivalentes, cuando menos, al 15.4% del crédito de FONEI y el usuario final aportará un mínimo del 25% de dichos activos.
- b).- Tratándose de la expansión, modernización o relocalización de plantas existentes, FONEI podrá financiar hasta el 72% de los activos -



fijos del proyecto. El intermediario financiero participará con sus propios recursos una cantidad equivalente, cuando menos, al 11.1% del crédito de FONEI y el usuario final aportará un mínimo del 20% del valor de dichos activos.

- c).- Dentro de su participación, FONEI podrá subordinar su crédito respecto del intermediario financiero, en un porcentaje no mayor del que corresponda al usuario final, cuando se trate de proyectos de alta prioridad de empresas con activos totales no mayores de 100 millones de pesos.

La tasa de interés neta aplicable al usuario final será de dos puntos sobre el CPP, salvo por la parte subordinada del crédito, que será de dos y medio puntos.

Sin embargo, dichas tasas podrán reducirse hasta en 0.25 puntos de por ciento, atendiendo a los costos de los estudios de preinversión en que incurriera la empresa por concepto de contratación de consultores externos aceptables para FONEI.

#### 7.3.4.- PROGRAMA DE CONTROL DE LA CONTAMINACION.

A través de este programa, FONEI podrá apoyar con créditos preferenciales a las empresas establecidas sobre todo en zonas de alta concentración industrial o de población, para la adquisición de los equipos necesarios para el control de la contaminación, debiendo contarse, en lo posible, con la previa opinión de las autoridades competentes.

El financiamiento de FONEI podrá llegar al 90% de los activos fijos, necesarios para el control de la contaminación de la empresa, incluyendo la asesoría técnica. La empresa deberá aportar un mínimo del 10% de la inversión fija.

La tasa neta de interés que los intermediarios apliquen a los usuarios finales, será el CPP.

#### 7.3.5.- PROGRAMA DE DESARROLLO TECNOLÓGICO.

FONEI, dentro de este programa (3), tiene el propósito de apoyar - el desarrollo, investigación y adaptación de medios y procedimientos para la fabricación eficiente de productos industriales, así como el diseño, - construcción y prueba de bienes de capital, incluyendo los prototipos y - plantas piloto.

Los recursos de este programa se dedicarán a renglones tales como: compra de información básica y de ingeniería de proceso, emolumentos del personal, materiales, equipos y servicios, gastos de capacitación, etc., referidos todos al proyecto tecnológico.

FONEI puede conceder su apoyo mediante el otorgamiento conjunto o separado, de crédito y de subvención, de manera que la suma de ambos no exceda del 80% del presupuesto del programa anual de la empresa.

El crédito de FONEI puede llegar al 80% del presupuesto anual que apruebe el empresario, y la empresa deberá aportar en todos los casos, - un mínimo del 20% de dicho presupuesto.

La tasa neta de interés aplicable al usuario final es inferior en tres puntos a la indicada por el CPP.

La garantía de pago de los créditos que FONEI otorga a los intermediarios financieros al amparo de este programa, no es mayor del 90% -- del importe de cada crédito, incluyendo capital e intereses ordinarios.

El intermediario financiero, o en su caso, el empresario o el promotor solicitante de la garantía paga al Fiduciario por una sola vez, el

equivalente a 0.5 puntos de porciento del monto principal del crédito, en la fecha de la firma del contrato de garantía.

En atención a las características de cada caso, el Comité Técnico puede eximir a la empresa del pago de hasta el 75% del crédito, si los resultados del programa no resultan positivos, en cuyo caso decidirá el destino de los bienes y derechos remanentes.

La subvención que otorgue FONEI no deberá exceder del 30% del presupuesto anual que apruebe el empresario, dentro de la partida que anualmente apruebe el Comité Técnico para este renglón del programa.

Para el otorgamiento de la subvención, FONEI toma en cuenta, primordialmente, el carácter prioritario, el grado de riesgo involucrado, el mérito innovativo, la participación de un instituto de investigación o firma de ingeniería nacionales, y el tamaño relativo y la capacidad económica de la empresa.

#### 7.3.6.- ESTUDIOS DE PREINVERSION.

Con el ánimo de apoyar a los empresarios a fundamentar mejor sus decisiones de inversión y sus solicitudes de crédito, FONEI puede conceder préstamos para la realización de estudios de preinversión, cuando se refieran a proyectos susceptibles de ser financiados por el propio Fondo (3).

El financiamiento de FONEI se otorga hasta por el 80% del costo de los estudios. El empresario o promotor debe aportar un mínimo del 20% de dicho costo.

Si el estudio de preinversión da origen a la realización de un proyecto específico, el crédito se consolida con el que, en su caso, llegue a otorgar FONEI para llevarlo a cabo.

FONEI puede otorgar su garantía a los intermediarios financieros, conforme a este programa.

La tasa de interés que aplican los intermediarios financieros en créditos para estudios de preinversión, es inferior en tres puntos al costo porcentual promedio.

Se requiere la aprobación del Comité Técnico o del Fiduciario conforme a las facultades que aquel le delegue, para otorgar todos y cada uno de los financiamientos y las garantías del fondo.

#### 7.4.- NACIONAL FINANCIERA.

Nacional Financiera es el principal organismo de financiamiento del Gobierno Federal. Podemos decir que Nacional Financiera no se ha limitado simplemente como mecanismo de canalización de recursos financieros hacia actividades prioritarias, sino que ha impulsado además, la creación y la modernización de la industria nacional, con objeto de colocarla a niveles de competencia internacional y ha propiciado la adopción de técnicas financieras en la banca que no se limitan al crédito refaccionario, sino que aprovechando las ventajas del financiamiento de proyectos, permitan a la industria crecer al ritmo que demandan las necesidades de nuestra población (8).

El objetivo de Nacional Financiera es proporcionar financiamiento a pequeñas y grandes empresas que lo necesiten, de acuerdo a la importancia que estas tengan para la economía nacional y siguiendo en todo momento, los lineamientos o políticas definidas por el Gobierno Federal de acuerdo a las necesidades del país en un determinado momento.

No se puede hablar de un procedimiento único para el análisis y evaluación de los proyectos de inversión que demandan recursos financieros de Nacional Financiera. Para cada uno de estos proyectos se manejan criterios diferentes para aprobar la concesión de financiamiento dependiendo de una serie de factores como pueden ser (9):

- a).- La disponibilidad de recursos.
- b).- Las características de la empresa que solicita el financiamiento.
- c).- El tipo de bien o servicio que produce la empresa que solicita el financiamiento.
- d).- Las necesidades del país en el momento.
- e).- Las políticas acerca de los renglones prioritarios que deben apoyarse con recursos financieros, dictadas por el Gobierno Federal.

Sin embargo, intentaremos trazar, en líneas muy generales, el camino que se sigue para el financiamiento de un proyecto industrial por parte de Nacional Financiera.

Un proyecto puede ser propuesto por una gran variedad de entidades, como son (9):

- a).- Un empresario o grupo de empresarios mexicanos.
- b).- La compañía poseedora de la tecnología de fabricación ya sea mexicana o extranjera.
- c).- Un empresario o grupo de empresarios extranjeros.
- d).- Una empresa de participación estatal.
- e).- Un organismo del gobierno.
- f).- Un centro de investigación tecnológica.
- g).- Cualquier otra entidad de gran importancia interesada en la instalación de una empresa importante para México.

Antes de que se tome una decisión en el sentido de participar en el financiamiento de un proyecto de inversión o no hacerlo, se forma un equipo de evaluación compuesto generalmente por especialistas tanto de Nacional Financiera como de la entidad que propuso el proyecto, con la finalidad de analizar este último. También pueden participar en la evaluación del proyecto, diversas compañías consultoras en calidad de asesores externos.

Como ya se mencionó anteriormente, los criterios bajo los cuales se concede un financiamiento varían de un proyecto a otro pero en general se puede decir que se utilizan uno o varios de los siguientes puntos a considerar (9):

- 1.- El número de empleos que se van a crear.
- 2.- La substitución de importaciones que se va a generar.
- 3.- La cantidad de divisas que podrían entrar al país vía exportaciones.
- 4.- La independencia tecnológica que se va a obtener del proyecto.
- 5.- La demanda presente y futura de los productos o servicios que se van a obtener.
- 6.- La viabilidad tecnológica para el montaje de la planta de fabricación.
- 7.- La disponibilidad de la tecnología de fabricación del producto.
- 8.- La independencia económica que el país obtiene del proyecto.
- 9.- La importancia que para México tengan los productos que van a generarse en la fábrica a instalar.
- 10.- Las políticas financieras del Gobierno Federal dictadas de acuerdo a las prioridades nacionales del momento.
- 11.- El grado de contribución del proyecto a la formación de la infraestructura industrial del país.
- 12.- La cantidad de importaciones que se deban realizar, tanto para la instalación de la planta como para su mantenimiento en operación.

13.- El atractivo representado por los índices financieros del proyecto y en especial su rentabilidad.

Es importante hacer notar que , en el sistema de evaluación de un proyecto para su financiamiento, Nacional Financiera tiene como política el invitar a los poseedores de la tecnología de fabricación del producto en todo el mundo, para que participen como socios en el proyecto.

Generalmente se forma una terna con los tres mejores candidatos, - se les presentan las condiciones bajo las cuales Nacional Financiera participaría junto con ellos y con un inversionista o grupo de inversionistas mexicanos en el proyecto y se analizan las contestaciones de las compañías en cuestión. Después de un examen minucioso de las características de las corporaciones interesadas en participar, se selecciona al mejor -- candidato.

Nacional Financiera no otorga, prácticamente en ningún caso, un fi nanciamiento para la totalidad de la inversión del proyecto. Generalmente, las condiciones de participación son las siguientes (9):

- Se invita a la corporación poseedora de la tecnología a participar -- con una tercera parte de la inversión total.

- Se invita a un inversionista o grupo de inversionistas particulares - mexicanos para que participen con la tercera parte de la inversión.

- Nacional Financiera, después de haber aprobado el proyecto de inversión, participa con un tercio de la totalidad de la inversión.

En ningún caso se permite que la ~~emp~~ empresa poseedora de la tecnología de producción quede fuera de la empresa que se vaya a crear para el montaje de la fábrica. Esto se hace con la finalidad de que los poseedores de la tecnología no suministren tecnología ya obsoleta, procesos de

fabricación de baja eficiencia o cualquier otro tipo de sistema que no reuna los requerimientos de calidad necesarios para competir a nivel mundial en la rama de producción de que se trate.

Una vez concluido el estudio por parte del equipo de evaluación, se presenta el informe completo al Comité Técnico, formado por directivos de la Gerencia de Proyectos de Bienes de Capital, de la Gerencia de Promoción Industrial, etc., quienes deciden sobre el otorgamiento del financiamiento.

#### 7.5.- PROBLEMAS ACTUALES DEL FINANCIAMIENTO EN MEXICO.

En las circunstancias de relativa bonanza económica de los años pasados, era mucho más fácil que ahora conseguir financiamiento en la banca internacional para la realización de un proyecto industrial. Era suficiente acudir a los bancos de los países del primer mundo para que los industriales mexicanos obtuvieran grandes cantidades con intereses del 10 al 12%, hasta 10 años de plazo y con 2 a 3 años de gracia. Actualmente, debido a la situación económica adversa por todos conocida, la banca internacional ha perdido la confianza en los sistemas industrial y económico de México, por lo cual no es posible obtener financiamiento en el momento presente por este medio (10).

Debido a la crisis anteriormente mencionada, es prácticamente imposible conseguir, por el momento, recursos financieros para la instalación de una nueva fábrica en México.

Actualmente, Nacional Financiera ha gestionado con el Banco Mundial, un crédito especial de emergencia por un monto total de 150 millones de dólares para tratar de sacar adelante la planta industrial del país. Estos fondos serán utilizados principalmente para tratar de termi



nar las plantas actualmente en construcción y que ya tienen un grado significativo de avance. Durante tres a cinco años, el financiamiento para las nuevas fábricas en el país será prácticamente nulo.

Los recursos del PAI, como se ha mencionado, se destinan principalmente a industrias medianas y pequeñas, de acuerdo con la definición mencionada anteriormente. Si embargo, la industria pequeña se considera prioritaria por sí misma sin importar su actividad. Se define a este tipo de empresas como aquellas que tienen un capital contable entre los 50 000 y los 7 millones de pesos. Se considera industria mediana la que tiene un capital contable entre los 7 y los 60 millones de pesos (2).

De lo dicho anteriormente, se desprende que el presente proyecto queda fuera de las posibilidades de obtención de ayuda de FOGAIN y FOMIN; sin embargo, es posible utilizar los servicios de FONEP para el desarrollo de la investigación y el proyecto y de FIDEIN para la adquisición del terreno urbanizado para el montaje de la planta y el financiamiento para la construcción de la nave de la fábrica.

Es conveniente hacer notar que, debido a la situación de crisis que impera en el país y a la escasez de divisas extranjeras, el empresario que necesita comprar maquinaria o equipos importados, requiere autofinanciarse, es decir, busca conseguir por su cuenta los dólares con los cuales comprar sus máquinas y equipos de producción; y posteriormente, mediante la presentación de los documentos que comprueben la compra, solicitar a Nacional Financiera el pago correspondiente al financiamiento inicialmente otorgado por los fondos del PAI.

NAFINSA, SOMEX, y FONEI atraviesan por los mismos problemas de todas las fuentes de financiamiento en México. Sus recursos se han visto dismi-

nuidos por la mala situación económica del país y los que quedan serán destinados a las áreas de más alta prioridad para México de acuerdo a las necesidades que capte la Administración Central.

Analizaremos ahora la posición del proyecto de montaje de una planta de fabricación de celdas solares de silicio amorfo con respecto a los problemas de financiamiento existentes actualmente en México.

#### Ventajas del Proyecto.-

- 1.- Es una inversión que ha demostrado ser aceptablemente rentable.
- 2.- Se produciría una substitución de importaciones.
- 3.- La demanda de los productos fabricados es considerable y es de esperar se que aumente en los años por venir.
- 4.- El proyecto es tecnológicamente viable.
- 5.- Todas las materias primas para la operación de la planta de fabricación pueden obtenerse en México.
- 6.- La compañía norteamericana Chronar, poseedora de la tecnología de fabricación, está dispuesta a participar en el montaje de una planta de fabricación.

#### Desventajas del Proyecto.-

- 1.- Como en México no existe la maquinaria ni la tecnología para la fabricación en gran escala de celdas de silicio amorfo, toda esa maquinaria y tecnología debe ser importada y pagada, como es lógico suponer, en dólares, lo que, tomando en cuenta la escasez de divisas existente en México en los momentos presentes, implicaría un gasto que el país no puede darse el lujo de hacer.
- 2.- Se necesita un muy reducido personal para la operación de la planta, es decir, que este costoso proyecto no tendría una creación significativa de empleos.

- 3.- La crisis reciente en los precios del petróleo hace temer por una falta de conveniencia de las celdas solares.
- 4.- Las fuentes de financiamiento del extranjero tienen suspendidos sus préstamos para inversiones en México.
- 5.- Los organismos nacionales de financiamiento tienen una terrible carencia de recursos lo cual hace imposible la instalación de una nueva fábrica en el corto plazo.

#### 7.6.- ALTERNATIVAS.

Una alternativa que hay que considerar seriamente es la de que la Corporación Chronar participe como socio aportando el máximo porcentaje de la inversión que la legislación mexicana le permita.

Lo anterior llevaría consigo ventajas considerables, como por ejemplo, el hecho de que habría una reducción en la salida de divisas para pago de maquinaria y equipo para la instalación de la planta. Una parte del equipo de producción sería suministrado por la compañía Chronar como contribución a la sociedad que se formaría para la realización del proyecto.

La parte restante de la inversión sigue teniendo la misma problemática ya antes enunciada: la carencia de financiamiento por parte de la banca mexicana, por parte de las fuentes de financiamiento del extranjero y, por otra parte, la falta de interés por parte de los inversionistas particulares para la creación de nuevas industrias debido a la crisis económica generalizada existente en el país.

Finalmente consideraremos la que parece ser la opción más viable para poner en funcionamiento en México una fábrica que produzca celdas fotovoltaicas de silicio amorfo.

Esta opción consiste en desarrollar todo el proyecto en México, sin recurrir a la difícil opción de las operaciones comerciales con el extranjero que involucran la salida de divisas del país, hecho que el Gobierno Federal está tratando de evitar por todos los medios para tratar de sanear la ya maltrecha economía nacional. Lo anterior consistiría en líneas muy generales, en la realización de los siguientes pasos:

Primeramente, debe llevarse al máximo grado posible de desarrollo la investigación teórica y el dominio de la fabricación a nivel laboratorio con el fin de investigar las diferentes técnicas de producción y ver cual es la mejor para ser utilizada en México.

Posteriormente, debe intentarse diseñar una planta de fabricación que de ser posible use únicamente maquinaria y equipo que se pueda construir en México. Se debe diseñar y construir la maquinaria y equipos de producción que se necesitan para el proceso.

Para lograr el mejoramiento del diseño de la planta de producción, se debe mandar personal experto en Ingeniería Industrial, gente con mucha experiencia en procesos de fabricación y que hayan sido previamente preparados en los aspectos relativos a la producción de celdas solares de silicio amorfo, a las plantas de manufactura de este tipo de celdas que ya están en operación en otros países del mundo, con el fin de afinar las partes críticas del proceso y de mejorar en lo posible el sistema de producción diseñado en México.

La maquinaria necesaria para la producción en gran escala de las celdas fotovoltaicas de silicio amorfo consiste básicamente en sistemas similares a los empleados para la fabricación de espejos por lo que su realización en México es perfectamente posible. Los sistemas para trazado -

de patrones por medio de rayos láser y las cámaras para tratamientos térmicos, en las que se forma la capa de silicio amorfo sobre el sustrato, también pueden ser construídos en México.

Los materiales necesarios para la fabricación de las celdas solares de silicio amorfo se fabrican en su totalidad en México, por lo que no se tendría dependencia alguna del extranjero en ese sentido. Como ya se indicó en el capítulo correspondiente a la descripción del proceso seleccionado, estos materiales son: vidrio, para el sustrato de la celda, dióxido de estaño, cintas de aluminio para los contactos de los paneles, talco de aluminio y aglomerantes orgánicos para formar el electrodo posterior y polímeros orgánicos transparentes para el recubrimiento final de la celda. El Disilano ( $\text{Si}_2\text{H}_6$ ) no se fabrica actualmente en México debido a que nadie lo usa, pero la compañía Union Carbide está dispuesta a fabricarlo de inmediato, en cuanto se haga un contrato de compra con algún usuario (12).

Por otra parte, todos los materiales para la construcción del Balance del Sistema (BOS = Balance of System) y los soportes para los arreglos de los paneles fotovoltaicos pueden ser construídos fácilmente en México. Todo el desarrollo tecnológico y los estudios de factibilidad correspondientes bajo este nuevo enfoque pueden ser financiados por el FONEP y por el FOMEI.

#### 7.7.- CONCLUSIONES.

Una parte esencial de todo estudio de preinversión es el análisis económico-financiero. Es fundamental conocer las posibles fuentes de financiamiento y los procedimientos a seguir para conseguir este.

En México, uno de los instrumentos más importantes para proporcio

nar apoyo financiero es el Programa de Apoyo Integral a la Industria Mediana y Pequeña (PAI), el cual fué creado por Nacional Financiera y que consiste de varias entidades, cada una de las cuales tiene por objeto apoyar a la industria en determinadas áreas específicas.

Sin embargo, los recursos del PAI se canalizan fundamentalmente a la pequeña y mediana industria, por lo que nuestro proyecto solamente podría utilizar recursos de FIDEIN y de FONEP.

Otra entidad financiera de enorme importancia es el fideicomiso del Banco de México llamado Fondo de Equipamiento Industrial (FONEI) que proporciona créditos hasta por 200 millones de pesos para equipamiento industrial, control de la contaminación, desarrollo tecnológico y estudios de preinversión.

Nacional Financiera es el principal organismo de Financiamiento del Gobierno Federal. Canaliza grandes recursos financieros para la creación y el mejoramiento de empresas, proporcionalmente a la importancia que éstas tengan para la economía del país. Generalmente participa en las empresas como socio a partes iguales con inversionistas privados mexicanos y con las corporaciones poseedoras de la tecnología que se vaya a utilizar.

México atraviesa actualmente por una crisis económica que se caracteriza por:

- a).- Elevada inflación.
- b).- Gran desempleo y subempleo.
- c).- Crecimiento nulo o incluso negativo del Producto Interno Bruto.
- c).- Escasez notoria de divisas extranjeras.
- d).- Falta de competitividad de los productos mexicanos en los mercados internacionales.

- f).- Caída de los precios internacionales del petróleo.
- g).- Pérdida de la confianza por parte de las fuentes de financiamiento - del extranjero en el sistema económico mexicano.
- h).- Deuda externa extraordinariamente elevada, agravada por la carencia de divisas para pagar.

Debido a todo lo anterior, es prácticamente imposible conseguir financiamiento para la instalación de una nueva fábrica en México.

El proyecto que ocupa nuestro estudio presenta muchas ventajas pero aunadas a grandes desventajas que hacen casi nula la posibilidad de su realización en el momento actual.

Como alternativas posibles tenemos:

- 1.- La participación de Chronar como socio aportando el mayor porcentaje posible de la inversión total.
- 2.- El desarrollo de la totalidad del proyecto en México, incluyendo el - desarrollo de la tecnología y el diseño y construcción del equipo necesario.

Desde cualquier punto de vista que se contemple, nuestro proyecto - tardará varios años para tener posibilidades de ser llevado a cabo, debido a la situación económica desfavorable en la que se encuentra México en estos ~~momentos~~.

7.8.- REFERENCIAS.

- 1.- Banco de México, "Reglas Generales de Operación del Fondo de Equipamiento Industrial", México, 1982.
- 2.- Secretaría de Hacienda y Crédito Público. "Pequeña y Mediana Industrias". México, 1981.
- 3.- Banco de México. "Programas Generales de Apoyo Financiero". México, 1982.
- 4.- Manuel Calderón de la Barca. "Financiamiento de la Industria Eléctrica". México, 1975.
- 5.- Cristina de Ortiz. "El Financiamiento de Proyectos Multinacionales" México, 1977.
- 6.- Bernardo Félix Velasco. "El Financiamiento en México y cómo negociarlo". Grupo Editorial Expansión. México, 1980.
- 7.- Fondo Nacional de Equipamiento Industrial. Informe Anual 1981. Banco de México, México, 1982.
- 8.- Comunicación personal con el Ing. Héctor Barros de la Gerencia de Promoción Industrial de Nacional Financiera.
- 9.- Comunicación personal con el Ing. Raúl Ayuso de la Gerencia de Proyectos de Bienes de Capital de Nacional Financiera.
- 10.- Comunicación personal con el Ing. Ricardo Vidal Valles de Banamex.
- 11.- Comunicación personal con el Lic. Jorge Chávez Presa de la Dirección de Estudios Económicos de Somex.



CAPITULO VIII

ANALISIS ECONOMICO.

### 8.1.- INVERSION REQUERIDA:

Ya establecida la capacidad de la planta, el proceso a utilizar, localización, características de la planta, materiales requeridos y condiciones de financiamiento, se procederá a cuantificar el precio a pagar por la adquisición de todos los activos necesarios en el caso de que se establezca la planta; asimismo, se determina a quien o en donde obtener tales bienes según el caso. Todo esto para determinar posteriormente los análisis económicos adecuados.

#### 8.1.1.- ACTIVO FIJO:

Terreno.- Se requiere un terreno de  $6000 \text{ m}^2$  ( $1200 \text{ m}^2$  para construcción y el resto en previsión de futuras ampliaciones). Este terreno debe localizarse en un parque industrial en la ciudad de Queretaro. El precio de un lote con las características especificadas y en la zona adecuada es de \$ 585.00 por  $\text{m}^2$ , existiendo disponibilidad de lotes en forma amplia. (1).

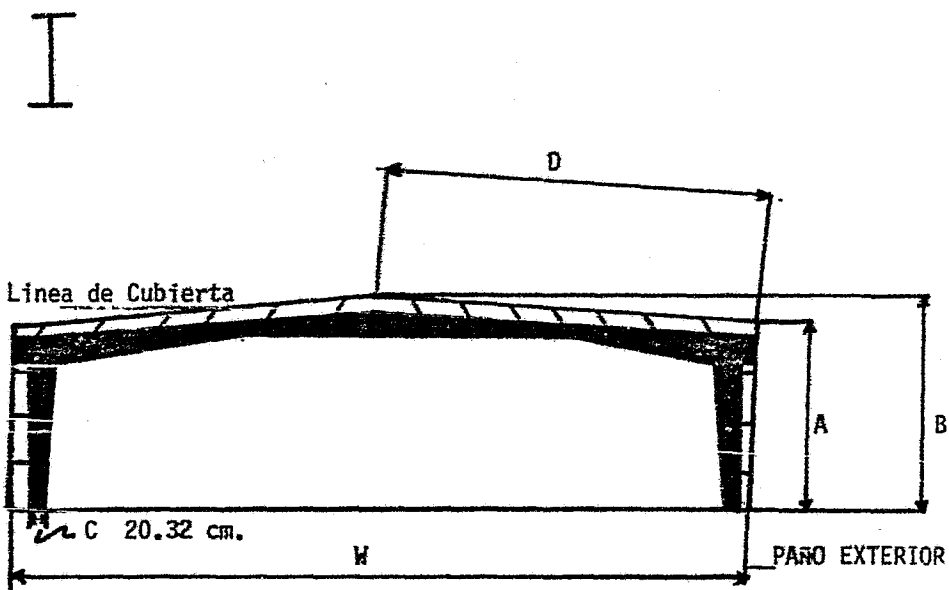
De tal modo, el precio del terreno es  $6000(585) = \$3\ 510\ 000.00$  en moneda nacional y en pesos de Febrero de 1983.

Planta de Producción.- Son necesarios  $1000 \text{ m}^2$  con una instalación adecuada. Empleando una estructura LRF-400 (Butler-Imet), con pendiente de 1:12 (8.33%) y distancia entre ejes de 10 m std., muros cada 1.50m, diseñada a base de marcos rígidos, con columnas y través de sección variable, techo de dos aguas y un solo claro, y cubierta estándar de lámina galvanizada y pintada, se satisfacen los requerimientos necesarios. (2)

La figura anexa representa la naturaleza de la estructura a utilizar.

Figura 56

TIPO  
SECCION



Fuente: Industria Metálica Integrada S.A.

Todos los componentes del edificio (estructura básica, larguero de \_ techo y muros, piezas de conexión <sup>a</sup> contraventeo, cubiertas, ventiladores, \_ puertas, ventanas, aislamientos, selladores y elementos de fijación), se suministran de acuerdo a las especificaciones determinadas en los planos o a parte. El diseño de todas las secciones, roladas o soldadas a base de tres o más placas, se realiza de acuerdo a la última edición del Steel Construction Manual, publicado por el A. I. S. C. (American Institute of Steel Construction), y todos los perfiles de lámina estructural delgada se diseñan de conformidad con lo establecido en las especificaciones para diseño de miembros estructurales de acero, formados de lámina delgada, publicadas por el A. I. S. I. (American Iron and Steel Institute). La soldadura de los componentes se realiza de acuerdo al código para construcción de edificios de \_ la A. W. S. (American Welding Society).

Las dimensiones propuestas de la planta son (cifras redondeadas en cm.)

Tamaño nominal (8014)

Ancho W - 2438.4

Longitud trave D - 1223.1

Con carga viva 40 kg/m<sup>2</sup>

A- 417.2

B- 518.8

C- 20.3

El precio propuesto de esta estructura completa (Febrero de 1983) es de \$ 2 900.00 por m<sup>2</sup>. La realización de la obra tardaría 2 meses aproximadamente, dependiendo de las condiciones climatológicas. (2)

De acuerdo a estas consideraciones, el precio de la estructura completa de la planta de producción es 1000(2900) = \$ 2 900 000.00 MM.

Oficinas- Son necesarios 200 m<sup>2</sup> de construcción para oficinas. Un análisis de la función destinada a esta construcción indica que los materiales adecuados fuesen: losa, ladrillo, muros de concreto, aplanado con mortero, enyesado interior y tirol con plafones. El coste aproximado de esta construcción (1 nivel) sería de \$ 15 000,00 M.N. por m<sup>2</sup> en Febrero de 1983.

El coste total de la oficina es entonces  $200(15\ 000) = \$\ 3\ 000\ 000.00$  M.N. (3).

Maquinaria, Equipo, Instalaciones Auxiliares y Cimentaciones para el área de Producción - Todo este activo se proporciona bajo la supervisión y responsabilidad de Chronar Corporation de Nueva Jersey EE.UU. Las condiciones específicas de esta instalación se establecen a la firma del contrato respectivo, tratado anteriormente.

Los costes complementarios para la instalación y adquisición completa de la línea de producción con capacidad para 2 000 000 Vatios-pico al año en paneles fotovoltaicos de silicio amorfo con una eficiencia de producción del 80% son:

Máquinaria, equipo, servicios auxiliares y cimentación- \$ 3 000 000.00 (dólares americanos).

Capacitación del personal, instalación de maquinaria y equipo, transporte de la misma y pago de permisos, supervisión general y puesta en marcha de la planta- \$ 4 700 000.00 U.S. (Todo bajo la supervisión de Chronar Corp.)

Impuestos de importación - Estimación de acuerdo al tipo de maquinaria en \$. 44 850 000.00 M.N. ( 10% sobre el precio de compra).

Subyeniendo una paridad de 149.5 X 1, los costes totales para estos activos equivalen a \$ 1 196 000 000.00 M.N. (Se supone la obtención de divisas).

Permisos, Gastos de Organización y Otros Gastos - Estimación particular en \$ 3 000 000.00 M.N.

Total de la inversión en activos fijos:

ACTIVO FIJO= 3 510 000 + 2 900 000 + 3 000 000 + 1151 150.000 + 3 000 000 +  
44 850 000 = \$ 1 208 410 000.00 M.N.\*

### 8.1.2.- CAPITAL DE TRABAJO:

Por falta de información acerca de activo y pasivo circulante, se estima el capital de trabajo requerido según al criterio de considerar el monto promedio de compras, inventario de productos en proceso, producto terminado, cuentas por cobrar, cuentas por pagar y caja para un período de un \_\_\_ mes o algún otro período adecuado. (5)

Para realizar las consideraciones propuestas se supone una producción promedio de 2 000 000 Wp al año, mediante 2000 horas de trabajo para obtener 500 mil pies<sup>2</sup> de paneles fotovoltaicos con una eficiencia de conversión de 5% a una eficiencia de producción del 80%. Usando un turno (8 horas, 250 días).

El tamaño de producción considerado es inferior a la demanda determinada en el estudio de mercado para dar un margen de seguridad; la planeación de la producción se supone idealmente en un promedio mensual igual todo el año, trabajando a plena capacidad.

En base a lo anterior, la producción mensual es de  $500\ 000/12=41666.67$  pies cuadrados/mes para una eficiencia de producción del 80%.

Las materias primas necesarias se mencionan a continuación, estable-

---

\* Se han convertido todas las cantidades en dólares a pesos con la paridad mencionada.

ciéndose las fuentes de aprovisionamiento y costos (Se incluyen desperdicios por ineficiencias).

Vidrio- Se requieren  $4\ 207.40\ m^2/mes$ ; para Febrero de 1983, el precio del vidrio de 3 mm. para espejo tiene ligeras variaciones según la compañía proveedora. Un proveedor adecuado es "Suma Cristal" quien vende a \$  $810.00/m^2 + IVA$ .

Según lo anterior, el importe mensual del vidrio es  $4\ 207.4(810)(1.15) = \$3919194.70\ M.N./mes$

Aluminio- Son necesarios  $208.33\ kg/mes$ . En Febrero de 1983, "Mayoristas en Aluminio, S. A." lo ofrece a \$  $529.00\ kg + IVA$ . Entonces, el costo mensual es  $208.33(529)(1.15) = \$ 126\ 739.58\ M.N./mes$ .

$SnO_2$ - Son productores la Compañía Química Industrial Newman S. A., Ferro Mexicana S. A. de C. V., Productos Químicos Monterrey S. A. y Representaciones Técnicas S.A. El precio promedio de venta para Febrero de 1983 es de \$  $1\ 571.54\ Kg + IVA$ . (6)

Se requieren  $4.166\ kg/mes$ , por lo que el costo mensual es de  $4.166(1571.54)(1.15) = \$ 7\ 530.30\ M.N./mes$ .

Silano- Este compuesto no se produce actualmente en México, debido más que a otras causas, a la falta de compradores por no existir una industria nacional de componentes electrónicos que lo demande; sin embargo, las reacciones químicas son conocidas, los procesos de producción también, las materias primas existen en el país y aun existen equipos que pueden producir algunas cantidades de silano ( $Si_2H_6$ ) sin mayor costo adicional. Un estudio de la Facultad de Química de la U.N.A.M. establece lo anterior y concluye que solo es necesario el surgimiento de compradores para la produc-

ción de dicho material.

En Union Carbide de México se puede efectuar a pedido una producción que satisfaga pedidos de la magnitud requerida en este caso, un precio estimado sería de \$ 600.00/gr. + IVA. (7).

Los requerimientos de este material son de 2.083 kg/mes y el costo total es entonces  $1000(600)(2.083)(1.15) = \$ 1\ 437\ 500.00$  M.N./mes en pesos de Febrero 1983.

Polímeros- Pueden ser proporcionados por PEMEX; el polietileno 20P tiene un costo de \$ 23.7/kg + IVA. Requiriéndose 416.67 kg/mes, el costo es de  $23.7(416.67)(1.15) = \$11\ 356.25$  M.N./mes (Pesos de Febrero 1983).

Materiales Indirectos- Se estiman en \$ 625 000.00 al año, es decir \$ 52 083.33 M.N./mes. (incluyendo IVA).

Materiales para Empaque- Dada la fragilidad del producto y el transporte en condiciones rudas hacia las zonas para su instalación el empaque es un factor importante. Se supone un empaque en cajas de cartón para cada panel, de forma similar a las cajas empleadas para los espejos comerciales. El costo estimado es un 10% de los materiales directos al mes; es decir \$ 467 697.2 + IVA = \$ 550 232.00 M.N./mes.

Cálculo del Costo de la Energía Eléctrica- Durante el proceso Chronar se consumen 500 amperios a una tensión de 220 voltios durante 2 000 horas de trabajo para una producción de 10 megavatios-pico a un 80% de eficiencia. Para el caso presente sólo se requiere corriente eléctrica para 2 megavatios-pico al año. Entonces:

500 amperios -----	10 megavatios-pico
X amperios -----	2 megavatios-pico



$X = 100$  amperios.

La potencia aparente es (trifásica):

$$S = 3 V_l I_l = 1.732050808(220)(100) = 38.10512 \text{ KVA}$$

Para un factor de potencia de 0.85:

$$P = F.P.(S) = 0.85(38.10512)$$

La potencia real consumida es de 32 389.35 vatios (Demanda máxima).

La energía anual consumida será  $E_a = 64\ 778.7 \text{ KW.Hr}$  (2000 horas)

La energía mensual consumida será  $64\ 778.7/12 = 5\ 398.225 \text{ KW.Hr}$

El costo de la energía eléctrica esta dado por: (8)

$\text{COSTO TOTAL}_1 = \text{cargos por demanda máxima} + 7.2121(\text{costo de los primeros } 90 \text{ KW.Hr}) + 7.1799(\text{costo de los siguientes } 180 \text{ KW.Hr}) + 7.1344(\text{costo por los KW.Hr. restantes}).$

Donde:

Cargos por demanda máxima =  $(268.932)(7.1596)(\text{demanda máxima}) = \$ 62\ 363.93$

Costo de los primeros 90 KW.Hr =  $1.6002(90)(32.38935) = \$ 4\ 664.6494$

Costo de los siguientes 180 KW.Hr =  $1.5123(180)(32.38935) = \$ 8\ 816.8345$

Costo de los restantes KW.Hr =  $1.4516(5\ 398.225 - 270) = 1.4516(5128.225) = \$ 7\ 444.1314.$

Sustituyendo los valores anteriores:

$\text{COSTO TOTAL}_1 = 62\ 363.93 + 7.2121(4\ 664.6494) + 7.1799(8\ 816.8345) + 7.1344 (7\ 444.1314) = \$ 212\ 419.25 \text{ M. N.}$

$\text{COSTO TOTAL} = \text{COSTO TOTAL}_1 + \text{IVA} + \$ 1.00/\text{KW.Hr} (*)$

$$= 212\ 419.25 + 31\ 862.89 + 5\ 398.23$$

$$= \$ 249\ 680.37 \text{ M.N./mes}$$

El costo por vatio $\dot{e}$  producido será  $249\ 680.37/166\ 666.67 = \$1.498$

---

\* Calculado con la tarifa vigente en 1983.

Sueldos- El personal necesario se establece a continuación; además se incluye el aguinaldo anual y la cuota del Seguro Social.

	SUELDO/MES (9)	TOTAL/MES	AGUIHALDO (20 días)	TOTAL IMSS (mensual)
16 Obreros	\$ 20 000.00	\$ 320 000	\$ 307 200	\$ 30 000
2 Técnicos	\$ 35 000.00	\$ 70 000	\$ 67 200	\$ 6 562.5
1 Administrador Prod.	\$ 70 000.00	\$ 70 000	\$ 67 200	\$ 6 562.5
2 Empleados Mantenim.	\$ 20 000.00	\$ 40 000	\$ 38 400	\$ 3 750.
1 Velador	\$ 30 000.00	\$ 30 000	\$ 28 800	\$ 2 812.5
4 Vendedores *	\$ 14 000.00	\$ 56 000	\$ 53 760	\$ 5 250
1 Gerente General	\$120 000.00	\$ 120 000	\$ 115 200	\$ 11 250
2 Secretarias	\$ 32 000.00	\$ 64 000	\$ 61 440	\$ 6 000
TOTAL		\$ 770 000	\$ 739 200	\$ 72 187.5

El total del IMSS se calcula en base al 9.375% del salario.(10).

Anualmente, el importe de cuotas del IMSS es de \$ 866 250.00 M.N.

El importe de los sueldos se considera en promedio superior a los normales en el mercado con el objeto de la obtención de personal adecuado para su integración a la empresa. Una parte del personal recibe entrenamiento en Nueva Jersey de parte de Chronar Corporation.

Adicionalmente se consideran:

Varios (Telefono, agua, etc.) - \$ 50 000.00 M.N./mes.

Otros Gastos (Imprevistos) - \$ 50 000.00 M.N./mes

Plazo de Pago - Se supone la obtención de parte de los proveedores de un plazo promedio de pago de 30 días.

Plazo de Cobro - Dada la naturaleza del producto, el comprador natural es el gobierno a través de alguna de sus dependencias oficiales, empresas paraestatales y organismos descentralizados.

\* Más comisiones, 2% del total de ventas.

En general, el pago de parte de los organismos mencionados se considera moroso; es por esta razón que se supone un plazo de cobro de dos meses. Esta cifra indica problemas financieros; sin embargo, el no considerarla de esta forma sería poco representativo.

Con las consideraciones expuestas en las páginas anteriores es factible determinar el capital de trabajo de la siguiente manera:

CAPITAL DE TRABAJO= compras mensuales de materia prima y materiales indirectos + producción mensual por una fracción adecuada del costo de manufactura (producto en proceso estimado) + producción mensual por costo unitario total (producto terminado estimado) + caja (sueldos, varios, otros gastos) + ventas mensuales por precio unitario total por plazo mensual de cobro - compras mensuales por precio de compra por plazo mensual de pago. En las cuentas de compras y ventas se incluye el IVA.

Compras mensuales de materia prima y materiales indirectos (incluye IVA)= \$ 6 104 636.00 M.N. Sin IVA \$ 5 308 379.13 M.N.

#### Depreciaciones y Amortizaciones:

Para poder determinar los costos unitarios de fabricación se requiere conocer el monto de depreciaciones. Asimismo, para el coste total se necesita el valor de las amortizaciones de activos diferidos.

De acuerdo al tipo de maquinaria empleada y según las tasas de depreciación para 1983 se considera una tasa del 10% anual para la maquinaria y equipo y un 5% para la planta de producción y el edificio de la oficina.(11). El monto de depreciación para la planta y maquinaria se incluye en el costo unitario de fabricación, ya que "la depreciación debe formar parte de los gastos indirectos de fabricación". (12)

Las amortizaciones se consideran en un 5% anual y junto con la depre-

ciación del edificio de oficinas se considera en los costos totales.

Posteriormente, con objeto de evaluar alternativas, se supondrá que los fondos de financiamiento provenientes de los descuentos a la utilidad fiscal por el monto de depreciaciones y amortizaciones se colocan en un fondo dentro de los activos circulantes destinado al financiamiento de reparaciones y mantenimiento del equipo, de tal forma que la suposición de la producción mensual propuesta no disminuya en el futuro por darse el caso de maquinaria obsoleta o inservible; es decir, los fondos de amortizaciones y depreciaciones se suponen únicamente para mantener el estado de los activos que producen tales fondos, nunca para financiar otras aplicaciones en la empresa.

Cálculo del costo unitario de fabricación:

Producción anual 2 000 000 Wp

Depreciación de maquinaria y equipo - \$ 44 850 000.00 M.N.

Obra manual directa anual\* - \$ 3 840 000.00 M.N.

Materias primas y materiales indirectos (No incluye electricidad ni IVA) \$ 63 700 551.23 M.N./año

Electricidad mensual (sin IVA) \$ 2 613 809.76 M.N.

Depreciación de la estructura de la planta de producción - \$ 145 000.

Aguinaldo de obreros \$ 307 200.00 M.N.

Seguro Social - \$ 360 000.00 M.N.

COSTO UNITARIO DE FABRICACION =  $(44\ 850\ 000 + 3\ 840\ 000 + 63\ 700\ 551.23 + 31\ 365\ 717.12 + 145\ 000 + 307\ 200 + 360\ 000) / 2\ 000\ 000 = \$ 72.2842\ M.N./Wp$

Producto en proceso- Suponiendo un incremento gradual (lineal) del precio del producto durante el mes que tarda su proceso y dando un margen de seguridad; se considera el 75% del costo de fabricación. Entonces, producto en proceso =  $72.2842(.75)(166\ 666.67) = \$ 9\ 035\ 525.181\ M.N.$

\* Se emplea el término "obra manual" por ser adecuado al idioma español. El término "mano de obra" es un barbarismo debido a la traducción literal del inglés "Hand work", pero dada la característica específica, no ideológica, de la lengua de Cervantes, esta traducción no es válida. (12).

**Cálculo del costo unitario total:**

Este valor debe considerarse como una estimación debido a la falta de información respecto a gastos financieros. No obstante, es una aproximación adecuada a un valor para utilización en el cálculo del capital de trabajo.

Costo unitario de fabricación \$ 72.2842

Depreciación de la oficina - \$ 150 000.00

Sueldos anuales (sin incluir obra de mano directa) \$ 5 400 000.00

Aguinaldos (sin obra de mano directa) \$ 432 000.00

Cuotas del Instituto Mexicano del Seguro Social \$ 506 250.00

Gastos varios anuales \$ 600 000.00

Amortización de activos diferidos \$ 37 525 000.00

Otros gastos \$ 600 000.00

Gastos de ventas anuales (Supuesto de \$ 2 000 000 para promoción de los artículos y un 2% de comisión por ventas brutas) \$ 26 000 000.00

**COSTO UNITARIO TOTAL =  $72.842 + (150\ 000 + 5\ 400\ 000 + 432\ 000 + 600\ 000 + 506\ 250 + 600\ 000 + 37\ 525\ 000 + 26\ 000\ 000) / 2\ 000\ 000 = \$ 107.8908\ M.N.$**

Notese que a pesar de algunas estimaciones en los datos, el valor obtenido refleja con un alto grado de certidumbre el costo unitario total de realizarse el proyecto. El equivalente en dólares americanos de este coste es de 0.7217 (149.5 X 1). Comparando este valor a los obtenidos en los Estados Unidos puede concluirse que en materia de costos, la producción de los paneles propuestos es competitiva a nivel mundial.

Producto terminado =  $166\ 666.67(107.8908) = \$ 17\ 981\ 800.36\ M.N.$

Caja =  $50\ 000 + 50\ 000(1.15) + 770\ 000 = \$ 877\ 500.00\ M.N.$

Cuentas por cobrar = Ventas mensuales por precio de venta más IVA por plazo de cobro =  $166\ 666.67(600)(1.15)(2) = \$ 230\ 000\ 000.00\ M.N.$

Cuentas por pagar = compras mensuales más IVA por plazo de pago =  
 $(6\ 104\ 636 + 249\ 680.37 + 50\ 000(1.15) )(1) = \$ 6\ 411\ 816.37$  M.N.

Finalmente, con los datos obtenidos, es posible calcular la inversión requerida:

INVERSION REQUERIDA = ACTIVO FIJO + CAPITAL DE TRABAJO

CAPITAL DE TRABAJO =  $5\ 308\ 379.13 + 9\ 035\ 525.181 + 17\ 981\ 800.36 + 877\ 500$   
 $+ 230\ 000\ 000 + (-6\ 411\ 316.37) = \$ 256\ 791\ 388.30$  M.N.

INVERSION REQUERIDA =  $1\ 208\ 410\ 000 + 256\ 791\ 388.3 = 1\ 465\ 201\ 388.3$

INVERSION REQUERIDA =  $\$ 1\ 465\ 201\ 388.3$  M.N.

## 8.2.- OPCIONES DE INVERSION:

### 8.2.1.- VENTAJAS IMPOSITIVAS:

El establecimiento de la planta en un parque industrial en la ciudad de Queretaro permite la obtención de ventajas impositivas mediante certificados de promoción fiscal (CEPROFI), pues esta localidad forma parte de la zona considerada como de desarrollo urbano industrial (I-B) dentro de la zona I, de estímulos preferenciales determinada por el gobierno federal.

Las ventajas impositivas consisten en un 20% de la inversión y otro 20% del salario mínimo anual de la zona por cada empleo generado (válido solo por 2 años).

En el caso de la empresa propuesta se generarían 29 nuevos empleos y el monto de los CEPROFI por este concepto (considerando un salario mínimo de \$ 454,00 M.N/día) es de \$ 961 118.00 M.N. El monto de las ventajas debidas a la inversión se considera en cada opción que se propone.

### 8.2.2.- FINANCIAMIENTO:

Anteriormente se ha explicado claramente que este aspecto genera una seria limitante para el momento presente sobre la factibilidad de la realización del proyecto.

La poca disponibilidad de efectivo para crédito de parte de las instituciones oficiales de financiamiento, aunada a la política crediticia vigente en 1983 permiten determinar con seguridad que el financiamiento posible se limita únicamente a un préstamo hipotecario para la adquisición del

terreno y construcción de la planta. Este préstamo es por parte de NAFINSA, sus condiciones son las siguientes: 80% del monto de las construcciones y 100% del monto del terreno, pagadero en 5 años a un interés del 30% anual.

Financiamiento adicional es poco probable. Dentro del país es casi imposible dada la naturaleza de la empresa. En el extranjero es aún más improbable además de sumamente riesgoso.

En base a lo anterior, se analizarán las opciones de inversión que se consideran probables considerando únicamente la existencia del préstamo hipotecario mencionado.

#### 8.2.3.- NECESIDAD DE DIVISAS:

Otra limitante sería para la factibilidad de este proyecto consiste en la necesidad de disposición de una parte importante de la inversión requerida (\$ 7 700 000.00 U.S.) en divisas extranjeras. Aún teniendo un capital en moneda nacional equivalente al requerido por parte de alguna persona dispuesta a invertir en este proyecto, no se podría garantizar la obtención de las divisas necesarias dentro del mercado nacional, debido a las características de escasez y las políticas en la materia.

#### 8.2.4.- OPCIONES DE INVERSIÓN:

Las consideraciones expuestas hasta aquí no han podido determinar una carencia de factibilidad para el proyecto en cuanto a demanda, factibilidad técnica y localización. Sin embargo, se ha encontrado 2 serias limitantes hacia el proyecto, suponiendo su realización en el momento presente: Financiamiento y obtención de divisas. La influencia de estos dos factores no determina por sí misma la factibilidad o no del proyecto; no obstante, limita



seriamente las posibles opciones para su realización (financiamiento) y condiciona definitivamente su viabilidad (necesidad de divisas).

Con las limitaciones expuestas sólo se consideran posibles las siguientes opciones:

# Una inversión que comprenda el monto total del capital (excepto el pequeño p estamos considerado) de parte de accionistas nacionales. Esta opción esta condicionada a la obtención de divisas para el pago de instalación y tecnología. Además, requiere del pago de patentes a Chronar Corporation del 5% sobre el total de las ventas brutas anuales.

Juzgando a priori, esta opción parece poco apropiada. La falta de divisas parece determinante y la carencia de financiamiento y el pago de patentes condicionan la rentabilidad. A pesar de esto, y con objeto de tener algún criterio de evaluación más apropiado, se efectuarán los análisis económicos adecuados.

## La segunda opción consiste en una inversión conjunta, entre accionistas nacionales y Chronar Corporation (4). Esta inversión es obviamente más ventajosa que la anterior. De realizarse, las divisas necesarias serán proporcionadas por Chronar Corporation y se eliminaría el pago de patentes del 5% sobre ventas brutas. Esta opción estaría condicionada a la aceptación de formar sociedad de parte de Chronar Corp., caso que se considera factible si existiesen accionistas nacionales dispuestos a arriesgar su capital; en las comunicaciones respecto a la venta de tecnología fotovoltaica de parte de la empresa americana se reitera la viabilidad de esta opción de inversión.

### Invertir a futuro. Las condiciones actuales de la economía nacional implican una exigencia de rendimientos relativamente altos y alto riesgo

para la inversión de capital. La demanda de dispositivos fotovoltaicos en el país se considera amplia y adecuada para una inversión a futuro, incluso en el mediano plazo. En el momento en que se redujera la tasa inflacionaria del país con la reactivación económica, los intereses de la banca y bolsa bajarían haciendo menores las exigencias de rentabilidad de parte de los inversionistas, el riesgo de inversión disminuiría al aumentar la seguridad social y pudiese, tal vez, disponerse de créditos baratos y de divisas que simplificarían la inversión.

Esta opción parece más adecuada, aunque podría descartarse en el caso de que las dos anteriores resultaran factibles y rentables. El elegir este camino permitiría una opción alterna consistente en no invertir si la situación económica se deteriorará en el corto plazo.

### Finalmente, existe una cuarta opción. Esta última sería factible en un mediano plazo e implica un estudio adicional; aunque resultaría más rentable y viable en el caso de tenerse factibilidad tecnológica, pudiéndose contar, además, con crédito adecuado a pesar de la situación adversa de la economía y de independencia de divisas extranjeras.

En general, esta ruta busca la creación de una tecnología para la fabricación de las celdas fotovoltaicas expuestas, a nivel competitivo dentro del territorio nacional y únicamente con elementos nacionales; es decir, cumpliendo las exigencias de precio, volumen de producción y eficiencia de conversión. Esta tecnología debe ser desarrollada con elementos humanos y maquinaria nacional integrada conjuntamente al proceso. De lograrse, se obtendría una empresa con menores requisitos de inversión y por lo tanto independiente de la obtención de divisas, enmarcada además dentro de las empresas adecuadas para la obtención de crédito de parte de las instituciones estata-

les de crédito industrial.

Se propone esta opción en base a la similitud que existe entre la industria de la producción de espejos y la fotovoltaica, que hace factible la adecuación de una gran parte de equipo ya existente en el país a la producción de los paneles fotovoltaicos; debiéndose desarrollar entonces, únicamente una parte de la tecnología, aquella específica al crecimiento de películas semiconductoras de silicio amorfo.

A pesar de las ventajas propias de esta opción, que superan notablemente a las otras alternativas; su factibilidad es más difícil de determinar. Se requiere de un estudio adicional respecto a factores tecnológicos, sus necesidades concretas y posibilidades. En base a dicho estudio, se determinaría el personal adecuado, comenzándose la capacitación y el desarrollo tanto en el país como en el extranjero; buscando realizar contacto con la tecnología empleada y su asimilación mediante todos los métodos que pudiesen servir sin importar riesgos. Posteriormente, seguiría el desarrollo de un proceso con tecnología mexicana, pruebas de laboratorio, pruebas en plantas piloto y la inversión final en caso de pasar todas las pruebas.

Esta opción, en el caso de tomarse la decisión de seguirla, no garantiza éxito; exige una inversión presente y futura para la capacitación y desarrollo que puede ser relativamente alto y que pudiese perderse en su totalidad. Además, el proyecto sería factible como mínimo en un mediano plazo.

#### Puede hablarse de otra opción, aunque prácticamente no es una inversión, consiste en la decisión de no invertir en el proyecto propuesto. Esto en base a que las opciones propuestas no sean adecuadamente rentables o poco probables además de riesgosas.

### B.2.5.- ANALISIS DE LAS OPCIONES:

A continuación se pretende determinar la tasa de retorno para las primeras opciones propuestas, todo esto con el objeto de tener algun valor para evaluar las alternativas. Al realizar esta comparación se determinará la mejor opción y se obtendrán algunos otros índices significativos.

Debe notarse que los cálculos que a continuación se presentarán se realizan considerando precios y costos en pesos de Febrero de 1983. Es decir, se usan unidades monetarias idealmente constantes con objeto de simplificar los cálculos y evitar errores de apreciación debido a estimaciones a futuro de inflación, dada a la magnitud de este factor y su influencia sobre la información utilizada.

El período de análisis comprende desde el momento presente, suponiendo el comienzo de la instalación de la planta, hasta el fin del año 1995, año en que se depreciaría completamente la maquinaria de acuerdo a un cálculo de depreciación lineal del 10% anual (único permitido por la SHCP).

De la misma forma que se suponen precios constantes, se supone que los márgenes entre costos y precios (ingresos) permanecen constantes; es decir, se considera por ejemplo, que si algún insumo aumentase en un porcentaje todos los demás elementos aumentarían en ese mismo porcentaje de tal forma que los márgenes se conserven en la misma proporción.

Estas consideraciones son ideales, pero para un fin práctico como es la búsqueda de tasas de retorno para comparación entre alternativas y determinación de factibilidad de las mismas puede considerarse que proporcionan resultados representativos con un alto grado de confianza a la vez que simplifican los cálculos, que de otra manera sería necesario realizar mediante pronósticos a futuro de cada uno de los elementos considerados asocián-

dolo a un nivel de confianza que dada la magnitud del período considerado (13 años) sería relativamente bajo.

Con miras a determinar la factibilidad de una opción, se considera adecuada cualquiera que obtenga una tasa de retorno a costos constantes de más de un 14%\*. Este valor considerando los riesgos del capital y los rendimientos netos a valor constante de otros proyectos de inversión u otras inversiones ya existentes.

Debe hacerse notar que las tasas de retorno que se buscan obtener no pueden ser comparadas directamente con los rendimientos netos que otorgan los valores bancarios o los CETES, pues estas inversiones no utilizan pesos constantes y por lo tanto su evaluación esta sujeta a las consideraciones sobre los índices de precios, cosa no adecuada para evaluar tasas de retorno mediante pesos constantes.

Se supone el comienzo del proyecto en Abril de 1983. Siendo el principio de la producción en Enero de 1986 a una capacidad de producción de 2 millones de Vatios-pico anuales con ventas de \$ 600/Wp (Precio considerado como tope para el momento presente dada la naturaleza de los precios de celdas fotovoltaicas en el mercado internacional, entendiéndose que cualquier aumento en el precio pudiese determinar la importación de los productos en vez de su producción en el país. Las depreciaciones y amortizaciones se mantienen en un fondo para financiamiento del equipo de producción, de tal forma que el nivel de producción no se vea afectado por deterioro en la maquinaria empleada.

Los pasos a seguir para el arranque de la planta se han determinado en el capítulo "Descripción de la Planta". En base a ese programa se determinan las fechas para la inversión en activos que aparece a continuación.

\* Este rendimiento, a pesos constantes, es adecuado incluso en economías como la norteamericana al considerar rendimientos bancarios menos inflación.

Anticipo a Chronar Corporation - Junio 1983 ( \$ 1 000 000.00 U.S.)

Licencias y Permisos - Junio 1983 ( \$ 2 000 000.00 M.N.)

Terreno - Julio 1983 (Préstamo hipotecario de \$ 3 510 000.00 M.N., pagadero en 5 años a un interés anual del 30% )

Obra civil - Agosto 1984 (Préstamo hipotecario de \$ 4 720 000.00 M.N con las mismas condiciones más aportación del restante \$ 1 180 000.00 M.N.)

Segundo pago a Chronar Corp. - ( \$ 6 700 000.00 U.S. por maquinaria, equipo, instalación, supervisión , etc. más \$44 850 000.00 M.N. por impuestos de importación)

Resto del monto de la inversión - Diciembre de 1985

\*\* Deben de aportarse las cantidades respectivas a los intereses para los años de 1984 y 1985.

Debido a la consideración de los préstamos, el monto de la inversión requerida se reduce a \$ 1 460 493 388.3 M.N. (incluyendo el pago de los intereses para los años mencionados). Para efectos de cálculo de la tasa de retorno, por definirse esta para un período anual capitalizable en dicho período, se engloban los pagos en cada año y se consideran al final del mismo. Así pues, las aportaciones quedan de la siguiente manera:

1983 - 149 500 000 (anticipo) + 2 000 000 (permisos) + (3510000)(prestamo)

1984 - 1 047 680 000 + 1 053 000(interés) + (4 720 000)(prestamo)

1985 - 257 791 388.3 + 1 416 000 + 1 053 000.

#### 8.2.5.1.- Inversión Total de Parte de Accionistas Nacionales:

\* Esta opción condicionada a la obtención de \$ 7 700 000.00 U.S. -

\*\* Se considera a los gastos financieros en pesos constantes, dada la mínima parte de los egresos que significan y como un margen adicional en la eva

luación de las alternativas.

Con la información determinada es posible construir el balance proforma para el 31 de Diciembre de 1985. (pesos de Febrero 1983).

ACTIVO CIRCULANTE		PASIVO	
Caja y Bancos	256 791 388.3	Cuentas por Pagar	0
Cuentas por Cobrar	0	IVA	0
Inventario Mat. P.	0	Prestamo Hipotecario	8 230 000
Producto en Proceso	0		
Producto Terminado	0	TOTAL PASIVO	8 230 000.00
IVA	0		
TOTAL ACTIVO C.			
ACTIVO FIJO		CAPITAL	
Terreno	3 510 000.00	Capital Social	1 460 493 388.30
Planta de Produc.	2 900 000.00	Reservas	0
Oficinas	3 000 000.00	Utilidades Retenidas	0
Maquinaria y Equipo	448 500 000.00	(Retiro de Fondos)	0
(Depreciación Acum)	0	Utilidad Ejercicio	0
TOTAL ACTIVO F.	457 910 000.00		
		TOTAL CAPITAL	1 460 493 388.30
OTROS ACTIVOS			
Gastos de Org.	3 000 000.00		
Gastos de Inst.	747 500 000.00		
(Amortización)	0		
Otros Gastos	3 522 000.00		
TOTAL OTROS ACT.	754 022 000.00		
TOTAL ACTIVOS	1463 723 388.3	TOTAL PASIVO + CAPITAL	1 468 723 388.30

A continuación se presentan los estados de resultados proforma para esta opción. Se define a cada uno del 1<sup>o</sup> de Enero al 31 de Diciembre del año indicado al tope de la columna respectiva. Se emplean las consideraciones especificadas.

Por concepto de ventajas impositivas, se obtiene un descuento del pago del impuesto sobre la renta para el primer año de operación por un monto de \$ 294 705 795.70 M.N. (pesos Febrero 1983).

Los gastos de administración se calculan de la siguiente manera:

Sueldos	5.4	
Aguinaldos	0.432	
Cuotas del IMSS	0.50625	
Depreciación de oficinas	0.15	
Amortizaciones	37.525	
Varios	0.6	
Otros gastos	<u>0.6</u>	
Total (millones)	45.213	(redondeo a tres cifras)

El costo de lo vendido se obtiene al multiplicar el coste de fabricación determinado por el número de Wp vendidos.

Otros gastos es debido al pago de patentes a favor de Chronar Corp.

El Impuesto sobre la renta se calcula en base al 42% de la diferencia entre una utilidad fiscal de 210 000 y la obtenida en el estado de resultados más 210 000. El reparto de utilidades en base al 8% de la utilidad fiscal. (11).

Todas las cantidades que aparecen en los estados de resultados proforma se consideran en millones de pesos.



	1986	1987	1988	1989	1990	1991
VENTAS BRUTAS	1 200.000	1 200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000
COSTO DE LO VENDIDO	144.568	144.568	144.568	144.568	144.568	144.568
UTILIDAD BRUTA	1 055.432	1 055.432	1055.432	1055.432	1055.432	1055.432
GASTOS ADMINISTRACION	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213
GASTOS DE VENTAS	26.000	-26.000	26.000	26.000	26.000	26.000
GASTOS FINANCIEROS	2.469	2.469	2.469	1.416	0.000	0.000
UTILIDAD DE OPERACION	981.750	981.750	981.750	982.803	984.219	984.219
OTROS GASTOS	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
UTILIDAD FISCAL	921.750	921.750	921.750	922.803	924.219	924.219
IMPUESTO SOBRE RENTA	387.257	387.257	387.257	387.699	388.294	388.294
(VENTAJAS FISCALES)	294.706	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REPARTO UTILIDADES	73.740	73.740	73.740	73.824	73.938	73.938
UTILIDAD NETA	755.459	460.755	460.755	461.280	461.987	461.987

Los estados de resultado proforma para 1992, 1993, 1994 y 1995 son idénticos al propuesto para 1991.

Con esta información se puede construir el balance proforma para el 31 de Diciembre de 1986. (Millones de pesos Febrero 1983).

ACTIVO CIRCULANTE		PASIVO	
Caja y Bancos	925.503	Cuentas por Pagar	6.412
Cuentas por Cobrar	230.000	IVA	180.000
Fondo Depreciación y Amortizaciones.	82.670	Prestamo Hipotecario	8.230
Materia Prima	6.105		
Producto en Proceso	9.036		
Producto Terminado	17.982	TOTAL PASIVO	194.642

IVA	10.036
TOTAL ACTIVO C.	<u>1 281.332</u>

## ACTIVO FIJO

Terreno	3.510
Planta Producción	2.900
Oficinas	3.000
Maquinaria y Equipo	448.500
(Depreciación Acum.)	<u>(45.145)</u>
TOTAL ACTIVO F.	412.765

## CAPITAL

Capital Social	1 460.493
Reservas	0.000
Utilidades Retenidas	0.000
(Retiro de Fondos)	0.000
Utilidad Ejercicio	<u>755.459</u>
TOTAL CAPITAL	2 215.952

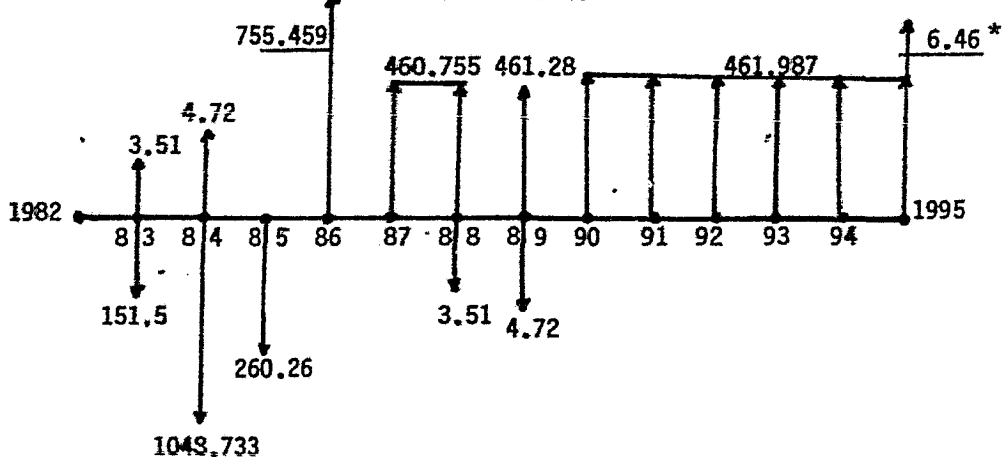
## OTROS ACTIVOS

Gastos Organización	3.000
Gastos Instalación	747.500
(Amortización)	<u>(37.525)</u>
Otros Gastos	3.522
TOTAL OTROS ACTIVOS	716.497

TOTAL ACTIVOS 2 410.594

TOTAL PASIVO + CAPITAL 2 410.594

El diagrama que muestra los flujos de caja para la determinación de la tasa de retorno se muestra a continuación:



\* Valor de En libros para el terreno y las construcciones.

Para evaluar la tasa de retorno se emplea la siguiente ecuación:

$$0 = \text{Valor Presente} = -147.99 - 1044.013(P/F, i, 1) - 260.26(P/F, i, 2) + 755.459(P/F, i, 3) + 460.755(P/F, i, 4) + 457.245(P/F, i, 5) + 456.56(P/F, i, 6) + 461.987(P/F, i, 6)(P/A, i, 6) + 6.46(P/F, i, 12).$$

Esta ecuación se resuelve mediante el método de aproximaciones sucesivas, prueba y error. Para su solución se empleó una microcomputadora TIMEX-SINCLAIR 1000. El programa empleado, en BASIC para dicha máquina, se muestra a continuación:

```

10 REM * CALCULO DE LA TASA DE RETORNO *
20 LET A$="VALOR PRESENTE"
30 LET B$="TASA DE RETORNO"
40 PRINT A$,B$
50 LET A=1
60 LET B=0
70 LET I=A
80 LET W=1+I
90 LET V= -147.99 -1044.013/W-260.26/W**2 + 755.459/W**3 + 460.755/W**4 +
457.245/W**5 + (456.56 + 461.987*(W**6-1)/(I*W**6))/W**6 + 6.46/W**12
100 PRINT V,I
110 IF V < 0 THEN LET A=I
120 IF V < 0 THEN LET I=I-(A-B)/2
130 IF V > 0 THEN LET B=I
140 IF V > 0 THEN LET I=I+(A-B)/2
150 GOTO 80

```

Al correr el programa se obtuvieron los resultados siguientes:

<u>VALOR PRESENTE</u>	<u>TASA DE RETORNO</u>
-0.000011205673	0.26289487

Este valor significa que la tasa de retorno anual para la opción considerada es del 26.289487 %. El monto de esta cantidad, de acuerdo a los criterios establecidos, justifica la inversión pues es sumamente rentable. Una tasa de retorno a valores constantes de 26% es superior a los rendimientos normales en los Estados Unidos y muy por encima de los rendimientos del mercado nacional.

A pesar de la alta tasa de retorno, esta alternativa esta condicionada a la obtención del monto total de la inversión determinada de parte de accionistas nacionales y de la obtención del monto especificado en divisas americanas.

Si se toma el balance proforma para el 31 de Diciembre de 1986, puede concluirse, en base a indices financieros lo siguiente:

INDICE DE LIQUIDEZ	=	6.874
PRUEBA ACIDA	=	6.696
PASIVO A CAPITAL	=	0.081
RENTABILIDAD	=	51.73 %

El indice de liquidez es anormalmente alto, aun descontando los inventarios se tiene un indice muy alto (prueba ácida). Estos indices muestran en forma clara que la capacidad de endeudamiento de la empresa no se utiliza, debiendo financiarse casi exclusivamente del capital y utilidades obtenidas. Si se pudiese obtener algún préstamo con un interés apropiado, mejoraría la situación de la empresa o incluso sería más fácil su realización al disminuir el monto de inversión requerida.

Lo anterior es corroborado por la razón de pasivo a capital, sólo el 8.1% de la inversión se ha financiado con recursos externos. El margen para un endeudamiento futuro es muy amplio. La situación financiera de la empresa, en caso de realizarse el proyecto según esta alternativa, sería muy holgada y poco susceptible de caer en problemas.

Sin embargo, la aplicación-casi exclusiva de financiamiento por parte de recursos propios no es muy apropiada, pues podría dedicarse esos fondos a aplicaciones más rentables si se consiguiera un préstamo adecuado.

La rentabilidad obtenida, puede interpretarse como muy apropiada; el valor resultante es adecuado incluso si se considerasen unidades monetarias variables. Para que este valor no fuera aceptable, los rendimientos bancarios netos anuales deberían mantenerse en un mínimo de 50% aún para 1986. Este valor es muy poco probable, máxime si existe una estrategia que tiende a reducir el alza en el nivel de precios.

Con el valor de la tasa de retorno es posible evaluar la opción presente respecto a las demás propuestas. A continuación se procede a evaluar la segunda alternativa propuesta para compararla a la pasada y decidir cuál es la más ventajosa.

#### 8.2.5.2.- INVERSION CONJUNTA CON CHRONAR CORPORATION

Esta opción es independiente de la obtención de las divisas necesarias pues estas se proporcionan de parte de la compañía americana.

El balance proforma para el 31 de Diciembre de 1985 de la alternativa pasada es válido también para la presente opción.

En los estados de resultado únicamente varía el renglón denominado "OTROS GASTOS", pues el pago de patentes a Chronar Corporation no es válido

para esta inversión.

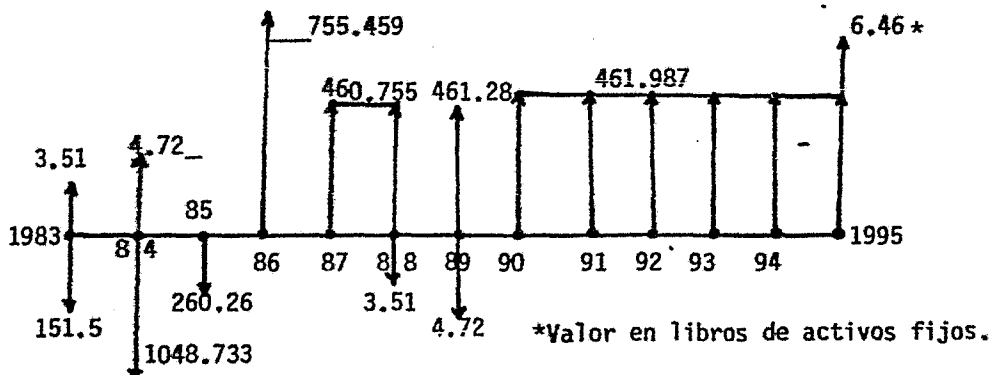
Los estados de resultado proforma se presentan a continuación:

	1986	1987	1988	1989	1990	1991
VENTAS BRUTAS	1 200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000
COSTO DE LO VENDIDO	144.568	144.568	144.568	144.568	144.568	144.568
UTILIDAD BRUTA	1 055.432	1055.432	1055.432	1055.432	1055.432	1055.432
GASTOS ADMINISTRACION	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213
GASTOS DE VENTAS	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000	26.000
GASTOS FINANCIEROS	2.469	2.469	2.469	1.416	0.000	0.000
UTILIDAD DE OPERACION	981.75	981.75	981.75	982.939	984.355	984.355
OTROS GASTOS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
UTILIDAD FISCAL	981.75	981.75	981.75	982.939	984.355	984.355
IMPUESTO SOBRE R.	412.457	412.457	412.457	412.956	413.551	413.551
(VENTAJAS FISCALES)	294.706	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REPARTO UTILIDADES	78.54	78.54	78.54	78.635	78.748	78.748
UTILIDAD NETA	785.459	490.753	490.753	491.348	492.056	492.056

Los estados para 1992, 1993, 1994 y 1995 son idénticos al propuesto para 1991.

Todas las cantidades en millones de pesos de Febrero 1983.

El diagrama de flujos para esta opción se presenta a continuación:



La ecuación que se emplea para la obtención de la tasa de retorno es:

$$0 = \text{Valor Presente} = -147.99 - 1044.013(P/F, i, 2) - 260.26(P/F, i, 2) + 785.459(P/F, i, 3) + 490.753(P/F, i, 4) + 487.243(P/F, i, 5) + 486.628(P/F, i, 6) + 492.056(P/F, i, 6)(P/A, i, 6) + 6.46(P/F, i, 12)$$

Empleando el programa expuesto con antelación, y modificando la línea 90 por:

$$90 \text{ LET } V = -147.99 - 1044.013/W - 260.26/W^{**2} + 785.459/W^{**3} + 490.753/W^{**4} + 487.243/W^{**5} + (486.628 + 492.056 * (W^{**6} - 1) / (1 * W^{**6})) / W^{**6} + 6.46/W^{**12}$$

se obtienen los siguientes resultados:

<u>VALOR PRESENTE</u>	<u>TASA DE RETORNO</u>
0.0000026226044	0.27904339

El valor obtenido significa una tasa de retorno del 27.904339% para esta opción. Comparando los valores de la tasa de retorno obtenidos, resulta evidente la ventaja de la segunda alternativa; no solamente debido a la mayor tasa de retorno obtenida, sino también a la independencia en cuanto a la obtención de las divisas necesarias para la inversión y la disminución de los gastos, al no tener que pagar patentes, cosa que determina directamente la diferencia en las tasas de retorno. Adicionalmente, de seguirse esta opción, la coinversión con accionistas extranjeros podría abrir las puertas de crédito de instituciones extranjeras, haciendo más fácil el financiamiento del proyecto, aunque este tipo de endeudamiento no es recomendable del todo dada la fragilidad de la paridad de la moneda nacional respecto a otras monedas.

Las rentabilidades propuestas para esta opción se presentan a continuación, a pesos constantes y suponiendo que no se realiza alguna inversión adicional en los períodos especificados:

AÑO	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
RENTABILIDAD	53.78	33.60	33.36*	35.32*	33.69	33.69	33.69	33.69

\* Descontando el pago del principal.

Las rentabilidades para 1994 y 1995 son idénticas para la propuesta a 1993. Estos rendimientos son bastante altos para consideraciones en moneda constante. De manera análoga a lo comentado en la opción anterior, el rendimiento para 1986 es alto incluso en relación a los rendimientos netos de valores bancarios en pesos variables; sólo si los valores a plazo fijo dieran un promedio del 50% neto en 1986 (dentro de tres años) sería similar a la opción propuesta, pero esta todavía se establece para pesos constantes.

Las consideraciones respecto a los índices mencionados anteriormente son nuevamente válidas para esta opción, aunque la magnitud de tales indicadores cambia ligeramente debido a la diferencia de utilidades para el primer año de operación. Pero en resumen, puede mencionarse que la capacidad de endeudamiento de la empresa no se aprovecha y que una utilización más adecuada de este recurso haría más viable la realización del proyecto y podría disminuir el capital requerido influyendo en la rentabilidad de la opción y pudiendo aumentar la tasa de retorno.

En vista a las tasas de retorno es francamente preferible optar por la segunda opción y descartar la primera o dejarla únicamente como una opción sólo en el caso de no ser realizable por algún motivo la inversión conjunta propuesta. Sin embargo, existen algunas consideraciones que aun deben hacerse respecto a las alternativas de inversión.

Hablar de dispositivos fotovoltaicos es hablar de desarrollos tecnológicos constantes y nuevas investigaciones en productos y procesos con la meta, entre otras, de disminuir costos y aumentar eficiencias.



Prueba de eso han sido las drásticas reducciones de precio de venta y las mejoras de las celdas logradas en los años anteriores. Sería irrisorio el pensar en alguna compañía que pretendiese actualmente comercializar celdas fotovoltaicas de silicio monocristalino con precios de \$ 100 U.S./Wp. Estas celdas estuvieron presentes en el mercado hace sólo una década, período muy reciente, incluso algunas de ellas están todavía en operación.

El proponer una opción de inversión en celdas fotovoltaicas de silicio amorfo para un horizonte tan amplio (más de una década) sin considerar factores de innovación tecnológica y nuevas reducciones de precios no es correcto. No sólo una mejora en el proceso puede abatir los costos, un aumento de la oferta ante el éxito de productores iniciales tendría repercusión directa en el mercado, y esta influencia podría detectarse incluso en un corto plazo.

Estos factores podrían determinar la obsolescencia del producto y el proceso a pesar de sus condiciones privilegiadas en el presente. Para evitar este infortunio, se ha considerado un fondo financiado con las amortizaciones y depreciaciones de la inversión. A pesar de lo anterior, los factores de desarrollo e innovación no pueden ser contrarrestados de una manera que sea eficaz, en el ámbito comercial, con el único empleo de estos recursos.

Para evitar caer en la obsolescencia se proponen dos correcciones a la operación propuesta.

Primeramente, el precio de \$ 600.00 M.N./Wp propuesto, aun cuando se han establecido criterios de moneda constante, no puede mantenerse indefinidamente. Las reducciones de precios previstas para el futuro, ya sea por innovaciones tecnológicas o por aumento de la oferta, implican un precio competitivo dentro del mercado. En el estudio de mercado presentado en el capí-

tulo II se menciona un pronóstico de precios por Vatio-pico para el futuro dentro del mercado de los Estados Unidos. Dichos precios se presentan nuevamente y junto se muestra un pronóstico muy conservador de precios para la producción que se ha propuesto.

AÑO	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
PRONOSTICO* E.E.U.U.	3.00	2.50	2.20	2.00	1.80			
PRONOSTICO** PARTICULAR	600	550	500	450	400	350	300	300

\* Dólares Americanos/Wp

\*\* Pesos de Febrero 1983/Wp

De esta relación se nota la reducción de precios propuesta para los Estados Unidos en un futuro muy cercano. El impuesto de importación para los dispositivos fotovoltaicos es de sólo un 15%, por esta razón cualquier cambio en el mercado internacional influye en el mercado nacional, pudiendo importarse los arreglos si los precios dentro del país se mantuvieran relativamente altos. Para evitar esta situación, y previendo un aumento de la oferta dentro del país por nuevas inversiones de productores en un mediano y corto plazo se determinaron los precios propuestos en la anterior relación para la alternativa propuesta. Estos precios presentan un margen muy ligero respecto a los propuestos para los E.E.U.U. y se consideran apropiados.

Se piensa que la diferencia inicial en los precios puede ser insignificante debido a la naturaleza casi virgen del mercado nacional para la fecha prevista del comienzo de la operación y por contarse con un proceso y producto altamente desarrollado a nivel mundial para la fecha de su introducción, a medida que el impacto inicial disminuya, se preve una competencia cada vez más creciente y por lo tanto se disminuyen los precios gradualmente hasta llegar a la mitad del precio original en sólo 6 años, este pro-

nóstico es muy conservador. De esta forma se supone que la producción de la planta, inicialmente prevista en 2 Megavatios-pico, se mantiene constante, y no es necesario reducir producción por una caída de ventas.

Aun con las ventajas que ofrece la reducción de precios de venta establecidos, y con objeto de determinar un valor altamente confiable para una tasa de retorno, se supone que se incrementan los gastos de operación al establecerse un fondo destinado a la investigación del producto y el proceso desde el momento del inicio de operaciones. Este fondo se supone en un 5% del volumen bruto de las ventas propuestas. Esta es la segunda corrección a la alternativa de inversión propuesta.

Con estas modificaciones, los estados de resultados proforma son:

	1986	1987	1988	1989	1990	1991
VENTAS BRUTAS	1 200.000	1100.000	1000.000	900.000	800.000	700.000
COSTO DE LO VENDIDO	144.568	144.568	144.568	144.568	144.568	144.568
UTILIDAD BRUTA	1 055.432	955.432	855.432	755.432	655.432	555.432
GASTOS ADMINISTRACION	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213
GASTOS VENTAS	26.000	24.000	22.000	20.000	18.000	16.000
GASTOS FINANCIEROS	2.469	2.469	2.469	1.416	0.000	0.000
UTILIDAD OPERACION	981.75	883.75	785.75	688.803	592.219	494.219
OTROS GASTOS*	60.000	55.000	50.000	45.000	40.000	35.000
UTILIDAD FISCAL	921,75	828,75	735,75	643.803	552.219	459.219
IMPUESTO SOBRE RENTA	387.257	348.197	309.137	270.519	232.054	192.994
(VENTAJAS FISCALES)	294.706	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REPARTO UTILIDADES	73.74	66.300	58.860	51.504	44.178	36.738
UTILIDAD NETA	755.459	414.253	367.753	321.78	275.987	229.487

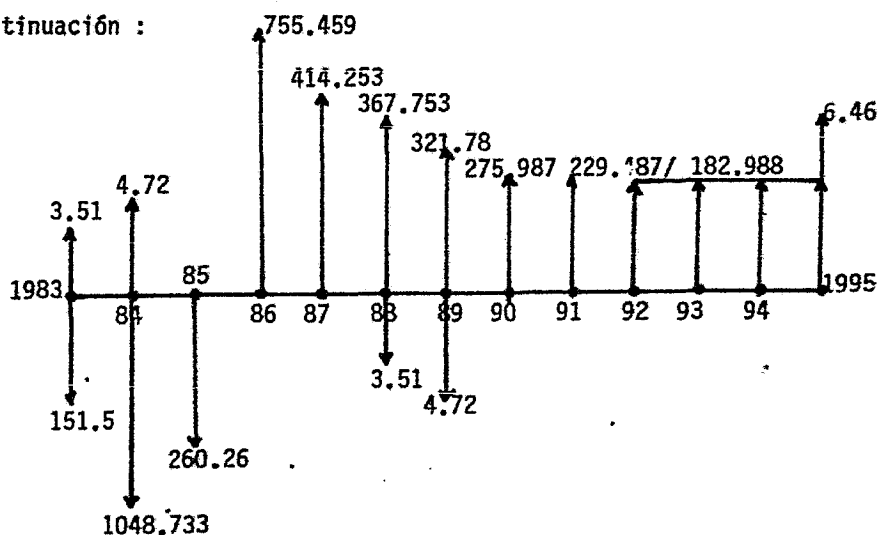
Todas las cantidades en millones de pesos de Febrero 1983, vendiendo 2000 KwP anuales a los precios pronosticados anteriormente.

\* Gastos de investigación, 5% de ventas brutas.

	1992	1993	1994	1995
VENTAS BRUTAS	600,000	600,000	600,000	600,000
COSTO DE LO VENDIDO	144,568	144,568	144,568	144,568
UTILIDAD BRUTA	455,432	455,432	455,432	455,432
GASTOS DE ADMINISTRACION	45,213	45,213	45,213	45,213
GASTOS DE VENTAS	14,000	14,000	14,000	14,000
GASTOS FINANCIEROS	0,000	0,000	0,000	0,000
UTILIDAD DE OPERACION	396,219	396,219	396,219	396,219
OTROS GASTOS	30,000	30,000	30,000	30,000
UTILIDAD FISCAL	366,219	366,219	366,219	366,219
IMPUESTO SOBRE LA RENTA	153,934	153,934	153,934	153,934
(VENTAJAS FISCALES)	0,000	0,000	0,000	0,000
REPARTO DE UTILIDADES	29,298	29,298	29,298	29,298
UTILIDAD NETA	182,988	182,988	182,988	182,988

Todas las cantidades en millones de pesos de Febrero 1983.

Las modificaciones al diagrama del flujo de caja se presentan a continuación :



La ecuación que se emplea para evaluar la tasa de retorno de esta opción es:

$$0 = \text{Valor presente} = -147,99 - 1044,013(P/F, i, 1) - 260,26(P/F, i, 2) + 755,459(P/F, i, 3) + 414,253(P/F, i, 4) + 364,243(P/F, i, 5) + 317,02(P/F, i, 6) + 275,987(P/F, i, 7) + 229,487(P/F, i, 8) + 182,988(P/F, i, 8)(P/A, i, 4) + 6,46(P/F, i, 12)$$

Para resolver esta ecuación empleando el programada determinado es necesario modificar la línea 90 de la siguiente manera:

$$90 \text{ LET } V = -147,99 - 1044,013/W - 260,26/W^{**2} + 755,459/W^{**3} + 414,253/W^{**4} + 364,243/W^{**5} + 317,02/W^{**6} + 275,987/W^{**7} + (229,487 + 182,988*(W^{**4} - 1)/(1*W^{**4}))/W^{**8} + 6,46/W^{**12}$$

Al correr este programa se obtiene:

<u>VALOR PRESENTE</u>	<u>TASA DE RETORNO</u>
0.000022855122	0.1824104

Este nuevo resultado es muy significativo. Aun con todas las limitaciones consideradas, la tasa de retorno a valores constantes que se obtiene es de 18.24104%, que es un valor relativamente alto y justifica la inversión en el proyecto propuesto.

Los balances proforma establecidos para la primera opción de inversión son también válidos en esta corrección.

Puede establecerse una nueva modificación al proyecto de inversión en base a información del estudio de mercado.

Las ventas propuestas, ya con la consideración de la disminución gradual en los precios de venta debido a nuevos desarrollos tecnológicos y

su utilización de parte de competidores dentro del mercado fotovoltaico en un futuro cercano y un gasto anual del 5% sobre ventas brutas para investigación sobre proceso y producto, no tienen por que mantenerse en un nivel de 2 millones de Vatios-pico anuales si se produce una cantidad mayor, pues la demanda no es factor limitante sino la capacidad instalada. No obstante, con la misma capacidad de planta instalada puede duplicarse la producción sólo con un nuevo turno de producción. De realizarse esta nueva alternativa, sólo se requeriría de la contratación de nuevos obreros para producción en el segundo turno y de la duplicación de las compras de materia prima, materiales indirectos y electricidad. Suponiendo una eficiencia de producción idéntica a la considerada anteriormente (80%) puede hablarse de un costo de lo vendido para una producción de 4 millones de vatios-pico anuales de 289.136 millones de pesos de Febrero 1983. Existe un pequeño error en este coste, pues proviene de multiplicar por dos el coste anterior que incluía las depreciaciones de maquinaria y equipo, considerandose de este modo, las depreciaciones dos veces; sin embargo, se mantiene este error a propósito, como un margen adicional de seguridad.

Para esta alternativa, un pronóstico conservador puede establecer que la demanda de 4 000 000 Wp anuales en el mercado nacional y a los precios reducidos en la proporción establecida es factible para 1990.

Los estados de resultado proforma anteriores se modificarían para los años que van de 1990 a 1995 en los renglones que se muestran a continuación:

ESTADOS DE RESULTADO PROFORMA (del 1<sup>o</sup> de Enero al 31 de Diciembre del año indicado, cantidades en millones de pesos de Febrero 1983).

	1990	1991	1992	1993	1994	1995
VENTAS BRUTAS	1600.000	1400.000	1200.000	1200.000	1200.000	1200.000
COSTO DE LO VENDIDO	289.136	289.136	289.136	289.136	289.136	289.136
UTILIDAD BRUTA	1310.864	1110.864	910.864	910.864	910.864	910.864
GASTOS ADMINISTRACION	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213	45.213
GASTOS DE VENTAS	34.000	30.000	26.000	26.000	26.000	26.000
GASTOS FINANCIEROS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
UTILIDAD DE OPERACION	1231.651	1035.651	839.651	839.651	839.651	839.651
OTROS GASTOS	80.000	70.000	60.000	60.000	60.000	60.000
UTILIDAD FISCAL	1151.651	965.651	779.651	779.651	779.651	779.651
IMPUESTO SOBRE RENTA	483.815	405.695	327.575	327.575	327.575	327.575
(VENTAJAS FISCALES)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
REPARTO DE UTILIDADES	92.132	77.252	62.372	62.372	62.372	62.372
UTILIDAD NETA	575.704	482.704	389.704	389.704	389.704	389.704

La modificación necesaria para obtener la tasa de retorno propia de esta opción modificada es:

$$90 \text{ LET } V = -147.99 - 1044.013/W - 260.26/W^{**2} + 755.459/W^{**3} + 414.253/W^{**4} + 364.243/W^{**5} + 317.02/W^{**6} + 575.704/W^{**7} + (482.704 + 389.704*(W^{**4}-1)/(1*W^{**4}))/W^{**8} + 6.46/W^{**12}$$

Y los resultados son:

<u>VALOR PRESENTE</u>	<u>TASA DE RETORNO</u>
-0.000023783068	0.24142347

El nuevo valor de 24.142347% de retorno a pesos constantes es muy alto respecto a las alternativas consideradas y es mucho más probable al considerar las modificaciones de precio y producción.

Las rentabilidades propuestas, a pesos constantes, para la última opción considerada son:

AÑO	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
RENTA- BILIDAD.	51.73	28.36	24.94*	21.71*	39.42	33.05	26.68	26.68	26.68

\* Descontando el pago de principal de las utilidades del ejercicio.

La rentabilidad para 1995 es idéntica a la propuesta para 1994.

El período de recuperación del capital, suponiendo un promedio de utilidades anuales de 446.76 millones de pesos de Febrero 1983 es de 3.2691 años a partir del inicio de la operación.

Las consideraciones respecto a índices que muestren el estado de los pasivo- son adecuadas para esta nueva modificación. La capacidad de endeudamiento de la empresa no se utiliza, cualquier mejora en este aspecto podría determinar un aumento en el rendimiento neto y facilitar la realización de la inversión.

El análisis del punto de equilibrio para la opción propuesta se presenta a continuación:

**COSTOS VARIABLES:**

Obra manual directa - \$ 3 840 000.00 M.N./año\*

Materia prima y materiales indirectos- \$ 63 700 551.23 M.N./año\*

Electricidad (sin IVA) - \$ 31 365 717.12 M.N./año\*

Aguinaldos - \$ 307 200.00 M.N/año

Cuotas del IMSS. para obreros - \$ 360 000.00 M.N./año\*

Comisiones de Ventas \*\* - 2% de ventas brutas

Gastos de Investigación \*\*- 5% de ventas brutas

\* Para una producción anual de 2 000 000 Wp al 80% de eficiencia.

\*\* Estos gastos no son precisamente de acuerdo al nivel de producción, pero si son variables, para dar una aproximación más adecuada se incluyen en estos costos.



## COSTOS FIJOS:

## Depreciaciones anuales

Maquinaria y Equipo \$ 44 850 000.00 M.N.

Planta de Producción \$ 145 000.00 M.N.

Oficinas \$ 150 000.00 M.N.

Sueldos del personal de administración y ventas: \$ 5 400 000.00 M.N./año

Aguinaldos \$ 432 000.00 M.N.

Cuotas del IMSS. \$ 506 250.00 M.N. /año

Amortizaciones de otros activos \$ 37 525 000.00 M.N./año

Gastos varios (agua, teléfono, etc.) \$ 600 000.00 M.N./año

Imprevistos \$ 600 000.00 M.N./año

Promociones \$ 2 000 000.00 M.N./año

Gastos financieros.

Todos los costos antes mencionados estan en pesos de Febrero de 1983.

Para evaluar el punto de equilibrio es necesario establecer un sistema de ecuaciones para cada año; pues los costos de ventas e investigación, así como los ingresos, estan en función del precio de venta, y este valor se ha determinado como variable para cada año y por esta razón no puede establecerse un sólo sistema válido para todo el período considerado, según el modelo tradicional. Así pues, se procede a determinar el punto de equilibrio para cada año de la opción propuesta.

La ecuación del punto de equilibrio es :

$$CV(X)+CF=P(X)$$

donde CV=costos variables; CF=costos fijos; P=precio de venta; X=cantidad producida y vendida.

Sustituyendo valores:

$$((3840000+63700551.23+31365717.12+360000+307200)/200000)+P_n(.05+.02)=CV$$

donde  $P_n$  = precio de venta propuesto para el año en cuestión.

$(44850000+145000+150000+5400000+432000+506250+37525000+600000+600000+2000000+$

$G_n) = CF$

donde  $G_n$  = gastos financieros para el año en cuestión.

$P = P_n$

De tal forma, se llega a los resultados en la tabla siguiente:

AÑO	PRECIO DE * VENTA	GASTOS FINANCIEROS	CANTIDAD DEL PUNTO DE EQUILIBRIO **
1986	\$ 600.00	\$ 2 469 000.00 M.N.	186 294.3178
1987	\$ 550.00	\$ 2 469 000.00 M.N.	205 056.3629
1988	\$ 500.00	\$ 2 469 000.00 M.N.	228 020.7546
1989	\$ 450.00	\$ 1 416 000.00 M.N.	253 921.5428
1990	\$ 400.00	\$ 0.00 M.N.	286 171.4585
1991	\$ 350.00	\$ 0.00 M.N.	334 435.2630
1992	\$ 300.00	\$ 0.00 M.N.	402 281.4121
1993	\$ 300.00	\$ 0.00 M.N.	402 281.4121
1994	\$ 300.00	\$ 0.00 M.N.	402 281.4121
1995	\$ 300.00	\$ 0.00 M.N.	402 281.4121

\* Pesos de Febrero 1983 por Vatio-pico

\*\* Vativos-pico necesarios para venta en el año en cuestión para no tener \_\_ \_\_ pérdidas en la operación.

Si se considera el pago de principal (3.51 millones en 1988 y 4.72 millones en 1989), las cantidades para esos años se modifican por:

1988 - - - - 236 474.2411 Wp

1989 - - - - 266 297.0118 Wp

## 8.3.- REFERENCIAS:

- (1) FONEI
- (2) Comunicación particular con el Ing. Gutierrez  
Gerente de Ventas  
Industria Metálica Integrada S.A.
- (3) Comunicación particular con el Ing. Antonio Saed Camargo  
Departamento Técnico de ICA Industrial
- (4) Chronar Corporation  
Manufacturing Plant for Amorphous Silicon (a-Si) Photovoltaic Panels  
Princeton, New Jersey, U.S.A.
- (5) Espíndola, Carlos  
Evaluación de Proyectos a Valor Presente  
ECASA  
México, 1979.
- (6) CANACINTRA
- (7) Comunicación particular con el Dr. M. Martínez  
Director del IIM-UNAM.
- (8) Secretaría de Comercio  
"Acuerdo que fija las tarifas generales y disposiciones complementarias para la venta de energía eléctrica".  
Diario Oficial de la Federación  
30 Julio 1982
- (9) Contacto particular con el LAE. Héctor Trejo C.  
Jefe de Sueldos y Beneficios  
APISA (Asociación Profesional de Ingeniería S. A.)

- (10) Instituto Mexicano del Seguro Social  
Calendario de Semanas de Cotización 1982-1983  
Subdirección General de Control  
Tesorería General  
Secretaría General/Departamento de Publicaciones.
- (11) Calvo Langarica, C.  
Estudio Contable de los Impuestos  
PAC  
México D.F. 1983
- (12) Del Río González, Cristóbal  
Costos-I  
FCA-UHAM

CAPITULO IX

CONCLUSIONES.

### CONCLUSIONES.-

La difícil situación energética que el mundo vive hace necesarios la búsqueda y el desarrollo de fuentes alternativas de energía.

La energía solar brinda ventajas relevantes respecto a las demás - alternativas.

En este momento, una de las mejores y más versátiles maneras de -- aprovechar la energía solar consiste en la conversión fotovoltaica. Entre los dispositivos para efectuar dicha conversión, uno de los más ventajosos es la celda de silicio amorfo, debido a sus características de costo, eficiencia y factibilidad tecnológica.

Esta celda genera electricidad con la intervención de tres procesos básicos:

- a).- Generación de portadores (pares electrón-hueco) al absorber la luz solar
- b).- Alejamiento entre los pares electrón-hueco por medio de un campo eléctrico interno.
- c).- Colección de los portadores para lograr una corriente eléctrica en un circuito externo.

Las celdas solares de silicio amorfo tienen una vida media de 20 - años y una eficiencia de conversión promedio del 5%.

Un panel fotovoltaico de las anteriores características consta de:

- 1.- Substrato de vidrio.
- 2.- Cubierta conductora de óxido de estaño.
- 3.- Capa inferior de silicio amorfo (conductividad tipo p).
- 4.- Capa intrínseca media de silicio amorfo.
- 5.- Capa superior de silicio amorfo (conductividad tipo n).

6.- Electrodo posterior (talco de aluminio en un aglomerante orgánico).

7.- Capa protectora de polímero orgánico.

El producto final de la planta de fabricación consiste en un panel de 12" x 12", siendo los dos conductores de salida, cintas de aluminio en los bordes opuestos del panel. Los paneles se colocan en un arreglo donde la interconexión está en la estructura de soporte del mismo.

Prácticamente, el sistema no requiere de mantenimiento, reduciendo se éste a la limpieza periódica.

El uso de celdas fotovoltaicas implica algunos componentes adicionales como son: superficie para la colocación del arreglo, estructura de soporte, dispositivos de interconexión y en algunos casos, sistemas de almacenamiento de energía. Al conjunto de todos estos elementos se le denomina Balance del Sistema (BOS=Balance of System) y se considera en la evaluación de alternativas que involucran celdas fotovoltaicas. Las consideraciones respecto a este factor se realizaron tomando en cuenta precios del mercado nacional en febrero de 1983.

En la actualidad, dentro del territorio nacional, existen diferentes aplicaciones específicas posibles para este tipo de dispositivos y son las siguientes:

- 1.- Alumbrado rural (exterior e interior).
- 2.- Aparatos electrodomésticos de baja potencia en zonas rurales.
- 3.- Receptores de T.V. en el medio rural. (T.V. educativa, videograbadoras en escuelas rurales, etc.)
- 4.- Estaciones repetidoras de T.V.
- 5.- Estaciones telefónicas rurales.
- 6.- Suministro de agua para abrevaderos de ganado.

- 7.- Bombeo de agua en zonas rurales (pequeña capacidad).
- 8.- Detectores sísmológicos y estaciones climatológicas.
- 9.- Señalamientos marítimos y en cruces de ferrocarriles.
- 10.- Refrigeración rural.
- 11.- Pequeños cargadores de grano.
- 12.- Protección catódica.
- 13.- Otras aplicaciones marginales.

El estudio de mercado efectuado reveló los siguientes resultados: una producción en serie de paneles fotovoltaicos de silicio amorfo a un precio de venta no mayor a \$ 600.00/Wp resulta una inversión más competitiva respecto a las demás alternativas de suministro de energía para las aplicaciones anteriormente mencionadas en aquellas zonas rurales en donde no exista una red de suministro de energía eléctrica y no se tengan planes para su instalación a corto y mediano plazo, específicamente aquellas localidades rurales de menos de 500 habitantes.

Una relación de la necesidad energética y la capacidad de compra para los dispositivos fotovoltaicos propuestos, concluye que la demanda anual posible, al precio mencionado, es superior a 2 Mwp, aclarando, que esta demanda se incrementará notablemente a medida que aumente el conocimiento que de este tipo de celdas solares se tenga en un plazo muy corto.

Un análisis del mercado energético en México a futuro demuestra que la demanda de dispositivos fotovoltaicos se incrementará ampliamente en el corto plazo y constantemente a largo plazo, hasta llegar a ser la energía solar, una importantísima fuente de energía para el país a mediados del Siglo XXI. De tal manera, se presentan perspectivas favorables de expansión para la planta propuesta.



Básicamente, el comprador de estos productos será el Gobierno Federal a través de sus dependencias oficiales, organismos descentralizados y empresas de participación estatal quienes también se encargarán de la instalación y mantenimiento de los equipos.

Se analizaron todos los procesos de fabricación para celdas fotovoltaicas de silicio amorfo, los cuales son:

- 1.- Evaporación Térmica.
- 2.- Pulverización Catódica a Radiofrecuencia.
- 3.- Descarga Gaseosa.
- 4.- Depósito Químico de Vapor.

De los procesos mencionados, la mayor parte de la industria está utilizando el sistema de descarga gaseosa usando Silano  $\text{SiH}_4$ .

Sin embargo, recientemente ha aparecido un proceso de fabricación que presenta mayores ventajas con respecto a los anteriormente desarrollados y que consideramos es el mejor. Este ha sido desarrollado por la compañía norteamericana Chronar Corp. y consiste básicamente en el sistema de Depósito Químico de Vapor pero utilizando Disilano  $\text{Si}_2\text{H}_6$ , que proporciona las mejores características de costo, tiempo de procesamiento, sencillez del equipo, tasa de producción y características electrónicas y de eficiencia del producto terminado. Debido a lo anterior, para el proyecto de montaje de una planta de fabricación de celdas solares de silicio amorfo en México, se seleccionó el proceso Chronar de Depósito Químico de Vapor utilizando Disilano  $\text{Si}_2\text{H}_6$ .

La demanda de 2 MWp se puede satisfacer con una producción anual de 500 000 pies cuadrados de paneles solares, suponiendo una eficiencia del 80% en la planta de fabricación.

Esta planta requiere de una línea de producción trabajando un sólo turno de 2000 h/año empleando 16 obreros, 2 técnicos y personal administrativo. La superficie requerida es de 6000 m<sup>2</sup> considerando expansiones futuras.

La instalación y puesta en marcha consumirá un periodo de 33 meses a partir de su inicio, siendo técnicamente factible su instalación dentro del territorio nacional.

Tomando en cuenta la ubicación de los parques industriales en la República Mexicana y tratando de obtener un costo unitario mínimo se encontró que la planta podría quedar ubicada en Querétaro, Qro., lugar donde se satisfacen sus necesidades específicas y se obtienen mayores ventajas impositivas.

En México, los instrumentos más importantes para proporcionar financiamiento a la industria son Nacional Financiera, Somex, el Fondo de Equipamiento Industrial y el Programa de Apoyo Integral para la Industria Mediana y Pequeña. Este último está formado por varias entidades, cada una de las cuales tiene por objetivo apoyar a la industria en determinadas áreas específicas.

Los anteriores organismos financieros otorgan créditos dependiendo de las ventajas que brinde el proyecto a financiar, de la necesidad que de él tenga el país en ese momento y de la disponibilidad de recursos económicos. Lo anterior se determina después de llevar a cabo un minucioso análisis de las características de cada proyecto.

México atraviesa actualmente por una crisis económica terrible, debido a la cual es prácticamente imposible conseguir financiamiento para la instalación de una nueva fábrica en México.

Se determinó un monto total de inversión de \$ 1 465 201 388.30 M.N. incluyendo activo fijo y capital de trabajo para la realización del proyecto. Este total se obtuvo en base a consideraciones de costos y gastos en pesos de febrero de 1983'

La única opción realmente factible de obtener un financiamiento consiste en un préstamo hipotecario en base al terreno y las construcciones; introduciendo este factor a la inversión, esta se reduce a \$1 460 499 388.

Debido a la falta de financiamiento externo, la inversión debe realizarse casi exclusivamente de parte de los accionistas. De acuerdo a este supuesto, se determinaron las siguientes alternativas:

- a).- Inversión total por parte de empresarios privados nacionales (condicionada a la obtención de las divisas necesarias).
- b).- Inversión conjunta con Chronar Corporation.
- c).- Posposición de inversión a un futuro cercano debido a la situación crítica de la economía nacional en el presente, buscando una mejoría del estado de la inversión o determinando definitivamente la no inversión.
- d).- No inversión.
- e).- Investigación y desarrollo del proyecto para lograr una planta de producción únicamente con la integración de equipo y personal mexicanos en un futuro cercano y con características competitivas en calidad, cantidad y precio a nivel mundial.

Un análisis de las opciones, en base a la tasa de retorno para un que abarca la instalación y operación de la planta hasta la depreciación total de la maquinaria, arrojó los siguientes resultados:

Tanto la alternativa (a) como la (b) son rentables para el momento presente. La tasa de retorno para la opción (a) fué del 26.29%, en base

a un análisis en unidades monetarias constantes y con referencia a febrero de 1983. Con las mismas consideraciones, el rendimiento de la opción (b) fué del 27.9%.

Debido a estas diferencias en las tasas de retorno, a la independencia en cuanto a la obtención de divisas extranjeras y al ahorro en el pago de derechos por concepto de patentes de la opción (b), se propone ésta última como la más adecuada para la inversión.

Buscando un pronóstico mucho más conservador y con un alto grado de certidumbre se hicieron dos modificaciones a la segunda alternativa (b), consistente la primera, en una reducción gradual del precio de venta ante la suposición de la aparición de competidores que introducen al mercado - productos similares con características técnicas y de precio que compiten con nuestras celdas. La segunda consiste en la creación de un fondo de 5% sobre ventas brutas destinado a investigación y desarrollo en mejoras al proceso y al producto. Estas dos consideraciones son con el fin de no disminuir el volumen de producción pese a una exagerada competencia, es decir, no perder ninguna fracción del mercado.

La tasa de retorno obtenida para estas modificaciones, a pesos constantes, fue del 18.2%. Este valor demuestra la nobleza del proyecto, pues aun con las restricciones especificadas, el proyecto es adecuadamente rentable.

Una suposición más realista para el período considerado, establece que para el quinto año de operación, debido a las reducciones graduales - del precio de venta y al desarrollo en el proceso y producto que se supone se han obtenido, pueden duplicarse las ventas de las celdas fotovoltaicas en el mercado nacional.

Para lograr un aumento de producción sólo se requiere la operación de un segundo turno sin alguna inversión adicional en activo fijo.

La tasa de retorno obtenida con esta nueva modificación es del 24.14%, valor que puede considerarse relativamente alto y adecuadamente confiable para justificar la inversión del proyecto.

Adicionalmente, se efectuó un análisis de índices financieros sobre balances proforma que muestra una alta liquidez para la empresa propuesta. La capacidad de endeudamiento de la empresa no es aprovechada, y se establece que un uso más favorable de este recurso causaría una mejoría en la rentabilidad y facilitaría la viabilidad del proyecto.

Finalmente, se realizó un análisis del punto de equilibrio para cada año de operación dentro del período considerado. La producción necesaria para no tener pérdidas, suponiendo su venta íntegra, varía entre 186 294 Wp para el primer año y 402 281 Wp para los últimos años considerados.

De cualquier manera, es muy posible que el presente proyecto tarde varios años en su realización, debido a la situación económica desfavorable del país en el momento presente.