

27 29



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA SOLAR PARA
EL ABASTECIMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA
DE UNA CASA HABITACION.



SEMINARIO DE TESIS

Que para obtener el título de:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P r e s e n t a n :

- ARMANDO CARDOSO IBARRA
- EDUARDO JUAN CASILLAS DAVILA
- JESUS NICOLAS DIAZ ALVAREZ
- LUIS ALBERTO TORRES OSORIO
- SERGIO VELAZQUEZ BARAJAS



Director del Seminario: M. en I. Juan Carlos Roa Beiza

México, D. F.



1990



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

O B J E T I V O :

**DISEÑO DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE --
ABASTECIMIENTO DE ENERGIA ELECTRICA, PARA
CUBRIR EL CONSUMO MINIMO DE UNA CASA HABI
TACION.**

INDICE

INDICE TEMATICO:

INTRODUCCION	4
I.- FISICA DE SEMICONDUCTORES	
Ia.- OBTENCION DE SILICIO Y GERMANIO CASI PURO . .	6
Ib.- CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA - CELDA SOLAR A NIVEL DE PORTADORES	18
Ic.- FABRICACION DE CELDAS SOLARES	38
Id.- PRINCIPALES TIPOS DE CELDAS SOLARES	55
Ie.- CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE LAS CELDAS SOLARES.	77
II.- SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR Y ALMACENAMIENTO DE ENERGIA	
IIa.- POR FOTSENSORES Y EN BASE AL PUNTO DE - MAXIMA POTENCIA	104
IIb.- TIPOS DE ACUMULADORES PARA DIFERENTES -- PERFILES DE CONSUMO.	122
IIc.- SISTEMAS DE CONVERSION DE "DC / AC"	145
IId.- MECANISMOS Y MOTORES PARA EL POSICIONA-- MIENTO DE LOS PANALES SOLARES	178

III.- SOLUCION AL PROYECTO PROPUESTO

IIIa.- UBICACION DEL TIPO DE CASA PROPUESTO, DIAGRAMA UNIFILAR	193
IIIb.- DISEÑO Y ORIENTACION DE LOS PANALES - SOLARES EN BASE AL SISTEMA DE SEGUI-- MIENTO ELEGIDO	205
IIIc.- CALCULO DEL ACUMULADOR PARA SOPORTAR- LA CARGA PROPUESTA	210
IIId.- SELECCION DEL INVERSOR "CD / CA".	222
IIIe.- VIABILIDAD DEL PROYECTO.	233
* * * * * CONCLUSIONES	238
* * * * * APENDICE DE HOJAS TECNICAS	241
* * * * * BIBLIOGRAFIA	266

INTRODUCCION

I N T R O D U C C I O N

En las últimas décadas, la crisis energética mundial ha propiciado el desarrollo de tecnologías que permitan la transición de la era de los hidrocarburos a otras fuentes de energía.

México cuenta con un alto potencial energético basado en las fuentes no convencionales de energía. Entre este tipo de fuentes se encuentran, entre otras, la energía solar, la biomasa, la geotermia, la eólica, etcétera. Algunas de estas podrían contribuir en la resolución del programa energético de aquellos sectores sociales que, por su ubicación, carecen de los beneficios de la energía eléctrica. Se estima que en nuestro país existen alrededor de 80,000 pequeñas comunidades rurales sin electrificar, por el hecho de encontrarse alejadas de las redes de distribución lo cual, aunado a los bajos consumos que originan, hace incosteable su electrificación.

La utilización de la energía solar en nuestro país resulta bastante atractiva si se toma en consideración que el 70 por ciento del territorio nacional recibe una insolación anual de más de 4.651 kWh/m² por día, y que, el norte de los estados de Chihuahua y Sonora cuentan con una incidencia anual de más de 5.614

kWh/m² por día.

La energía solar que recibe la superficie terrestre puede aprovecharse para convertirla en energía útil (calorífica, mecánica o eléctrica), mediante cinco tecnologías básicas: sistemas pasivos, sistemas con colectores fijos, sistemas con colectores móviles, sistemas fotovoltaicos y estanques solares.

Desde hace varios años los sistemas fotovoltaicos son los más viables económicamente para generar electricidad en zonas remotas. En la actualidad han desplazado a los generadores diesel en zonas rurales, tanto en usos domésticos como de bombeo de agua.

En este trabajo se presenta el diseño de una instalación fotovoltaica para una casa habitación ubicada en la ciudad de Hermosillo, Son. . En el capítulo 1 se hace mención de los principios básicos de la física de semiconductores, mientras que en el capítulo 2 se indica cuales son los elementos que constituyen una instalación fotovoltaica. Finalmente, en el capítulo 3 se presentan los cálculos correspondientes a la solución al proyecto propuesto.

CAPITULO I

FISICA DE SEMICONDUCTORES

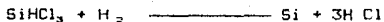
Ia.- OBTENCION DEL SILICIO Y GERMANIO CASI PURO

El primer paso en la manufactura de cualquier dispositivo semiconductor consiste en obtener materiales semiconductores como el germanio o el silicio, del nivel de pureza deseado. Las materias primas se someten primero a una serie de reacciones químicas y procesos de refinación de zonas para formar un cristal policristalino del nivel de pureza que se persigue.

El material inicial para la preparación de germanio de alta pureza, es el dióxido de germanio químicamente puro, el cual es un subproducto de la obtención del zinc; este material, que se abastece en forma de un polvo blanco finamente dividido, se pone en crisoles de grafito de alta pureza y se reduce a germanio, calentando de 600 °C a 900 °C bajo un chorro de hidrógeno; la ecuación de esta reacción es la siguiente:



La preparación de silicio de alta pureza empieza generalmente con la reducción de tetracloruro de silicio (SiCl_4) o triclorosilano (SiHCl_3), por hidrogenación a 1100 °C; la ecuación de la reacción es la siguiente:



Todos los reactivos están en base gaseosa, a la temperatura a la cual se lleva a efecto el proceso, con excepción del silicio, el cual precipita sobre un sustrato apropiado.

El aparato para el refinamiento de zonas se muestra en la figura I.a.1. Se compone de un recipiente (bote) de grafito o cuarzo para lograr una contaminación mínima, un contenedor de cuarzo y un grupo de bobinas de inducción de RF (radio frecuencia). Ya sea las bobinas o el recipiente deben ser móviles a lo largo del contenedor de cuarzo. El mismo resultado se obtendrá en cualquiera de los casos, aunque es más común que se muevan las bobinas. El interior del contenedor de cuarzo se llena con un gas inerte (que reacciona muy poco o nada), o se aplica un vacío, para reducir aún más la posibilidad de contaminación. En el proceso de refinamiento de zonas se coloca una barra de germanio en el recipiente (bote), con las bobinas en un extremo de la barra como se ilustra en la figura I.a.1. Después se aplica a la bobina una señal de radio frecuencia, que inducirá un flujo de carga (corriente de eddy) en el lingote (barra) de germanio. La magnitud de estas corrientes aumenta hasta que se desarrolla una cantidad de calor suficiente para fundir esa región del material semiconductor. Las impurezas en el lingote pasarán a un estado más líquido que el material semiconductor circundante.

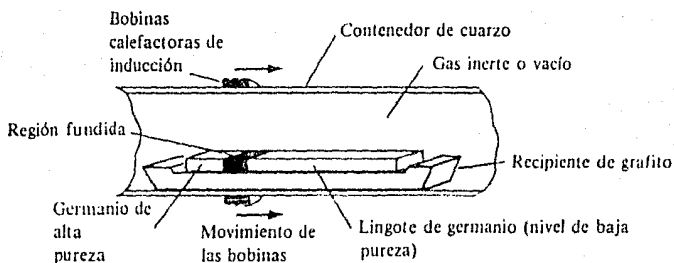


Figura I.a.1 PROCESO DE REFINAMIENTO DE ZONAS

Si después las bobinas de inducción de la figura I.a.1 se mueven lentamente hacia la derecha para provocar fusión en la región vecina, las impurezas "más fluidizas" se depositarán en la región fundida. El resultado neto es que un gran porcentaje de

las impurezas aparecerá en el extremo derecho de la barra semiconductor cuando las bobinas de inducción hayan alcanzado dicho extremo. Esta parte de impurezas en el extremo pueden entonces cortarse y repetirse el proceso completo hasta que se haya logrado el nivel de pureza que se desee.

La operación final antes de que se efectúe la fabricación del semiconductor es la formación de un monocristal de germanio o silicio. Esto puede llevarse a cabo empleando la técnica de Czochralski, o la de zona flotante, siendo esta última la más reciente. El aparato que se emplea en la técnica de Czochralski se muestra en la figura I.a.2. El material policristalino se transforma primero al estado líquido mediante las bobinas de inducción de RF. Un monocristal (semilla) del nivel de pureza deseado se sumerge después en el germanio fundido y se retira en forma gradual mientras se gira lentamente el eje que sostiene a la semilla. Conforme ésta se retira, una estructura de red de monocristal de germanio crecerá sobre la "semilla", como se ilustra en la figura I.a.2

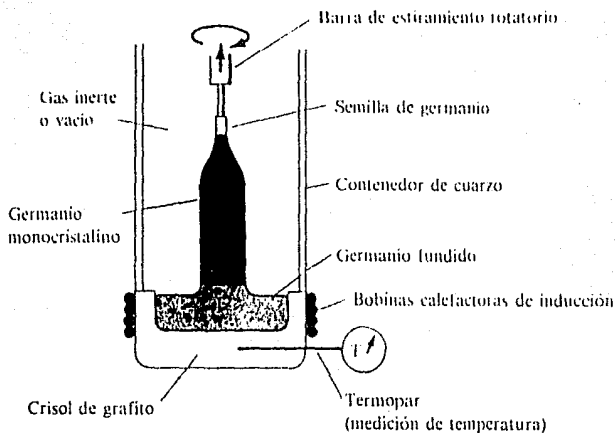


Figura 1.a.2 TECNICA DE CZOCHRALSKI

La técnica de la zona flotante elimina la necesidad de tener un proceso tanto de refinamiento como de formación del monocristal. Ambos pueden lograrse al mismo tiempo empleando esta técnica. Una segunda ventaja de este método es la ausencia del reci-

riente (bote) de grafito o cuarzo que a menudo introduce impurezas en el lingote de germanio o silicio. Dos soportes sostienen la barra de germanio o silicio en posición vertical dentro de un grupo de bobinas de inducción móviles de RF como se muestra en la figura I.a.3. Una pequeña "semilla" monocristalina del nivel de pureza deseado se deposita en el extremo inferior de la barra y se calienta con la barra de germanio hasta que se alcanza el estado de fusión. Después de esto las bobinas de inducción se desplazan lentamente por arriba del lingote de germanio o silicio mientras que la barra gira despacio. Como antes, las impurezas siguen en estado fundido, de lo que resulta un nivel mejorado de impurezas de la red de germanio monocristalino abajo de la zona fundida. Por medio de un control apropiado del proceso, habrá siempre suficiente tensión superficial en el material semiconductor para asegurar que el lingote no se rompa en la zona de fundición.

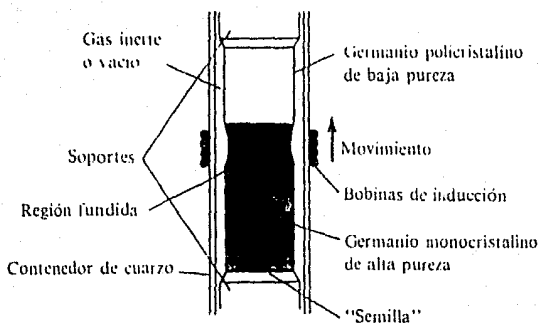


Figura 1.a.3 TECNICA DE LA ZONA FLOTANTE

Durante el proceso de crecimiento de monocristales por la técnica de Czochralski, dentro del horno se deben controlar cuatro parámetros críticos: La temperatura del horno, la interfase sólido - líquido, la velocidad de tiro de la semilla, las

velocidades de rotación del crisol y la semilla, y el flujo del gas inerte, que usualmente es argón.

Una vez desmontado el lingote de la semilla que lo sostiene, el siguiente paso es el sesgado del mismo que consiste en hacer cortes perpendiculares al eje de crecimiento de los extremos superior e inferior del lingote, llamados cabeza y cola, respectivamente. En caso necesario, éste se secciona en longitudes menores para que sea compatible con la capacidad de los rectificadores y las cortadoras de obleas.

Inmediatamente después se realiza una evaluación primaria midiendo la resistividad a lo largo del lingote con objeto de seleccionar las regiones de resistividad promedio, puesto que la concentración de impurezas a lo largo del cristal será menor al inicio y mayor al final; por lo tanto, la resistividad variará.

El siguiente paso consiste en rectificar el lingote, hacerlo perfectamente cilíndrico con un diámetro apropiado, y eliminar las irregularidades radiales ocasionadas en el crecimiento.

Durante el rectificado se realiza una segunda evaluación: El análisis de la estructura interna del cristal para comprobar que el arreglo cristalino no haya perdido periodicidad debido a las

tensiones mecánicas a las que se sometió el lingote durante el proceso de rectificado. Al mismo tiempo con el patron de rayos X obtenido de esta evaluación, se marca el lingote con una referencia cristalina.

Después del rectificado y de marcar la referencia, se somete el cristal a otro baño químico y nuevamente se inspecciona para verificar sus características y su calidad.

La siguiente etapa es el corte del cristal en rebanadas llamadas obleas. Este corte se realiza con discos de acero muy delgados y con filo de diamante. Esta etapa del proceso es crítica y muy delicada. Para obtener una buena calidad de obleas, hay que controlar varios parámetros, tales como la uniformidad en el corte, el espesor de las obleas, conservar la orientación cristalina y los defectos ocasionados en la superficie de la oblea después del corte.

Después del corte, las orillas de las obleas resultan muy filosas, con astillas y fracturas; para eliminar estos defectos en sus bordes, las obleas se someten al rectificado de los cantos usando un disco con abrasivos o un pozo perfectamente redondo para modificar los bordes. Nuevamente, las obleas sufren un baño químico para eliminar los daños en la superficie y así poder

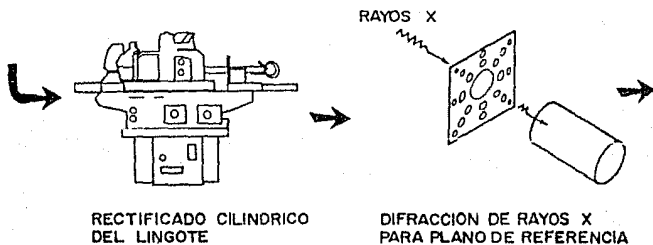
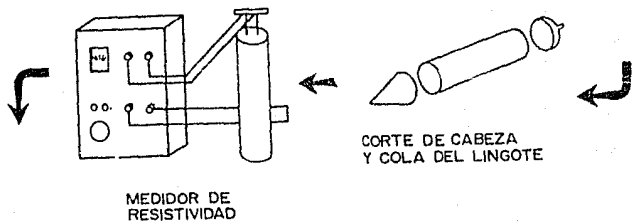
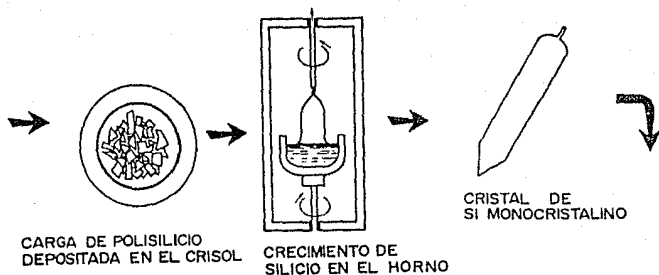
adelgazarlas.

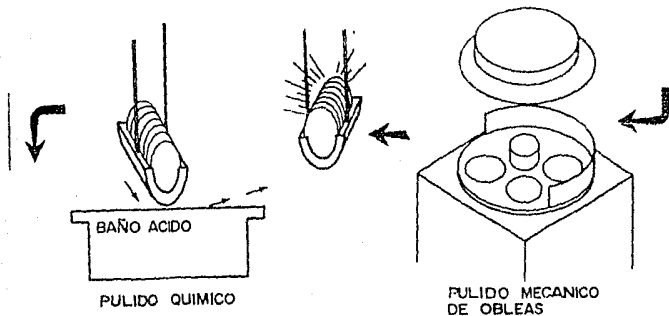
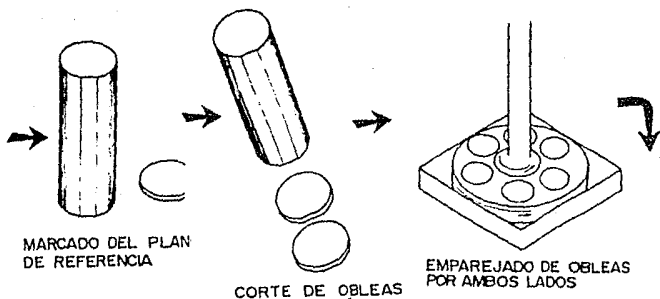
Las obleas son "atacadas" después con ácidos y con soluciones básicas, para limpiar perfectamente su superficie y eliminar de ésta todos los residuos orgánicos y los posibles defectos.

El siguiente paso consiste en estriar de manera controlada la cara posterior de la oblea, con objeto de que las impurezas emigren al volumen de ésta y así, en el futuro, no perturben el funcionamiento eléctrico de los circuitos integrados.

Nuevamente, las obleas se clasifican de acuerdo con su resistividad y espesor; se separan y, al mismo tiempo, se procesan cada uno de estos grupos clasificados. En caso de que algunas de las obleas no satisfagan las características establecidas dentro de ciertos límites, serán rechazadas y reclasificadas. Las obleas aceptadas se colocan en cajas de plástico, en las que se catalogan de acuerdo a sus peculiaridades.

A continuación se muestra un diagrama de flujo, del proceso.





Ib.- CARACTERISTICAS Y FUNCIONAMIENTO DE UNA CELDA SOLAR A NIVEL DE PORTADORES.

Los aspectos físicos del efecto fotovoltaico se encuentran asociados a la teoría del funcionamiento del diodo de juntura. Básicamente la celda solar es un diodo de juntura de estado sólido y su comportamiento eléctrico es similar. Está formada por dos cristales semiconductores extrínsecos del tipo p y tipo n.

Los semiconductores extrínsecos están formados por semiconductores intrínsecos puros, generalmente de Silicio o Germanio, a los cuales se les ha adicionado pequeñas cantidades de impurezas o adulteradores de otras sustancias para modificar la resistividad del material puro.

Como elementos semiconductores base se toman como correspondientes a la IV columna de la tabla periódica de los elementos (los que tienen cuatro electrones en su órbita de valencia), y como impurezas se toman los correspondientes a la III columna (los que tienen tres electrones en su órbita de valencia) y V columna de la tabla periódica (los que tienen cinco electrones en su órbita de valencia). La elección de los materiales dependerá de factores tales como: su disponibilidad, existencia, costo de extracción y producción, de aleación, producción local, etc.

Como regla general, los átomos tienden a llenar sus órbitas externas hasta alcanzar el número ideal de ocho electrones, combinándose con otros elementos y/o formando cristales.

Para el caso de tomar como elemento de impureza a uno de la V columna de la tabla periódica, por ej. Antimonio (Sb), Fósforo (P), Arsénico (As) o Bismuto (Bi), en solución con Silicio como material semiconductor base, se formará una estructura cristalina por unión covalente con un electrón sin enlazar; cuatro correspondientes al silicio y cinco correspondientes al material de impureza, los cuales suman 9, contando con un electrón extra y por lo tanto el cristal recibe el nombre de semiconductor extrínseco tipo "n" (n, se refiere a que existen cargas negativas dominantes).

La conductividad eléctrica de los electrones es:

$$\sigma_n = e \mu_n n$$

Siendo μ_n la movilidad de los electrones, e su unidad de carga y n su concentración.

Los electrones provenientes de la impureza, no están exactamente en las mismas posiciones que aquellas que serían producidas

por un electrón de silicio impulsado a la banda de valencia, sino que se encontrarían justamente debajo de esta banda en cuanto a energía. Lo anterior se debe a que el campo eléctrico del contaminante no es igual al del silicio, por lo tanto, el nivel de Fermi E_f se aproxima a la banda de conducción, debido a que se han agregado electrones a la estructura sin agregar huecos, por consiguiente el nivel E_f se desplaza hacia arriba.

Lo anterior se ilustra en la figura I.b.1 donde se muestra una estructura de unión covalente entre átomos de Silicio y un átomo de Fósforo. Ya que no hay espacio para los 9 electrones en la órbita exterior del elemento que cede o da electrones (dador), debe salir un electrón, por lo tanto el átomo dador adquiere una carga positiva con la cual atrae al electrón de tal manera que queda sujeto con una energía de aprox. 0.05 eV. (energía de ionización).

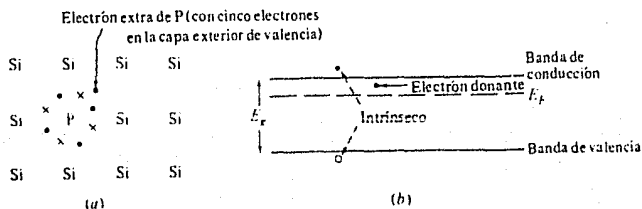


Figura I.b.1

(a) Estructura de Silicio con un átomo de Fósforo como material de impureza, dando lugar a un electrón extra, formando así un semiconductor del tipo n (extrínseco). (b) El electrón del fósforo indicado en (a) se encuentra justamente debajo de la banda de conducción. El nivel de Fermi E_F es mayor debido a la adición de un electrón por encima del antiguo nivel de Fermi y no hay aumento en los huecos electrónicos que están debajo (indicado esquemáticamente).

Para el caso de incluir como elementos de impureza, al semiconductor puro, un elemento con menos electrones de los necesarios para cumplir con los enlaces covalentes, tomados de la III columna de la tabla periódica, por ej. Boro (B), Aluminio (Al), Galio (Ga), Indio (In) o el Talio (Tl), se tendrá que ahora falta un electrón para completar la unión ya que cuenta solamente con 3 electrones en la última órbita, que con los cuatro del Silicio suman 7, formandose un hueco en el lugar donde debería existir otro electrón, por lo tanto se dispone de un cristal con deficiencia de electrones o dicho de otra manera, se cuenta con un cristal con exceso de "huecos", al que se ha denominado semiconductor extrínseco tipo "p" (en este, la concentración de huecos móviles exceden a la concentración de electrones móviles).

La conductividad σ_n eléctrica del material tipo p, sigue la

ecuación:

$$\sigma_n = e \mu_p p$$

Siendo p la concentración de huecos, μ_p su movilidad y e la unidad de carga.

Estos huecos son llamados "huecos electrónicos" y cuentan con carga positiva de igual magnitud a la del electrón pero de signo contrario.

En la estructura tipo p los huecos se encuentran justamente cerca de la banda de valencia, debido a que se han agregado huecos sin agregar electrones.

El elemento de impureza tiende a aceptar un electrón del Silicio, por lo tanto el elemento "acceptor" toma una carga negativa. El hueco dejado por el electrón que se une al aceptador, no es móvil ya que es atraído por la carga negativa tomada por el material acceptor. Sin embargo, esta fuerza es muy pequeña, de aprox. 0.05 eV., a temperatura ambiente, se dispone de suficiente energía térmica para vencer la energía que ata el hueco al acceptor negativo y este se ioniza. Como resultado, en el cristal se tiene una concentración de huecos móviles igual a la concentra-

ción del material contaminante aceptor de electrones.

En la figura I.b.2 se ilustra una unión covalente entre átomos de Silicio y un átomo de Aluminio.

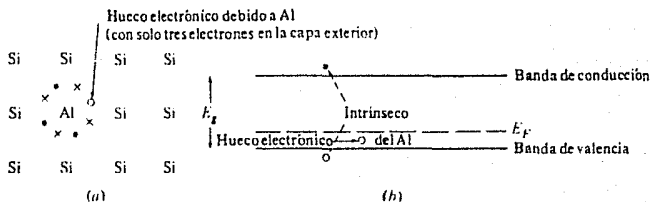


Figura I.b.2

(a) Estructura de Silicio con un átomo de aluminio como impureza, lo cual da lugar a un hueco electrónico, produciéndose así un semiconductor de tipo p (extrínseco). (b) El hueco electrónico producido por el aluminio indicado en (a) se encuentra precisamente encima de la banda de valencia. El nivel de Fermi E_F es más bajo, debido al aumento de un hueco por debajo del antiguo nivel de Fermi y que no hay aumento en el número de electrones arriba (dibujo esquemático)

DIODO DE UNIÓN.

El diodo de unión está constituido por un cristal tipo n y un cristal tipo p; de tal forma que en un lado de la unión se cuenta con un exceso de electrones y del otro un exceso de huecos. Cuando entran en contacto, los electrones tienden a difundirse del material n al p, en tanto que los huecos lo hacen a la inversa. En consecuencia, en la vecindad del contacto, el material tipo n adquiere carga positiva y el material tipo p carga negativa y por lo anterior, aparece un campo eléctrico cuya magnitud depende del número de portadores que fluyen en cada una de las bandas.

La corriente de difusión I_n desde el lado de n al p es:

$$I_n = eD_n (dn/dx)$$

Siendo D_n la constante de difusión para electrones y x la distancia en el cristal.

D_n se relaciona con μ_n por la ecuación

$$D_n = \mu_n (KT/e)$$

Donde T es la temperatura del cristal y K la constante de BOLTZMANN ($k=1.39 \times 10^{-23}$ julios/°K)

De manera análoga una corriente de difusión de huecos I_p fluye en dirección contraria:

$$I_p = eD_p (dp/dx)$$

Lo anterior muestra que en una unión p-n que no está iluminada, aparece en un muy corto tiempo una polarización eléctrica.

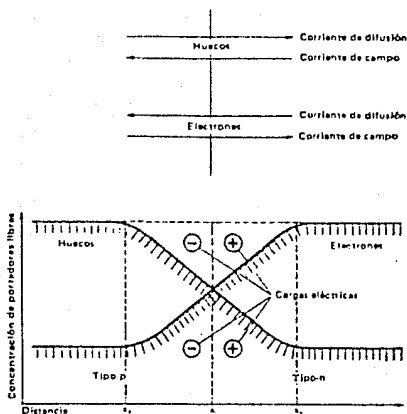


Figura. 1.b.3. Concentración de electrones y huecos en una unión p-n, en equilibrio térmico; corrientes a través de la unión.

Se establece un campo eléctrico a través de la unión p-n entre las cargas positivas y negativas. Este campo E da pie a una corriente de electrones y huecos :

$$i_n = e \mu_n n E ; \quad i_p = e \mu_p p E$$

En equilibrio, la corriente del campo de electrones compensa exactamente la corriente de difusión que fluye en dirección contraria. Lo mismo ocurre con las corrientes de difusión y de campo de los huecos. La difusión de huecos y electrones, penetran sólo una pequeña distancia debido al efecto del campo eléctrico resultante, por lo tanto en equilibrio, las partículas no pasan a través de la unión y las corrientes totales de electrones y huecos son cero.

La concentración en equilibrio de electrones y huecos, como una función de la distancia dentro de la capa de interfase, se puede definir como una distribución de Boltzmann :

$$n(x) = n_n \exp \left(+ \frac{eV(x)}{kT} \right)$$

$$p(x) = p_p \exp \left(- \frac{eV(x)}{kT} \right)$$

Siendo n_0 la concentración de equilibrio de electrones en la capa n, p_0 la concentración de equilibrio de huecos en la capa p y $V(x)$ el potencial eléctrico derivado de la unión. El voltaje total a lo largo de la unión se llama voltaje de difusión V_D , de un valor del orden de 1 volt.

Después del establecimiento de V_D , los electrones de ambos lados de la unión se ven separados por una diferencia de energía eV_D , lo mismo ocurre para los huecos en ambos lados de la unión. Por lo tanto, como resultado, las bandas de energía se doblan en la región de transición p-n. Los electrones que han cruzado la capa límite desde la capa n hacia la capa p, han ganado la energía eV_D . Por esto la banda de conducción es más alta, por una cantidad eV_D en el lado p que en el lado n; por analogía, los huecos ganan la misma cantidad de energía cuando van en dirección contraria.

Es importante notar que por encima de ciertas temperaturas y como resultado de las transiciones intrínsecas, se ionizan térmicamente más electrones desde la banda de valencia hasta la de conducción, que "donadores o aceptores" hay en el cristal. En estas condiciones, desaparece la unión y el nivel Fermi se mueve hacia el centro de la banda prohibida en ambas capas n y p.

Bajo condiciones de iluminación también desaparece el foto-voltaje, pero en la; células de Silicio sólo desaparece completa-mente por encima de los 400 °C, aproximadamente.

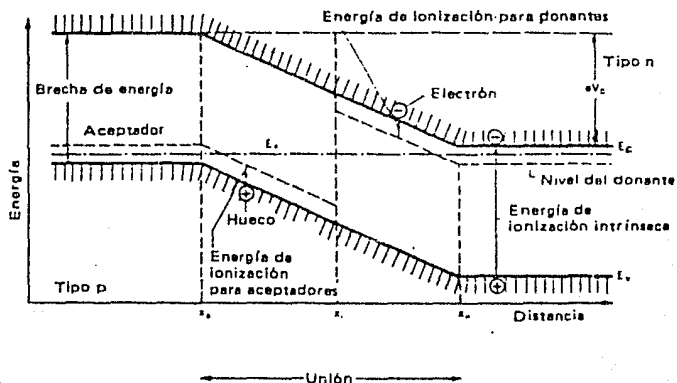


Figura. I.b.4

Una celda solar convencional de unión p-n, se muestra en la figura I.b.5(a,b), y se aprecia que básicamente es un diodo aunque de gran área y con dos contactos óhmicos; el de la parte superior es una rejilla que permite la incidencia de luz en el semiconductor, en tanto que el de la parte posterior es una capa metálica.

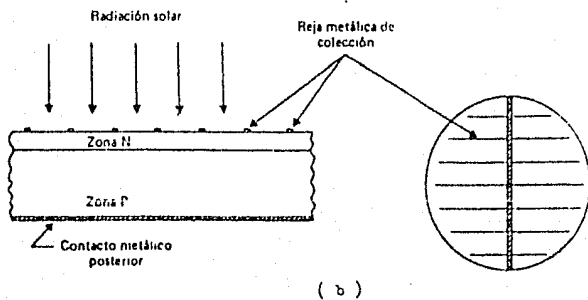
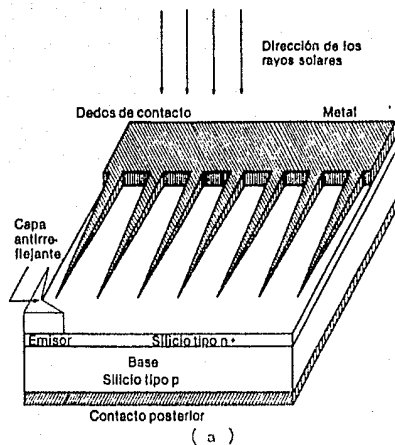


Figura. I.b.5(a,b)

El contacto superior se hace en forma de rejilla para permitir el flujo de luz hacia el semiconductor. En la cara superior se deposita una película de un material adecuado (nitruro de silicio u otros) para reducir al mínimo la reflexión de la luz.

Los contactos óhmicos deberán tener muy poca resistencia y un comportamiento lineal cuando se aplique una polarización positiva o negativa, y no deberán perturbar al diodo sino que actúan como un medio de interacción entre el dispositivo y el exterior.

Al incidir la luz sobre la celda solar, si los fotones (cuantos de luz) absorbidos tienen suficiente energía se produce un exceso de pares electrón-huecos que se mueven en todas direcciones y debido al efecto de difusión se produce una corriente eléctrica. De no existir un campo eléctrico en la unión p-n no se observaría alguna corriente eléctrica, ya que por cada electrón en movimiento aparece el movimiento de un hueco y el flujo neto de carga a través de una sección transversal del semiconductor, se anula. Sin embargo, la presencia del campo eléctrico interfase, provoca la separación de electrones y huecos cuando alcanzan la región de campo eléctrico, y se produce una corriente eléctrica (en este fenómeno, es de gran importancia la longitud de difusión).

200 micras, ya que su duración es menor.

El proceso para obtener fotocorriente, es el efecto fotoeléctrico. Cuando la luz cae sobre un semiconductor libera electrones y huecos por ionización interna, siendo proporcional la concentración de electrones y huecos al coeficiente de absorción de la luz y a la duración de los portadores respectivos. La absorción de la luz sólo es posible, si la longitud de onda es más corta que la banda de absorción del material iluminado.

La energía del fotón en la banda de absorción, corresponde a la energía mínima que se debe suministrar a un electrón para cruzar la banda prohibida de energía. La parte de la energía que excede la brecha de energía (energía de la banda de conducción menos la energía de la banda de valencia), se transforma en energía térmica.

La figura I.b.6, muestra el coeficiente de absorción del silicio. Su borde de absorción es de 1 micra. La profundidad de penetración de la luz es inversamente proporcional al coeficiente de absorción. La luz azul (0.5 micras) es totalmente absorbida por una capa de Silicio de 1 micra de espesor. Para la absorción de la luz de una longitud de onda de 1 micra se requiere un espesor de 100 micras.

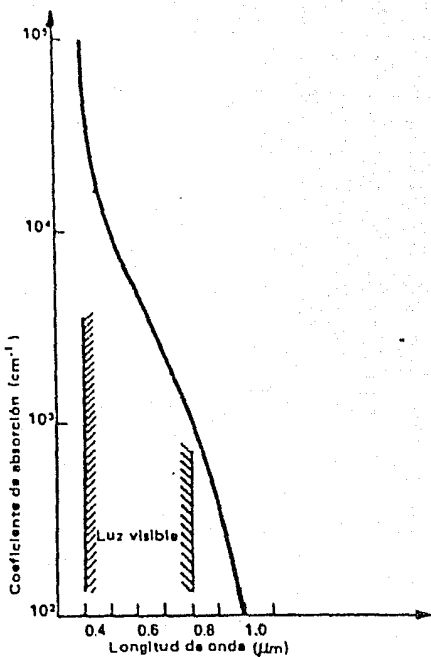


Figura. I.b.6

La duración de los electrones fotocreados y el de los inyectados por una polarización directa aplicada a un diodo sin presencia de luz, es prácticamente la misma. En las celdas solares de silicio prácticas, la duración en la base se ha calculado por debajo de los 10 microsegundos.

Para extraer la máxima potencia de una celda solar se requiere que el valor de la resistencia sea el adecuado. Por ej., cuando la resistencia tiene un valor de cero (corto circuito), se tiene un flujo de corriente debido a la iluminación, pero la potencia generada es también cero, puesto que esta es el producto de la corriente por el voltaje en la celda. Cuando la corriente que produce la iluminación fluye a través de una resistencia diferente de cero, experimenta una caída de potencial y esto provoca que la unión p-n se polarice y el campo eléctrico disminuya.

En equilibrio, la intensidad del campo eléctrico es tal que evita tanto el flujo de electrones desde el lado n hacia el p, como el de huecos desde el lado p hacia el n. Por lo tanto, al reducirse el campo eléctrico en la unión, se produce otra corriente eléctrica debida a la inyección de portadores desde un lado hacia el otro. Esto tiende a reducir la corriente externa, ya que la corriente debida a la iluminación y la corriente de inyección debida a la autopolarización de la celda fluyen en direcciones opuestas. Idealmente se expresa cuantitativamente.

$$J = J_L - J_0 [\exp (V/V_0) - 1]$$

J_0 representa la densidad de corriente debida a la ilumina-

ción, que es mayor entre mayor sea la longitud de difusión de los portadores; J_s es la densidad de corriente de saturación en la oscuridad, la cual depende del campo eléctrico establecido inicialmente en la unión, así como del ancho de la banda prohibida del material y de la temperatura. Entre mayores sean la banda prohibida y el campo eléctrico, menor será J_s ; y aumentará a medida que aumente la temperatura. En la ecuación anterior, V_t ($V_t = kT / e$) es el potencial térmico del cristal asociado con la energía térmica de los portadores y los átomos del cristal. El término exponencial representa el grado de desequilibrio causado al existir una polarización V en el diodo.

La curva J contra V para una celda solar de unión ideal, se muestra en la figura 1.b.7. , donde se ilustra el punto donde la potencia extraída de la celda es máxima, en una curva típica de corriente en función del voltaje para una celda solar, bajo iluminación. Cuando el voltaje es cero se obtiene la máxima corriente J y cuando la corriente es cero se obtiene el máximo voltaje V_{oc} (circuito abierto). En estos casos la potencia generada también es cero. Se debe operar en el punto (J_m, V_m) de la curva para extraer la máxima potencia eléctrica de la celda. Para esto, la resistencia eléctrica R debe ser la adecuada.

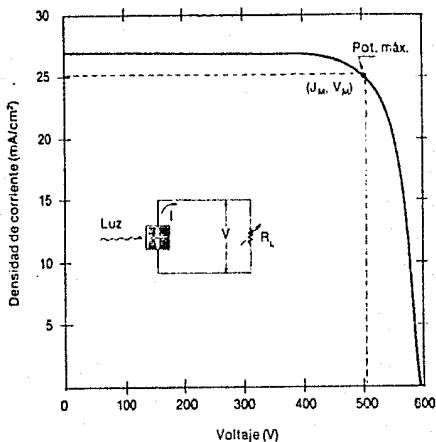


Figura I.b.7

La eficiencia de conversión se define como la relación entre la potencia máxima generada y la potencia de luz incidente sobre la celda. El Voltaje de circuito abierto se puede calcular, en base a la ec. de densidad de corriente :

$$V_{oc} = V_L \ln (J_L / J_0 + 1)$$

Entre mayores sean J_L y V_{ca} mayores serán la potencia máxima y la eficiencia de la celda solar. Así la eficiencia de conversión se define como:

$$\text{Eficiencia} = (J_L \cdot V_{ca}) FC$$

Donde FC es una constante de proporcionalidad que depende ligeramente del voltaje de circuito abierto y de factores tales como la resistencias internas de la celda (que también disipan potencia).

Por otra parte, en la unión entre el metal de conexión y el emisor receptor de los rayos de luz, una barrera tiende a oponerse al flujo de los portadores colectados, sin embargo, cuando la concentración de impurezas en el emisor es alta, la barrera de oposición es delgada y ocurre un fenómeno cuántico conocido como "efecto tunel"; los portadores no necesitan tener una energía mayor que la de la de la barrera para poder pasar del semiconductor al metal, por lo que la resistencia asociada con el contacto metal-semiconductor es pequeña. Esto significa que para tener una baja resistencia de contacto entre el enrejado y el emisor de la celda solar se necesita que la concentración superficial de impurezas en el emisor, sea lo más alta posible

Ic.-FABRICACION DE CELDAS SOLARES

El material de las celdas fotovoltaicas resulta de la formación de enlaces entre semiconductores p y n. Dichos enlaces se logran impregnando impurezas de tipo n sobre estructuras de tipo p o viceversa.

El proceso fotovoltaico se muestra en la siguiente figura:

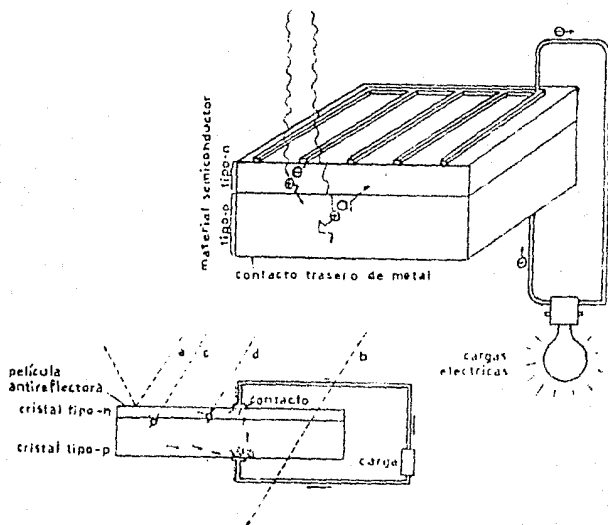


Figura I.c.1. Esquema de un arreglo fotovoltaico.

Un fotón incidente con la energía apropiada (a) libera un electrón y crea un hueco en los átomos cercanos al enlace. Los electrones se desplazan hacia el electrodo en la capa n y los huecos hacia el electrodo en la capa p, al cerrar el circuito exterior se crea un flujo de electrones del electrodo n al p.

Fotones con mayor energía, como el (b), además de liberar un electrón generan calor, mientras que los de menor energía se absorben como calor o pasan a través de la fotocelda.

Todas las celdas solares actuales poseen en común tres características:

- Un absorbente óptico que convierte los fotones en pares electrón - hueco.
- Un campo eléctrico interno que separa estas cargas antes de que se recombinen.
- Contactos en los extremos del semiconductor para la conexión con carga externa.

El rendimiento de las fotoceldas, está dictado por el hecho de que los fotones con energía menor a la requerida para liberar a los electrones, no contribuyen a la corriente fotovoltaica y que la energía no recuperable de los fotones, se disipa en el

calentamiento de la celda.

a) PROCESO DE FABRICACION

Las celdas solares pueden estar constituidas a base de materiales monocristalinos, policristalinos y amorfos. Por lo general son de uno de los siguientes tipos:

- a) Celdas fotovoltaicas por homounión y heterounión.
- b) Celdas solares de contacto anterior interdigitado.
- c) Celdas solares de película delgada.
- d) Celdas solares de silicio amorfo.
- e) Celdas solares policristalinas de película delgada.

a.- Celdas fotovoltaicas por homounión y heterounión.

En la celda fotovoltaica común de silicio, se producen uniones con exceso de electrones (Si tipo n) y uniones deficientes en electrones (Si tipo p) en la misma pastilla por medio de la adición de las impurezas apropiadas y por consiguiente, es llamada celda fotovoltaica por homounión. Cuando las regiones del tipo p y del tipo n se producen de materiales diferentes, generalmente uno del lado derecho y otro de la parte superior de la curva de la figura I.c.2, se llama celda solar de heterounión.

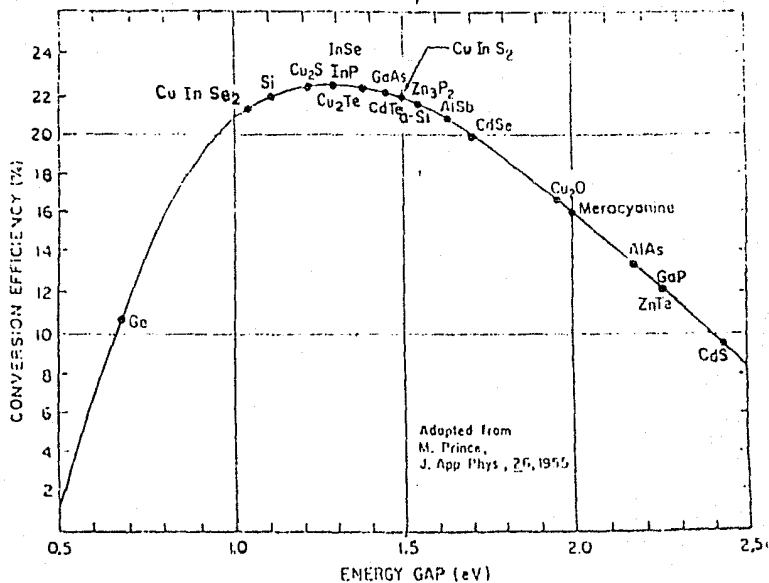


Figura I.c.2

b.- Celdas solares de contacto anterior interdigitado.

Se usan tabletas de silicio de alta pureza y las uniones n y p son producidas por tecnologías de microelectrónica, por ejem-

plo, el número de regiones n y p en una área de 0.8 cm. x 0.8 cm. son 73,000 puntos microscópicos.

c.- Celdas solares de película delgada.

En este tipo de celdas se requiere de un sustrato que sirve de soporte a la celda, los más comúnmente usados son: vidrio, cerámica, plásticos y acero inoxidable. No tienen exigencias tan grandes en cuanto a la pureza del material ya que los portadores de carga generados por la luz tienen que viajar a través del material solo pequeñas distancias antes de que sean colectados. Por consiguiente, muchas técnicas alternativas de preparación de los materiales pueden ser usadas y el costo del proceso puede ser reducido.

d.- Celdas solares de silicio amorfo.

Son producidas usando un sistema totalmente automatizado-- computarizado método conocido como substrate in - module out. Son generalmente producidos a partir de gases de alta pureza: silano, disilano, metano, fosfina, diborano e hidrógeno. Los problemas actuales de este tipo de celdas son que: alrededor del 80% de estos gases son desperdiciados en el proceso y son quemados en el escape del sistema y la fotodegradación.

e.- Celdas solares policristalinas de película delgada.

La celda solar de película delgada de Cu_2Si se produce por el método de inmersión en caliente (hot dip).

El diodo es el dispositivo semiconductor más simple que existe. Está constituido básicamente por una unión p - n con sus respectivos contactos a cada lado de la unión. Por lo general son de uno de los siguientes tipos:

- a) crecimiento de la unión.
- b) aleación
- c) difusión
- d) crecimiento epitaxial
- e) punto de contacto

a).- Crecimiento de la unión.-

Los diodos de este tipo se forman durante el proceso de estiramiento de cristal de Czochralski. Las impurezas del tipo p - n pueden añadirse de manera alternada al material semiconductor fundido en el crisol, lo que ocasiona una unión p - n, cuando el cristal se estira (figura I.c.3). Después de rebanar, el dispositivo de gran área se corta en un gran número de diodos semiconductores de área más pequeña.

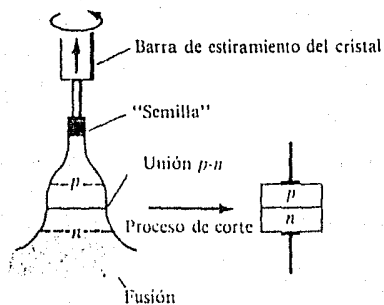


Figura 1.c.3 Crecimiento de la unión

b).- Aleación.-

La unión p - n se forma colocando primero una impureza de tipo p sobre un sustrato de tipo n y calentando ambos hasta que ocurre la licuefacción donde los dos materiales se juntan (figura

I.c.4) una aleación que se produce de este modo cuando se enfria produce una unión $p - n$ en la frontera de la aleación y el sustrato.

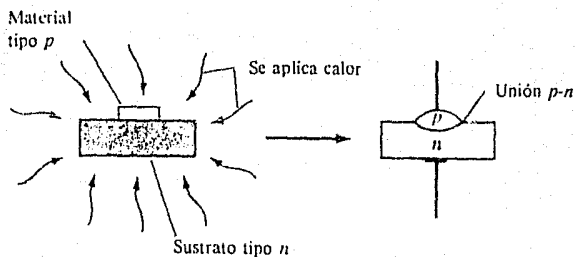


Figura I.c.4 Aleación

c).- Difusión.

El proceso de difusión para formar diodos puede emplear la difusión tanto sólida como la gaseosa. La difusión es un proceso

dirá" dentro de una región circundante de menor concentración. La diferencia entre los procesos de aleación y de difusión es el hecho de que la licuefacción no se realiza en este último. En el proceso de difusión se aplica calor sólo para aumentar la actividad de los elementos involucrados.

El proceso de la difusión sólida se inicia con el "depósito" de impurezas aceptadoras sobre un sustrato de tipo n y el calentamiento de ambos hasta que las impurezas se difunden dentro del sustrato para formar la capa de tipo p (figura I.c.5a).

En el proceso de difusión gaseosa, un material de tipo n se sumerge en una atmósfera gaseosa de impurezas aceptadoras y después se calienta (figura I.c.5b). Las impurezas se difunden dentro del sustrato para formar la capa de tipo p del diodo semiconductor.

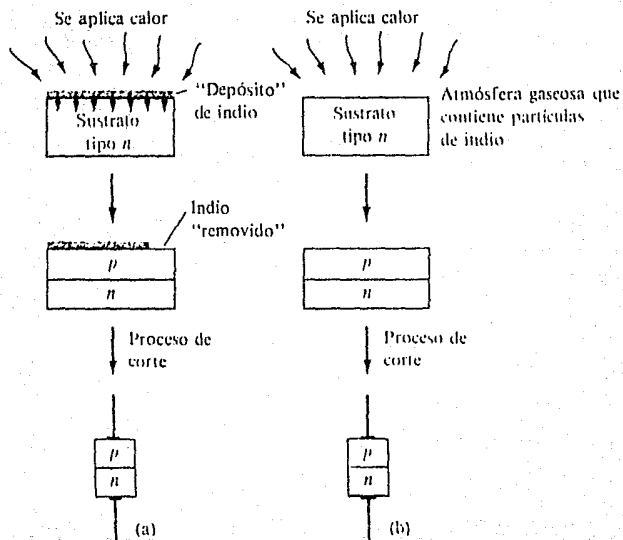


Figura. I.c.5a y I.c.5b Diodos producidos mediante el proceso de difusión.

d).- Crecimiento epitaxial.-

A una oblea base de material n^+ se le deposita una capa metálica como se muestra en la figura I.c.6. La n^+ indica un nivel de impurificación muy alto para una característica de resistencia reducida. Su propósito es actuar como una extensión semiconductor de conductor (capa metálica) y no como el material tipo n de la unión $p-n$. La capa tipo n se depositará sobre esta capa como se muestra en la figura I.c.6 empleando un proceso de difusión. El Silicio tipo p se aplica después usando una técnica de difusión y la capa metálica del ánodo se agrega como se indica en la figura I.c.5a

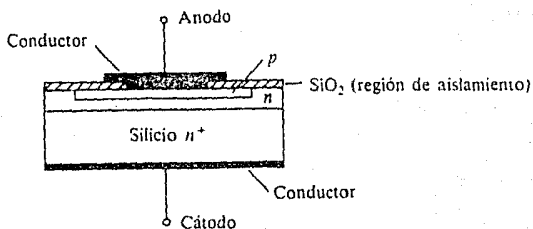


Figura I.c.6 Crecimiento epitaxial

e).- Punto de contacto.-

El diodo semiconductor de punto de contacto se construye presionando un resorte de bronce Fosfórico (denominado bigote de gato) contra un sustrato tipo n (figura I.c.7). Una elevada corriente se hace pasar posteriormente a través del bigote y el sustrato durante un breve periodo, lo que provoca que un buen número de átomos pasen del alambre al material tipo n para crear una región en la oblea.

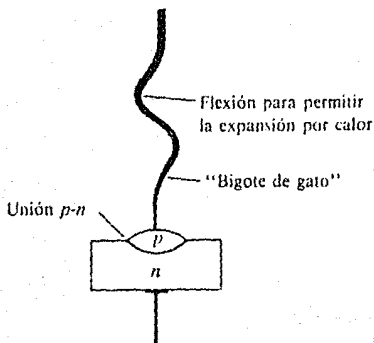


Figura I.c.7. Punto de contacto.

f).- Diodo Túnel.-

El diodo túnel se fabrica impurificando el material semiconductor que formará la unión p-n en un nivel de cien a miles de veces mayor que un diodo semiconductor típico. Esto produce una región de vaciamiento bastante reducida del orden de magnitud de 10^{-6} cm o por lo común alrededor de 1/100 del ancho de esta región para un diodo semiconductor común. Es en esta delgada región de vaciamiento donde muchos portadores pueden "pasar a través de un túnel", en vez de intentar superarla a potenciales de polarización directa, bajas, que explican el pico en la curva de la figura 1.c.8. La característica de un diodo semiconductor típico se ha superpuesto a la característica del túnel.

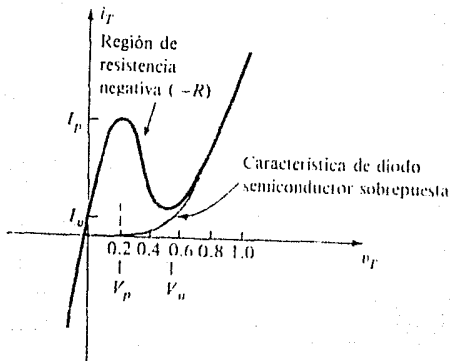


Figura 1.c.8 Diodo Túnel.

Fotolitografía.-

Consiste en transferir la imagen de una mascarilla a la oblea (o sustrato de silicio), utilizando una resina sensible a la luz ultravioleta. Esta mascarilla es un negativo en el cual están impresas imágenes múltiples de los dispositivos o circuitos integrados que se desea obtener sobre la oblea de silicio.

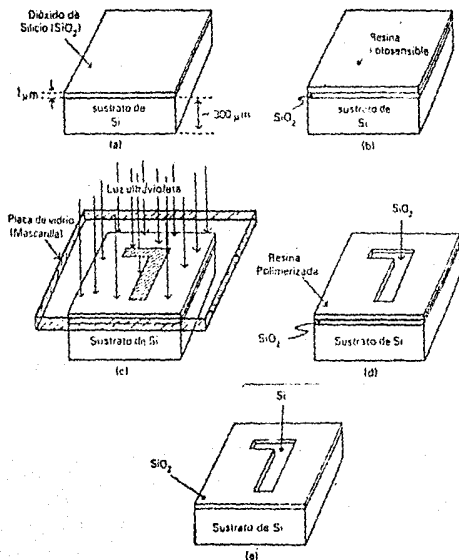


Figura 1.c.9 Fotolitografía.

Para la formación de la película de dióxido de silicio, (SiO_2), se oxida la oblea de silicio en un horno de alta temperatura (900-1200 °C) como se muestra en la figura I.c.9a posteriormente se aplica la resina sensible sobre la oblea oxidada (figura I.c.9b). Se alinea la imagen de la mascarilla con otras imágenes en la oblea, utilizando una máquina de alineación de alta precisión. Luego de realizar la alineación, se pone en contacto la mascarilla con la oblea y se hace incidir luz ultravioleta. En caso de utilizar resina negativa, ésta se polimeriza (o se endurece) en las regiones expuestas a la luz ultravioleta (figura I.c.9c). Posteriormente, por medio de un proceso de revelado, la resina no expuesta se elimina, quedando solamente la resina endurecida (figura I.c.9d). A continuación se elimina químicamente la capa de SiO_2 no protegida por la resina y finalmente, la resina endurecida se elimina dejando solo la capa de SiO_2 (figura I.c.9e). De esta forma, la imagen que tiene la mascarilla se graba en la oblea oxidada.

COMPONENTES DE LAS CELDAS SOLARES

La celda solar es la unidad más pequeña de un sistema fotovoltaico, convirtiendo directamente la radiación solar en electricidad.

En condiciones estándar de insolación, un celda solar comercial genera un voltaje de 0.5 a 1.0 volt. y una densidad de corriente de 10 a 30 mA / cm².

Como cada celda solar genera una muy pequeña cantidad de energía eléctrica, se tienen que interconectar en serie y paralelo para obtener la cantidad de energía requerida.

Según el diseño de montaje, se pueden dividir los arreglos fotovoltaicos en tres tipos; en todo ellos las celdas se encuentran inmersas en un relleno transparente:

- a) Vidrio/relleno y celdas/vidrio.
- b) Cubierta anterior transparente/relleno y celdas/soporte estructural opaco.
- c) soporte estructural transparente/relleno y celdas/cubierta posterior opaca.

En la figura I.c.10 se muestra en forma esquemática un módulo fotovoltaico.

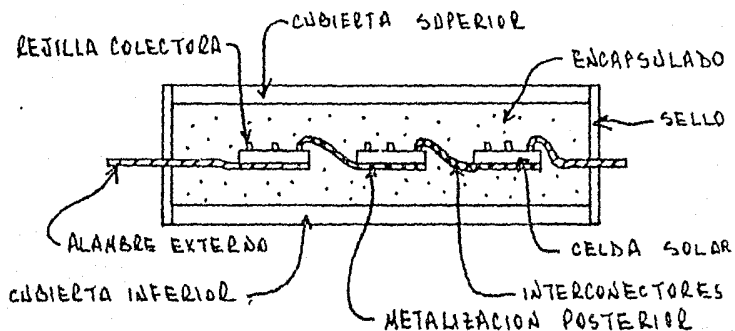


Figura I.c.10 Esquema de un arreglo fotovoltaico

I.d.- PRINCIPALES TIPOS DE CELDAS SOLARES

Se puede conseguir un efecto de conversión fotovoltaica en todos los semiconductores. Los aislantes son inapropiados a causa de la baja conductividad y los metales son insensibles a la luz debido a su alta concentración de electrones en la oscuridad.

Los semiconductores que mejor se adaptan a la conversión de la luz solar son aquellos que dan el mejor producto de corriente-voltaje para la luz visible. De hecho, la mayor cantidad de energía transmitida por los rayos solares está en la zona de luz visible del espectro. Los semiconductores como el PbS, que son sensibles a la luz infrarroja, son, por lo tanto, inadecuados para la conversión de energía, pero se utilizan en la detección de luz infrarroja. El ZnS, con una máxima sensibilidad en la zona ultra-violeta del espectro de radiación solar, tampoco es adecuado.

Hasta el momento, el silicio es el material semiconductor más importante para la conversión fotovoltaica de la energía solar, y es también el material base para toda la industria electrónica. La figura I.d.1 muestra unas celdas solares de silicio típicas para uso terrestre.

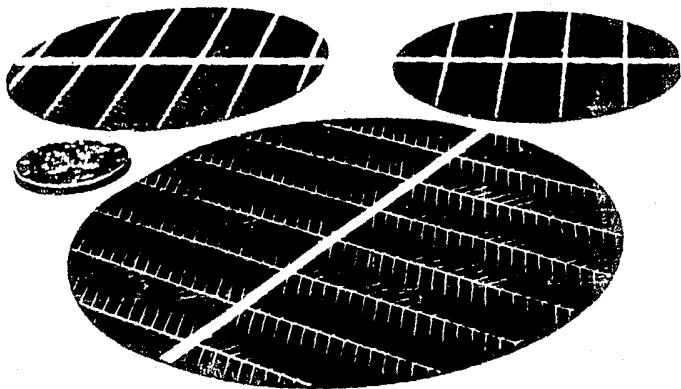


Figura I.d.1

Hoy en día, todas las celdas solares se fabrican de material monocristalino. Las celdas normales de "bajo costo" son redondas porque están hechas a partir de láminas cortadas de barras tal como éstas resultan de la fusión. La estructura de la celda típica de silicio se muestra en la figura I.d.2 .

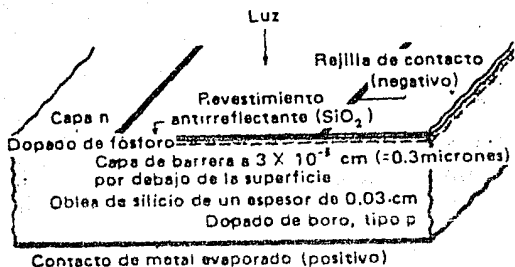


Figura 1.d.2

La estructura mostrada es de uso común, aunque puede sufrir modificaciones. Por ejemplo, se puede reducir el espesor a 50 micras, el revestimiento antirreflectivo se puede suprimir para bajar su costo y la polaridad del voltaje se puede invertir

usando una estructura p-n en lugar de una n-p. Por otra parte, se pueden emplear también otros materiales de dopado (impureza).

A causa de la capa de barrera, que es esencial para el efecto fotovoltaico, las celdas solares tienen características de diodo en la oscuridad. En la figura I.d.3 se muestra la curva característica corriente-voltaje de una celda típica.

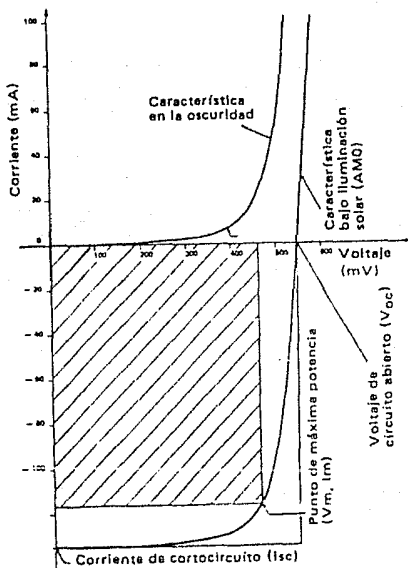


Figura I.d.3

Bajo condiciones de iluminación, la curva I-V mantiene la misma forma pero desplazada a lo largo del eje de corrientes negativas. Como resultado aparece un voltaje de circuito abierto en el eje de voltaje positivo y una corriente de cortocircuito en el eje de corriente negativa.

La curva I-V se desplaza linealmente a lo largo del eje de corriente en función de la intensidad de la luz. De aquí que la dependencia de la intensidad de la corriente de cortocircuito sea lineal. A continuación, el voltaje de circuito abierto se incrementa en forma logarítmica en función de la intensidad de la luz.

En la figura I.d.3 se muestran dos rectángulos alrededor de la características I-V. La relación del rectángulo menor con el mayor se denomina factor de ocupación. En las celdas solares de silicio, el factor de ocupación esta entre 0.7 y 0.82. Para las celdas de silicio que funcionan a temperatura ambiente con una intensidad de iluminación de 1.38 KW/m^2 , los voltajes de circuito abierto típicos están alrededor de 550 y 600 mV, y las corrientes de cortocircuito son unos 30 mA/cm^2 .

La potencia que se puede obtener de una celda solar disminuye con el aumento de temperatura. Generalmente, las pérdidas

oscilan entre 0.35 y 0.45% por °C de incremento de temperatura. En otras palabras, una celda solar de silicio libera un 20% más de potencia a 20°C que a 70°C. En la figura 1.d.4 se puede observar que la causa de esta pérdida es principalmente el descenso del voltaje de circuito abierto.

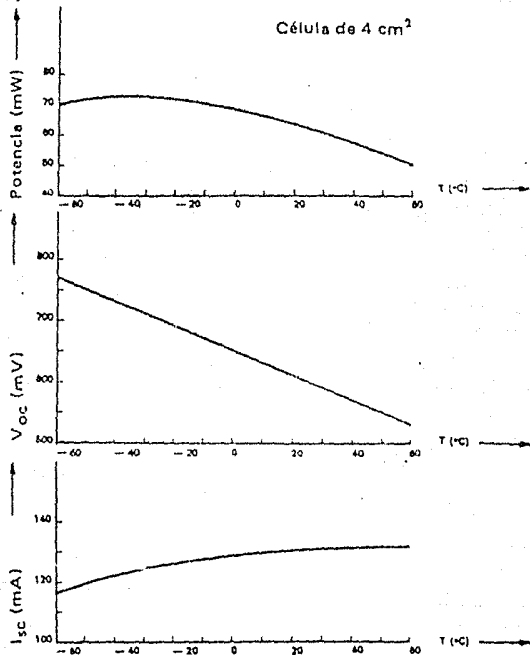


Figura 1.d.4

es común en las celdas solares el que la corriente sea afectada en menor medida por la variación de temperatura. En la figura de referencia, también se muestra la variación de la potencia en función de la temperatura.

El rendimiento de una celda solar se define como la relación entre la energía eléctrica que se puede obtener en el punto de máxima potencia de la curva I-V y la luz incidente. Para la luz visible monocromática, o sea, un rayo de luz amarillo o verde, el máximo rendimiento teórico de una celda solar de silicio es del 45-50%. Sin embargo, los rendimientos que se obtienen para la luz solar son más bajos. Esto ocurre porque el espectro de la luz solar se extiende desde el ultravioleta, a través de la escala visible, hasta el infrarrojo lejano (ver figura I.d.5), mientras que las celdas solares de silicio son insensibles a la luz no visible y muy cerca de la parte infrarroja del espectro. Esta característica se muestra en la figura I.d.6 en la cual se puede observar la curva de respuesta espectral de una celda solar convencional de silicio.

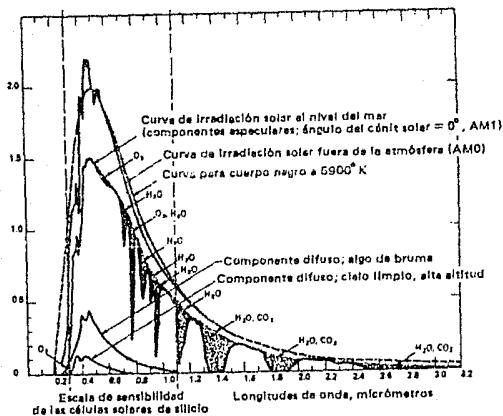


Figura 1.d.5

Para la luz solar fuera de la atmósfera, llamada "masa de aire 0" (AM0), con una intensidad de la luz de 1.38 KW/m^2 , el máximo rendimiento teórico de conversión para las celdas solares de silicio es del 19%. Se debe tomar en cuenta que este espectro sólo es relevante para aplicaciones en satélites. Al nivel del

mar el espectro es diferente y la figura I.d.5 muestra que el infrarrojo es mucho más pobre ahí que es el espacio.

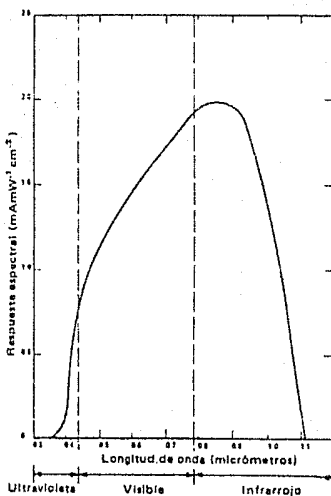


Figura I.d.6

La máxima luz sobre la superficie la Tierra al nivel del mar se llama "masa de aire 1" (AMI). Su intensidad es de 1KW/m^2 . En las altas montañas la intensidad aumenta hasta 1.1KW/m^2 . Aunque la intensidad de la luz sobre la Tierra sea más baja que en el espacio, la distinta composición del espectro a nivel del mar tiene el efecto de concentrar más la energía que viene en la parte del espectro donde las celdas solares son más sensibles. Partiendo de las experiencias, se ha encontrado que el rendimiento de las celdas de silicio es, como norma general, un 20% más alto en la Tierra que fuera de la atmósfera. La máxima eficiencia teórica de conversión para las celdas solares de silicio, bajo máxima iluminación con luz solar en la superficie de la Tierra, puede ser de un 23 %.

Los rendimientos conseguidos hasta ahora con celdas solares de silicio comerciales están entre el 10 y el 15 %. Desde 1971 se ha venido realizando un considerable esfuerzo a escala de laboratorio para incrementar la eficiencia de las celdas de silicio.

Esto ha conducido a un desarrollo de las celdas con un rendimiento máximo entre el 17 y el 19 %, un nivel que está próximo al máximo teórico. Es razonable esperar que las celdas comerciales se beneficien con estos logros y que en un futuro cercano estén en el mercado celdas con eficiencia del 15 al 16 %.

Por el momento, las celdas de silicio son las únicas disponibles comercialmente. Se está realizando, sin embargo, trabajos de investigación y desarrollo sobre varios materiales y estructuras con el objeto de explorar nuevas soluciones para las celdas solares de bajo costo.

Después del silicio, el material que más ha atraído el interés internacional de investigación es el sulfuro de cadmio (CdS), que ofrece buenos rendimientos de conversión cuando se emplea asociado con sulfuro de cobre (Cu_2S), como heterouniones CdS- Cu_2S . En 1974 se proyectó la producción comercial de celdas solares de CdS por primera vez. La Tecnología propuesta consiste en una celda de "pared frontal" que está formada por un sustrato sobre el cual se evaporan una capa de CdS de 20 micras de espesor con una película fina de Cu_2S en su parte superior; el conjunto está encerrado herméticamente en una cápsula de vidrio.

Se está desarrollando también una estructura modificada de CdS- Cu_2S , cuya sección esquemática puede verse en la figura 1.d.7.

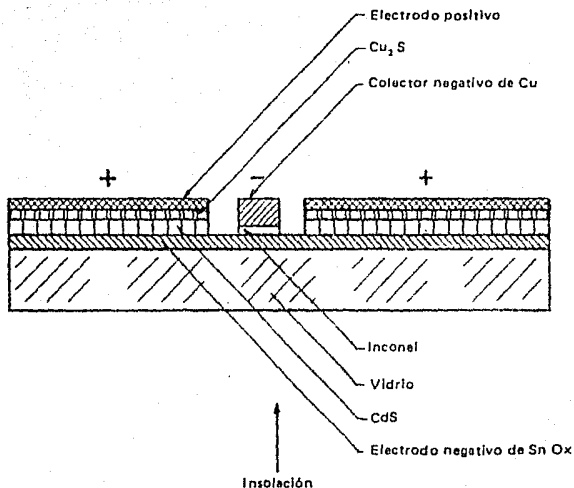


Figura I.d.7

Se emplea un vidrio normal de ventana como sustrato y por medio de una pulverización química se colocan, en capas sucesivas, una lámina de óxido de estaño conductora transparente, una capa de CdS y, finalmente, una capa de Cu₂S. El espesor de las tres capas no excede las 3 micras al colocarse juntas. La celda está pensada para la iluminación desde atrás, o sea, la luz debe

primero cruzar el sustrato de vidrio y el espesor de la capa del semiconductor antes de alcanzar la capa de barrera o la unión. Este tipo de estructura se llama celda de "pared-trasera".

Se considera que las celdas solares de CdS son particularmente prometedoras para conseguir celdas solares de muy bajo costo, tales como las necesarias para la conversión fotovoltaica a gran escala en centrales de energía solar. Ante todo, implican un consumo muy bajo de material ya que son extremadamente delgadas. Una celda solar de CdS es el ejemplo típico de una "celda solar de capa fina". En segundo lugar, están hechas de material policristalino que es menos costoso que el silicio monocristalino.

Los voltajes de circuito abierto de las celdas de CdS están en la escala de 400 a 500 mV, el cual es inferior al de las celdas de silicio. Se han observado corrientes de cortocircuito comparables a aquellas que se presentan en las celdas de silicio convencionales. El rendimiento máximo obtenido en un laboratorio está entre el 8 y el 8.5%, pero es más común una eficiencia del 5% en las unidades de pequeña producción, que han funcionado hasta ahora. Se estima que el máximo rendimiento teórico de las celdas solares de CdS de película muy fina, está entre el 11 y el 14%.

El desarrollo de la celda de CdS se ha visto afectado durante muchos años por la baja estabilidad en su tiempo de vida. Sin embargo, recientemente se ha demostrado la factibilidad de celdas solares de CdS estables hasta los 90°C y las perspectivas futuras para el CdS en el campo de la producción de electricidad a gran escala son prometedoras. Las celdas solares de CdS aun son inapropiadas para el funcionamiento bajo luz altamente concentrada, que implica altas temperaturas de funcionamiento a pesar de la refrigeración externa. Por encima de los 90°C, las celdas de CdS pueden sufrir deterioros que afecten la vida del sistema.

Un tercer tipo de celda es la de arsenuro de galio (GaAs).

En la forma de celdas de capa delgada policristalina, la celda de GaAs rinde poco, pero cuando se usa en la forma monocristalina como en las celdas de silicio, se pueden obtener altos rendimientos de conversión. Se han obtenido rendimientos de 13% y en algunos casos hasta de 19%. En la superficie terrestre, la eficiencia teórica máxima es del 27%, que es mayor que la estimada para las celdas de silicio. En la figura I.d.8 se muestra una estructura propuesta recientemente para la celda de GaAs.

Debido a su alto coeficiente de absorción para la luz visible, toda ésta se absorbe en una capa superficial no mayor a una micra de espesor. No obstante, el consumo de material por unidad

de área es mayor que para las celdas de CdS, ya que se necesita un sustrato de GaAs monocristalino.

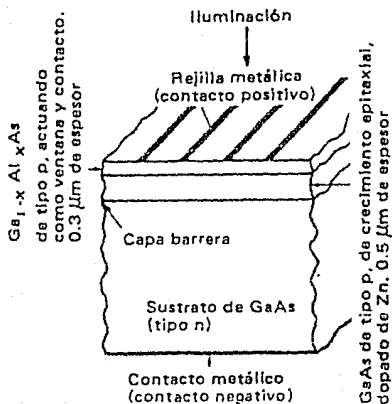


Figura 1.d.8

El arsénico es un elemento caro que a alta pureza cuesta alrededor de 0.70 dólares por gramo. El galio aunque no es tan costoso, con alta pureza cuesta unos 5 dólares por gramo. La desventaja en costo del GaAs comparado con el CdS es mayor si se

considera que con la tecnología disponible actualmente, primero deber ser transformado al estado monocristalino. De aquí que el GaAs parezca inapropiado para la fabricación de celdas solares de "muy bajo costo".

No obstante, las celdas de GaAs resultan atractivas si se les adaptan aparatos de concentración ya que por encima de 100°C, el rendimiento de aquellas es mejor que el obtenido con las celdas de silicio convencionales. Además, tienen la ventaja de que su disminución de voltaje con la temperatura es de 2.6 mV por °C de incremento de temperatura, que es menor a las pérdidas que se presentan en el silicio. En consecuencia, la potencia de las celdas de GaAs desciende de un 0.2 a un 0.3% por °C, mientras que en las celdas de silicio es de 0.35 a 0.45%. Por otra parte, el voltaje de circuito abierto a temperatura ambiente es sólo ligeramente menor a 1 volt, que es apreciablemente mayor que el de las celdas de silicio y por consiguiente la disminución de voltaje como porcentaje del voltaje original es comparativamente baja para las celdas de GaAs.

Para obtener mejores eficiencias de conversión, una de las alternativas probablemente más sugestivas y prometedoras y también quizá la más difícil de realizar, son los sistemas de adaptación espectral que utilizan más de una celda de diferentes

materiales para aprovechar más eficientemente el espectro solar. En este campo son dos las opciones principales que se están explorando: en la primera de ellas, el espectro solar se divide en dos o más partes mediante la utilización de filtros ópticos, enviando la parte más energética sobre las celdas de mayor ancho de banda prohibida (ver figura 1.d.9). La viabilidad de ésta opción ha sido demostrada experimentalmente en un sistema de concentración que utiliza dos celdas, una de silicio para los fotones de baja energía y una de AsGaAl para los de alta energía, habiéndose medido una eficiencia global para las dos celdas del 28.5%.

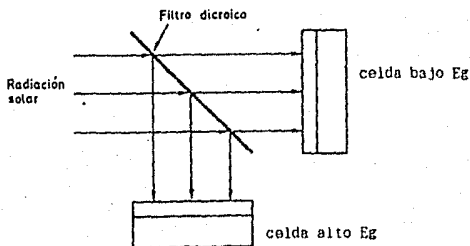


Figura 1.d.9

La segunda de las opciones, está basada en la utilización de celdas solares en cascada, conectadas eléctrica y ópticamente en serie (ver figura I.d.10). En esta solución, la celda (o celdas) de mayor E_g se coloca encima de la de menor E_g . Los fotones de mayor energía son absorbidos por la celda superior, que por el contrario, deja pasar aquellos fotones de energía inferior a su ancho banda prohibida.

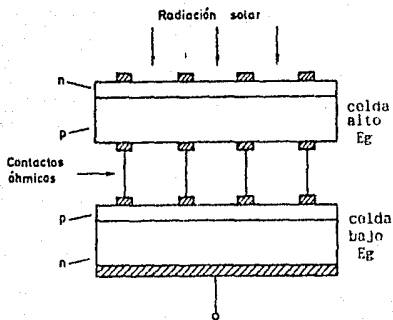


Figura I.d.10

La conexión eléctrica entre ambas celdas es uno de los puntos más críticos de esta opción. En la práctica, se pretende fabricar una estructura monolítica de diferentes capas para formar una celda única multicolor. Sin embargo, si las cuatro capas de las celdas de la figura I.d.10 se crecen sucesivamente sobre un sustrato común, resulta una unión (heterounión) n-p adicional en la interface de separación de ambas celdas. Para eliminar este inconveniente, la solución adoptada hasta ahora, y que todavía se encuentra en estado de desarrollo, ha sido la de utilizar una unión túnel para conectar las celdas.

Recientemente, se ha realizado un cierto número de cálculos teóricos para estimar los rendimientos límite de conversión de ambas opciones: la de separación espectral con filtro óptico y la de celdas en cascada.

La diferencia entre los rendimientos teóricos de ambos casos es muy pequeña y no será determinante para decidir cuál de las dos opciones será finalmente desarrollada.

La figura I.d.11 muestra los límites de conversión en función del número de celdas para iluminación AM1, mientras que la figura I.d.12 da el rendimiento para iluminación AM0 a distintas concentraciones y temperaturas. Como puede observarse, los ren-

dimientos pueden alcanzar valores realmente altos para grandes concentraciones y un elevado número de celdas. En la practica sin embargo, los sistemas de dos celdas, quizá tres, parecen ser los más viables hasta ahora.

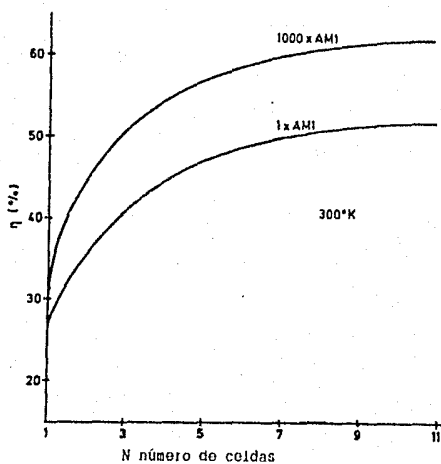


Figura I.d.11

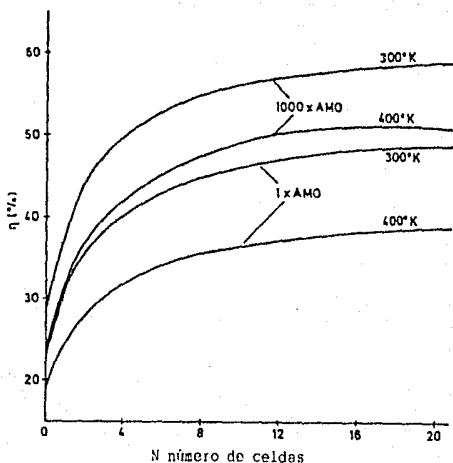


Figura I.d.12

La eficiencia teórica para sistemas de dos celdas se encuentra alrededor del 35% para 1 sol AMI y del 44% para alta concentración (>500xAMI). Para condiciones AMO estos valores se reducen a un 32 y 40%, respectivamente. Los rendimientos reales son del orden de 0.75 a 0.80 veces el valor teórico calculado, debido a pérdidas por reflexión, resistencia, sombra de la malla de contacto, etc.; es decir, las eficiencias de conversión que se pueden esperar son del orden del 28% a 1 sol y del 35% a altas concentraciones.

Existen muchas más estructuras y celdas solares de semiconductores compuestos, como AlSb, Inp-Cds, CdTe, CdSe, SnO₂-Si, etc., pero, aparte de las celdas de CdTe sobre las cuales se está trabajando un poco, actualmente ninguna de ellas ha conseguido despertar el suficiente grado de interés, por lo tanto, cae fuera del alcance de este trabajo el examinarlas en detalle.

En la tabla I.D.1, se muestran las fechas clave en el desarrollo histórico de las celdas solares.

	Etapas del progreso general	Células solares de silicio	Células de GaAs	Células de CdS	Aplicaciones
1901-1950	1949. Billig & Plessner: primeras mediciones del rendimiento (selenio).	1941. Ohl: descubrimiento del efecto fotovoltaico en los cristales de silicio.		1932. Audubert y Stora: primer efecto FV en el CdS.	
	1930. Schottky: teoría del efecto FV en una barrera (Cu ₂ O).				1930. Lange: primeras sugerencias de células solares para la conversión directa de la luz en electricidad.
1801-1900	1876. Adams y Day descubren el efecto FV en un semiconductor (selenio).				
	1839. Becquerel descubre el efecto fotovoltaico en un electrólito.				

Tabla I.D.1

Tabla I.D.1

Historia de las células solares

Etapas del progreso general	Células solares de silicio	Células de GaAs	Células de CdS	Aplicaciones
1951-1975	1974. Haynos: la célula no reflectiva.		1974. Jordan: 5% conseguido en las células depositadas por spray de bajo coste.	
	1974. Células a partir de cintas de silicio.	1973. Woodall: rendimientos por encima del 15% en células de GaAs - GaAs.	1973. Evidencia de las células de larga vida.	
	1972. Lindmayer: la célula violeta.		1969. Rendimiento del 8% en células evaporadas.	
		1962. Lamorte: rendimiento del 13% conseguido en células de GaAs.	1962. Chamberlin: primera célula depositada por spray de bajo coste.	
	1960. Células dendríticas.			
	1960. Primer uso de contactos en rejilla.		1961. Primera evidencia de las células de Cu ₂ S-CdS.	
		1959. Células policristalinas del 5%.		
	1958. Primeras células solares en un satélite (VANGUARD II).			
	1956. Jenny Loferski, Rappaport: estudio sobre el rendimiento óptimo de los materiales.			1956. Primeras aplicaciones terrestres para luces de flash, luces de navegación, estaciones de comunicación.
	1954. Pearson, Fuller, Chapin: primera célula solar práctica (silicio).		1954. Welker: primer efecto FV en el GaAs.	1954. Primeras células de capa fina (sobre vidrio). 1954. Reynolds. Leles: efecto fotovoltaico en cristales de CdS.

Ie.- CARACTERIZACION Y PRUEBAS DE LAS CELDAS SOLARES

Existe un amplio campo de técnicas de caracterización de los dispositivos fotovoltaicos, según el tipo de información que se desea obtener. Por lo que se dividirán los parámetros a medir en tres grupos:

a) LOS PARAMETROS FUNDAMENTALES: proporcionan información sobre el funcionamiento interno del dispositivo y están relacionados íntimamente con la estructura física interna del material o elemento fotovoltaico. Las más importantes son: Longitud de difusión, tiempo de vida media, velocidad de recombinación superficial, anchura de banda prohibida, etc., ya que el conocimiento de estos parámetros interesa sobre todo en la etapa de investigación o desarrollo del dispositivo.

b) LOS PARAMETROS OPERATIVOS O FOTOVOLTAICOS: son por ejemplo la corriente de cortocircuito, la potencia máxima, el factor de llenado o el rendimiento y dan una idea del comportamiento eléctrico del dispositivo como un elemento circuital o generador de potencia.

c) LOS PARAMETROS DE FIABILIDAD: son una medida de la calidad de la celda o panel como componente que trabaja en una con-

dición climatológica, que pueden llegar a ser adversas: lluvias, niebla salina, humedad, cambios grandes o bruscos de temperatura, corrosión, tensiones y esfuerzos de los vientos, golpes de granizo, etc.

Cada uno de los anteriores parámetros originará sus propios métodos de medida y ensayo. Es de hacer notar que los parámetros que interesan más, serán aquéllos que se refieren a la caracterización de la celda como generador de potencia y los que dan una idea del tiempo de vida efectivo del dispositivo, es decir de la calidad. Por lo que se tratará especialmente de las medidas de tipo fotoeléctrico y de los ensayos de fiabilidad.

MEDIDAS FOTOELECTRICAS

En este grupo se clasifican las técnicas de medida que evalúan a las magnitudes eléctricas que caracterizan a la celda solar sometida a una inyección luminosa.

Hay dos medidas fundamentales: la característica corriente tensión y respuesta espectral.

CARACTERISTICA CORRIENTE-TENSION

La figura I.e.1 se muestra la curva obtenida en condiciones de iluminación, así como los parámetros más importantes:

V_{oc} : Tensión de circuito abierto.

I_{sc} : Corriente de cortocircuito.

V_{mp} : Tensión en el punto máximo.

I_{mp} : Corriente en el punto máximo de potencia.

F.F : Factor de llenado que interesa que sea lo más próximo posible a la unidad.

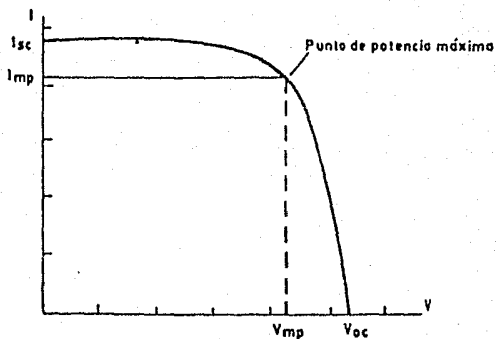


Figura 1.e.1 Característica corriente-tensión de una celda solar.

En la figura I.e.2 se ve la influencia de la resistencia serie R_s y de la resistencia paralelo, R_{sh} , sobre el F.F., es decir sobre la potencia máxima que se puede extraer del dispositivo.

Es importante notar que una R_s grande y una R_{sh} pequeña se traduce en una perdida de rendimientos fotovoltaicos y evidencia defectos en el proceso de fabricación y en el material base.

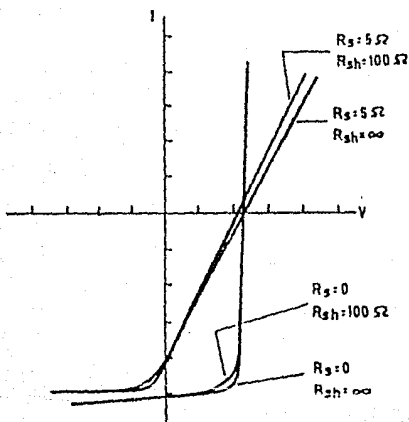


Figura I.e.2 Influencia de R_s

En la figura I.e.3 se indica una manera sencilla de calcular las R_w según el método Wolf. A continuación se da una metodología normalizada para esta medida de R_w .

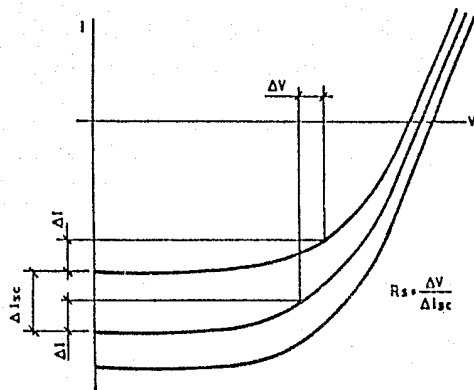


Figura I.e.3 Determinación de R_w y R_{wn}

- 1.- Trazar la característica corriente-tensión de la muestra a dos diferentes intensidades de luz y a una misma temperatura (entre 23°C y 27°C con un error máximo de $\pm 5^\circ\text{C}$).
- 2.- Escoger un punto de cada característica, con preferencia cerca del codo de la curva, cuya corriente esté por debajo de I_{sc} en un cierto valor ΔI igual para ambas curvas.
- 3.- Medir la diferencia de tensión ΔV entre estos dos puntos.
- 4.- Calcular R_s como sigue:

$$R_s = \frac{\Delta V}{I_{sc_1} - I_{sc_2}}$$

De donde I_{sc_1} , y I_{sc_2} , son las corrientes de corto circuito.

- 5.- Repetir los pasos 2º, 3º y 4º, utilizando una característica tomada a una tercera intensidad de luz, a la misma temperatura, en combinación con cada una de las primeras curvas. Tomar la medida de los tres valores de R_s así calculados.

La medición de la característica corriente-tensión requiere una infraestructura compuesta fundamentalmente por tres bloques:

fuente de luz, soporte con control de temperatura y sistema de adquisición de datos (figura I.e.4), la curva I-V en la oscuridad se muestra en el diagrama semilogarítmica de la figura I.e.5. De la característica experimental se puede, con ayuda de los métodos numéricos adecuados, modelar la celda según el modelo circuital de la figura I.e.6 (no se tiene en cuenta el efecto de Fish en la descomposición de la figura I.e.5).

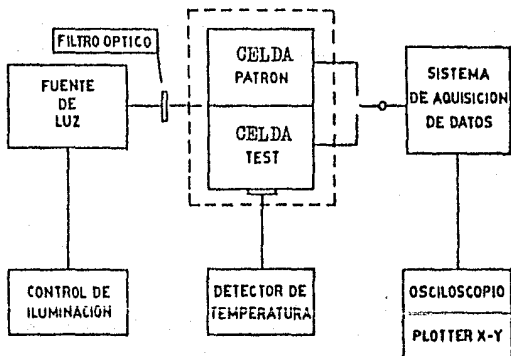


Figura I.e.4. Instrumentación para característica I-V

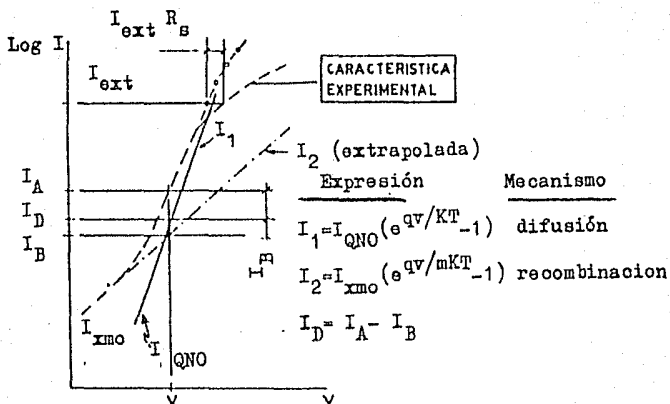


Figura I.e.5. Descomposición de la característica I-V de una celda solar en oscuridad.

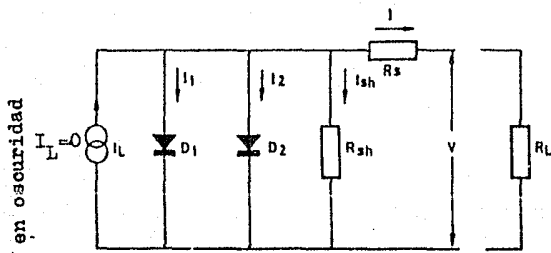


Figura I.e.6. Modelo circuital de una celda solar

RESPUESTA ESPECTRAL

La respuesta espectral, permite analizar el comportamiento del dispositivo en función del tipo de luz que recibe, es decir de la longitud de onda incidente. Encontrándose en este caso la celda violeta de Lindmayer que indica la propiedad que tiene el dispositivo de absorber determinadas longitudes de ondas cortas correspondientes a fotones más energéticos.

La caracterización de las celdas solares, en su medición con respuesta espectral, suele definirse como:

$$S(\lambda) = \frac{\text{Densidad de corriente de cortocircuito } (I_{sc})}{\text{Irradiancia } (E)}$$
$$= \frac{J_{sc}(\lambda) \text{ o } I_{sc}(\lambda)}{E(\lambda)}$$

Con dimensiones de A/W o Am^2/W

Siendo λ la longitud de onda de la radiación incidente y E irradiancia de la potencia radiante por unidad de superficie que incide sobre el elemento fotovoltaico.

En la expresión de la respuesta espectral la irradiancia así como la corriente de respuesta, están particularizadas para una determinada longitud de onda.

La respuesta espectral se representa con la forma de una curva cuyo eje de ordenadas es el cociente arriba indicado y en las abscisas la longitud de ondas de la radiación incidente.

Esta curva da la información sobre como responde el elemento fotovoltaico según la longitud de onda de la radiación incidente y se suele denominar curva de respuesta espectral absoluta, pero normalmente la información que se suele medir y suministrar en la curva de respuesta espectral relativa, que es la que resulta de normalizar la absoluta a la unidad de la longitud de onda de máxima respuesta.

$$S(\lambda)_{rel} = \frac{S(\lambda)}{S(\lambda)_{max}}$$

La figura 1.e.7 se dan algunos ejemplos de curvas de respuesta espectral relativa.

La información resultante de esta medición ha servido ya, entre otras cosas, para prever la necesidad de equipar a las

celdas con capas antirreflejantes en aquellas longitudes de onda en las que la celda es más sensible.

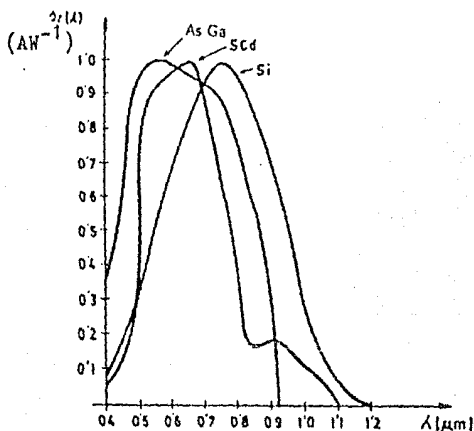


Figura I.e.7. Respuesta espectral típica de algunas celdas solares.

El equipo para la obtención de la respuesta espectral también es simple y se muestra en la figura I.e.8, donde se puede apreciar básicamente la existencia de una fuente de luz (continua o pulsada), un monocromador o una rueda de filtros interferenciales y un sistema de adquisición de datos. Al utilizar el monocromador se tiene la ventaja de poder variar de forma con-

tenía el espectro de la radiación incidente, sin embargo los monocromadores presentan limitaciones en cuanto a potencia, área de recubrimiento y uniformidad del haz emitido. Los filtros interferenciales no tienen estas limitaciones, pero al tener que ser su número lógicamente finito, se ha de seleccionar de forma discreta las diferentes longitudes de ondas del espectro; esto no es dificultad importante ya que la curva de respuesta espectral de los dispositivos fotovoltaicos no suelen variar bruscamente en el espectro de utilización. Por estas razones se prefiere utilizar los filtros interferenciales.

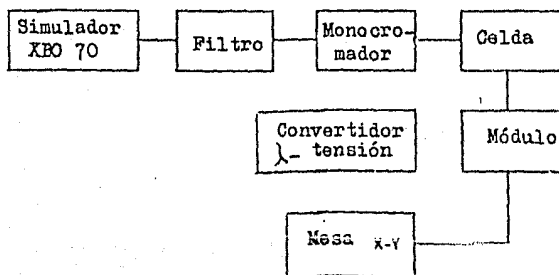


Figura I.e.8 Instrumentación para respuesta espectral

La instrumentación indicada en la figura I.e.8 es suficiente para el caso de los materiales que, como el silicio cristalino, es aproximadamente lineal con la irradiancia. Pero en el caso de dispositivos fotovoltaicos no lineales, tal como las celdas de SCu/SCd, es necesario utilizar un rayo monocromático pulsado, o muestreado a baja frecuencia, y elevar la irradiancia al nivel operacional deseado, por medio de una luz polarizada no modulada de un simulador solar de régimen permanente.

CONDICIONES NORMALIZADAS DE MEDIDA

La medida se puede realizar utilizando luz natural o artificial, para conseguir la normalización de condiciones en las medidas realizadas con diferentes fuentes luminosas se ha definido una luz estandar. Este concepto se define bajo diferentes condiciones mediante el concepto de:

MASA DE AIRE

Este término expresa la longitud de camino recorrido a través de la atmósfera por el rayo solar directo, expresada como el múltiplo del camino hasta un punto al nivel del mar con el sol en el cenit. Así, por tanto, el espectro AM0 significa el espectro solar en el espacio exterior y el espectro AM1 será recibido en un punto al nivel del mar con el sol en el cenit.

Para las mediciones en celdas solares para aplicaciones terrestres hay un acuerdo general de utilizar el espectro AM1.5 que se deduce numericamente del espectro AM0 tabulador de Thakarkara y modificando algunas condiciones atmosféricas, en la figura I.e.9 y I.e.10, se muestran estos espectros solares.

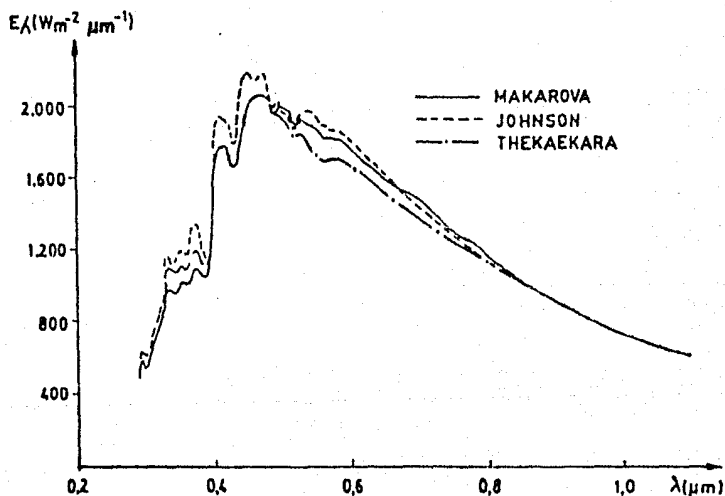


Figura I.e.9. Espectro solar AM0

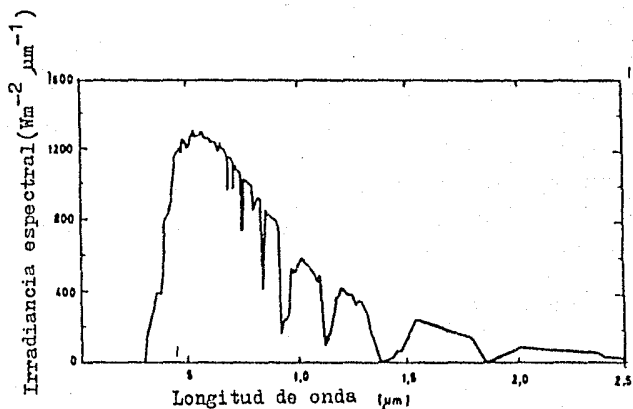


Figura I.e.10. Espectro solar AM1.5

Las especificaciones de la luz solar estandar no se refiere solo a la distribución espectral sino también a la intensidad o irradiancia luminosa incidente. Así, si bien se considera sufi-

ciente una intensidad de 80 mWcm^{-2} , los resultados de las mediciones se suelen referir a condiciones normalizadas de 100 mWcm^{-2} en condiciones AM1 o AM1.5 y de 135 mWcm^{-2} en condiciones AMO.

Estas especificaciones se deben de verificar tanto con luz natural como artificial. También, en un caso como en el otro, se necesitará una celda patrón de referencia, que haya sido calibrada en un laboratorio que tenga homologadas sus instalaciones, con el fin de ajustar la intensidad y espectro de la fuente luminosa.

CONDICIONES DE MEDIDA ESTANDAR

La temperatura de la celda medida en el contacto iluminado $25 \pm 2^\circ\text{C}$.

Irradiancia de la fuente de luz, medida con una celda solar patrón: 100 mWcm^{-2} .

Distribución espectral estandar de la energía solar: la de la figura 1.e.10 multiplicadas por el factor de normalización:

100:83.46

MEDICIONES CON LUZ NATURAL

Deben de llevarse a cabo con una irradiancia mínima de 80 mWcm^{-2} y la radiación natural, directa más difusa, no debe fluctuar por encima de $\pm 1\%$. No se utilizaran colimadores. Hay que

asegurar que la temperatura de las celdas patron es de 25 ± 2 °C. Si el elemento fotovoltaico incógnita es una celda solar se debera mantener a la misma temperatura que la celda patron.

En el caso de las características corriente - tensión, se mide ésta y la temperatura del elemento incógnita, y la corriente de cortocircuito y la temperatura de las celdas patron. Después se corregiran cada punto de la característica a las condiciones de medida estandar, mediante las formulas correctoras que se especifiquen en la normativa elegida.

MEDICIONES CON LUZ ARTIFICIAL

Las fuentes de luz utilizadas se denominan simuladores. Se pueden dividir en dos grupos: de regimen permanente y pulsados.

Dentro de los primeros, los reconocidos en las normas americanas son: lámparas de vapor de mercurio con reflector interno, lámparas de arco de carbón, lámparas de arco de mercurio xenon y lámparas multivapor, todas ellas con los reflectores apropiados.

Los simuladores pulsados consisten habitualmente en dos grandes lámparas flash de arco de xenon sin filtros ni optica adicionales. Estos últimos simuladores permiten iluminar superficies superiores de modo mucho más uniforme y tienen la ventaja

adicional de no recalentar el elemento fotovoltaico a medir ni la celda patron.

Ambos tipos de simuladores han de cubrir los siguientes requisitos:

- a.- 100 mWcm^{-2} en el plano de medida.
- b.- El espectro de la luz proporcionada por el simulador ha de ser suficientemente semejante a la Luz Solar Estándar para limitar en $\pm 1\%$ los errores en la medida de las corrientes de cortocircuito de la celda patron y del elemento a caracterizar, que se deben en gran parte a su diferente respuesta espectral relativa.
- c.- La variación de intensidad luminosa en el plano de medidas han de ser inferiores al 2% del valor medio.
- d.- La fluctuación de intensidad no podrá superar el 1% durante el tiempo que se tarde en hacer la medida.
- e.- El ángulo de incidencia sobre cualquier punto de las celdas no pueden ser superior a 30° .

En lo que respecta al resto de la infraestructura de medición, la perpendicular al plano iluminado debiera de ser paralela a la línea central del rayo luminoso con un margen de $\pm 5^\circ$ y soporte de las celdas ha de poder calentar o enfriar de manera que se mantenga su temperatura en $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Esta temperatura

será monitoreada mediante la sonda adecuada y en buen contacto térmico con la celda.

Detectores habituales son los termopares, termistores y resistencias de platino. Para grandes paneles habrá que utilizar tres o más sensores por metro cuadrado, salvo en el caso que se ilumine con luz artificial pulsada en que será suficiente un sensor.

Las medidas de corriente y tensión deben ser realizadas con una precisión de $\pm 0.5\%$ y utilizando cuatro cables separados: dos para tensión y dos para corriente (figura I.e.11). El sistema de medida ha de garantizar que la tensión de circuito abierto se mida con un equipo de impedancia de entrada superior a 20 k Ω , y que la corriente de cortocircuito se detecte con un amperímetro o sistema equivalente, que presente una tensión residual inferior a 20 mV.

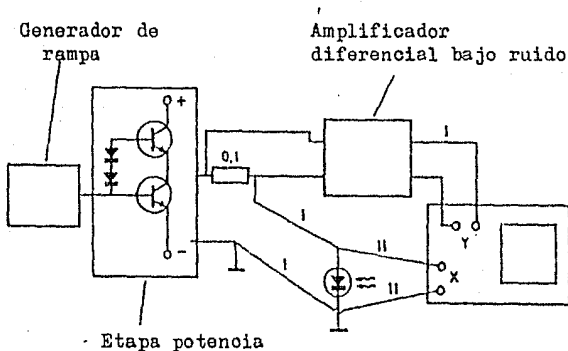


FIGURA 1.e.11. Detalle de medidas de corriente y tensión en una celda.

PRUEBAS DE FIABILIDAD

Para toda celda solar, una vez fabricada se deben de realizar pruebas de fiabilidad, para obtener la calidad de ésta. En estas pruebas se intenta indicar y prever la evolución de las características de la celda, con el objeto de identificar el punto de falla más importante, que por lo general son roturas de interconexión, erosión de protección y corrosión de terminales.

Algunas de las pruebas más importantes son las siguientes:

- 1.- De temperaturas: altas, bajas y cambios bruscos de temperatura.
- 2.- De carga mecánica (lluvia, viento, granizo, etc.)
- 3.- De humedad a temperaturas altas
- 4.- Niebla salina
- 5.- De aislamiento eléctrico y mecánico (ciclos de humedad).
- 6.- De hongos y bacterias.
- 7.- De corrosión.
- 8.- De ciclos térmicos

Se citaran algunas pruebas, con algunos ejemplos.

Para llevar a cabo las pruebas es necesario contar con aparatos los cuales deben de cumplir con los siguientes requisitos:

- a.- Ser semejantes o equivalente a los patrones de U.S. Bureau of Standards.
- b.- Tener una precisión mínima de $1/3$ de la tolerancia de la variable a medir.
- c.- Los sensores de temperatura deben de tener una tolerancia máxima de 1.4°C , con un tiempo de respuesta inferior a 20 seg.
- d.- La tolerancia de los sensores de humedad ha de ser inferior al 5%.

ESTABILIZACION DE LA TEMPERATURA

La temperatura se considera estabilizada cuando la variación sea inferior a 2 °C/hora.

Se entendera como condiciones normales de medida:

	GENERAL	PRECISION
TEMPERATURA	$23 \pm 10 \text{ }^\circ\text{C}$	$23 \pm 1.4 \text{ }^\circ\text{C}$
HUMEDAD	$50\% \pm 30\%$	$50\% \pm 5\%$
PRESION	$725 + 50 \text{ mmHg}$ $- 75 \text{ mmHg}$	$725 + 50 \text{ mmHg}$ $- 75 \text{ mmHg}$

REALIZACION DE LA PRUEBA

Antes de llevar a cabo la prueba, se realizará una medida en las condiciones anteriormente mencionadas, cuya finalidad es comprobar las condiciones de funcionamiento del dispositivo, para esto hay que fijar las condiciones iniciales y establecer las tolerancias en las medidas a efectuar.

En la realización de la medida se irán haciendo diversas pruebas para detectar el momento en el que se modifican los resultados o hay algún fallo. En el informe de la medida habrá una descripción del instrumento empleado.

a).- PRUEBAS DE TEMPERATURA

La figura I.e.12 y I.e.13 corresponden a dos procedimientos de pruebas a temperaturas altas. La velocidad de cambio de temperatura ha de ser inferior a $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$.

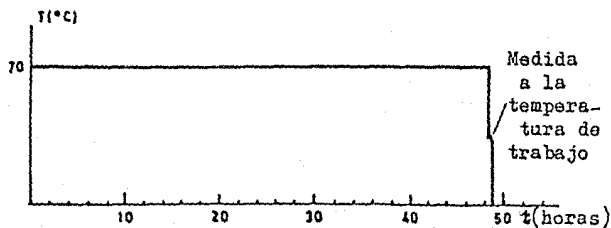


Figura I.e.12. Prueba a temperaturas altas. Procedimiento 1

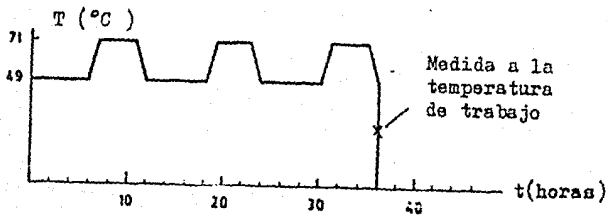


Figura I.e.13. Pruebas a temperaturas altas. Procedimiento 2.

La figura I.e.14 corresponde a la prueba de temperatura bajas y la figura I.e.15 muestran un ensayo para medir la respuesta del elemento fotovoltaico a cambios bruscos de temperatura.

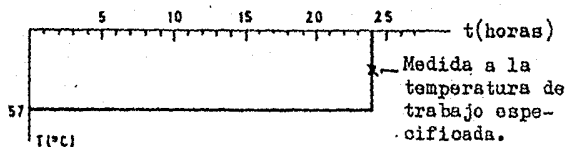


Figura I.e.14. Pruebas a temperaturas bajas.

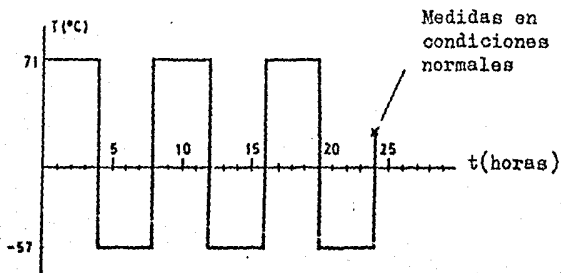


Figura I.e.15. Pruebas para cambios bruscos de temperatura.

b).- PRUEBAS DE LLUVIA

El objetivo es comprobar la eficacia del encapsulado para aislar la muestra de la lluvia.

Para llevar a cabo esta prueba se debe de disponer de dos camaras de lluvia con posibilidad de simular vientos hasta de 80 K.P.H. . La temperatura del agua se podra modificar entre 11 °C y 35 °C. También se podra modificar la dirección del viento hasta inclinaciones de 45° con la horizontal. Corresponde a la gráfica de la figura I.e.16 y cada una de las caras susceptible de ser afectadas por la lluvia ha de estar sometida a su influencia por espacio de 30 minutos como mínimo.

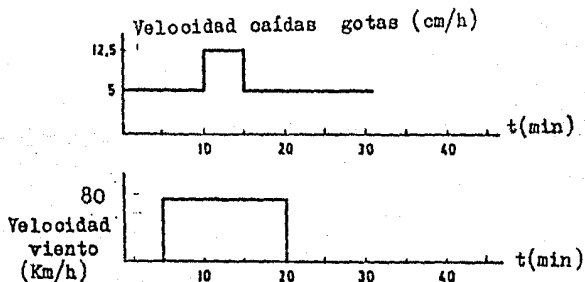


Figura I.e.16. Pruebas de lluvia con viento.

c).- PRUEBA DE HUMEDAD

Se trata de comprobar el efecto conjunto de la temperatura y la humedad elevada. El principal efecto a detectar es la corrosión.

d).- PRUEBA DE HONGOS

Los microorganismos, enzimas y ácidos orgánicos pueden provocar corrosión y modificación de las capas protectoras de las celdas.

Por lo anterior se tratará de ver si el dispositivo es afectado por hongos en condiciones favorables a su desarrollo, por lo que hay que preparar los cultivos necesarios y mantenerlos separados con una mezcla de 5 hongos. Después de dejar 72 horas la muestra sin limpiar y de mantenerla a 30 °C y 97 ± 2% de humedad durante 4 horas, se inocula el cultivo mediante un difusor capaz de proporcionar un mínimo de 15.000 ± 3.000 esporas por cm³. Se hace una incubación de las muestras durante un mínimo de 24 horas. Si después de 7 días el cultivo de hongos ha crecido de forma adecuada, se dejara hasta un total de 28 días pasados los cuales se medirá el dispositivo y se hará una inspección de los efectos de la corrosión.

e).- PRUEBA DE NIEBLA SALINA.

La atmosfera salina es un ensayo aceptable para comprobar la eficacia y uniformidad de las capas protectoras.

Se tendra que disponer de una camara de exposici3n con un atomizador que no reaccione con la disoluci3n salina, la camara debe tener un sistema de calefacci3n y humidificaci3n del aire. La calefacci3n se debe producir a trav3s del ambiente y no calentando el ba1o mediante calefactores sumergibles.

A una temperatura de 35 °C se procurará conseguir una atomizaci3n suficiente de disoluci3n salina que, conjuntamente con la presi3n existente, produzcan una niebla salina en el recipiente que contiene la celda, se mantendr3 asi expuesto al dispositivo durante 48 horas, y luego se le mediran las caracteristicas en condiciones normales.

CAPITULO I I

SISTEMAS DE SEGUIMIENTO SOLAR

Y

ALMACENAMIENTO DE ENERGIA

IIa.- POR FOTSENSORES Y EN BASE AL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA

La máxima captación de radiación solar se obtiene cuando la superficie colectora se mantiene constantemente en posición normal a los rayos del sol, lo que únicamente puede conseguirse si dicha superficie está dotada de un movimiento de seguimiento del sol.

En comparación con la energía captada por un colector estático, y la captada por uno equipado con un sistema de seguimiento del sol puede aumentar hasta un valor del orden de un 35% o más. Aunque este incremento se ve reducido en los casos de frecuentes nublados, el aumento de energía así conseguido compensa sobradamente en muchos casos prácticos el consumo de energía y el costo de los propios mecanismos de seguimiento.

En particular, el seguimiento resulta imprescindible en los sistemas que se basan en la concentración óptica de la radiación solar.

En la figura II.a.1 se muestra, esquemáticamente, un panel solar fotovoltaico con un mecanismo de seguimiento controlado por fotosensores.

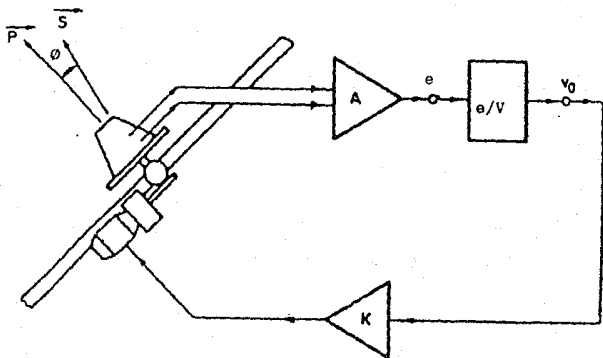


Figura II.a.1

Para pequeños errores de orientación, el sistema fotosensor genera una señal de error, e , proporcional al ángulo de desviación (θ), que es la diferencia entre la orientación del panel, β , y el ángulo de incidencia de los rayos del sol en cada instante, α . Apartir de esta señal de error, convenientemente transformada, se genera el voltaje de actuación, V_0 , que controla el funcionamiento del motor para conseguir un movimiento del panel en el sentido de anulación del error.

El motor gira a una velocidad constante y funciona de manera intermitente, de forma que el seguimiento se efectúa mediante el control de su tiempo de actuación, manteniéndose el error de orientación dentro de una banda de tolerancia, tal como se muestra en la figura II.a.2.

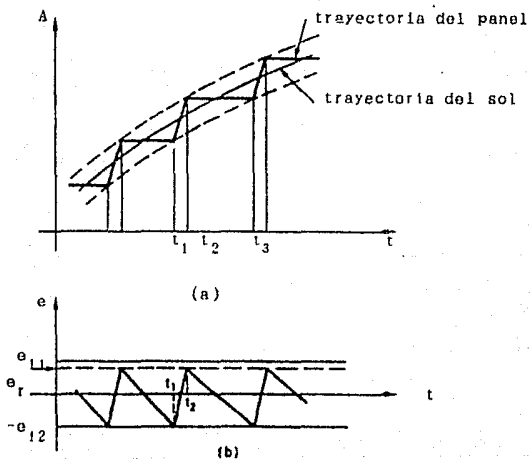


Figura II.a.2

En el instante t_1 , la posición angular del colector ha alcanzado el mayor valor tolerable del error de retraso y el motor comienza a girar para reducir el error, produciéndose un avance hasta que se alcanza un cierto error de adelanto en el instante t_2 . Entonces el motor se para hasta el instante t_3 , en el que el panel alcanza de nuevo el error límite de retraso, momento a partir del cual se repite el proceso. En condiciones normales bastaría, en el caso del movimiento acimutal, con que el motor girase en un solo sentido, pero no así en el de elevación que ha de invertir su sentido de giro cuando se alcanza la máxima elevación.

Un ejemplo de fotosensor es el que se muestra en la figura II.a.3.. Este fotosensor utiliza cuatro celdas solares colocadas en los lados de una cruz centrada en el foco de una lente, y dos celdas más exteriores. Al producirse una desviación del sol respecto al eje sensor, la imagen solar se desplaza hacia alguna de las celdas, de modo que los niveles de corriente de cada una de ellas se altera, lo que permite generar la señal de error.

Las celdas actúan por parejas para generar dos señales diferentes que controlan los motores de acimut y de elevación. Si el sistema se para o pierde al sol por cualquier circunstancia, la imagen del sol desaparece por completo de las celdas. En este

caso, las celdas exteriores actúan para que el colector recupere la orientación.

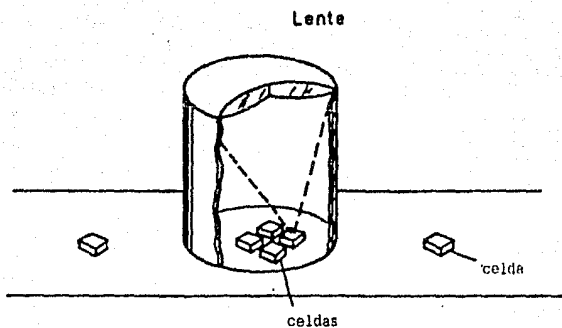


Figura II.a.3

En condiciones de baja luminosidad por falta de radiación solar directa, como en el caso de un nublado, por ejemplo, es necesario inhibir la actuación de los fotosensores, puesto que, evidentemente, éstos dejan de funcionar de manera adecuada. A partir de una celda medidora de luminosidad se genera una señal que para los motores hasta que se alcanza el nivel de iluminación necesario.

Entre la puesta del sol de un día y el amanecer del siguiente, un reloj genera una orden para que se produzca el retorno nocturno del panel hasta una posición de amanecer. En este movimiento de retorno se actúa únicamente sobre el motor acimutal, ya que el ángulo de elevación del amanecer no tendrá mucha variación con respecto al del ocaso.

En la figura II.a.4 se presentan las curvas características corriente-voltaje de un panel solar. En dicha figura puede observarse que, para cada curva, es decir, para una temperatura y un nivel de radiación solar incidente determinado, la potencia suministrada por el panel depende del punto en el que trabaje o, lo que es equivalente, de la carga a él conectada. Para cada curva existe un punto de funcionamiento óptimo en el cual se obtiene del panel la máxima potencia que es capaz de suministrar en las condiciones de radiación y temperatura existentes. En la misma figura se ha dibujado también a trazos la curva que con-

tiene el conjunto de dichos puntos para las diferentes condiciones de radiación.

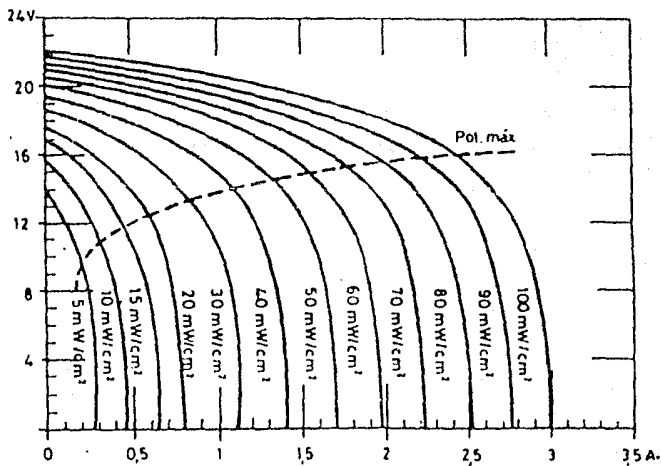


Figura II.a.4

La conexión más inmediata para aprovechar la energía eléctrica obtenida del panel, y que constituye el esquema básico de una central solar fotovoltaica con acoplamiento directo a batería, se muestra en la figura II.a.5. La inclusión de la batería es necesaria si se requiere cubrir la demanda de energía durante las horas de nula o escasa radiación solar.

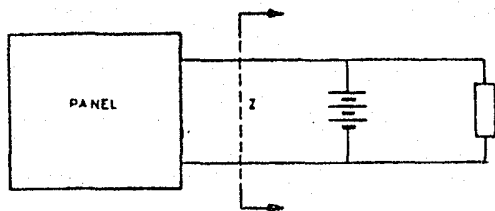


Figura II.a.5

En la figura II.a.6 se muestra el conjunto de cargas, situado al final de la red, así como el convertidor electrónico que realiza la conversión de corriente directa a corriente alterna. La impedancia Z , vista desde el panel, está formada por la carga conectada en paralelo con la batería, como se muestra en la figura II.a.7. Las ventajas de este arreglo radican en su sencillez, sin embargo, presenta el inconveniente de que la energía extraída del panel es inferior a la máxima que el panel en cuestión puede proporcionar.

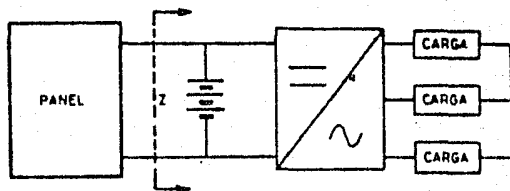


Figura II.a.6

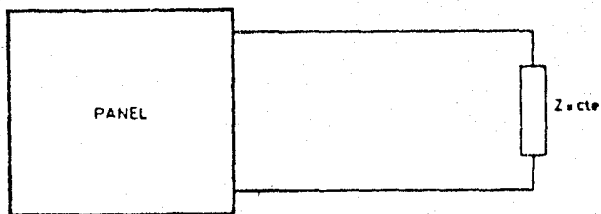


Figura II.a.7

Para obtener la máxima energía posible del panel, es necesario disponer de una impedancia variable, que fuerce en todo instante al panel solar a trabajar en el punto de máxima potencia de la curva característica correspondiente.

Dado que la carga real conectada al panel solar tiene un valor que puede considerarse constante, es necesario contar con un dispositivo que simule a partir de ella, una impedancia que, vista desde el panel, sea una impedancia variable. Este problema

puede resolverse teóricamente de dos maneras diferentes como se indica en la figura II.a.8.i. e ii.

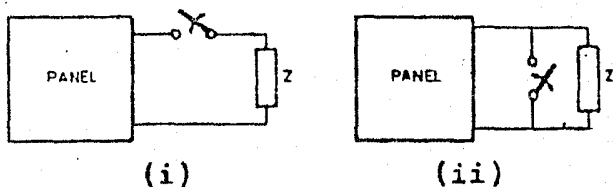


Figura II.a.8

El principio de operación es el mismo para las dos alternativas y consiste en un interruptor electrónico (transistor, tiristor), que se acciona varios cientos o miles de veces por segundo. La impedancia efectiva, vista desde el panel, puede entonces variarse de forma continua en función de la relación de los tiempos de conexión/desconexión del interruptor (ver figura II.a.9)

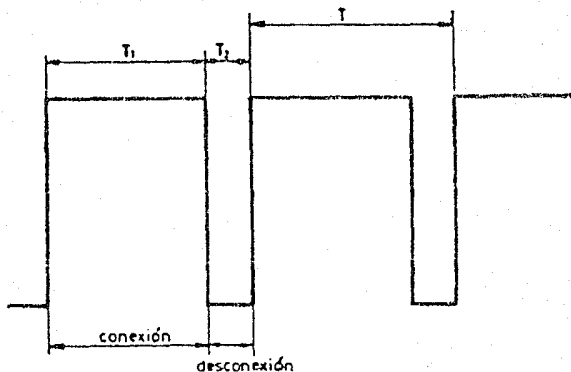


Figura II.a.9

De las dos opciones arriba indicadas, la variante Bii no resulta aplicable en este caso, puesto que supondría cortocircuitar la batería durante determinados intervalos de tiempo. Además, incluso aunque no existiera este inconveniente, la realización de la impedancia variable según la figura Bii no reportaría beneficios ya que, si bien el panel suministraría la máxima

potencia, ello no quiere decir que el exceso de potencia extraída se aprovechase realmente, pues se disiparía en forma de calor en el circuito. Por consiguiente, sólo queda como alternativa viable en este caso, la variante B1.

Como complemento de lo anterior, si se analiza la figura II.a.6 se observa que la batería, conectada directamente al panel, impone a éste su tensión U_b . El panel, sin embargo, para ceder la máxima potencia debería proporcionar intensidad a una tensión U_{pm} distinta y superior a U_b . Tanto U_b como U_{pm} están sometidas a lentas variaciones, según sean las condiciones de funcionamiento de la central (intensidad de la radiación, grado de descarga de la batería, etc.).

En la figura II.a.10 se muestra un diagrama electrónico en el que se usa como interruptor electrónico un solo transistor, este esquema corresponde al concepto mostrado en la figura II.a.8i.

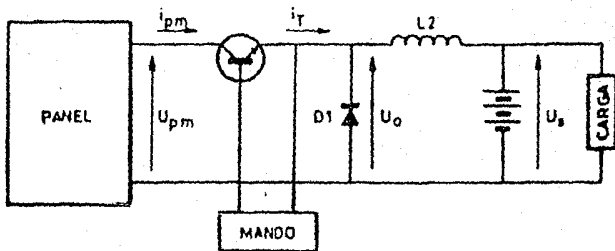


Figura 11.a.10

Si se hace funcionar al transistor con una frecuencia f , de periodo $T=1/f$ y con intervalos de conexión y desconexión T_1 y T_2

respectivamente, para el valor medio U_{oc} de la tensión U_o , se cumple:

$$U_{oc} = 1/T \int_0^T U_{pm} dt = (T_1 / (T_1 + T_2)) U_{pm}$$

La relación de transformación de tensiones U_{oc} / U_{pm} puede modificarse; por lo tanto, regulando convenientemente dichos intervalos, y su valor es:

$$(U_{oc} / U_{pm}) = T_1 / (T_1 + T_2) = T_1 / T$$

Sin embargo, el circuito de la figura II.a.10 es por si solo insuficiente para la construcción de un sistema adecuado de seguimiento del punto de máxima potencia. Lo anterior se debe a que al bloquearse el transistor, la corriente del panel ipm se anularía, ya que no dispone de una vía de retorno, lo cual equivale a un desaprovechamiento energético, puesto que el panel debe funcionar permanentemente, suministrando la intensidad i_{pm} a tensión U_{pm} , valores que deben mantenerse constantes mientras que el panel trabaje con la misma curva característica. Este inconveniente puede eliminarse insertando una elevada inductancia a la salida del panel de forma que, al sobrevenir el bloqueo del transistor, mantenga constante la intensidad i_{pm} , la cual se hace

retornar a través del condensador C (ver figura II.a.11).

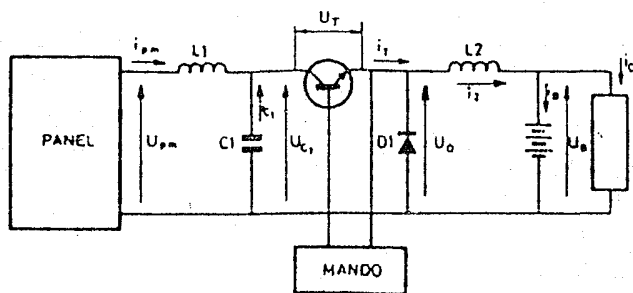


Figura II.a.11

Considerando que el circuito funciona en estado estable con los voltajes $U_{p,m}$ y U_b en panel y batería, respectivamente, durante el período de bloqueo, al cargarse el condensador C, con la

corriente i_{pm} , almacena una determinada cantidad de energía. Al encontrarse en estado estable, esa misma cantidad de energía debe cederla en el periodo siguiente de conducción del transistor. Por otra parte, la corriente i_{pm} que fluye por la bobina L_1 , al bloquearse el transistor, disminuye (aunque en una cantidad muy pequeña, ya que la gran inductancia de L_1 tiende a mantenerla constante), por tanto, durante este intervalo, la inductancia cede energía al condensador, energía que ha tenido que almacenar en igual cantidad durante el periodo previo de conducción.

Durante el intervalo de saturación, el panel y el condensador suministran energía, una parte de la cual se almacena en la inductancia y el resto pasa al circuito exterior. Durante el intervalo de bloqueo, el panel y la inductancia ceden energía que se almacena en el condensador.

En el periodo de conducción, la potencia suministrada al circuito es superior a la generada en ese instante en el panel, ya que, al no consumir energía ni el condensador ni la bobina, toda la energía generada por el panel debe entregarse al circuito exterior. Como el suministro de energía al circuito sólo es posible durante el intervalo $0 < t < T_1$, la cantidad entregada por unidad de tiempo, es decir, la potencia cedida al circuito, debe ser mayor que la correspondiente al panel en ese instante. La

diferencia entre ambas es aportada por el condensador, como se muestra en la figura 11.a.12

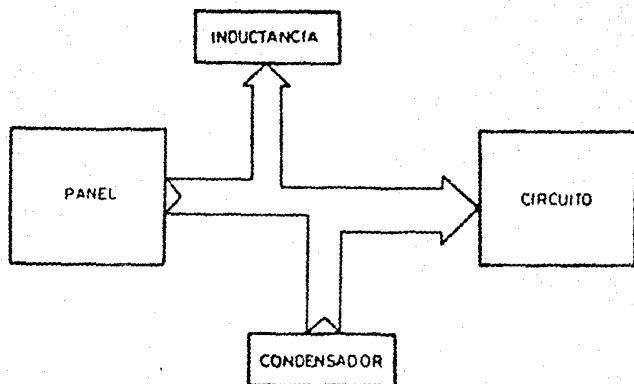


Figura 11.a.12

Si la energía suministrada por el panel es superior a la consumida en la carga, el resto se almacena en la batería para ponerla a disposición de la carga durante los períodos de oscuridad. Si por el contrario, la demanda de consumo es superior a la energía que puede proporcionar el panel debido a escasa radiación solar incidente o bien una sobrecarga brusca, la diferencia será cubierta por la batería.

II.b TIPOS DE ACUMULADORES PARA DIFERENTES PERFILES DE CONSUMO.

BREVE REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO.

De los sistemas de almacenamiento actuales se pretende destacar sus principales características, para así poder establecer cual de ellos podría ser utilizado con los generadores fotovoltaicos, en la figura II.b.1, se puede apreciar las posibilidades existentes para acumular energía eléctrica de origen solar fotovoltaico, observándose en la misma figura II.b.1, las transformaciones que debe sufrir la energía eléctrica para ser almacenada en la misma o en otra forma de energía y la máquina o procedimiento para llevar a cabo el almacenamiento.

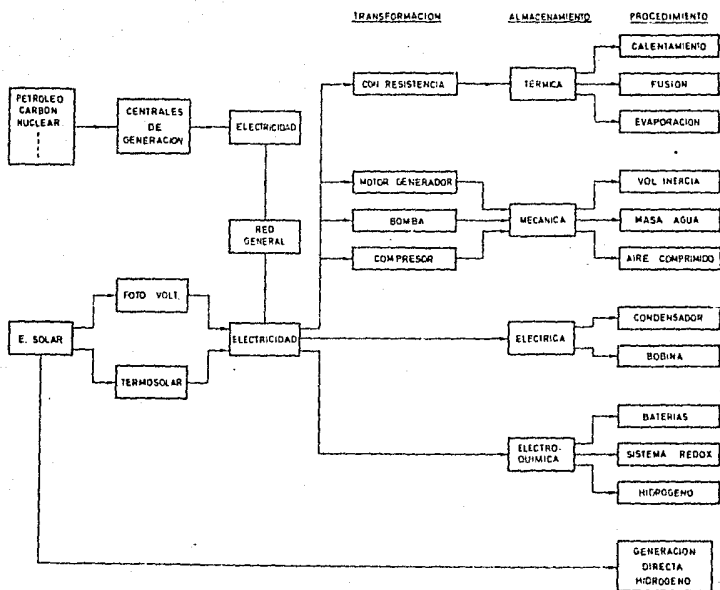


Figura II.b.1 Esquema de las posibilidades existentes para acumular energía eléctrica de origen solar fotovoltaica. Se indican las principales transformaciones y procedimientos de almacenamiento.

CONEXION A LA RED GENERAL.

Al conectarse el generador fotovoltaico a la red general, no es necesario la acumulación, pero por lo regular un sistema fotovoltaico, se instala en lugares alejados de la red general, para suplir a ésta, y al presentarse este caso, aparece la necesidad de acumulación, por otra parte no es necesario que la instalación del generador fotovoltaico, se instale lejos de la red, ya que actualmente se instalan en viviendas en la cual existe la red general, presentandose la alternativa entre un procedimiento de acumulación independiente o una toma a la red general o ambas.

EN FORMA DE ENERGIA TERMICA.

Con este procedimiento se debe transformar la energía en calor (con resistencias eléctricas, etc.) y almacenar la energía térmica en materiales que sufren procesos de calentamiento (agua, lecho de piedras, etc.), de fusión (sales iónica) o evaporación (líquidos, sales múltiples, etc). Los anteriores métodos no son aplicables a los generadores fotovoltaicos, ya que existen procedimientos actualmente para transformar directamente la energía solar en térmica, sin tener que pasar por el proceso eléctrico.

EN FORMA DE ENERGIA MECANICA (VOLANTE DE INERCIA)

La energía eléctrica se puede transformar en mecánica y

almacenarse en un disco rotatorio o volante de inercia, que está acoplado a un motor-generador que funciona como motor durante la carga (hora de sol) y como generador cuando se desea recuperar la energía almacenada. Este procedimiento tiene importantes ventajas respecto a otros, pero parece utilizable sólo a largo plazo debido a las importantes dificultades técnicas que plantea y a los elevados costos que exige.

Conviene citar que un volante de inercia hecho de fibra de vidrio (en realidad, fibra de cuarzo), puede almacenar por unidad de masa, unas cuarenta veces más energía que otra de una aleación de Al, y este último unas 16 veces menos que si se fabrica con fibra polimerizada. Para más exacta referencia, hay que decir que por unidad de masa, una batería plomo-ácido, acumula de 1 a 1.5 veces lo que el volante de aleación de Al. Esta situación ha conducido a que, en la actualidad, se haga un gran esfuerzo en el diseño y fabricación de volantes a base de materiales anisótropos (supervolantes).

Hay que reseñar también que recientes estimaciones han puesto de manifiesto otro tipo de dificultades técnicas un supervolante de inercia capaz de almacenar unos 70 Wh/Kg con un diámetro típico de 80-90 cm, tendría que girar 3×10^4 rpm. A estas velocidades, es necesario que el rotor del volante opere en vacío

parcial o en atmósfera de hidrógeno o helio. Situación que genera notables dificultades prácticas. Conviene también resaltar que respecto a las baterías plomo-ácido, los volantes de inercia no sólo tienen una mejor relación energía/peso, como ya se ha notado, sino incluso un rendimiento de entrada-salida superior (70% de la batería).

EN FORMA DE ENERGIA HIDRAULICA (BOMBEO HIDROELECTRICO).

Este procedimiento se basa en bombear agua hasta un depósito superior, en las horas de exceso de energía eléctrica (por ejemplo en las horas de sol si opera en combinación con una central fotovoltaica). Para dejarla caer en un depósito inferior cuando se desea recuperar la energía almacenada. Como depósito se puede utilizar formaciones naturales o construcciones artificiales. En ambos casos los estanques de agua pueden ser superficiales o subterráneos, con menor perturbación del entorno. Como se puede observar, el proceso de "descarga" de este sistema de acumulación es semejante al modo de operar de una central convencional hidroeléctrica, de aquí que su eficacia depende de las características del sistema bombeo-turbina, motor-generador, etc., oscilando entre 50 y 70%.

Este procedimiento es idóneo para el almacenamiento de energía a gran escala. De hecho, el almacenamiento por bombeo de

conectar los generadores a la red.

EN FORMA ELECTRICA (ALMACENAMIENTO CAPACITIVO)

La utilización de condensadores para almacenar energía eléctrica resulta adecuada cuando se trata de pequeñas cantidades de energía durante tiempos cortos. La cantidad de energía que se puede almacenar por unidad de volumen (o masa) es función de las características del material dieléctrico que intervenga en el condensador. Se ha estimado que un banco de condensadores podría almacenar unos 500 Whm, equivalente (en media aproximada) a 0.1 Wh/Kg. Son por tanto sistemas que ofrecen pocas posibilidades en combinación con generadores fotovoltaicos.

EN FORMA ELECTRICA (ALMACENAMIENTO INDUCTIVO).

La experiencia con este tipo de almacenamiento se limita, casi exclusivamente, al campo de la electrónica. Las posibilidades de llegar a cantidades de energía almacenadas apreciables, solo puede ser realidad con altos campos magnéticos, situación que da origen a grandes fuerzas mecánicas actuando sobre el sistema inductivo. Bajo otro punto de vista, hay otra limitación sería en las altas corrientes (bajas tensiones) que se producen y que dan origen a pérdidas muy apreciables según la resistencia eléctrica del material inductor. Además es necesario mencionar que la recuperación de la energía almacenada exige la apertura de

un circuito con alta corriente, lo que siempre es una operación eléctrica que presenta dificultades.

Parte de los anteriores inconvenientes se eliminan con los imanes superconductores; especialmente, el problema de las pérdidas desaparece. En este sentido, parece que se podrían esperar mayores ventajas del almacenamiento inductivo si se lograra importantes progresos en la tecnología de la superconductividad que, a su vez, repercutiesen en abaratar este procedimiento costoso.

EN FORMA ELECTROQUIMICA (HIDROGENO).

Dos posibilidades son viables con este sistema de almacenamiento: conversión directa de energía solar en hidrógeno a través de las celdas de efecto Becquerel y generación de electricidad, con celdas solares convencionales, que se utiliza para descomponer el agua y generar hidrógeno. En ambos casos, el hidrógeno generado se debe de almacenar.

EN FORMA ELECTROQUIMICA (SISTEMA REDOX)

Es un método altamente prometedor para almacenar energía eléctrica fotovoltaica. Este sistema propuesto está basado en un proceso de oxidación-reducción. Sólo se destacarán aquí muy brevemente su fundamento y características esenciales.

El método Redox se describe, esquemáticamente, en la figura II.b.2, cuando el sistema genera electricidad (descarga), los iones Cr se oxidan a iones Cr^{3+} y liberan electrones sobre el electrodo inerte, en tanto que en la segunda semicelda los iones Fe captan electrones reduciéndose a Fe. Cuando el acumulador se carga, las reacciones de oxidación-reducción se realiza en sentido contrario al citado.

Para obtener una generación continua de electricidad, los fluidos que contienen los iones activos circulan desde depósitos (anódico-catódico) hasta la celda. El sistema se considera totalmente descargado cuando el total de los iones ha sido oxidado (reducido). La carga se realiza haciendo fluir las soluciones iónicas al tiempo que la celda recibe energía eléctrica del exterior. Los reactantes básicos del sistema se pueden usar de un modo indefinido.

Las pérdidas parasitas del sistema son muy limitadas, ya que, aproximadamente, solo el 20% de la energía generada se emplea en alimentar a las bombas de circulación. Por otra parte la eficiencia de la acumulación redox es comparable a la de los sistemas electroquímicos clásicos, ya que el 75% de la energía utilizada en cargar el acumulador se recupera en la descarga. El potencial en circuito abierto de cada celda varía desde, aproxi-

madamente, 1.20 V, cuando el acumulador está cargado al 90% de su capacidad nominal, hasta 0.95 V cuando el estado de carga es del 10%. La capacidad total del acumulador depende, obviamente, del volumen de los depósitos anódicos y catódicos y de las características de la disolución que contienen.

La ventaja principal de estos acumuladores sobre los de plomo-ácido es que las reacciones de carga y descarga se realizan en fase líquida y no sólida, asegurando una total reversibilidad de los procesos, muy al contrario de los que ocurre durante la "sulfatación" del acumulador plomo-ácido. El elemento más complejo y delicado del sistema "redox" y, por lo tanto, el que limita su vida, es la membrana selectiva que separa a los fluidos anódico y catódico. Sin embargo los investigadores han previsto que las membranas actualmente en uso tendrán una vida útil de 20 a 30 años, del mismo orden que las celdas solares de Si monocristalino.

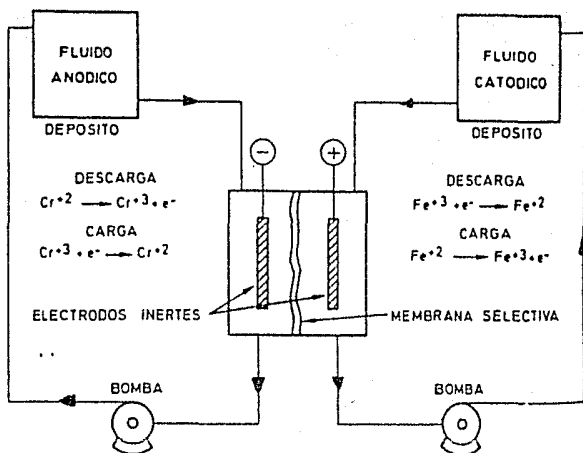


Figura II.b.2 Esquema del acumulador redox y procesos basicos de carga y descarga.

EN FORMA ELECTROQUIMICA (BATERIAS)

Origen de las palabras "pila", "baterías" y "acumulador". El desarrollo de sistemas que convierten la energía química en eléctrica, llamados actualmente convertidores o almacenadores electroquímicos de energía eléctrica, se inicia a partir del primer dispositivo descubierto por el científico italiano A. Volta, quien utilizó discos de plata y zinc conectados mediante papel humedecido con una solución saturada de sal (NaCl). Al colocar encimados varios de estos dispositivos se generó el nombre de pila.

Cada uno de estos dispositivos, formados por un electrodo de zinc, uno de plata y separados por un electrolito, constituye una celda electroquímica. Si se conectan en serie o paralelo varias de estas celdas, se acostumbra llamar a este conjunto baterías.

Las pilas se clasifican como "primarias", cuando las reacciones electródicas son irreversibles, por lo que deben de desecharse después de su uso, y como "secundarias" cuando las reacciones son reversibles, lo que representa su principal característica: recargables.

Estas pilas secundarias se conocen también como acumuladores. Figura II.b.3. Sin embargo, se ha hecho una práctica común denominar "baterías" y "acumulador" a la pila secundaria y "pila" a la primaria.

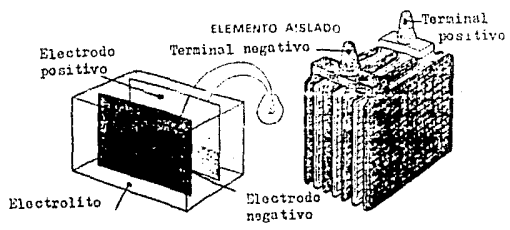
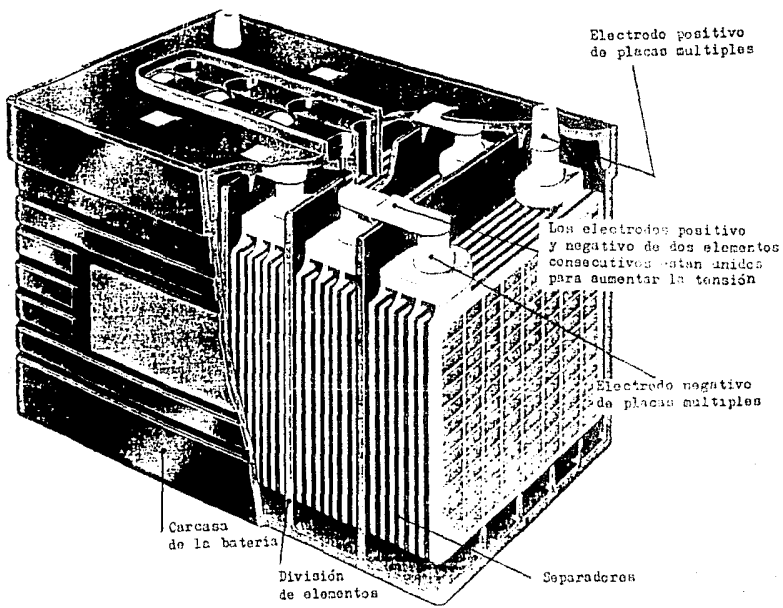


Figura II.b.3 El acumulador

En ambos casos, pilas primaria y secundarias, las celdas contienen todos los reactivos químicos necesarios para su funcionamiento. A diferencia de estas, en las pilas de combustible los reactivos con que funcionan se almacenan fuera de la celda y, en general, son gases combustibles como el hidrógeno y los hidrocarburos.

La ventaja principal de las pilas y de los acumuladores sobre otros dispositivos de conversión de energía, es que se adaptan a la producción de energía eléctrica a las necesidades del consumidor, ya que pueden interrumpir o iniciar la operación de estos sistemas en los momentos que desee.

¿COMO GENERAN ELECTRICIDAD LAS PILAS Y BATERIAS?

La electricidad o corriente eléctrica, corresponde a un flujo de electrones. Así, para responder a la pregunta hay que saber cómo y dónde se generan los electrones.

En cada electrodo de la celda se efectúan reacciones electroquímicas. En el electrodo positivo, llamado cátodo, se lleva a cabo una reacción de reducción; es decir, los reactivos reaccionan con los electrones del cátodo para dar productos con un estado de oxidación más bajo ($Ox + ne^- \rightarrow Red$). En el electrodo negativo denominado nodo, los reactivos reaccionan cediendo

electrones al nodo para dar productos cuyo estado de oxidación es más alto, lo que constituye una reacción de oxidación ($\text{Red}' \rightarrow \text{Ox}' + m'e^-$).

Entonces, en el electrodo negativo ocurre una generación de electrones y en el positivo un consumo de aquellos. Por consiguiente, si se unen estos dos electrodos mediante una resistencia se origina un flujo de electrones entre el electrodo negativo y el positivo, dando lugar a una corriente eléctrica (véase fig. II.b.4).

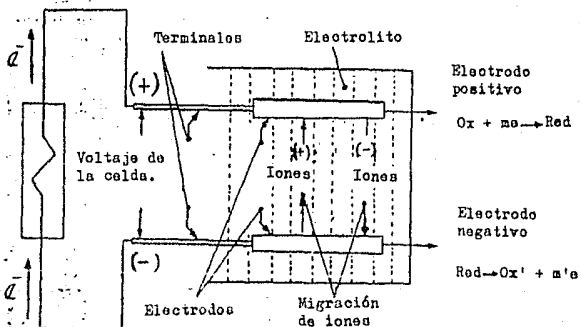


Figura II.b.4 Celda electroquímica, productora de energía, conocida también como celda galvánica.

Puede verse en la tabla 1, que a efectos de densidad de energía y potencia el acumulador Pb-ácido es superado por otros. Sin embargo, las propiedades más importantes del acumulador cuando se piensa en su aplicación con sistemas fotovoltaicos, son los ciclos de vida y costo del Kwh. Teniendo en cuenta ambas propiedades, el acumulador Pb-ácido presenta la mejor situación. Se puede concluir, por tanto, que en el presente como en el futuro de varios años, el acumulador Pb-ácido se usará en combinación con la generación fotovoltaica.

Bateria	Densidad de energía Wh/kg	Densidad de potencia W/kg	Ciclos de vida	Costo (\$/KWH)	Temperatura de funcionamiento	Electrolito
Pb-Ácido	50 - 60	150 - 200	1500 - 2000	70 - 100	Ambiente	Solución acuosa de SO_4H_2
Na-S	90 - 250	100 - 250	200 - 1500	60 - 120	300 - 500°C	Cerámico
Ni-Zn	60 - 70	150 - 300	300 - 1000	100 - 150	Ambiente	Solución acuosa de $\text{K}(\text{OH})_2$
Ni-Fe	45 - 60	100 - 120	1500 - 2500	140 - 180	Ambiente	Solución acuosa de $\text{K}(\text{OH})_2$
Ni-Cd	45 - 60	150 - 300	1500 - 3000	200 - 350	Ambiente	Solución acuosa de $\text{K}(\text{OH})_2$
Zn-Cl	130 - 150	100 - 130	200 - 900	80 - 120	30 - 50°C	Solución acuosa de Cl_2/Zn
Zn-Aire	120 - 140	25 - 50	< 250	30 - 40	Ambiente	Solución acuosa de $\text{K}(\text{OH})_2$
Ag-Zn	70 - 250	150 - 300	100 - 200	250 - 400	Ambiente	Solución acuosa de $\text{K}(\text{OH})_2$
Li/FeS_2	100 - 220	120 - 220	250 - 1000	35 - 100	350 - 450°C	Sales fundidas
Li-Cl	150 - 450	200 - 450			600 - 700°C	Sales fundidas
Electr. Orgánico	220 - 330	30 - 60			Ambiente	Electrolito orgánico

Tabla 1 Característica de acumuladores eléctricos.

El rendimiento del acumulador tanto en densidad de energía como de potencia, ha ido en aumento progresivamente. La mejora de rendimiento, debida a cambios en diferentes componentes del acumulador, ha permitido una disminución de costos, y aumento de la vida. A continuación se describirá algunos de ellos.

La aleación de las rejillas de la batería ha presentado cambios importantes. La elección de los aleantes así como la determinación de las impurezas máximas permisibles es un punto delicado, puesto que la rejilla juega un papel fundamental del acumulador. Entre otras cosas, las características que se exigen a una rejilla son: buenas características mecánicas, baja resistencia eléctrica, buena resistencia a la corrosión baja sobretensión a los gases, que permita una buena adherencia de la pasta y una buena colabilidad.

Las primeras aleaciones fueron de Pb-Sb con contenidos del orden entre el 10 y 12%. Rápidamente se pensó en bajar estos elevados contenidos, explicados en parte por la incipiente tecnología de fundición. Esta meta no sólo estaba justificada por conseguir un abaratamiento de la aleación, sino que además se pretendía minimizar los efectos adversos de Sb depositado en las placas negativas; disminución de la sobretensión de H_2 que lleva un mayor consumo de agua y aumento de la autdescarga que

significa un menor tiempo de permanencia en circuito abierto.

Actualmente las baterías convencionales llevan aleaciones con contenido de Sb del orden de entre 3 y 5 %. Los acumuladores denominados de bajo mantenimiento llevan aleaciones por debajo del 3 % de Sb.

Los esfuerzos para reducir el mantenimiento llevaron al desarrollo de aleaciones exentas de Sb. Para mejorar las características mecánicas del Pb puro se utilizaron aleantes como Ca, Sr, As, Te y Cd, siendo el primero de ellos el más ampliamente utilizado.

Las aleaciones de Pb-Ca con muy buenas características en cuanto al consumo de agua, y autodescarga, no han conseguido anular a las aleaciones Pb-Sb puesto que las aleaciones de calcio son más difíciles de fundir y la adherencia pasta-barrotes es hoy por hoy inferior.

Los separadores juegan también un papel importante en el acumulador. Su función es aislar eléctricamente a las placas de diferente polaridad y permitir el paso de iones a su través.

Las características que se le exigen a los separadores son:

adecuado tamaño, distribución de poros, baja resistencia eléctrica, elevada resistencia a la oxidación y bajo contenido en contaminantes orgánicos, entre otras. Desde los primeros separados que eran de madera a los actuales, la evolución ha sido muy importante. Los materiales más ampliamente utilizados son: celulosa microporosa, P.V.C y Poliester.

El empleo del separador tipo bolsa esta tomando un gran desarrollo y su principal ventaja reside en que se gana espacio en la batería, puesto que al evitarse el corto circuito producido por la caída de pasta no se necesita el volumen destinado para los sedimentos.

Otras de las innovaciones fue el empleo de la placa tubular también llamada blindada.- Este tipo de placa se emplea en baterías de tracción eléctrica donde se dan ciclados profundos.- Estas placas están formadas por una serie de tubos que tienen en su interior una espina de plomo que esta situada concéntrica a una vaina formada por un tejido acrílico o de poliester.- El material activo queda firmemente sujeto entre la espina y la vaina.

Uno de los factores que han contribuido decisivamente al aumento de la potencia del acumulador es la conexión de elementos

a través del tabique. Durante mucho tiempo las baterías tuvieron tantas tapas como vasos y la conexión entre elementos tenía un largo recorrido pues pasaban por encima del tabique de separación de los vasos. La conexión a través del tabique supuso una disminución considerable de la resistencia interna (aumento de las características de arranque) y permitió el empleo de tapa única.

Recientes estudios sobre la caída de tensión de diferentes puntos de la rejilla para altos regímenes de descarga, condujeron por el análisis de las líneas equipotenciales a un nuevo diseño de rejilla: la denominada Rejilla Radial Figura 11.b.5 . Los barros verticales de la rejilla convencional se sustituyeron por unos radiales convergentes hacia el punto de salida de la corriente terminal de la rejilla. Este diseño ha permitido un aumento importante de la capacidad de arranque al disminuir la resistencia interna del acumulador.

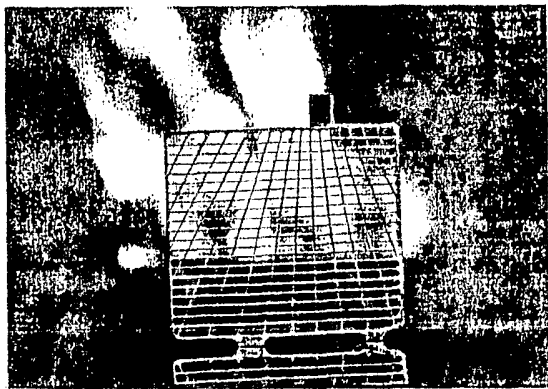


Figura II.b.5 Rejilla radial

El tiempo necesario para la carga de las baterías se ha ido acortando con el desarrollo de nuevos tipos de cargadores utilizando la técnica de despolarización de electrodos, permiten cargar baterías a intensidades muy elevadas sin que la temperatura del electrólito alcance límites prohibitivos.

Una de las clasificaciones más completas de los tipos de acumuladores es aquella que se basa en el tipo de aplicación y que podría ser la siguiente:

- Acumuladores de Arranque en automóviles
- Acumuladores de Tracción eléctrica.
- Acumuladores Estacionarios en régimen de Flotación.
- Acumuladores Solares.

El acumulador diseñado para el almacenamiento de la energía solar fotovoltaica, debe reunir las características de los acumuladores de tracción y de los estacionarios. Por una parte deberán tener un buen comportamiento frente a ciclos de carga y descarga y por otra deben tener una larga duración. Otras características son: mínimo mantenimiento, buena aceptación de corriente, mínima autodescarga y alta fiabilidad. En algunas circunstancias estos acumuladores deberán tener una construcción adecuada para soportar duras condiciones de transporte (alta resistencia al impacto y a las vibraciones) y duras condiciones ambientales (polvo niebla salina, temperaturas extremas, etc.).

El campo de aplicación de conversión fotovoltaica es tan variado que para conseguir una solución única para todas las condiciones de servicio es necesario elegir cuidadosamente los materiales y el diseño.

La aleación deber tener una alta resistencia a la corrosión, baja autodescarga, elevada sobretensión de desprendimiento de

gases y buenas características de adherencia del material activo. Se ve necesario hacer estudios para la obtención de la aleación adecuada, ya que las aleaciones de calcio actuales dan buen resultado en todas las características mencionadas excepto en la adherencia del material activo, donde el comportamiento de la aleación Pb-Sb es superior.

El material de los separadores deberá ser especialmente seleccionado puesto que han de resistir mucho tiempo en un medio altamente oxidante.

Con el fin de evitar el desprendimiento de materia activa durante los ciclos de carga-descarga se están estudiando diferentes sistemas: empleo de separadores tipo bolsa o de envoltura con material de fibras de vidrio o sintéticas.

En cuanto a factores de diseño el elemento deberá de tener una buena reserva de electrolito con lo que se reducirá el mantenimiento y se evitará que en las descargas profundas sea la agitación del electrolito la que limita la capacidad del acumulador.

II.c.-SISTEMAS DE CONVERSION C.D.-C.A.

Una gran cantidad de aparatos eléctricos, entre ellos los domésticos, están diseñados para operar con un voltaje de 127 volts de corriente alterna (c.a) a una frecuencia de 60 hertz; por esta razón, cuando la fuente de alimentación es de corriente continua (c.c). se requiere de un dispositivo que convierta la c.c. en c.a. y en algunos casos que el valor de la tensión se incremente.

El dispositivo que transforma la c.c. de baja tensión a c.c. de tensión superior se le denomina CONVERTIDOR, mientras que el que transforma normalmente una c.c. de baja tensión a una tensión de c.a. apropiada para la carga se le denomina con el nombre de INVERSOR.

CONVERTIDORES MECANICOS

Antiguamente, los radios de automóvil de bulbos eran alimentados con el bajo potencial de c.c. de la batería, que tenía que convertirse primeramente a c.a. y luego transformarse a un potencial elevado y adecuado, rectificandolo finalmente para obtener nuevamente c.c.. Esta tarea formidable se lograba por medio de un vibrador mecánico - para seccionar la corriente continua convirtiendola en alterna-, y después de rectificarla y filtrarla se

obtenían voltajes mas elevados nuevamente de c.c.

En la figura II.c.1 se muestra uno de los primeros inversores que empleaba un vibrador mecánico como conmutador de alta velocidad para cortar y conectar la corriente en la bobina primaria de un transformador, siendo su funcionamiento de la manera siguiente: Cuando inicialmente se aplica una tensión de corriente continua, la armadura de tipo lengüeta es atraída hacia el centro por el flujo magnético producido en la bobina. Se hace contacto entre B y C y se manda corriente hacia el primario del transformador N_2 . Al mismo tiempo los contactos B y C cortocircuitan los bornes de la bobina de armadura de manera que desaparece el flujo para la lengüeta. La lengüeta es de acero elástico de tal manera que al retornar rebasa su posición de equilibrio, cerrando brevemente los contactos A y C. Ahora se manda un segundo golpe de corriente hacia la bobina N_1 . La armadura, como si fuera un diapasón vibrando, tiene una frecuencia de resonancia natural y oscila hacia atrás y hacia adelante, produciendo corriente interrumpida para el transformador T_1 . La tensión secundaria puede rectificarse y filtrarse para dar lugar a una c.c. de tensión superior.

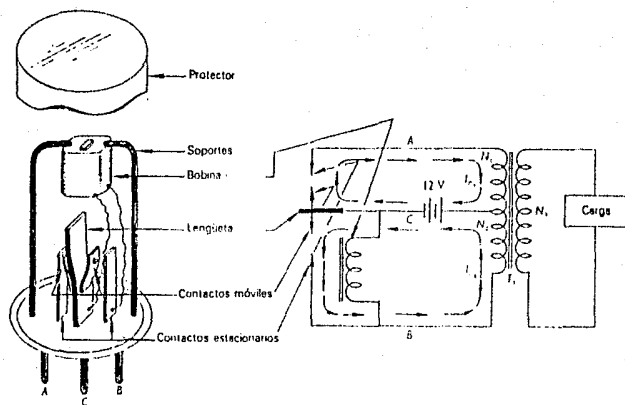
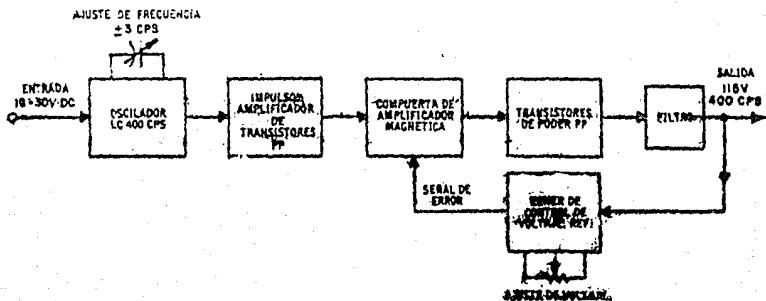


Figura II.c.1 Inversor de tipo vibrador mecánico

Como vimos anteriormente, cualquier dispositivo eléctrico o electrónico para convertir corriente continua a corriente alterna se conoce como inversor. La mayoría de los inversores de alta potencia siguen siendo del tipo motor-generador, mas sin embargo, con el advenimiento de nuevas tecnologías en el campo de los transistores y otros componentes de estado sólido capaces de operar satisfactoriamente, ha sido posible diseñar inversores totalmente electrónicos llamados INVERSORES ESTATICOS.

La operación funcional de un inversor estático típico usado en aeronáutica puede verse en el diagrama de bloques de la figura II.c.2



Inversor Estático

Figura II.c.2 Inversor estático de Magnetic Amplifiers, Inc. usado en aeronáutica.

Este inversor particular fabricado por Magnetic Amplifiers, Inc., produce 80 Voltamperes de corriente alterna de 115 volts a

400 ciclos, conectado a una fuente de poder ordinaria de tipo aérea de 24 volts c.c. El paquete completo viene en una caja compacta que pesa aproximadamente 4 kilogramos.

La conversión de c.c. a c.a. se efectúa en el primer paso por medio de un oscilador L-C transistorizado de 400 ciclos. Un amplificador de transistores en contrafase o Push-Pull, refuerza la salida del oscilador y opera al amplificador magnético siguiente. Un amplificador magnético es esencialmente una inductancia en c.a. (reactancia) cuya inductancia - y por lo tanto cuya salida - puede variarse por medio de un devanado de control que cambie la saturación del núcleo de hierro. El objeto del amplificador magnético es doble: primeramente, suministra la amplificación de la salida de onda cuadrada de 400 ciclos hacia el amplificador de transistores, además, y esto es más importante, regula la salida de voltaje del inversor según una señal retroalimentada, derivada de un circuito de control de voltaje. Este último consiste de un diodo Zener que "muestrea" la salida del inversor y lo compara con un voltaje Zener de referencia. La comparación establece una "señal de error" que se usa como "compuerta" en el amplificador magnético para dar mas o menos amplificación que compense las variaciones del voltaje de salida. Un potenciómetro de "ajuste de voltaje" permite el control manual de la salida.

El amplificador magnético alimenta al paso de salida de potencia, que consiste de dos transistores de potencia en un arreglo Push-Full. Un filtro de paso de banda alisa la salida.

INVERSOR CON TRANSISTOR DE POTENCIA.

La corriente de colector de un transistor puede cortarse eliminando la corriente de la base. Los electrodos de colector y emisor, por lo tanto, puede emplearse para interrumpir el flujo de corriente en forma muy parecida a los contactos de un interruptor. Con la ventaja de que un transistor es silencioso y no está sujeto a esfuerzos y corrosión como los interruptores mecánicos.

En la figura 11.c.3 se muestra un inversor con transistores simplificado. Para suministrar la corriente de base de cada uno de los transistores se emplea un oscilador. Mientras un transistor está conduciendo, el otro está en corte. Cada vez que la salida del oscilador varía la polaridad, se manda un golpe de corriente primaria al transformador T_1 .

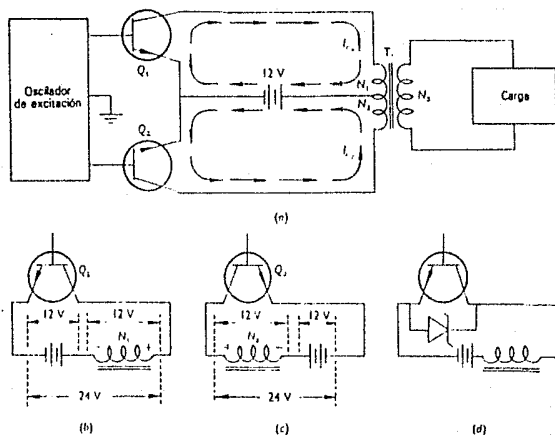


Figura II.c.3 Inversor a transistores: (a) Esquema; (b) y (c) Tensión mínima a través del transistor en corte; (d) Empleo de un diodo Zener como protección de voltaje.

Es necesario asegurar que el transistor conmutado al corte pueda sostener la tensión emisor-colector acumulada, ya que en la mitad del devanado primario que no conduce corriente se induce una tensión al menos igual a la tensión aplicada y su polaridad es tal que se suma a la tensión de la batería, de forma que el

transistor que está en corte ha de ser capaz de soportar al menos el doble de la tensión de la batería. No siempre es deseable emplear un transistor de tensión elevada, debido a que un transistor de alta tensión puede tener una caída de voltaje mayor entre bornes durante la conducción y puede comportarse como un interruptor de gran resistencia.

Una forma de proteger el transistor contra voltajes elevados y peligrosos, es conectando un diodo Zener entre colector y emisor (vease la figura II.c.3d). El diodo solo conduce cuando la tensión supera la tensión Zener.

Ahora bien, la tensión desarrollada en la bobina primaria que no está conduciendo, puede emplearse para polarizar en sentido directo la base del transistor en conducción, cuando es así, no hay necesidad del oscilador de excitación, ya que los transistores de conmutación producen por sí mismos las oscilaciones para excitar a la conducción sus bases respectivas.

Un circuito simplificado de este tipo se muestra en la figura II.c.4 que se ilustra a continuación:

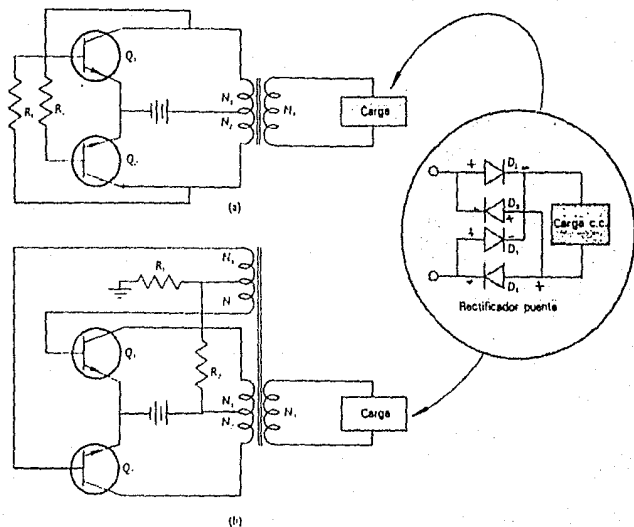


Figura II.c.4 Inversores y convertidores autoexcitados: (a) Realimentación obtenida con acoplamiento resistivo; (b) Realimentación obtenida por medio de un devanado independiente del transformador.

En la figura II.c.4a, las resistencias R_1 y R_2 han de ser suficientemente grandes para evitar un exceso de corriente de base, pero lo suficientemente pequeñas como para permitir una realimentación adecuada para mantener oscilaciones estables.

Un sistema más frecuente para obtener la realimentación necesaria es el que se muestra en la figura II.c.4b. En el cual una bobina por separado se arrolla en el núcleo del transformador para recoger la tensión necesaria para la excitación de las bases de los transistores.

Como se ha definido, un inversor proporciona una salida de c.a. a partir de una fuente de c.c. En los inversores transistorizados más simples, la salida de c.a. es una onda cuadrada. Muchas clases de equipo operan satisfactoriamente con un voltaje de onda cuadrada, pero en algunos casos se requiere de un filtro en el secundario con el objeto de suprimir las armónicas indeseables. El contenido fundamental de armónicas en una onda cuadrada, es su valor máximo dividido entre 1.11. Así, si una onda senoidal de 115 volts rms es requerida, la salida del transformador debe ser de 128 volts sumados a las caídas en el filtro.

En un convertidor, el valor exacto de la frecuencia de oscilación y su cambio con las variaciones de carga y del voltaje

de entrada, no son usualmente de importancia. En un inversor por el contrario, estas consideraciones pueden ser de mucha importancia. La frecuencia de oscilación de muchos circuitos comunes está determinada por un oscilador de núcleo saturable, y depende del voltaje en la forma mostrada por la ecuación:

$$E = 4 B_m f N_1 S A \times 10^{-8} \quad (\text{II.c.1})$$

donde:

E = Voltaje pico de onda cuadrada presente a través de una mitad del devanado primario total con derivación central (Volts).

B_m = Densidad máxima de flujo del núcleo saturable (Gauss).

f = Frecuencia de oscilación (cps).

N_1 = Mitad del número total de vueltas en el primario del núcleo saturable.

A = Área de la sección transversal del núcleo saturable (cm^2).

S = Factor de relleno del núcleo.

La ecuación (II.c.1) muestra que la frecuencia es dependiente del voltaje y que todos los demás valores son constantes para un núcleo en particular. Por consiguiente, la frecuencia puede ser controlada mediante un control del voltaje de entrada. El voltaje inducido está determinado por la ecuación,

$$E_1 = (E_A R_2) / (R_1 + R_2) \quad (II.c.2)$$

donde:

E_1 = Voltaje inducido (volts).

E_A = Voltaje aplicado al transformador (volts).

R_1 = Resistencia efectiva del primario del transformador (ohms).

R_2 = Resistencia efectiva del secundario del transformador y de la carga referida al primario (ohms).

Un método de reducir al mínimo la diferencia entre el voltaje aplicado y el inducido, consiste en emplear alambre grueso en el primario, en tal forma que E_1 se aproxime a E_A en la ecuación (2). Sin embargo, esto no compensa el cambio en el voltaje de saturación del transistor debido a la corriente, causando entonces este cambio una variación en la frecuencia debida a la carga. Si se regula el voltaje de entrada, la frecuencia puede controlarse en un $\pm 2\%$ aproximadamente mediante el empleo de alambre extragrueso en el primario del transformador con núcleo saturable.

ESTABILIDAD DE FRECUENCIA

Si se requiere un control más estricto de frecuencia, es evidente que debe emplearse un método para medir la variación del voltaje inducido, en tal forma que pueda obtenerse compensación

mediante un ajuste en el voltaje de alimentación del oscilador. La figura II.c.5 muestra un diagrama de bloques del inversor de potencia con estabilidad de frecuencia.

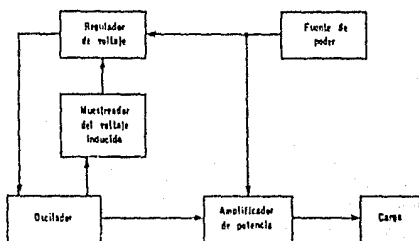


Figura II.c.5. Diagrama de bloques de un inversor con estabilidad de frecuencia.

La frecuencia de operación del oscilador con núcleo saturable depende del voltaje inducido del transformador oscilador. Este voltaje inducido se detecta por un circuito sensible que varía el voltaje de salida del regulador para mantener constante el voltaje inducido en el transformador, estabilizando por tanto

la frecuencia. El oscilador se acopla mediante transformador al amplificador de potencia, el cual suministra la potencia a la carga. Solamente el oscilador requiere un voltaje regulado de alimentación, por lo tanto, el amplificador de potencia se conecta directamente a la fuente de poder.

OSCILADOR DE NUCLEO SATURABLE.- El oscilador es un inversor que utiliza nucleo saturable en el transformador, con realimentación obtenida por medio de un devanado independiente del propio transformador, su circuito se muestra en la figura II.c.6.

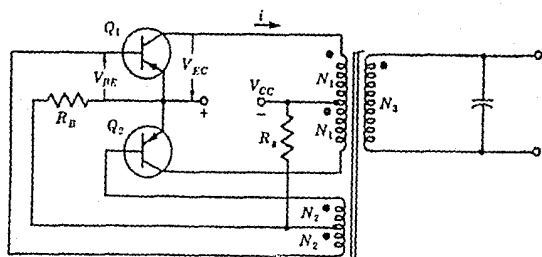


Figura II.c.6 Circuito del oscilador.

CIRCUITO SENSIBLE AL VOLTAJE INDUCIDO.- El circuito sensible se conecta a cada bobina primaria del oscilador durante el ciclo de cierre (vease la figura II.c.7). El voltaje visto por el circuito sensible es casi idéntico al voltaje real inducido debido al circuito de entrada de alta impedancia del regulador.

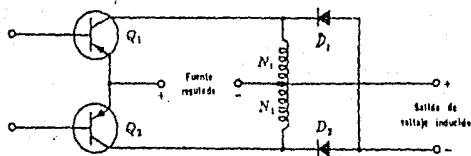


Figura II.c.7 Circuito sensible al voltaje inducido.

REGULADOR DE VOLTAJE.- El circuito regulador del inversor se muestra en la figura II.c.8 El voltaje inducido es negativo con respecto a la terminal negativa de la fuente y excita la base de Q_2 . Si el voltaje inducido disminuye, la excitación a Q_2 aumenta

en la relación del voltaje de referencia en el emisor al voltaje aplicado en la base. El regulador en serie Q_5 aumenta por consiguiente el voltaje alimentado al oscilador de núcleo saturable, consecuentemente, el voltaje inducido aumentará a un valor aproximadamente igual al valor inicial.

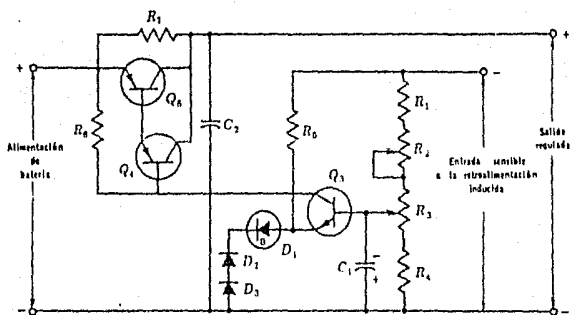


Figura II.c.8 Circuito regulador.

Los diodos D_2 y D_3 proporcionan compensación de temperatura para el diodo de avalancha D_1 , y para el transistor Q_3 . El condensador

sador C_1 disminuye la respuesta de alta frecuencia del amplificador regulador. R_1 proporciona un voltaje regulador de salida suficiente para iniciar oscilaciones cuando la potencia se aplica inicialmente.

AMPLIFICADOR DE POTENCIA.— El amplificador de potencia mostrado en la figura 11.c.9 está excitado por el oscilador y es alimentado directamente de la fuente de potencia. Si se requiere un voltaje regulado de salida, puede intercalarse un regulador transistorizado entre la fuente y este amplificador.

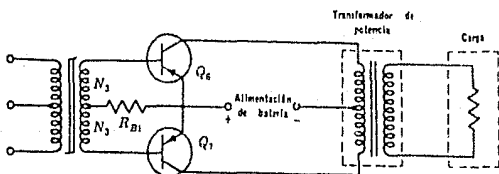


Figura 11.c.9 Amplificador de potencia excitado.

El transformador de potencia se devana con un número de vueltas suficiente para proporcionar un voltaje de salida de onda cuadrada a la frecuencia considerada. La corriente pico en el transistor de potencia será la corriente pico reflejada de carga. La corriente de magnetización debe ser pequeña, ya que este núcleo del transformador nunca se satura.

PROCEDIMIENTO DE DISEÑO DE UN INVERSOR PARA OBTENER 200 WATTS A UNA FRECUENCIA DE 60 CICLOS.

Se empleará un ejemplo específico para explicar el procedimiento de diseño para el circuito inversor descrito anteriormente. Supongase que la salida es una onda cuadrada de 60 cps, 200 watts y 115 volts. También supondremos que la carga es puramente resistiva y no tiene componentes reactivas (muchas grabadoras en cinta, equipos de televisión, etc. son altamente resistivos). El voltaje de entrada lo proporciona una batería de 12.6 volts. El diagrama completo del circuito se muestra en la figura II.c.10.

Datos del transformador saturable:
 Núcleo—The Arnold Engineering
 Co. JT-7189-D4
 Bobina 1: 160 vueltas cada una de
 alambre No. 26
 Bobina 2: 20 vueltas cada una de
 alambre No. 36
 Bobina 3: 40 vueltas cada una de
 alambre No. 20

Notas: (1) Los datos del transformador
 de potencia están in-
 cluidos
 (2) Todas las resistencias son
 de $\frac{1}{2}$ vatio, excepto cuando
 se indica de otra manera

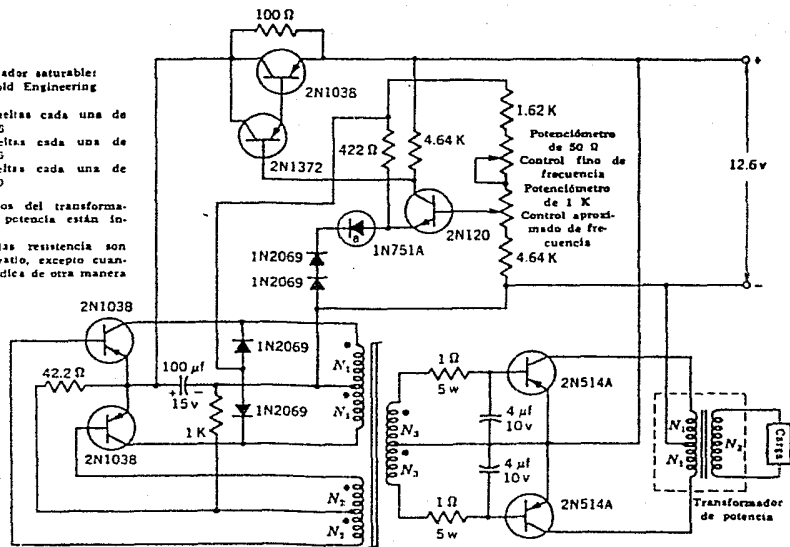
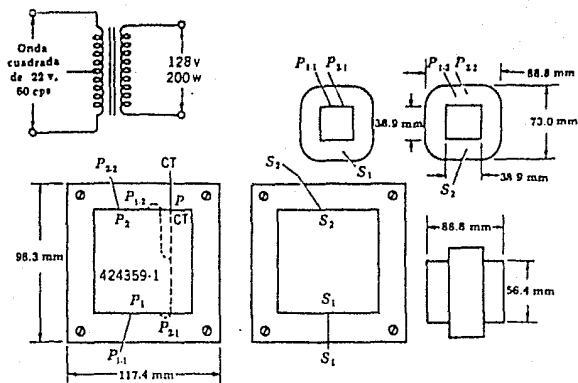


Figura 11.C.10 Inversor de 200 watts a 60 cps.

AMPLIFICADOR DE POTENCIA EXCITADO.- El transformador de potencia debe tener un área suficiente del núcleo para evitar saturación y corrientes elevadas en el transistor, tal como se discutió previamente. La eficiencia común en este tipo de transformador debe ser de 90%. En la figura II.c.11 se ilustra un diseño de transformador para esta aplicación. Si la eficiencia es de 90% se requerirán 220 watts a la entrada del transformador.



Especificación	Devanado	
	Primario	Secundario
Tubo	38.9 × 38.9 mm, 04 FK	Sobre el primario
Díámetro de alambre	No. 13 FX	No. 20 FX
Vueltas	36 bifilar	468 ± 4
Derivaciones	Bifilar	
Vueltas/capa	12	52
Longitud: devanado/bobina	43.7 × 56.4 mm	46.8 × 56.4 mm
Papel	0-1-0, 0.007 kraft	0-1-0, 0.005 kraft
Aislamiento	1 capa, 0.010 kraft	1 capa, 0.005 kraft
Anclaje	9.5 mm no. 27	6.35 mm no. 27
Asiento		Cinta no. 27
Terminal	Propia	Propia
Longitud de terminal	152 mm	152 mm
Anclaje de terminal	9.5 mm no. 27	6.35 mm no. 27
Aislamiento final		1 capa, 0.005 GK
Laminaciones		EI-13, 0.014 Silettron
Bloque aislante		25.4 × 25.4 × 38.1 mm
Asegurar laminaciones		Mediante pernos
Acabado		Impregnado con barniz

Figura II.c.11. Transformador con potencia de salida de 200 watts.

Si se permite, para el transistor de potencia, voltaje de saturación y caída resistiva en el primario del transformador, la entrada al primario del transformador sería una onda cuadrada con una amplitud pico de aproximadamente 11.5 volts. La relación de vueltas del transformador es entonces:

$$N_2 / N_1 = E_2 / E_1 = 115 / 11.5$$

La corriente pico en el primario es

$$I_p = P_{(10)} / E_1 = 220 / 11.5 = 19.1 \text{ amp}$$

Para la carga del transformador, el voltaje a través del transistor durante su periodo de cierre es el doble del voltaje de alimentación. Estos dos requerimientos necesitan un transistor de 20 amp con un valor nominal de BV_{CKX} mayor a 30 volts. Las unidades 2N5130 y 2N514A satisfacen ambos requerimientos, pero el 2N514A se empleará en esta aplicación debido a que es mayor el valor mínimo de h_{FE} . Se requerirá una corriente de base de 1 amp, ya que esta unidad tiene una ganancia mínima garantizada de corriente igual a 20 para 25 amp. El valor típico de V_{BE} es de 0.5 a 1.0 volts; por consiguiente, el voltaje inducido de N_2 será de 2 volts para considerar variaciones posibles. R_{e1} debe ser una resistencia no inductiva de 1 ohm y 5 watts para asegurar sobre

excitación suficiente para voltaje bajo de saturación. La eficiencia del sistema completo está determinada casi por completo por las pérdidas de potencia debidas a saturación, tiempo de conmutación, y al transformador de potencia.

OSCILADOR DE NUCLEO SATURABLE.- El transformador de núcleo saturable es la parte más importante en el diseño del oscilador. El núcleo debe tener:

- 1.- Una característica cuadrada B-H para estabilidad de frecuencia con variaciones en la carga.
- 2.- Una densidad de flujo de saturación B_n tal que ni el número de vueltas ni el área de la sección transversal tenga que ser excesiva.
- 3.- Bajas pérdidas a la frecuencia empleada (esta es una función del material y del grueso de la laminación, siendo ambas funciones del área rodeada por la curva B-H).

Un núcleo con devanado de cinta de níquel-hierro en la relación 50:50 (densidad de flujo de saturación = 14,500 gauss y laminaciones de 0.1 mm de grueso) es adecuado para la frecuencia de 60 cps. Cuando se emplea un núcleo con devanado de cinta, el área total del núcleo debe multiplicarse por un factor de relleno

para obtener el área real del núcleo. El tamaño del núcleo es una función del área de la sección transversal, tal como se puede observar en la ecuación (II.c.1), y del área necesaria para acomodar los devanados. El tamaño del núcleo para el inversor de 200 watts mostrado en esta parte no fué el óptimo. El hecho de disponer de un núcleo útil determinó esta elección particular. Las constantes del núcleo son:

$$B_m = 14500 \text{ GAUSS}$$

$$\text{Area total} = 1.61 \text{ cm}^2$$

$$f = 60 \text{ cps.}$$

$$\text{Factor de relleno} = 0.9$$

$$\text{Diámetro de ventana} = 29.2 \text{ mm.}$$

El voltaje aplicado al transformador de núcleo saturable se supone de 8 volts. Este valor permite una caída de 4 volts a través del regulador de voltaje, con un voltaje de alimentación de 12 volts, asegurando así una regulación confiable.

El número de vueltas en el primario se puede calcular haciendo uso de la ecuación (II.c.1), esto es:

8

$$N_1 = \frac{8}{(4)(14500)(60)(1.61)(0.9)(10^{-8})} = 159 \text{ vueltas}$$

El voltaje inducido en los devanados N_2 de excitación de base del oscilador debe ser del orden de 1 volts por consiguiente:

$$N_2 = N_1 (E_2 / E_1) = 160 \times 1/8 = 20 \text{ vueltas}$$

y además

$$N_3 = N_1 (E_3 / E_1) = 160 \times (2 / 8) = 40 \text{ vueltas}$$

La corriente máxima en el circuito de base de la etapa de potencia no excederá un valor de 2 amperes, a menos que la salida del regulador exceda de 10 volts por consiguiente, la corriente máxima del primario será:

$$I_1 = I_3 (N_3 / N_1) = 2 (40 / 160) = 0.5 \text{ amp}$$

El transistor utilizado para esta aplicación debe ser capaz de conducir una corriente de colector de 0.5 amp y debe tener un valor de BV_{CEM} superior a 20 volts. El 2N103B satisface fácilmente estos requerimientos. Como dicho transistor tiene una ganancia mínima de corriente de 20 para + 25°C, es suficiente una corriente de base de 25 ma (para baja temperatura de operación debe aumentarse esta corriente para permitir una disminución en la ganancia de corriente).

El diámetro del alambre se calcula basándose en 1000 cir-

cularmils/amp. Como el ciclo de trabajo es de 50% para cada devanado, los diámetros mínimos de alambre son:

$$A_{N1} = 0.5 (1000 / 2) = 250 \text{ cir mils}$$

$$A_{N2} = 0.025 (1000 / 2) = 12.5 \text{ cir mils}$$

$$A_{N3} = 2 (1000 / 2) = 1000 \text{ cir mils}$$

Los diámetros AWG del alambre se seleccionan de 26, 36 y 20 respectivamente. El calibre 36 es mayor al necesario, pero se selecciona en esta forma para facilidad del manejo. El área total de alambre es entonces:

$$A_w = 2N_1 A_{N1} + 2N_2 A_{N2} + 2N_3 A_{N3} = 200,000 \text{ cir mils} \quad (\text{II.c.12})$$

El área disponible para el devanado, en circular mils es:

$$A_a = (I D)^2 = 1'320,000 \text{ cir mils} \quad (\text{II.c.13})$$

Así:

$$A_w / A_a = 0.152 \quad (\text{II.c.14})$$

La ecuación (II.c.14) indica que el tamaño del núcleo es excesivo. Podría reducirse hasta que el resultado de este cálculo sea aproximadamente 0.4. Estos devanados deben ser bifilares para aumentar el acoplamiento y reducir así los picos de voltajes

debidos a interrupción de corriente en las inductancias de dispersión.

La figura II.c.12 muestra un circuito equivalente del circuito de polarización emisor-base.

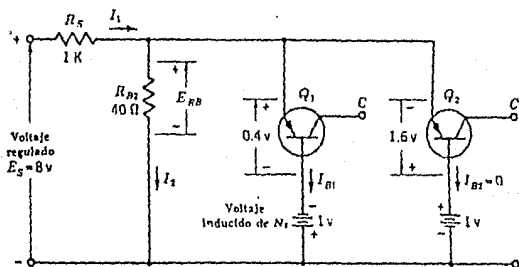


Figura II.c.12. Circuito equivalente de polarización para el oscilador.

Antes de iniciar las oscilaciones, el voltaje inducido a través de N_2 es nulo; por consiguiente, los potenciales de 1 volt mostrados no existen. El voltaje a través de R_{BB} es entonces:

$$8 \times 40$$

$$E_{BB} = \frac{\quad}{1000 + 40} = 0.3 \text{ volts}$$

$$1000 + 40$$

Esta polarización es suficiente para hacer que ambos transistores empiecen a conducir. Debido a la fuerte retroalimentación positiva proporcionada por los devanados de excitación de base, cualquier disturbio pequeño en las corrientes de colector se amplifica hasta que un transistor se excita hasta saturación. Esta condición persiste hasta que el núcleo se satura y la excitación de base desaparece. El transistor saturado se cierra a continuación y el ciclo se repite con el transistor opuesto. Para calcular la corriente de polarización de base después de estar funcionando el circuito, la figura II.c.12 se dibujó para una condición de voltajes de base, es decir, cuando el transistor 1 está abierto y el transistor 2 está cerrado. Si $V_{BE} = 0.4$ para el transistor 1, $I_1 = 8.6$ ma, e $I_2 = -15$ ma para proporcionar la corriente necesaria de excitación de base $I_{B1} = 23.6$ ma. El transistor 2, tal como se muestra, tiene una polarización inversa de 1.6 volts, y debido a ello se cierra.

REGULADOR DE VOLTAJE.- La corriente directa al oscilador será de 0.5 a 0.7 amp; así, puede emplearse un 2N103B como el regulador en serie Q_2 . Como este transistor tiene una ganancia mínima de corriente de 20, la corriente requerida de base será de 35 ma, la

que puede ser proporcionada por un 2N1372. Siendo su ganancia mínima de corriente de 30; por consiguiente, su corriente máxima de base será de 1.2 ma. Para Q_3 se seleccionó un transistor de silicio 2N120 para reducir al mínimo el cambio en el voltaje de salida del regulador al variar la temperatura. Este transistor tiene una ganancia mínima de corriente de 76. Por consiguiente, se requerirá una corriente de base de 16 microamp.

El voltaje inducido del Circuito Sensible será aproximadamente de 7.5 volts cuando la caída de 0.5 volts a través de los diodos sensibles se ha tomado en cuenta. D_1 es un diodo de avalanche 1N751A, y tiene un voltaje nominal de referencia de 5.1 volts; R_6 se eligió para proporcionar una corriente de diodo de aproximadamente 4 ma. La compensación de temperatura del regulador se logrará conectando un par de diodos de silicio 1N2069 (D_2 y D_3) en serie con D_1 . Se encontró que C_1 es innecesario después de haber conectado los condensadores de supresión de picos con un valor de 4 microfaradios entre la base y el emisor de los transistores 2N514A en la figura II.c.10.

RESULTADOS DE PRUEBA Y DATOS PARA EL INVERSOR DE 200 Watts y 60 CICLOS.- La figura II.c.13 muestra los datos experimentales para la variación de frecuencia en función de cambios en la carga, para diferentes voltajes constantes de entrada.

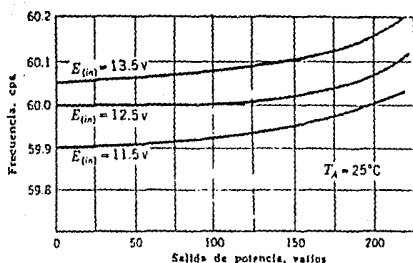


Figura II.c.13. Frecuencia en función de la salida de potencia con diferente E_{be} .

La variación máxima de frecuencia para un cambio en la carga de 0 a 200 vatios y un cambio de voltaje de 11.5 a 13.5 volts es menor a 0.5%

Las curvas se dirigen hacia arriba a medida que la potencia de salida aumenta, debido al incremento del voltaje base-emisor de los transistores 2N514A. Así la corriente de base disminuye y

trae como consecuencia una carga menor en el oscilador de núcleo saturable. Para instalaciones típicas, el voltaje de entrada al emisor disminuye cuando la carga aumenta; por consiguiente, la frecuencia varía menos con la salida de potencia que lo indicado en la figura II.c.13.

Las variaciones de frecuencia con la temperatura se muestran en la figura II.c.14 para condiciones de carga nula y carga completa.

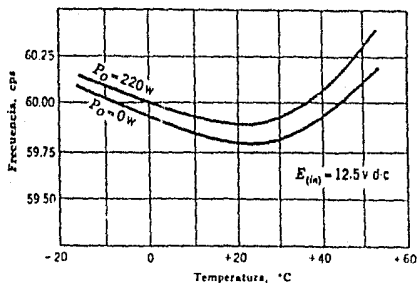


Figura II.c.14. Frecuencia en función de la temperatura para condiciones de carga nula y completa.

Para varios transistores empleados en el circuito emisor, la

desviación porcentual de frecuencia fue aproximadamente la misma que la de la figura anterior; sin embargo, la forma de las curvas fué diferente en cada caso.

La figura II.c.15 muestra graficada la eficiencia en función de la potencia de salida. Un punto interesante es que la eficiencia tiene un valor de aproximadamente 86% a 200 watts. La eficiencia del transformador para estas potencias fué de aproximadamente 90%.

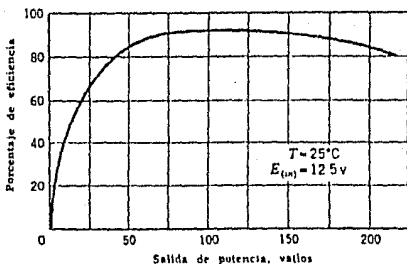


Figura II.c.15. Eficiencia en función de la potencia de salida.

Esto significa que el transformador de potencia fué un factor primordial en la eficiencia del circuito. La potencia de entrada sin carga fué de 8.5 watts.

Por un período de 12 horas, durante el cual pudo haber variado el voltaje de alimentación solo ligeramente, la variación máxima de frecuencia fué inferior a 0.1%.

II.d.- MECANISMOS Y MOTORES PARA EL POSICIONAMIENTO DE LOS PANELES SOLARES.

Para tener una mejor eficiencia óptica de los concentradores al incidir la radiación solar sobre ellos, es necesario que el sistema colector tenga un movimiento tal que siga al sol con un error del orden de 0.25° o menos a fin de conseguir un buen enfoque sobre la superficie colectora y, en consecuencia obtener las eficiencias deseadas.

Existen diversos mecanismos para mover dicho sistema que pueden satisfacer en mayor o menor proporción los requerimientos del funcionamiento exigidos, por tal motivo se hace un estudio comparativo para elegir el más adecuado en términos factibilidad de construcción y economía.

Los mecanismos que ha continuación se muestran, son diseñados con base a el siguiente criterio:

a) El mecanismo seguidor deberá operar como reductor de velocidad a la vez, dado que no existe en el mercado un motor con la velocidad (rpm) adecuada.

b) El par debido a la acción del viento sobre la estructura de los concentradores deberá ser soportado por el mecanismo sin transmitirlo al motor.

aprovechamiento de la potencia del motor.

Las restricciones impuestas al mecanismo son aceptables para cualquier orientación del sistema colector, es decir si dicho sistema tiene una orientación norte - sur con movimiento este-oeste o bien si está orientado en posición este - oeste con movimiento norte - sur.

MECANISMOS PROPUESTOS

1) MECANISMO CORONA - TORNILLO SINFIN

El mecanismo compuesto por un acoplamiento corona tornillo sin fin (figura II.d.1) opera satisfactoriamente y presenta las siguientes características favorables:

- 1) Con él se consigue la reducción de velocidad requerida de acuerdo con la velocidad del motor que se use.
- 2) Soporta el par debido a la acción del viento sin transmitirlo al motor.
- 3) Los componentes de este sistema se consiguen fácilmente en el mercado, con lo cual se evita su diseño y construcción y todo se reduce a seleccionar el adecuado en catálogos y acoplarlo.
- 4) Es capaz de mover el sistema en ambos sentidos.
- 5) Requiere de mantenimiento mínimo.

Este sistema mecánico tienen la desventaja de presentar un pequeño juego angular cuyo efecto puede ser significativo dependiendo del tamaño de los paneles y de la longitud. Además, con el uso se detecta un leve desgaste sobre el tornillo sinfín, con lo cual aumenta el juego y dá lugar a que la acción intermitente del viento, de a la estructura un movimiento de vaivén registrándose un golpeteo que termina destruyendo el elemento de acoplamiento del mecanismo, al sistema colector.

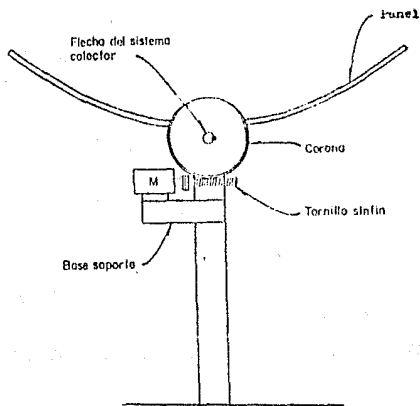


Figura II.d.1 Mecanismo Corona - Tornillo Sinfín

2) MECANISMO DE TORNILLO

Este mecanismo consiste en un tornillo fijo a una chumacera

la cual puede girar, ya que está apoyada sobre un perno. Un motor sobre un soporte fijo a la chumacera está acoplado directamente al tornillo. El tornillo (elemento 3) puede girar alrededor de su propio eje y junto con la chumacera y el motor, alrededor de un eje horizontal (perpendicular al del tornillo) que pasa por la chumacera. Al transmitir su señal el dispositivo sensor, el motor eléctrico hace girar al tornillo sobre su propio eje. Esto hace que el elemento 4 (tuerca) se desplacen sobre él. Dado que el elemento 2 está rigidamente acoplado a la flecha de la estructura colectora y articulado al elemento 4, al desplazarse éste último sobre el tornillo, provoca un movimiento angular en el elemento 2 el cual mueve al sistema colector para llevarlo a la posición de enfoque requerida.

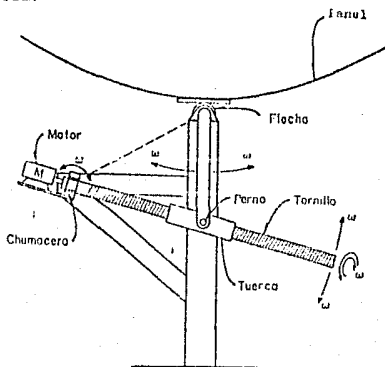
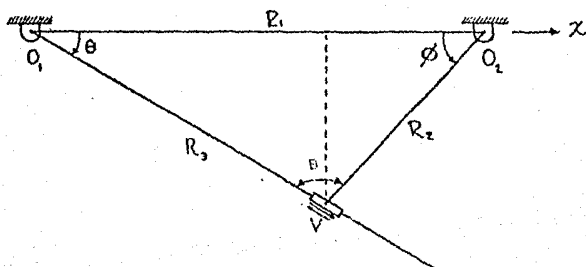


Figura II.d.2 Mecanismo de Tornillo

A pesar de que la velocidad de desplazamiento de la tuerca sobre el tornillo es constante, la velocidad de salida del elemento 2, W_2 , no es constante. Por medio del siguiente análisis dinámico se obtiene la expresión que relaciona a la velocidad W_2 , con la posición angular ϕ del elemento 2 y las longitudes constantes R_1 y R_2 :

El siguiente diagrama representa al mecanismo seguidor:



Donde R_1 y R_2 son magnitudes constantes y R_3 es una magnitud variable.

Tenemos que, de las proyecciones de R_2 y R_3 sobre el eje X:

$$R_3 \cos \theta + R_2 \cos \phi = R_1 \quad (\text{II.d.1})$$

Por otro lado, por ley de los senos:

$$R_2 / \sin \theta = R_1 / \sin \beta \quad \text{Y} \quad R_1 / \sin \beta = R_3 / \sin \phi$$

O sea:

$$\sin \beta = (R_1 / R_2) (\sin \theta) \quad (\text{II.d.2})$$

$$\sin \beta = (R_1 / R_3) (\sin \phi) \quad (\text{II.d.3})$$

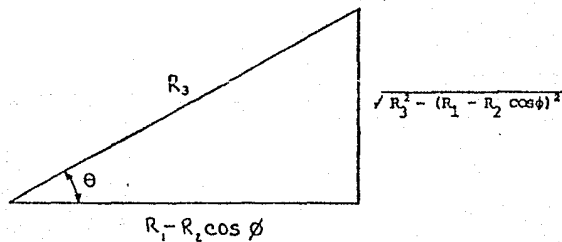
igualando (II.d.2) y (II.d.3)

$$(R_1 / R_2) (\sin \theta) = (R_1 / R_3) (\sin \phi) \quad (\text{II.d.4})$$

de la expresión (II.d.1):

$$\cos \theta = (R_1 - R_2 \cos \phi) / R_3$$

de donde:



Por lo que:

$$\text{Sen } \theta = \sqrt{(R_3^2 - (R_1 - R_2 \text{ Cos } \phi)^2)} / R_3 \quad (\text{II.d.5})$$

Sustituyendo (II.d.5) en la expresión (II.d.4) :

$$\sqrt{R_3^2 - (R_1 - R_2 \text{ Cos } \phi)^2} = R_2 \text{ Sen } \phi$$

Elevando al cuadrado ambos miembros y despejando R_3 :

$$R_3 = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 R_1 R_2 \text{ Cos } \phi} \quad (\text{II.d.6})$$

Despejando $\text{Cos } \phi$ de (II.d.6)

$$\text{Cos } \phi = (R_1^2 + R_2^2 - R_3^2) / (2 R_1 R_2)$$

Derivando la expresión anterior respecto al tiempo y despejando

$$\dot{\phi} = \omega_2 \quad :$$

$$\dot{\phi} = \omega_2 = R_3 \dot{R}_3 / (R_1 R_2 \text{ Sen } \phi) \quad (\text{II.d.7})$$

Donde $\dot{R}_3 = V$ (velocidad de la tuerca respecto al tornillo)

Sustituyendo la expresión (II.d.6) en la (II.d.7) obtendremos finalmente la expresión buscada:

$$W_2 = \left(V \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 R_1 R_2 \cos \phi} \right) / R_1 R_2 \sin \phi \quad (II.d.B)$$

El análisis anterior permite seleccionar la curva de velocidad del mecanismo adecuado y , con ello, conocer las magnitudes R_1 , R_2 , R_3 y V apropiadas del mismo, consiguiéndose además con esta última, el número de rpm del motor que se va a emplear y el paso de la rosca del tornillo.

A cada uno de los elementos que componen el mecanismo es necesario darle la robustez necesaria, de tal forma que sean capaces de resistir los esfuerzos a los cuales estarán sometidos. A continuación se mencionan algunos cálculos que deben considerarse para el diseño:

- 1) Esfuerzo constante debido al par que se transmite en la zona de acoplamiento entre la flecha y el elemento 2.
- 2) Esfuerzo de flexión del elemento 2 debido al par que transmite el elemento 3 a través de la fuerza.
- 3) Esfuerzo de aplastamiento por la acción del perno sobre el elemento 2 y sobre la fuerza.
- 4) Verificar que la carga máxima sobre el tornillo no produzca pandeos.
- 5) Cálculo de la longitud necesaria de la tuerca.
- 6) Esfuerzos en la rosca del tornillo:

- a) Esfuerzo de flexión
 - b) Esfuerzo cortante
 - c) Presión de contacto
- 7) Esfuerzos en el núcleo del tornillo:
- a) Esfuerzo cortante torsional
 - b) Esfuerzo de tracción
 - c) Esfuerzo de compresión
 - d) Esfuerzo cortante máximo debido a la acción combinada del esfuerzo cortante torsional y el esfuerzo de tracción o compresión.
- 8) Esfuerzo en el perno de la chumacera.

Para conocer ω_2 para cada determinada posición del elemento se puede elaborar un programa de computadora, el cual permite además, observar las variaciones de la velocidad de salida y escoger los parámetros apropiados dando diferentes valores a la velocidad V del elemento 4, la distancia R_1 (θ_1 , θ_2) y la longitud R_2 del elemento 2.

Este mecanismo presenta las siguientes ventajas:

- 1) La reducción de velocidad deseada se consigue con la reducción de la velocidad del elemento 4 que es la que determina el paso de la rosca del elemento 3 (tornillo) e incrementando la longitud del elemento 2.

2) Soporta el par debido a la acción del viento sin transmitirlo al motor.

3) El tornillo no sufre un desgaste significativo ya que la tuerca no está sobre una misma zona del tornillo, como sucede en el sistema anterior.

4) Necesita un mínimo de mantenimiento

5) Se tiene un error de seguimiento menor respecto del sistema anterior y existe la posibilidad de hacerlo más pequeño aumentando la longitud del elemento 2.

6) Puede mover al sistema colector en los dos sentidos aunque está restringido a hacerlo dentro de un ángulo menor de 180° .

7) Mediante un diseño apropiado, este sistema puede tener un costo ligeramente menor que el sistema corona-tornillo sin fin.

3) MECANISMO TIPO MEDIA LUNA

El mecanismo tipo media luna (figura II.d.3) es sencillo, de bajo costo y de fácil construcción. Consiste en una placa de metal recortada en semicírculo, que a lo largo de su perímetro lleva soldada una solera; sobre ella son enrollados tres cables de acero, tensados, que se cruzan en el punto más bajo de la rueda para apoyarse en un par de rodillos moleteados. A uno de esos rodillos va acoplado un motor eléctrico. La razón de recortar la placa en semicírculo es que con ello se evita que ésta

haga sombra sobre los paneles. La relación entre el diámetro de la rueda y el del rodillo de mando da la velocidad de salida requerida.

Algunas características importantes de este sistema son las siguientes:

- 1) Los elementos que lo componen prácticamente no sufren desgaste.
- 2) Se obtiene una velocidad constante de salida aceptable.
- 3) Puede mover al sistema colector en ambos sentidos, dentro de un ángulo que fluctúa alrededor de 180°, dependiendo del diseño.
- 4) Necesita un mínimo de mantenimiento, es decir solamente lubricación y ajuste de los cables mediante el tensor.
- 5) La carga sobre el motor debida al viento es reducida por el radio de la rueda.

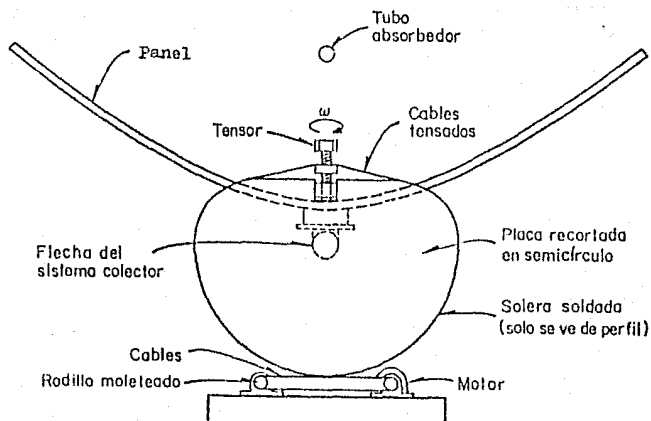


Figura II.d.3. Mecanismo tipo media luna

- 6) La mayor desventaja de este mecanismo es su poca capacidad para mantenerse fijo por sí mismo ante la acción del viento sobre los paneles: por esto, para su operación, es necesario utilizar un motor de mayor potencia

que el requerido para los sistemas descritos con anterioridad. Sin embargo, este mecanismo es muy económico, de fácil construcción y requiere un mantenimiento menor que los otros dos anteriormente descritos.

4) MECANISMO "RUEDA DE BICICLETA"

Este mecanismo esta compuesto por una rueda similar a la de una bicicleta conectada rigidamente a la flecha del sistema colector y que lleva acoplado un rodillo moleteado, sostenido por un par de chumaceras y el cual se acopla directamente a un motor eléctrico como se muestra en la figura II.d.4.

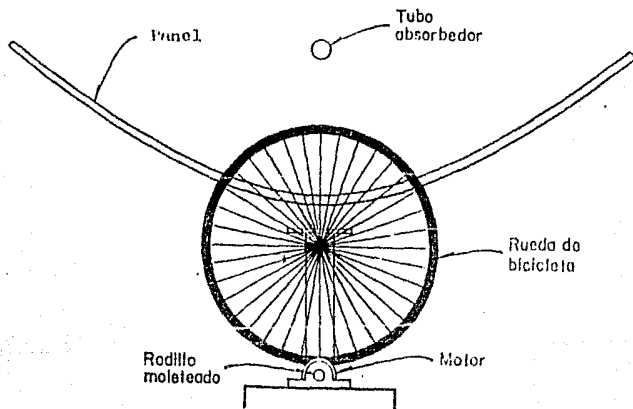


Figura 4. Mecanismo rueda de bicicleta

Las características más importantes de este mecanismo son:

- 1) Puede girar al sistema en ambos sentidos
- 2) Requiere un mínimo de mantenimiento, el cual consistiría en la lubricación esporádica de las chumaceras.
- 3) Está constituido por un número de componentes menor que los anteriores.
- 4) Dichos componentes prácticamente no sufren desgaste apreciable.
- 5) Se obtiene una velocidad de salida aceptable.
- 6) La carga sobre el motor debida al viento es reducida por el radio de la rueda.

La rueda y las chumaceras se consiguen en el mercado por lo que todo el trabajo consiste en el diseño, construcción del rodillo y recubrimiento de la rueda.

Este sistema, tiene la desventaja de no ofrecer resistencia al par debido al viento transmitiéndolo al motor, por lo cual es necesario utilizar un motor de mayor potencia; sin embargo, es el más económico de todos y se puede diseñar un freno para darle mayor capacidad de resistencia al par debido al viento a base de un sistema electromecánico.

CAPITULO III

SOLUCION AL PROYECTO PROPUESTO

III.a. UBICACION Y TIPO DE CASA PROPUESTO, DIAGRAMA UNIFILAR

Como fuente de alimentación, para satisfacer las necesidades de consumo eléctrico de una vivienda unifamiliar, se toma la alternativa del uso de paneles fotovoltaicos como sistema generador de energía eléctrica, que en conjunto con otros elementos, forman el "sistema de abastecimiento".

Un esquema general de bloques de una instalación típica, se muestra en la siguiente figura.

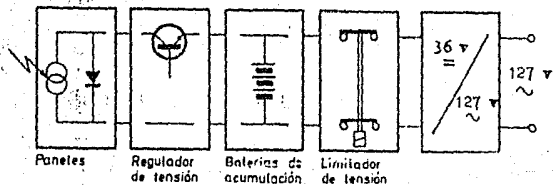


FIG. III.a.1

Desde los elementos que componen la instalación propuesta son:

a).- PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS

El componente básico del generador es la celda solar que transforma la energía de la luz solar (básicamente la del espectro visible) directamente en electricidad. Estos dispositivos se suministran en forma modular con diferentes valores de potencia de salida.

b).- BATERIAS DE ACUMULACION

La acumulación de energía es necesaria, por cuanto esta se produce y consume en diferentes instantes de tiempo y a que es necesario almacenarla en las épocas de mayor producción, para utilizarla en las de menor. Las más utilizadas son las baterías estacionarias. Dentro de los factores más importantes en el diseño del banco de baterías, son el factor de temperatura y el factor de fondo, pues no se puede permitir que se descarguen completamente ya que repercutiría sobre su vida activa y su pérdida de capacidad por sulfatación.

Las más empleadas son las baterías o acumuladores de plomo-ácido.

c).- REGULADOR DE TENSION

Es un elemento cuya función es la de evitar la sobrecarga de

las baterías, limitando la tensión de carga a un valor máximo admisible. Para las instalaciones fotovoltaicas, lo más común y adecuado es utilizar un regulador conmutado el cual, además polariza al generador fotovoltaico en su punto de, máxima potencia de salida (máximo rendimiento).

d).- CONVERTIDOR (INVERSOR) CORRIENTE CONTINUA-CORRIENTE ALTERNA

Este elemento modifica la tensión de c.c. de entrada en una onda lo más senoidal posible y se incorpora a un transformador que eleva la tensión de entrada nominales, a la tensión de salida de 127 volts. de valor eficaz.

e).- LIMITADOR DE TENSION

Su función es evitar que las baterías se descarguen por debajo de ciertos niveles. Para ello hay que tener en cuenta el factor de fondo de las baterías empleadas. Para baterías estacionarias de plomo-acido, el mínimo de carga permisible es de un 20% sobre su capacidad nominal.

f).- DIODO DE BLOQUEO

El sistema también contará con un "diodo de bloqueo", que evita la posibilidad de algún daño en las celdas solares de los paneles, para el caso en que el sentido de la corriente eléctrica

se invierta. Lo anterior ocurriría si el voltaje del banco de acumuladores es mayor que el producido por el sistema fotovoltaico, debido a una insolación baja o carencia de insolación.

Se tomará como lugar de ubicación para la casa propuesta, el municipio de la Cd. de Hermosillo Sonora, en base a sus características de insolación que recibe esta región y su latitud geográfica.

El plano de la casa, diagrama de distribución de servicios, Diagrama unifilar y cuadro de cargas, son:

DIAGRAMA DE LA DISTRIBUCION DE SERVICIOS

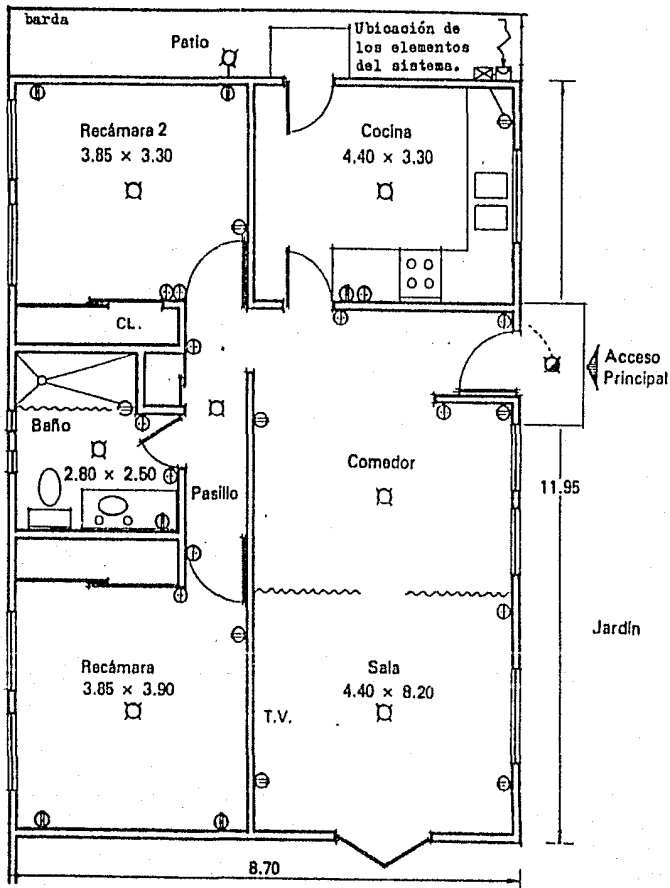
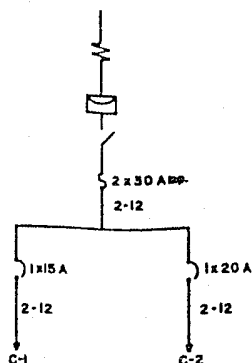













DIAGRAMA UNIFILAR



S I M B O L O G I A

	ARBOTANTE INCANDESCENTE
	SALIDA INCANDESCENTE DE CENTRO
	SALIDA o SPOT
	APAGADOR SENCILLO
	APAGADOR DE 3 VIAS o DE ESCALERA
	CONTACTO SENCILLO
	ACOMETIDA Cto. DE LUZ
	MEDIDOR
	TABLERO GENERAL CON INTERRUPTOR DE SEGURIDAD DE 2x30 A. y UN TABLERO DE DISTRIBUCION CON DOS DERIVADOS
	LINEA ENTUBADA POR MUROS y LOSA.
	LINEA ENTUBADA POR PISOS.

CUADRO DE CARGAS

CUADRO DE CARGAS							
	☐	☐	☐	☐	☐	☐	
CIRCUITO	60 W	75 W	60 W	40 W	60 W	200 W	total
C - 1	1	1	5	1	1		535
C - 2						13	2600
						Total	3115

CARTA DE DISTRIBUCION - 1

LUGAR	SERVICIO	CONSUMO EN WATTS	TIEMPO DE UTILIZACION EN HORAS																								TOTAL
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	
COMEDOR	ILUMINACION	60						/	/					/					/	/	/					360	
COCINA	ILUMINACION	75	/																								168
	REFRIGERADOR	400	5 min. prendido por 10 min. apagado ; total 8 hrs. por día																								3200
	LICUADORA	100	5 min. / 8.33 w / total 15 min																								25
PATIO DE SERVICIOS	ILUMINACION	60							/	/																90	
	PLANCHA	1000							/	/																500	
	LAVADORA DE ROPA	500							/	/																500	
	ILUMINACION ENTRADA	40					/	/													/	/				40	
	TOTAL POR HORA EN W.																								4883		

De los diagramas de distribución, se tiene que el consumo por día es de:

$$4883 + 1780 = 6,663 \text{ Watts-h / día}$$

Donde para un mes:

$$6663 \times 30 = 199,890 \text{ Watts-h/mes}$$

Valor que para fines de diseño se tomará en un valor cerrado de 200KW-h/día.

Se tendrá ahora un valor promedio diario de :

$$(200 \text{ KW-h/mes}) / 30 \text{ días} = 6,666.00 ;$$

$$\text{aproximadamente} = 6.67 \text{ KW-h / día}$$

Con este valor, tendremos un consumo promedio por hora de:

$$(6,670.00 \text{ Watts-h/día}) / 24 \text{ horas} = 277.9 \text{ Watts-hora}$$

Que son aproximadamente 278 Watts-hora

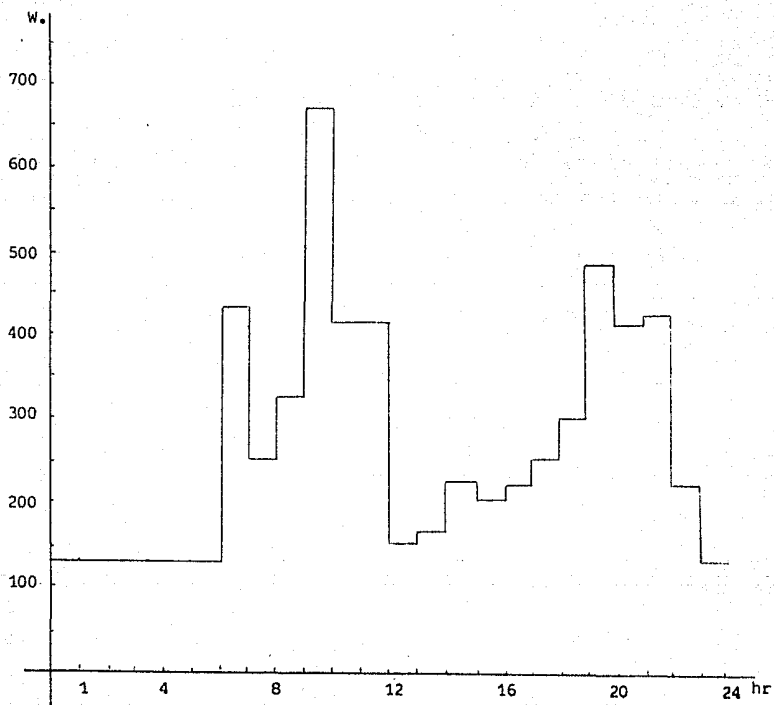
Los mismos diagramas de distribución de cargas y consumo, nos permiten elaborar la siguiente tabla:

TABLA DE RACIONALIZACION
DE CONSUMO ELECTRICO
POR HORA - DIA

HORA	CONSUMO - W	HORA	CONSUMO - W
1	133.33	13	163.33
2	133.33	14	230.83
3	133.33	15	203.33
4	133.33	16	203.33
5	133.33	17	253.33
6	430.16	18	283.33
7	253.33	19	470.16
8	328.33	20	413.33
9	663.33	21	413.33
10	413.33	22	223.33
11	413.33	23	273.33
12	160.16	24	133.33

Correspondiendo el valor máximo de 663.33 Watts de 9 a 10 horas, como resultado de la distribución de servicios.

DIAGRAMA DE CONSUMO HORARIO



III.b.- DISEÑO Y ORIENTACION DE LOS PANELES EN BASE AL SISTEMA DE SEGUIMIENTO ELEGIDO. MECANISMOS DE CONTROL.

Debido a que la diferencia entre la energía que se obtiene entre un sistema con colectores móviles y otro con colectores fijos (para este tipo de paneles), es poco significativa, se decidió no utilizar un mecanismo de seguimiento solar. Los paneles estarán orientados al sur, con un ángulo de inclinación respecto a la horizontal de 29° y que corresponde a la latitud de la ciudad de Hermosillo, Son.

Dado que se trata de un sistema fijo, se puede construir una estructura a base de ángulo, la que resulta económica, resistente y durable en comparación con otros tipos de materiales (fibra de vidrio, aluminio, etc.).

DATOS TECNICOS.- Se usarán 39 paneles, con 13 hileras en paralelo de 3 paneles en serie cada una. Los paneles solares tienen las siguientes características:

Dimensiones = 129.3 cm. x 33 cm.

Espesor = 3.6 cm.

Peso/panel = 5.7 kg.

Peso total = 39 x 5.7 = 222 kg.

Los paneles solares se instalarán en un arreglo de dos módulos, uno de 20 paneles y el otro de 19, mismos que serán colocados en el techo de la casa.

Sabiendo que el espesor de los paneles es de 36 mm., se utilizará ángulo de 1 3/4" x 1/2" (44.4 x 6.3 mm.), lo que da un margen de 8.4 mm., para colocar la cubierta de los paneles que será de vidrio de 4 mm. de espesor.

Las dimensiones de los módulos se muestran en la figura III.b.1.

Se sabe que para la ciudad de Hermosillo, Son., la velocidad máxima del viento es de 12.5 m/s, con lo cual puede calcularse la fuerza de empuje del viento sobre los paneles con la siguiente fórmula:

$$P = 0.00555CAV^2$$

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
258.6	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

330

ángulo
soporte
del módulo

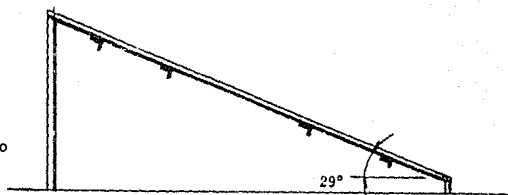


Figura III.b.1
Estructura de los paneles

Material requerido y peso

7 piezas de 258.6 cm. = 1810.2 cm.

8 piezas de 330 cm. = 2640 cm.

7 piezas de 10 cm. = 70 cm.

7 piezas de 123.8 cm. = 866.6 cm.

peso total = 221.93 kg.

donde:

P = Fuerza de empuje [kg.]

A = Area expuesta [m²]

C = Factor de empuje [adim.] = 0.75

V = Velocidad de diseño [km/hr]

Para el cálculo del área expuesta, se obtendrá la proyección vertical del módulo, por lo que:

$$A = 2.586 \times \text{sen } 29^\circ \times 3.3 = 4.14 \text{ m}^2$$

por lo tanto, la fuerza de empuje será:

$$P = 0.00555 \times 0.75 \times 4.14 \times 45^2$$

$$P = 34.9 \text{ kg.}$$

Como se indicó anteriormente, la cubierta de los paneles solares será de vidrio de 4 mm. de espesor cuyo peso es de 2.5 gr/cm cúbico, por lo que el peso total de la cubierta es de 85.338 kg.

La deflexión máxima que sufrirá la estructura soporte, puede calcularse por medio de la siguiente relación:

$$\text{Deflexión máxima} = 5w l^4 / 384EI$$

donde:

w = carga total [kg]

l = claro máximo [cm]

E = módulo de elasticidad del acero

I = momento de inercia [cm⁴]

sustituyendo valores:

Deflexión máx. = $5 \times 92.42 \times 55^4 / 384 \times 2\,039\,000 \times 9.57$

Deflexión máx. = 0.56 cm.

Si se toma en cuenta la fuerza del viento, se tendrá un nuevo valor de deflexión máxima igual a 0.76 cm.

III.c. CALCULO DE LOS PANELES Y DEL ACUMULADOR PARA SOPORTAR LA CARGA PROPUESTA.

Debido a que el voltaje y la corriente que genera una sola celda solar resultan pequeños en comparación con los requerimientos de la mayoría de las aplicaciones, se hace necesario formar arreglos con celdas solares conectadas en serie y/o paralelo. El voltaje total que genera un panel solar depende del número de celdas conectadas en serie, mientras que la corriente está en función del número de celdas conectadas en paralelo.

Las baterías para el almacenamiento de energía son esenciales en una instalación fotovoltaica ya que hacen posible el suministro de energía durante la noche y en condiciones climáticas adversas.

En la figura III.c.1 se muestra la configuración general de un sistema fotovoltaico. El subsistema de control mantiene al arreglo fotovoltaico en su punto de máxima potencia y suministra la corriente y el voltaje adecuados para la carga. Por otra parte, se deben tomar provisiones para disipar el exceso de energía que se genera cuando las baterías están totalmente cargadas.

Para el cálculo de los paneles solares así como del número requerido de baterías, se empleó el método propuesto por M. D. Sugel, S. A. Klein y W. A. Beckman [ref. No. 4], el cual se describe a continuación.

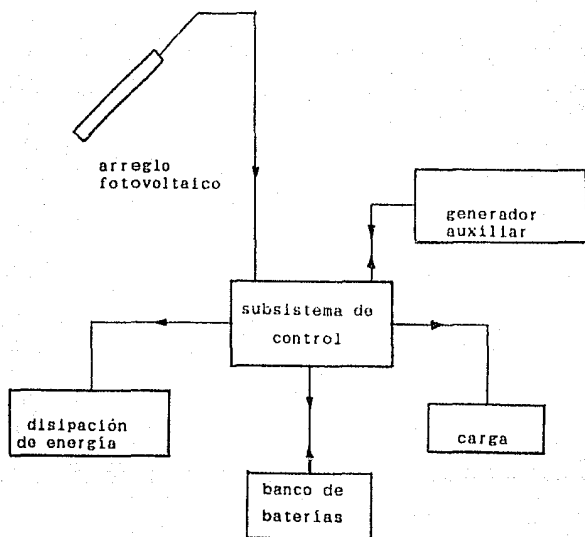


Figura III.C.1

La eficiencia de conversión de un sistema fotovoltaico se define como el cociente de la energía eléctrica producida por el arreglo entre la energía incidente en los paneles solares. En forma simbólica:

$$= E/Ac Ht \tau \quad (III.c.1)$$

donde:

n = eficiencia del arreglo

E = energía eléctrica producida por el arreglo

Ac = área de las celdas solares

τ = transmitancia de la cubierta del arreglo

Ht = radiación solar total incidente en el arreglo

En la ciudad de Hermosillo, Son., para el mes de diciembre se tiene una insolación promedio mensual de 323 ly/día, que es equivalente a 13521 kJ/m²-día. La insolación extraterrestre promedio mensual, sobre una superficie horizontal para la latitud correspondiente a Hermosillo, Son., es de 19714 kJ/m²-día.

Con los datos anteriores, el índice mensual de nubosidad será:

$$Kt = H / H_0 = 13521 / 19714 = 0.686$$

Para calcular la fracción de radiación difusa, Hd, con

respecto a la radiación total sobre la superficie horizontal, se utiliza la relación:

$$H_d / H = 1.390 - 4.027Kt + 5.531Kt^2 - 3.109Kt^3 \quad (\text{III.c.2})$$

sustituyendo el valor de $Kt=0.686$ en la ecuación (III.c.2), se obtiene que $H_d / H = 0.227$

El ángulo de declinación, δ , se puede calcular como:

$$\delta = 23.45 \text{ sen } [(360/365) (284+n)] \quad (\text{III.c.3})$$

donde n es el número de día del año ($n=1,2,3,\dots,365$). Para el mes de diciembre el día promedio del mes es el 10, o sea $n=344$.

Sustituyendo este valor, se obtiene $\delta = -23.05^\circ$

El ángulo horario sobre una superficie horizontal, h_s , está dado por:

$$h_s = \text{ang } \cos(-\tan\delta \tan L) \quad (\text{III.c.4})$$

siendo L la latitud del lugar de interés que para Hermosillo, Son., es igual a 29.083° Nte. . Sustituyendo valores en la ecuación anterior, se obtiene el valor del ángulo horario, $h_s=76.31^\circ$.

El ángulo horario sobre una superficie inclinada, h's, es:

$$h's = \min\{h_s, \text{ang } \cos[-\tan(L-s)\tan\delta]\} \quad (\text{III.c.5})$$

donde s es el ángulo de inclinación del plano con respecto a la horizontal, que en este caso es igual a la latitud, es decir s = 29.083°. Con este valor se obtiene h's = h_s = 76,31°.

El factor de proyección de la radiación directa, R_b, se define como:

$$R_b = \frac{\cos(L-s)\cos\delta \sinh's + (/180)h's \sin(L-s)\sin\delta}{\cos L \cos\delta \sinh_s + (/180)h_s \sin L \sin\delta}$$

sustituyendo valores: $R_b = 1.694$

El factor de proyección de la radiación total, R, se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$R = (1-H_d / H)R_b + \frac{1}{2} (H_d/H)(1-\cos s) + \frac{1}{2} g(1+\cos s) \quad (\text{III.c.6})$$

donde g es la reflectividad del suelo, que en este caso se considera igual a 0.2. Sustituyendo valores en (III.c.6), se obtiene: $R = 1.534$

Finalmente, la radiación total promedio diaria sobre la superficie inclinada, para el mes de diciembre, será:

$$H_t = 20741 \text{ kJ/m}^2\text{-día} = 5.761 \text{ kW/m}^2\text{-día}$$

Para calcular el área de celdas solares que se requiere para generar la energía que demanda la carga, se puede despejar A_c de la ecuación (III.c.1), es decir:

$$A_c = E / H_t \tau \quad (\text{III.c.7})$$

donde puede calcularse como:

$$= r [1 - \beta(T_a - T_r) - \beta(\tau \alpha) V H_t / n U_c] \quad (\text{III.c.8})$$

siendo:

- r = eficiencia de referencia del panel
- β = coef. de temperatura de la eficiencia
- T_a = temperatura ambiente promedio
- U_c = coeficiente global de pérdidas del panel
- n = número de horas por día
- v = variable adimensional = $aX^2 + bX + c$

donde:

$$a = 12.16Kt^2 - 9.88Kt + 0.8$$

$$b = -1.9Kt^2 - 9.78Kt + 10.15$$

$$c = 2.04Kt^2 + 1.23Kt - 0.58$$

$$X = (R/R_n) / [1.548Kt (/180) (h's-hs) + 1]$$

como se vió anteriormente, en este caso, $h's=hs$, por lo que:

$$X = R / R_n$$

siendo R_n la relación entre la radiación solar al mediodía sobre una superficie inclinada y la radiación sobre una superficie horizontal promedio mensual. Matemáticamente:

$$R_n = [1 - (r_{d,n} / r_n) (H_d/H)] R_{b,n} + \frac{1}{2} [r_{d,n} / r_n] (1 + \cos \varphi) + \frac{1}{2} g (1 - \cos \varphi)$$

con:

$$r_{d,n} = /24 [(1 - \cos hs) / (\sin hs - (/180) hs \cos hs)]$$

$$r_n = r_{d,n} [1.07 + .025 \sin (hs - 60)]$$

$$R_{b,n} = \{ [\cos(L-s) \cos \delta + \sin(L-s) \sin \delta] / [\cos L \cos \delta + \sin L \sin \delta] \}$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores, se obtiene:

$$r_{d,n} = 0.152 \text{ día/hr} ; r_n = 0.164 ; R_{b,n} = 1.50 ;$$

por lo tanto: $R_n = 1.394$

por otra parte:

$$a = -0.255; \quad b = 2.547; \quad c = 1.224$$

$$X = R / R_n = 1.534 / 1.394 = 1.10$$

entonces:

$$V = 3.717$$

En este caso, se tienen los siguientes datos:

$$T_a = 17.4^\circ\text{C}; \quad U_c = 21 \text{ W/m}^2\text{K}; \quad T_r = 0^\circ\text{C}; \quad \beta = 0.004 \text{ }^\circ\text{K}^{-1}; \quad r = 0.12; \quad \tau\alpha = 0.95$$

Sustituyendo valores en la ecuación (III.c.8):

$$\begin{aligned} &= 0.12[1 - 0.004(17.4 - 0) - (0.004 \times 0.95 \times 3.717 \times 20741 \times 1000) / (86400 \times 21)] \\ &= 0.092 \end{aligned}$$

Considerando que la eficiencia del convertidor es igual a 0.9, y sabiendo que la energía que se entrega a la carga, E_a , es:

$$E_a = c E$$

donde:

E_a = energía entregada a la carga

E = energía generada por los paneles solares

c = eficiencia del convertidor

como en este caso, la energía que se requiere entregar a la carga es de 200 kWh/mes, o bien 6.67 kWh/día, la energía que debe generarse, E , será:

$$E = E_a / c = 6.67/0.9=7.41 \text{ kWh/día}$$

por lo tanto, sustituyendo valores en la ecuación (III.c.7), se obtiene el área requerida de paneles solares:

$$A_c = E / H_{\tau} = 7.41 / 5.761 \times 1 \times 0.092$$

$$A_c = 14 \text{ m}^2$$

De acuerdo con la información proporcionada por CONDUMEX, los paneles solares modelo M-55 están constituidos por celdas solares cuadradas de 0.1029 m x 0.1029 m, con 36 celdas solares por panel, por lo que el área total de celdas por panel es de 0.381 m², por lo que el número necesario de paneles es:

$$\# \text{ paneles} = 14/0.381 = 36.74$$

Para la cantidad de energía utilizada por día, que es igual a 6.67 kWh/día, se utilizará un voltaje de operación de 34.8 volts, lo que implica conectar dos paneles en serie ya que cada uno suministra 17.4 volts. En consecuencia, el arreglo de los paneles estará formado por 19 hileras de dos paneles en serie cada una, lo que hace un total de 38 paneles solares.

En un sistema con baterías de almacenamiento, el promedio

diario mensual de energía entregada a la batería, B_{in} , es la diferencia entre la cantidad de energía que sería disipada si no existiera almacenamiento, F_o , y la cantidad de energía que se disipa cuando la batería está totalmente cargada, F_a , es decir:

$$B_{in} = F_o - F_a \quad (\text{III.c.9})$$

donde F_o puede calcularse como:

$$F_o = A_c \cdot C_{HT} \cdot \tau_n \quad (\text{III.c.10})$$

D es el factor de disponibilidad, definido por:

$$D = \exp\{[A + B - (R_n/R)](X_c + CX_c^2)\} \quad (\text{III.c.11})$$

con:

$$A = 7.10 - 20Kt + 12.08Kt^2$$

$$B = -8.02 + 18.16Kt - 10.68Kt^2$$

$$C = -1.02 + 4.10Kt - 1.96Kt^2$$

sustituyendo el valor de Kt , se obtiene:

$$A = -0.935, \quad B = -0.588, \quad C = 0.870$$

y, a su vez, sustituyendo estos valores en la ecuación (III.c.11):

$$D = 0.60$$

Con este último resultado, de la ecuación (III.c.10):

$$F_o = 14 \times 0.9 \times 5.761 \times 0.60 \times 1 \times 0.092 = 4 \text{ KW/día}$$

Considerando que el sistema deberá tener una autonomía de 10 días y que las baterías tienen un factor de descarga del 75%, la capacidad efectiva de las baterías es:

$$C=10 \times 278 \times 0.75 = 2084 \text{ Wh}$$

En la figura III.c.2, se muestra la relación entre la energía disipada, F_a , la capacidad de la batería, C , y la carga diaria, D .

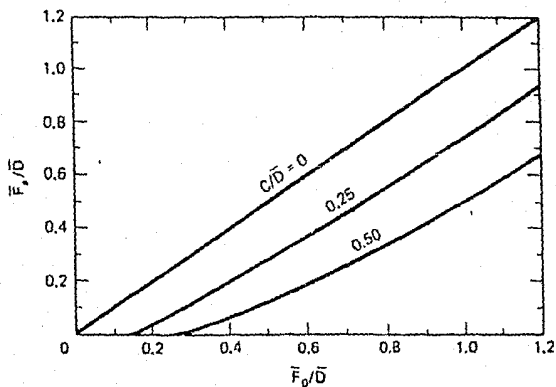


Figura III.c.2

En este caso, se tiene:

$$C / D = 2084 / 6670 = 0.312$$

$$F_o / D = 4000 / 6670 = 0.600$$

utilizando la figura III.c.2, se obtiene:

$$F_a / D = 0.30$$

por lo tanto:

$$F_a = D \times C / 30 = 6670 \times 0.30 = 2001 \text{ Wh/día}$$

entonces, la energía entregada a la batería, B_{in} , será:

$$B_{in} = 4000 - 2001 = 1999 \text{ Wh/día}$$

Como se indicó anteriormente la capacidad efectiva de las baterías es de 2084 watts-hora, o bien 50.016 kw-h / día.

Debido a que el voltaje entre bornes será de 36 volts, la demanda de corriente por día será:

$$I = C / V = 50016 / 36 = 1389 \text{ amper-hora}$$

Las baterías que se seleccionaron para la instalación fotovoltaica, tienen una capacidad de 70 ampere-hora, por lo que el número de baterías que se requiere es:

$$\text{No. de baterías} = 1389 / 70 = 1984 \approx 20 \text{ baterías}$$

III.d.- SELECCION DEL INVERSOR CD-CA.

En el abastecimiento de energía eléctrica de una casa-habitación unifamiliar, por el tipo de dispositivos y aparatos de uso regular en la misma, se requiere de un voltaje de alimentación de corriente alterna (regularmente con valor de 127 V.c.a.) a una frecuencia de 60 cps.

La energía proporcionada por paneles solares es de c.d. y se recomienda para un mejor aprovechamiento se almacene en baterías. La conversión de esta c.d. almacenada a c.a. se realiza a través de un INVERSOR.

A efecto de seleccionar adecuadamente el inversor, se deben tomar en cuenta, el voltaje de c.d. con el que se va a alimentar, así como, los valores determinados previo estudio, de las características eléctricas de la carga conectada a su salida, tales como, voltaje de operación de los dispositivos y aparatos, la

frecuencia, potencia de la instalación, perfil de consumo, etc.

En el estudio que nos ocupa, las baterías de almacenamiento se encuentran conectadas de tal manera que proporcionan un voltaje de 36 Volts de c.d. Por otra parte, los dispositivos y aparatos eléctricos de uso doméstico más comunes en México, están diseñados para operar a 127 volts de c.a., a una frecuencia de 60 c.p.s., habiéndose determinado para la casa-habitación en estudio, un consumo promedio diario de 6.655 Kw-h y un consumo momentáneo máximo de 1000 W, ilustrándose esto en la figura III.d.1.

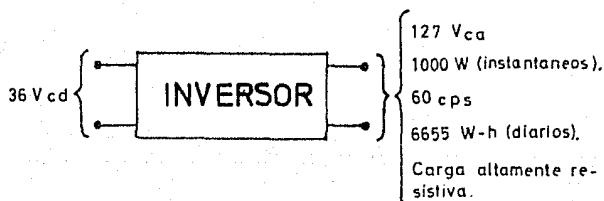


Figura III.d.1 Características de entrada y salida del inversor.

Un inversor estático a transistores cumple adecuadamente con los datos aportados en la figura III.d.1- con la condición de que mantenga constante la frecuencia y el voltaje de salida tenga una variación máxima de $\pm 5\%$.

Para mantener constante la frecuencia en un inversor, se requiere que el voltaje inducido en el oscilador sea constante, esto se logra implementándole un regulador de voltaje. Un diagrama de bloques del inversor se muestra en la figura III.d.2.

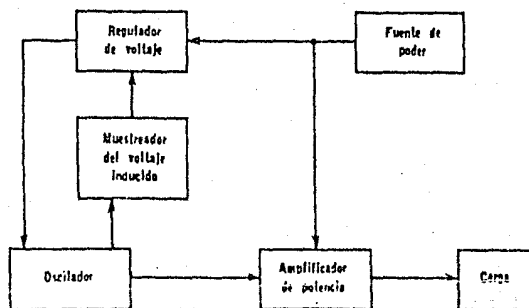
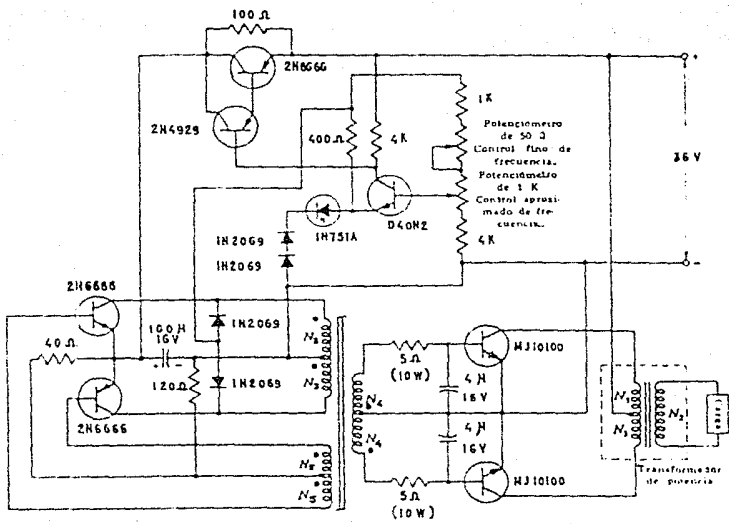


Figura III.d.2 Diagrama de bloques del inversor.

La frecuencia de 60 c.p.s. es relativamente baja, pero como se requiere sea constante, en el diseño del oscilador será con transformador único de núcleo saturable y retroalimentación hacia los transistores (conectados en contrafase) también por transformador a manera de autotransformador.

La etapa de potencia se acoplará magnéticamente al oscilador a través de su transformador de núcleo saturable, en tanto que entregará su potencia a la carga haciendo uso de un transformador elevador de tensión. El diagrama del inversor se muestra en la figura III.d.3.

Figura 111d.3. - Diagrama del Inversor de 1000W a 60 cps



PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

Partiremos del hecho de que a la carga del inversor se le calculó un consumo instantáneo máximo de 1000 W a un voltaje de 127 Vc.a. y que se acopla a la etapa de potencia a través del transformador elevador de tensión, siendo requisito que este último tenga un área de núcleo suficiente para evitar saturación y corrientes elevadas. Para transformadores con estas características se tienen eficiencias del 90%, por lo que para el primario del transformador la potencia se puede escribir como:

$$P_{TP} = P_{(carga)} / 90\% = 1000 \text{ W} / 0.9 = 1111.11 \text{ W} \quad (\text{III.d.1})$$

Considerando para el primario del transformador un voltaje de 16 V, la relación de vueltas será:

$$N_2 / N_1 = E_2 / E_1 = 127 \text{ V} / 16 \text{ V} = 8 \quad (\text{III.d.2})$$

Haciendo uso de (III.d.1) y (III.d.2), la corriente pico en el primario del transformador esta dada por:

$$I_{N1} = P_{TP} / E_1 = 1111.11 / 16 = 69.44 \text{ A} \quad (\text{III.d.3})$$

Para los transistores de potencia podemos escribir que:

$$I_c = I_{N1} = 70 \text{ A} \quad (\text{III.d.4})$$

en el período de cierre:

$$V_{ce} = 2(16) = 32 \text{ V} \quad (\text{III.d.5})$$

Un transistor que cumple con estos dos requerimientos es un MJ10100, el cual tiene una ganancia de corriente mínima de 60 (Véase apéndice), por lo que:

$$I_b = I_c / h_{FE} = 70 / 60 = 1.166 \text{ A} \quad (\text{III.d.6})$$

De la hoja de datos del fabricante se tiene:

$$V_{be} = 8 \text{ V} \quad (\text{III.d.7})$$

Con $V_{NS} = 16\text{V}$ y los valores dados en 6 y 7 tenemos:

$$R_{B1} = (V_{NS} - V_{be}) / I_b = (16 - 8) / 1.17 = 6.85 \Omega$$

Para efectos prácticos se considera:

$$R_{B1} = 5\Omega$$

- Circuito de oscilación

El voltaje a aplicar en el primario del transformador de núcleo saturable lo supondremos de 8 volts. Con un núcleo de

cinta níquel-hierro en la relación 50:50 y laminaciones de 0.1 mm de grueso, se tiene una densidad de flujo de saturación de 14500 gauss, con un área total de 1.61 cm² y factor de relleno de 0.9, por lo que aplicando la ecuación básica de los convertidores e inversores, podemos obtener el valor de N₃, esto es:

$$N_3 = \frac{E}{4 B_m f S A \times 10^{-6}} = \frac{B \times 10^8}{(4)(14500)(60)(0.9)(1.61)}$$

$$N_3 = (B \times 10^8) / 5042.52 = 1.586 \times 10^2 = 159$$

$$N_3 = 160 \text{ Vueltas} \quad (\text{III.d.8})$$

El voltaje inducido en los devanados de excitación de base del oscilador (N₃) debe ser del orden de los 5 Volts, pudiendo escribir:

$$N_3 = N_5 (E_5 / E_3) = 160 (5 / B) = 100$$

$$N_3 = 100 \text{ vueltas} \quad (\text{III.d.9})$$

Haciendo uso de (III.d.8), para el secundario del oscilador tenemos:

$$N_4 = N_3 (E_4 / E_3) = 160 (16 / B) = 320$$

$$N_4 = 320 \text{ vueltas}$$

(III.d.10)

La corriente máxima en el circuito de base de la etapa de potencia no excederá de 1.5 A, por consiguiente la corriente en el primario del transformador de núcleo saturable será:

$$I_3 = I_4 (N_4 / N_3) = 1.5 (320 / 160) = 3 \text{ A}$$

de donde:

$$I_c = I_3 = 3 \text{ A}$$

(III.d.11)

Los transistores utilizados en la etapa de oscilación, deben ser capaces de soportar una corriente de colector de 3 A y deben tener un valor de $BV_{c_{em}}$ superior a 20 V. El 2N6555 satisface fácilmente estos requerimientos. Como dicho transistor tiene una ganancia mínima de corriente de 1000, se tiene que:

$$I_b = I_c / h_{FE} = 3 \text{ A} / 1000 = 0.003 \text{ A}$$

$$I_b = 3 \text{ mA}$$

(III.d.12)

El diámetro del alambre de los devanados se calcula basándose en 1000 cir mil/amp. Como el ciclo de trabajo es de 50% para cada devanado, los diámetros mínimos son:

- para el primario del transformador:

$$A_{N3} = \frac{1}{2} (I_3 \times 1000) = (3 \times 1000) / 2 = 1500 \text{ cir mils}$$

$$A_{N5} = \frac{1}{2} (I_5 \times 1000) = (0.003 \times 1000) / 2 = 1.5 \text{ cir mils}$$

- para el secundario del transformador:

$$A_{N4} = \frac{1}{2} (I_4 \times 1000) = (1.17 \times 1000) / 2 = 585 \text{ cir mils}$$

Los diámetros AWG del alambre se seleccionan de 18, 36 y 22 respectivamente. El área total de alambre es entonces:

$$\begin{aligned} A_w &= 2N_3 A_{18} + 2N_4 A_{22} + 2N_5 A_{36} \\ &= 2 (160) (1624) + 2 (320) (642.6) + 2 (100) (22) \\ A_w &= 935\,600 \text{ cir mils} \end{aligned}$$

Antes de iniciar las oscilaciones, el voltaje inducido en N_5 es nulo, por lo que del circuito se tiene:

$$E_{N5} = E - R_{E2} / (R_E + R_{E2}) = 8 \times 40 / (120+40) = 2 \text{ Volts}$$

Esta polarización es suficiente para hacer que ambos transistores empiecen a conducir. Debido a la fuerte retroalimentación positiva proporcionada por los devanados de excitación de base, cualquier disturbio pequeño en las corrientes de colector,

se amplifica hasta que un transistor se excita hasta saturación. Esta condición persiste hasta que el núcleo se satura y la excitación de base desaparece. El transistor saturado se cierra y el ciclo se repite con el transistor opuesto.

Regulador de voltaje

La corriente directa al oscilador proveniente del regulador será de 3A; así, puede emplearse como regulador un transistor 2N6666, que tiene una ganancia mínima de corriente de 1000, la corriente requerida de base será de 3 mA, la que puede ser proporcionada por un transistor 2N4929. La ganancia mínima de corriente del 2N4929 es de 20, por consiguiente, su corriente de base será de 150 μ A. Esta corriente de base es proporcionada a su vez por un transistor D40N2 que tiene una ganancia mínima de corriente de 60, por lo cual requerirá una corriente de base de 2.5 μ A.

El voltaje inducido del circuito sensible será aproximadamente de 7.5 volts, cuando la caída de 0.5 Volts a través de los diodos sensibles se ha tomado en cuenta. El diodo de avalancha es un 1N751A y tiene un voltaje nominal de referencia de 5.1 Volts. La compensación de temperatura del regulador se logra conectando un par de diodos 1N2069. Con la finalidad de suprimir los picos, se conectan condensadores de 4 μ f entre la base y el

emisor de los transistores en la etapa de potencia.

III.e. VIABILIDAD DEL PROYECTO .

Por lo que corresponde al valor comercial de los elementos del sistema fotovoltaico, se pueden mencionar que en base a lo investigado, se tiene que:

a.- El costo unitario del panel de la marca Condumex, Modelo M-55, con un potencia pico de 53 watts, es de:

\$ 1' 300,000.00 (UN MILLON TRECIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.)

Para el proycto, se necesitan 39 paneles, por lo tanto, el costo de estos será de:

\$ 1'300,000.00 X 39 = \$ 50' 700,000.00

(CINCUENTA MILLONES SETECIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.)

Cantidad que en dólares (moneda de mayor estabilidad económica) es equivalente a:

* \$ 18,777.77 (DIECIOCHO MIL SETECIENTOS SETENTA Y SIETE DOLARES 77/100).

* Considerando que el valor del tipo de cambio al 1 de enero de 1990 es de:

1 dólar = \$ 2,700.00 (DOS MIL SETECIENTOS PESOS 00/100 M.N.).

b.- El costo de la batería, por unidad, cuya capacidad en 20 horas es de 70 Amp/Hora, es el siguiente:

\$ 90,000.00 (NOVENTA MIL PESOS 00/100 M.N.).

Necesitando el proyecto 20 baterías, que dan un costo de :

\$ 90,000.00 X 20 = \$ 1'800,000.00

(UN MILLON OCHOCIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.).

Cantidad que en dólares es equivalente a:

\$ 666.66 (SEISCIENTOS SESENTA Y SEIS DOLARES 66/100).

c.- Una cubierta de vidrio de 4 mm de espesor de protección adicional para los paneles solares, con una área de 17.08 m², con un costo por m² de:

\$ 48,480.00 (CUARENTA Y OCHO MIL CUATROCIENTOS OCHENTA PESOS

00/100 M.N.).

dando un total de:

\$ 828,038.40 (OCHOCIENTOS VEINTIOCHO MIL TREINTA Y OCHO PESOS 40/100 M.N.).

Cantidad que en dólares es equivalente a:

\$ 306.68 (TRESCIENTOS SEIS DOLARES 68/100)

d.- Para el bastidor que soportará a los paneles solares y la cubierta de vidrio, se diseñó con ángulo de fierro de 1 3/4 " por 1/4 " (44.4 mm por 6.3), utilizando 443.86 Kg., con un costo por kilogramo de \$ 1,644.00 (UN MIL SEISCIENTOS CUARENTA Y CUATRO PESOS 00/100 M.N.) lo que proporciona un valor de:

\$ 729,705.84 (SETECIENTOS VEINTINUEVE MIL SETECIENTOS CINCO PESOS 84/100 M.N.).

Cantidad que en dólares es equivalente a:

\$ 270.26 (DOCIENTOS SETENTA DOLARES 26/100).

e.- Un diodo de bloqueo, con un valor promedio de:

\$ 50,000.00 (CINCUENTA MIL PESOS 00/100 M.N.).

Cantidad que en dólares es equivalente a:

\$ 18.5 (DIECIOCHO DOLARES 5/100).

f.- Un regulador de voltaje con un valor promedio de:

\$ 300,000.00 (TRES CIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.).

Cantidad que en dólares es equivalente a :

\$ 111.11 (CIENTO ONCE DOLARES 11/100).

g.- Un inversor (convertidor) C.D. - C.A. con un valor promedio de :

\$ 500,000.00 (QUINIENTOS MIL PESOS 00/100 M.N.).

Cantidad que en dólares es equivalente a:

\$ 185.18 (CIENTO OCHENTA Y CINCO DOLARES 18/100).

Se muestran los valores anteriores en la siguiente tabla.

ELEMENTO	COSTO POR UNIDAD EN M.N.	No. DE UNIDADES	COSTO TOTAL EN M.N.	COSTO TOTAL EN DOLARES
PANELES	1'300,000.00	39	50'700,000.00	18,777.77
BATERIAS	90,000.00	20	1'800,000.00	666.66
CUBIERTA DE VIDRIO	1 m ² = 48,480.00	17.08	828,038.40	306.68
ANGULO DE FIERRO	1 kg = 1,644.00	443.86	729,705.84	270.26
DIODO DE BLOQUEO	50,000.00	1	50,000.00	18.51
REGULADOR DE VOLTAJE	300,000.00	1	300,000.00	111.11
INVERSOR (CONVERTIDOR)	500,000.00	1	500,000.00	185.18
COSTO TOTAL DEL SISTEMA			54'907,744.20	20,336.16

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha requerido dar una visión general sobre la conversión directa de la energía solar en electricidad, así como de los componentes de una instalación fotovoltaica y los cálculos requeridos para el diseño de la misma. Por otra parte, se hace un análisis de factibilidad tanto técnica como económica.

Entre las conclusiones que se derivan del desarrollo de éste trabajo se encuentran las siguientes:

Una de las formas de energía que ha representado mayor importancia para el desarrollo tecnológico de la humanidad, ha sido la electricidad, gracias a su versatilidad como fuente de energía para usos industriales, domésticos y de comunicación.

Una posibilidad importante para la obtención de energía eléctrica, es utilizar un sistema fotovoltaico para convertir energía solar, que incide sobre los captadores de sistema, en energía eléctrica, por medio de un método directo que a diferencia de los convencionales - termoelectrónico, hidroeléctrico, nucleoelectrónico, etc. - no emplea partes móviles, ni ciclos termodinámicos, no utiliza combustibles (recursos no renovables), lubricantes ni produce ruidos, no arroja desperdicios ni con-

tamina, sus elementos son de vida larga y requieren un mantenimiento mínimo, son de instalación y montaje rápido. No obstante que los costos iniciales del sistema son altos, existen diversas aplicaciones económicamente rentables de beneficio comunitario, para las características de infraestructura de un gran número de comunidades rurales. Un sistema fotovoltaico es a largo plazo, de mayor rentabilidad que un sistema generador en base a motor de gasolina o Diesel.

Los sistemas fotovoltaicos de potencia, pueden ser diseñados por módulos, se acoplan fácilmente, en función de los aumentos de la demanda requerida.

Razón suficiente para el estudio y aplicación de los sistemas fotovoltaicos es que: la radiación solar es una forma de energía que en nuestro país no se ha estudiado y menos utilizando en su potencialidad, no obstante de contar con una gran disponibilidad, por encontrarse México dentro del área Ecuatorial y Tropical con una recepción de insolación anual superior a los 2000 kW-h/mt² (5.3 kW-h/mt², diarios en superficie horizontal). Esto concide con el hecho de que dos terceras partes de nuestro país son desérticas o semidesérticas, que recibe una gran insolación, que por otra parte, es gratuita.

La generación de electricidad con plantas fotovoltaicas es una respuesta a las necesidades de comunicación, servicios médicos, educación, vigilancia y de orden social de los numerosos grupos rurales de nuestro país que se encuentran en lugares remotos y alejados de las redes de distribución de energía eléctrica.

Las conclusiones anteriores, nos conducen a sugerir que:

Se hace necesario diseñar una política con visión de actualización tecnológica, donde se otorguen estímulos sustanciales y continuos a las instituciones educativas e industrias de nuestro país que realizan o emprendan, investigaciones y desarrollo tecnológico en el campo de la conversión fotovoltaica y así contar con otra opción significativa en la generación de electricidad, y por consiguiente, se evitaría la dependencia tecnológica de otros países en este campo.

APENDICES

A P E N D I C E A.

RELACIONES GEOMETRICAS SOL - TIERRA.

El Sol es una esfera de masa gaseosa con un diámetro de 1.39 millones de kilómetros, su distancia promedio de la Tierra es de 150 millones kilómetros. Visto desde nuestro planeta, el Sol da una revolución sobre su eje cada cuatro semanas, aproximadamente. Sin embargo, dada su constitución, el Sol no gira como un cuerpo rígido, sino que lo hace con diferentes períodos en las distintas latitudes, lo que se designa como rotación diferencial. Una revolución en el ecuador tiene una duración de 27 días, mientras que en los polos es de 30 días.

El Sol no tiene características permanentes, y aunque se hace referencia de la "superficie" solar y de capas específicas de su atmósfera, el Sol es realmente toda una atmósfera; es decir, no presenta fronteras definidas o discontinuidades drásticas como las que en la Tierra separan el aire, el agua y los sólidos. La corona solar, la cromosfera y la fotosfera son regiones distendidas, rarificadas que se entremezclan entre sí, y que presentan cierta forma definida, únicamente vistas desde una gran distancia. Sin embargo, convencionalmente, se designa como superficie solar al nivel de la masa gaseosa que delimita el llamado disco solar de su envolvente designada como atmósfera solar.

El Sol tiene una temperatura efectiva de cuerpo negro de

5762 grados Kelvin, y se estima que en las regiones centrales su temperatura oscila entre los 8 y los 40 millones de grados Kelvin. En la figura A.1 se muestra en forma esquemática la estructura del Sol.

Se estima que el 90% de la energía es generada en la región comprendida entre 0 y $0.23R$ (donde R es el radio del Sol), la cual contiene el 40% de la masa solar. A una distancia de $0.7R$ del centro, la temperatura es de $130,000$ °K, y la densidad disminuye hasta 70 kg / m^3 ; aquí los procesos convectivos empiezan a ser importantes, denominándose como zona convectiva a la comprendida entre 0.7 y $1.0R$. Dentro de esta zona, la temperatura es de 5000 °K.

En la figura A.2 se muestra esquemáticamente las posiciones relativas Sol - Tierra, para diferentes épocas del año. Como puede observarse, la órbita de la Tierra alrededor del Sol es elíptica y el eje de rotación de la Tierra (el eje polar), tiene una inclinación de 23.5° con respecto al eje eclíptico, el cual es la normal al plano de la eclíptica que es el plano de la órbita de la Tierra. La inclinación del eje de la Tierra da lugar a que el hemisferio norte esté inclinado hacia el Sol durante el verano, mientras que en el invierno sucede lo contrario, lo que da origen a los cambios de estación.

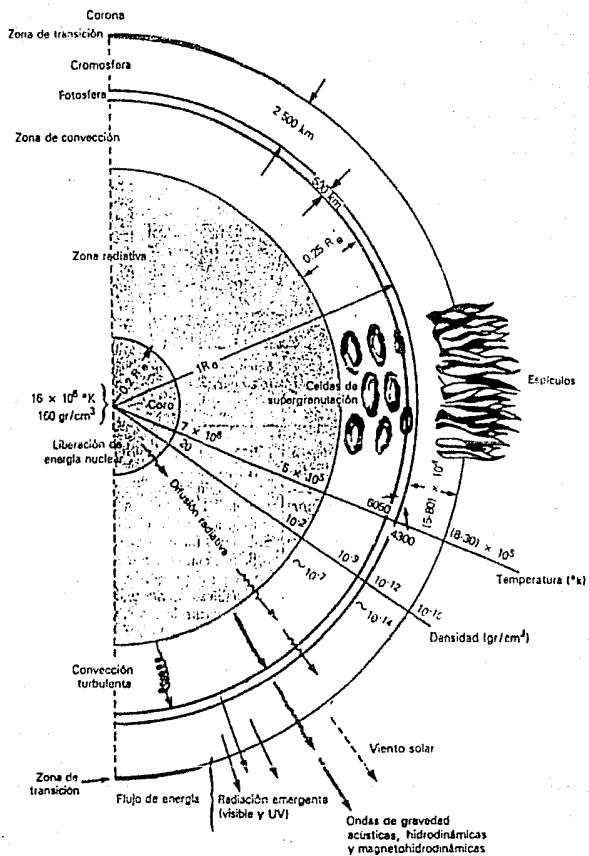


Figura A.1

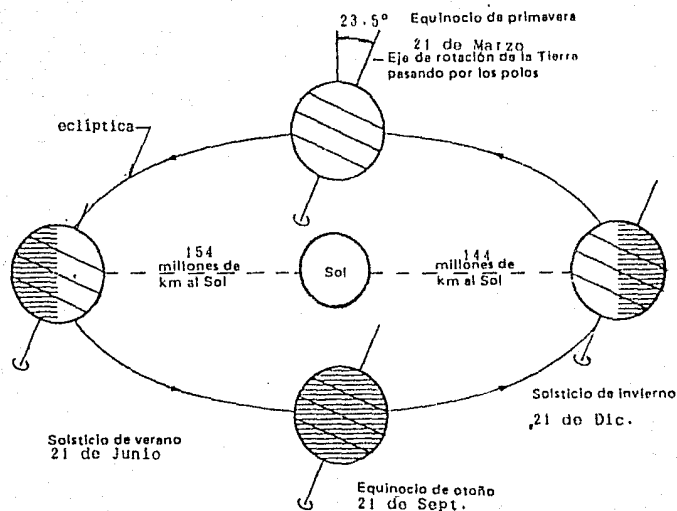


Figura A.2

Puesto que la radiación solar que incide en la Tierra es una función de la geometría de la superficie receptora con respecto al Sol, es importante hacer mención de varios ángulos relevantes en las relaciones geométricas Sol - Tierra. La figura A.3 muestra un punto P sobre la superficie de la tierra, el cual está orientado hacia los rayos del Sol. La latitud L del punto P es la distancia del mismo con respecto al ecuador, siendo positivo hacia el norte y negativo hacia el sur. El ángulo de latitud es

el formado por la línea OP y su proyección sobre el plano ecuatorial.

El ángulo de declinación solar δ es la distancia angular de los rayos del Sol con respecto al ecuador, designándose como positiva hacia el norte del ecuador y negativa hacia el sur del mismo. El ángulo de declinación puede calcularse para cualquier día del año por medio de la ecuación:

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

donde n es el número de día del año. Para efectos de cálculos de ingeniería, la declinación solar puede considerarse constante a lo largo de un día cualquiera.

El ángulo horario de un punto sobre la superficie de la Tierra se define como el desplazamiento angular del Sol hacia el este o el oeste del meridiano local debido a la rotación de la tierra y tiene una variación de 15° por hora, siendo negativo en la mañana y positivo por la tarde.

Expresado simbólicamente, el ángulo horario, h, es:

$$h = \pm 15 \text{ (número de minutos a partir del mediodía local)}$$

dónde el signo + se aplica a las horas de la tarde y el signo - a las horas de la mañana.

El ángulo cenital, z , es el ángulo formado por los rayos del Sol y la normal al plano de interés.

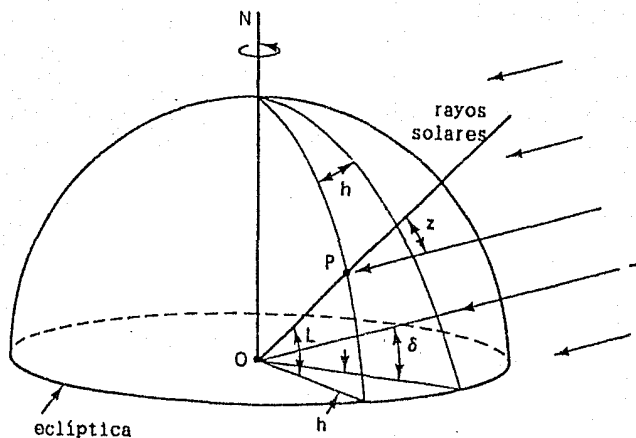


Figura A.3



CONSUMEX

MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS.

DESCRIPCION:

Los Módulos Solares Fotovoltaicos Consumex de la serie CX 5 representan la más avanzada tecnología de fabricación en generadores eléctricos solares.

Las celdas solares empleadas son de silicio monocristalino, están protegidas del polvo, humedad e impactos por una cubierta de vidrio templado antirreflejante con bajo contenido de hierro y laminadas entre hojas de polímeros de alta duración, resistentes a los rayos ultravioleta y a la humedad.

Las celdas son interconectadas formando un circuito redundante asegurando la confiabilidad del módulo.

Los cables de conexión en la parte posterior, una positiva y una negativa se proveen en cada módulo. Están herméticamente selladas al medio ambiente, con autosujeción de la tapa. Cada caja contiene un diodo de paso para eliminar la posibilidad de pérdida de potencia por sombreado total o parcial.

Para montaje y protección del módulo se utiliza un marco de aluminio anodizado y sellado, con 5 puntos de sujeción.



CARACTERISTICAS DEL MODULO:

- Celdas solares de silicio monocristalino, eléctricamente acopladas para una conversión eficiente de la luz tanto directa como difusa.
- Celdas químicamente texturizadas y con recubrimiento para disminuir la reflexión.
- Contactos múltiples redundantes en cada celda para mayor confiabilidad en el circuito.
- Circuito laminado entre hojas de acetato de etilén-vinil (EVA) resistente a la humedad, estable al ultravioleta y aislante eléctrico.
- Protección posterior de polímero multicapas resistente a la abrasión y efectos punzo cortantes.
- Marco de aluminio anodizado negro.
- Corriente de fuga en aislamiento de módulos menor a 40 uA a 3000 Volts C.D.
- Conexión de "tierra" en el marco.
- Temperatura normal de operación de la celda (NOCT): 47°C.
- Pruebas de vida en laboratorio bajo condiciones extremas: -40°C a + 90°C y de 0% a 100% de humedad.
- Continuidad entre superficies metálicas menor a 1 ohm.

Nota 1: Excepto en el módulo M25, donde la salida es por cable y no cuenta con diodo de paso.

ESPECIFICACIONES ELECTRICAS *

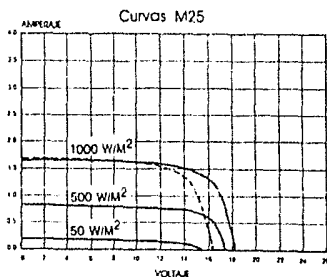
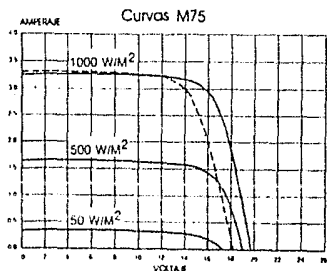
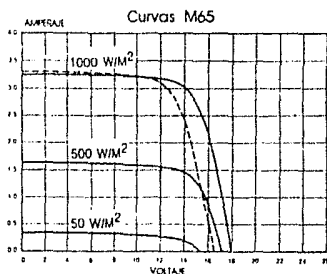
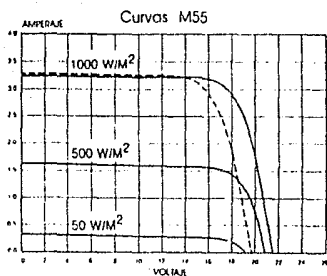
MODELO	M-55	M-75	M-65	M-25
POTENCIA (Típica $\pm 10\%$)	53 Wp	47 Wp	42 Wp	22 Wp
CORRIENTE (Típica a la carga)	3.05 A	2.94 A	2.9 A	1.5 A
VOLTAJE (Típico a la carga)	17.4 V	16.0 V	14.5 V	14.6 V
CORRIENTE CORTO CIRCUITO	3.27 A	3.27 A	3.26 A	1.65 A
VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO	21.8 V	19.9 V	18.0 V	18.2 V

* Condiciones normalizadas de prueba: 1000 W/cm², 25 °C de temperatura de celda. Espectro solar AM 1.5.

CARACTERISTICAS FISICAS

	M-55	M-75	M-65	M-25
NO. CELDAS EN SERIE	36	33	30	30
TAMAÑO DE CELDA	102.9 mm x 102.9mm	102.9 mm x 102.9mm	102.9 mm x 102.9mm	51.45 mm x 102.9mm
LONGITUD DE MODULO	129.3cm	121.9cm	108.3cm	56.9cm
ANCHO	33.0cm	33.0cm	33.0cm	33.0cm
ESPESOR	3.6cm	3.6cm	3.6cm	3.6cm
PESO	5.7Kg	5.2Kg	4.8Kg	2.5Kg

CARACTERISTICAS DE OPERACION



— 25 °C TEMP. CELDA
- - - 47 °C TEMP. CELDA

COMPANIA FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO DE MONTERREY, S. A.

DIMENSIONES		P E S O		Area cm ²	E J E X - X y E J E Y - Y				Eje Z-Z
Pulg.	mm	Kg/m	lbs/pie		l	r	s	\bar{x}	r.mfn
					cm ⁴	cm	cm ³	cm	cm
2 ½ x ¾	63.5x9.5	0.78	5.9	11.16	40.79	1.91	9.34	1.93	1.22
2 ½ x ⅝	63.5x7.9	7.44	5.0	9.48	35.38	1.93	7.87	1.88	1.22
2 ½ x ¼	63.5x6.3	6.10	4.1	7.68	29.14	1.96	6.39	1.83	1.24
2 ½ x ⅜	63.5x4.8	4.61	3.1	5.81	22.89	1.98	4.92	1.75	1.24
2 x ¾	50.8x9.5	6.99	4.7	8.77	19.98	1.50	5.74	1.63	0.99
2 x ⅝	50.8x7.9	5.83	3.9	7.42	17.46	1.52	4.92	1.55	0.99
2 x ¼	50.8x6.3	4.75	3.2	6.06	14.57	1.55	4.10	1.50	0.99
2 x ⅜	50.8x4.8	3.63	2.4	4.61	11.45	1.57	3.11	1.45	1.02
2 x ½	50.8x3.2	2.46	1.7	3.10	7.91	1.60	2.13	1.40	1.02
1 ¾ x ¾	44.4x9.5	5.04	3.4	6.39	11.24	1.32	3.77	1.40	0.86
1 ¾ x ⅝	44.4x6.3	4.12	2.8	5.20	9.57	1.35	3.11	1.35	0.86
1 ¾ x ⅜	44.4x4.8	3.15	2.1	4.03	† 7.49	1.37	2.29	1.30	0.89
1 ¾ x ½	44.4x3.2	2.14	1.4	2.74	5.41	1.40	1.64	1.22	0.89
1 ½ x ¾	38.1x9.5	4.99	3.4	6.34	7.91	1.12	3.11	1.30	0.74
1 ½ x ⅝	38.1x7.9	4.26	2.9	5.40	6.66	1.12	2.62	1.24	0.74
1 ½ x ¼	38.1x6.3	3.48	2.3	4.40	5.83	1.14	2.20	1.19	0.74
1 ½ x ⅜	38.1x4.8	2.69	1.8	3.43	4.58	1.17	1.64	1.12	0.74
1 ½ x ½	38.1x3.2	1.83	1.2	2.34	3.25	1.17	1.18	1.07	0.76
1 ¼ x ¾	31.7x6.3	2.86	1.9	3.72	3.21	0.94	1.49	1.02	0.61
1 ¼ x ⅝	31.7x4.8	2.20	1.5	2.81	2.54	0.97	1.16	0.97	0.61
1 ¼ x ½	31.7x3.2	1.50	1.0	1.93	1.63	0.97	0.89	0.89	0.64
1 x ¾	25.4x6.3	2.22	1.5	2.80	1.54	0.74	0.97	0.86	0.48
1 x ⅝	25.4x4.8	1.73	1.2	2.21	1.25	0.76	0.72	0.81	0.48
1 x ½	25.4x3.2	1.19	0.8	1.52	0.92	0.79	0.51	0.76	0.51
¾ x ¾	22.2x4.8	1.49	1.0	1.90	0.79	0.66	0.54	0.74	0.46
¾ x ½	22.2x3.2	1.04	0.7	1.32	0.58	0.66	0.38	0.66	0.48
¾ x ⅝	19.0x4.8	1.25	0.8	1.59	0.50	0.55	0.39	0.65	0.38
¾ x ½	19.0x3.2	0.89	0.6	1.11	0.37	0.58	0.28	0.58	0.38

CAPACIDAD MEDIA DE APARATOS ELECTRICOS DE USO COMUN

<u>A P A R A T O S.</u>	<u>VOLTS.</u>	<u>CAPACIDAD MEDIA.</u>
Aspiradora	127.5	450 Watts.
Báscula	"	250 "
Batidora	"	200 "
Cafetera	"	600 "
Calentador de agua	"	1500 "
Dental	"	1250 "
Enceradora	"	400 "
Estufa	"	200 "
Extractor de jugos	"	300 "
Grabadora	"	80 "
Lavadora de ropa	"	500 "
Licuadaora	"	500 "
Máquina de coser	"	125 "
Molino de carne	"	1250 "
Parrilla	"	600 "

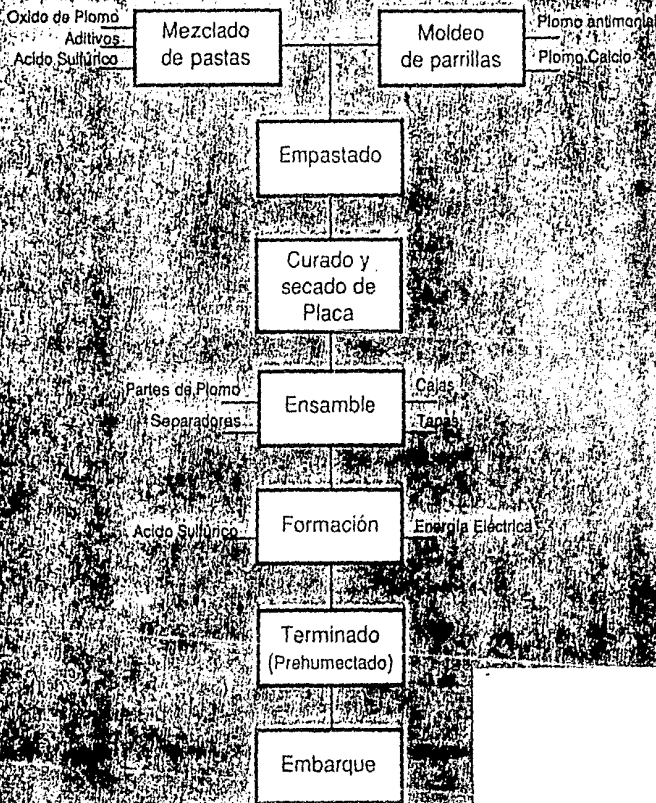
Plancha	127.5	1000	Watts.
Planchadora de rodillos	"	1200	"
Pulidora pisos	"	200	"
Proyector de cine	"	1200	"
Radio	"	100	"
Rasuradora	"	20	"
Refrigerador	"	300	"
Reloj	"	2	"
Regulador de tensión	"	300	"
Sumadora	"	300	"
Secador de manos	"	1900	"
Secador de pelo	"	100	"
Tostador	"	1100	"

Plan de conversión fotovoltaica

Dispositivos	tipo	E_g (eV)	V_{oc} (V)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF	η (%)	Arc	Iluminación	Ref.	Comentarios	
Heterouniónes											
Si (n/p)	S	1.11	0.59	0.46	0.76	15.5	Ta ₂ O ₅	AM0	1.2	Célula CNR (Comsat)	
Si (n/p)	S	1.11				18	Ta ₂ O ₅	100	3.2	Célula violeta	
Si (n/p)	S	1.11	0.61	42.9		15.2	Ta ₂ O ₅	AM0	4	(100)Si: n ⁺ /p ⁺	
Si (p/n)	P	1.11	0.636	24.5	0.79	12.6	Al ₂ O ₃	97.5	5	(111)Si: p ⁺ /p/n/n ⁺ (npi)	
Si (n/p)	S	1.11	0.53	29.7	0.68	10.7	NO	AM1	6.7	Capa de inversión	
Si (n/p)	S	1.11	0.58	26.0	0.62	10		AM1	8	n ⁺ /p/n ⁺ capa doble	
Si (p/n)	S	1.11	0.60	37.1	0.775	17.2		100.3	9	n ⁺ /p/n ⁺	
Si (p/n)	S	1.11	0.52	22.4	0.72	8.2	NO	81	10	Célula de Corona	
Si (n/u)	H	1.11	0.572	27.4	0.764	11.8	NO	AM1	12, 13	Cinta EFC	
Si (n/p)	R	1.11	0.560	26.0	0.69	10.0	SiO ₂	99	14	n ⁺ /p (graduada) cinta P	
Si (n/p)	H	1.11				>7		AM1	15	RFIP	
Si (n/p)	H	1.11	0.51	10.2	0.66	5.8	NO	93.8	16	Si gemelo	
Si (n/p)	R	1.11	0.55	35	0.793	10.7		AM0	17, 18	Tela dentada	
Si (n/p)	C	1.11	0.561	37.8	0.755	11.6	TiO ₂	AM0	19-21	(100)p-Si:SiO ₂ 10 ⁴ μ m grano	
Si (n/p)	C	1.11	0.57	25.1		10		AM1	22	2-3 mm med-ida de grano	
Si (n/p)	P	1.11				7-8	SiO ₂	AM1	23-26	Epi sobre grano metalúrgico	
Si (n/p)	P	1.11	0.51	21	0.70	7.5		100	27, 28	Si sobre cerámica	
Si (p/n)	P	1.11	0.4	12	0.66	3.1	NO	AM1	10	Descarga de corona	
Si (n/p)	P	1.11	0.32	16.7	0.66	3.2	SiO	100	29	n ⁺ /p/n ⁺ CVD sobre Al ₂ O ₃	
Si (p/n)	P	1.11	0.22	10	0.6	1.9	NO	75	30	Evaporación en vacío	
Si (p/n)	S	1.11	0.77		0.77	19.0		300 soles	31	EMJV (concentrador)	
Si (n/p)	C	1.11	0.6	38.7		16.0		100	32	Semiconductores	
Si (n/p)	R	1.11	0.525	24	0.54	6.9		AM1	33	n ⁺ /p RAD	
Si (p/n)	P	1.11	0.56	27	0.746	9.75	SnO ₂	AM1	34	Sub: Si grado metalúrgico	
Si (n/p)	P	1.11			0.6	2.1		AM1	35	Evaporado	
Si (n/p)	P	1.11	0.44			1.9		AM0	36	6.5 cm ² area	
Si (p/n)	R	1.11	0.56	26	0.69	10	SiO ₂	99	37	Sub: EFG de polisilicio	
Si (n/p)	P	1.11	0.56	14	0.73	4.3		AM0	38	Región p altamente dopada	
Si (n/p)	P	1.11	0.52	19.7	0.75	7.5		AM1	39	30 cm ² area	
Si (n/p)	P	1.11	0.25	15.0	0.56	2.15		AM1	40	Evaporado	
Si (n/p)	S	1.11	0.60	26.5	0.792	12.6		AM1	41	15 μ m epitaxial n	
Si (n/p)	S	1.11	0.57	24.8	0.734	10.3		AM1	41	15 μ m epitaxial n sobre poly	
Si (n/p)	S	1.11	0.76			19.1		732 soles	42	Unión vertical	
Si (p/n)	S	1.11	0.59	31.1	0.807	15.9	Si ₃ N ₄	AM1	43	BSP: p ⁺ -n-n ⁺	
GaAs (n/p)	S	1.4	0.97	25.6	0.81	20.5	SiO ₂ /MgF ₂	99	44	CVD: n ⁺ /p ⁺ /p/n ⁺	
GaAs (p/n)	S	1.4				13-14		AM1	45		
GaAs (n/p)	S	1.4	1.00	21.0	0.82	16.7	Anod. Ox	AM0	46	Resist a la radiación	
GaAs (n/p)	S	1.4	0.79	20.4	0.73	12.0	Anod. Ox	AM1	47	Recoc por capas: n ⁺ /p/n ⁺	
GaAs (n/p)	S	1.4	0.92	23	0.76	16.0		100	48	MBB: n ⁺ /p/n ⁺	
GaP (n/p)	S	2.25	1.16	3.9		3		NO	100	49	
Ga _{1-x} Al _x Sb (p/n)	S		0.44	16.4	0.43	3.1	NO	AM1	50	x=0.35 (el mejor result.)	
InP (p/n)	S	1.34	0.74	10	0.63	6.7		70	51		
InP (p/n)	S	1.34	0.85	20	0.747	17.2		AM2	52	LiPE	
CuInSO ₃ (n/p)	P	1.54	0.41	18.2	0.49	3.6	NO	100	53-54	1.5 μ m tamaño de grano	
CdGaP ₂ (n/p)	P	1.62	0.32	19.4	0.5	3.0	NO	100	53	2.0 μ m tamaño de grano	
CdGaP ₂ (n/p)	S	1.72	0.6						55-56	77K: (112) - cristal	
CdSiAs ₂ (n/p)	S	1.55	0.6				NO		57	Lámpara incandescente	
CdSnP ₂ (p/n)	S	1.77	0.4						58	(112) Cristal	
ZnSiAs ₂ (p/n)	S	1.75	0.6						59		
CdTe (p/n)	S	1.44	0.75	9.8	0.63	6.0	NO	77.2	60, 61		
CdTe (n/p)	P	1.44	0.33	9	0.25	1.1	NO	AM1	62	Electrodeposición	

Resultados experimentales a nivel de laboratorio de diversas células solares

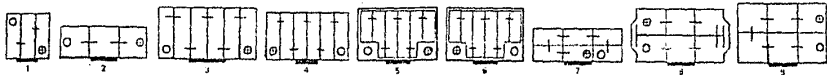
Diagrama de flujo de proceso para la fabricación de acumuladores plomo-ácido



GRUPO ECI	AMERICA	DIE- NER. INTE- GRAL. TIPO	FULL PONER TIPO					BOTE- LLAS. ELEC- TROLI- TO.	PLACA POP. CELDA.	CAPACI- DAD. 20 HRS (AMP-H)	CAPACIDAD ARRANQUE A-10°C (AMPS)	CAPACI- DAD. DE RE- SERVA. (MIN)	FIGURA DE ENSAMBLE
				VOL.	LARGO	ANCHO	ALTO						
1	NECAXA 1-3-15			6	23	17	20	3	15	90	525	140	1
2	TEHUATEPEC 1-3-17			6	26	17	20	3	17	100	600	160	1
2E	JUANDO 4-3-17			6	49	10	20	4	17	100	600	184	2
4	COPANDARO 4-3-21			6	32	18	22	4	21	139	681	235	1
5	TOGULLA 5-3-23			6	37	19	20	4	23	150	825	286	1
22NF	MAZATEPEC S-6-7			12	23	17	20	3	7	45	225	60	3
22NF	SABINO F-6-7			12	23	14	21	2	7	36	200	51	3
24	COLINA S-6-9			12	26	17	20	3	9	55	300	80	4
27	ROSETILLA S-6-11			12	31	17	20	4	11	70	375	100	3
3EE	REFORMA S-6-11			12	49	11	20	3	11	70	375	100	7
29NF	LERMA FH-6-11			12	32	14	20	3	11	55	340	85	3
3OH	PALMITO T-6-13			12	35	17	22	5	13	90	455	132	3
42	ENFALME Vn-6-9			12	24	18	15	2	9	36	240	52	6
4DLT	TACOTAN S-6-23			12	51	21	18	6	23	120	715	170	8
3D	IXTAPAN TONGO S-6-25			12	51	28	23	12	25	165	883	283	9
8D	FUERTE S-6-27			12	51	28	23	12	27	180	935	338	9
22NF		RD22NF		12	23	14	21		7	36	200	51	3
22F		RD-22		12	23	17	19		7	45	240	66	3
24		RD-24		12	26	17	21		9	55	320	88	4
24		RD-27		12	26	17	21		11	70	445	93	3
41		RD-41		12	27	17	18		13	55	425	80	5
42		RD-42F		12	24	17	16		11	45	325	75	6
42		RD-42		12	24	17	16		9	36	260	60	5
4		FFA		6	32	18	22	4	23	150	750	260	1
22F		FP22F		12	23	17	20		9	55	320	80	3
22NF		FP22F		12	23	14	21		9	42	300	62	3
24		FP24		12	26	17	21		11	70	445	93	4
24		FP27		12	26	17	21		13	78	550	110	3
3OH		FP3OH		12	35	17	22	5	15	96	531	145	3
41		FP41		12	27	17	18		15	63	680	100	5
42		FP42F		12	24	17	16		13	56	425	80	6
42		FP42Vn		12	24	17	16		13	55	425	80	5
4DLT		FPDLT		12	51	21	18	6	25	130	780	195	8
8D		FP8D		12	51	28	23	12	29	200	1030	364	9

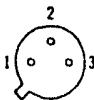
254

ALGUNOS TIPOS DE ACUMULADORES Y TABLA DE ESPECIFICACIONES



BIPOLAR POWER TRANSISTORS

TO-39

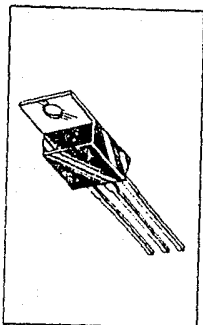


- PIN 1. EMITTER
2. BASE
3. COLLECTOR

* I_{off}

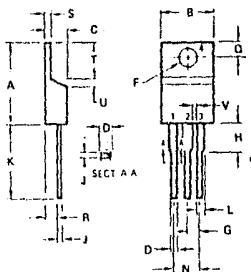
(Pin 3 connected to case)

I _c Cont Amps Max	V _{CE(sat)} Volts Min	Device Type		h _{FE} Min/Max	@ I _c Amp	Resistive Switching			f _r MHz Min	P _o (Case) Watts @ 25°C	
		NPN	PNP			I _s μs Max	I _r μs Max	@ I _c Amp			
0.5	150		2N4929	20 min	0.05				100	5	
	200		2N4930	20 min	0.05				20	5	
			MJ4645	20 min	0.5		0.72*		0.05	40	5
	250		2N4931	20 min	0.03				20	5	
	300		MJ4646	20 min	0.5		0.72*		0.05	40	5
400			MJ4647	20 min	0.5			0.05	30	5	
1	40	2N3110		25/70	0.5	0.6*		0.15	60	5	
			2N3244	50/150	0.5	0.14	0.045	0.5	175	5	
			2N3467	40/120	0.5	0.06	0.03	0.5	175	5	
	50		2N3245	30/90	0.5	0.12		0.5	150	5	
			2N3468	40/120	0.5	0.06	0.03	0.5	175	5	
	60		MM4030	25/40	0.5	0.35			100/400	7	
			MM4032	70/100	0.5	0.35			150/500	7	
	85		MM4036	20/40	0.5	0.175*			60	7	
	80	2N3019	2N3020		50 min	0.5				100	5
					30/100	0.5				100	5
				MM4031	25/40	0.5	0.35			100/400	7
				MM4033	70/100	0.5	0.35			150/500	7
	100	2N5681	2N5679	40/150	0.25					30	10
	120	2N5682	2N5680	40/150	0.25					30	10
	200		2N5415	30 min	0.05					15	5
	250	2N3440		40/160	0.02					15	5
	300		2N5416	30 min	0.05					15	5
350	2N3438		40/160	0.02					15	5	
1.5	40		2N3782	30/120	1	0.08	0.035	1	180	4	
	50	2N3734		30/120	1	0.03	0.03	1	250	4	
	60		2N3763	20/80	1	0.08	0.035	1	150	4	
	75	2N3735		20/80	1	0.03	0.03	1	250	4	
2	40		2N5659	30/120	0.5	0.035	0.035	0.1	250	5	
	60		2N5661	25/120	0.5	0.035	0.035	0.5	200	5	
	100	MM3007	MM5007	50/250	0.25				30	8	
3	40	2N4237	2N4234	30/150	0.25				3	6	
		2N4238	2N4235	30/150	0.25				3	6	
		2N3506		40/200	1.5	0.055	0.035	1.5	60	5	
	80	2N4239	2N4236	30/150	0.25				3	6	
	2N3507		40/200	1.5	0.055	0.035	1.5	60	5		
4	60	2N4877		20/100	4	1.5	0.5	4	4	10	
5	60		MJ8100	25/180	2	1	0.15	2	30	10	
	80	2N5336	2N6190	30/120	2	2	0.2	2	30	6	
		2N5337	2N6191	60/240	2	2	0.2	2	30	6	
	100	2N5338	2N6192	30/120	2	2	0.2	2	30	10	
		2N5339	2N6193	60/240	2	2	0.2	2	30	6	



**DARLINGTON
8 AND 10 AMPERE
PNP SILICON
POWER TRANSISTORS**

**40-60-80 VOLTS
65 WATTS**



STYLE 1

- 1 BASE
2 COLLECTOR
3 EMITTER
4 COLLECTOR

NOTE

1 DIM L & H APPLIES
TO ALL LEADS

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	15.11	15.75	0.595	0.620
B	9.65	10.29	0.380	0.405
C	4.06	4.82	0.160	0.190
D	0.64	0.89	0.025	0.035
F	3.61	3.13	0.142	0.147
G	2.41	2.67	0.095	0.105
H	2.79	3.30	0.110	0.130
J	0.36	0.56	0.014	0.022
K	12.70	14.27	0.500	0.562
L	1.14	1.27	0.045	0.050
N	4.83	5.33	0.190	0.210
O	2.54	3.04	0.100	0.120
R	2.04	2.79	0.080	0.110
S	1.14	1.39	0.045	0.055
T	5.97	6.48	0.235	0.255
U	0.76	1.27	0.030	0.050
V	1.14		0.045	

**CASE 221A-02
TO-220AB**

THERMAL CHARACTERISTICS

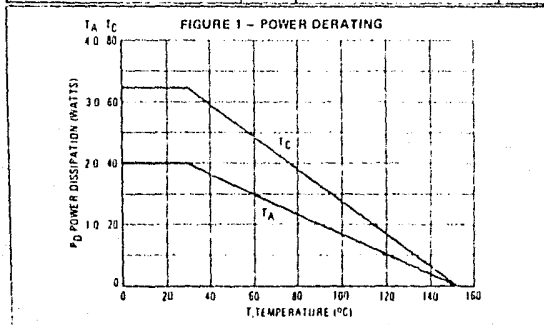
Characteristics	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^{\circ}\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^{\circ}\text{C/W}$

PLASTIC MEDIUM-POWER SILICON TRANSISTORS

designed for general-purpose amplifier and low speed switching applications.

- High DC Current Gain —
 $h_{FE} = 3500$ (Typ) @ $I_C = 4.0$ Adc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage — @ 200 mAdc
 $V_{CE(sus)} = 40$ Vdc (Min) — 2N6666
 $= 60$ Vdc (Min) — 2N6667
 $= 80$ Vdc (Min) — 2N6668
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage —
 $V_{CE(sat)} = 2.0$ Vdc (Max) @ $I_C = 3.0$ Adc — 2N6666
 $V_{CE(sat)} = 2.0$ Vdc (Max) @ $I_C = 5.0$ Adc — 2N6667, 2N6668
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistors
- TO-220AB Compact Package
- Complementary to 2N6386, 2N6387, 2N6388

Rating	Symbol	2N6666	2N6667	2N6668	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	40	60	80	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	40	60	80	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	← 5.0 →			Vdc
Collector Current — Continuous Peak	I_C	8.0 15	10 15	10 15	Adc
Base Current	I_B	← 250 →			mAdc
Total Device Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	← 65 →			Watts
		← 0.52 →			W/°C
Total Device Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	← 2.0 →			Watts
		← 0.016 →			W/°C
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	← 65 to +150 →			°C



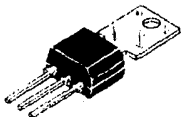
*ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic		Symbol	Min	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) ($I_C = 200\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	2N6666	$V_{CE(sus)}$	40	--	Vdc
	2N6667		60	--	
	2N6668		80	--	
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	2N6666	I_{CEO}	--	1.0	mAdc
	2N6667		--	1.0	
	2N6668		--	1.0	
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $V_{EB(ol)}$ = 1.5 Vdc) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(ol)}$ = 1.5 Vdc) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $V_{EB(ol)}$ = 1.5 Vdc) ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $V_{EB(ol)}$ = 1.5 Vdc, $T_C = 125^\circ\text{C}$) ($V_{CE} = 60\text{ Vdc}$, $V_{EB(ol)}$ = 1.5 Vdc, $T_C = 125^\circ\text{C}$) ($V_{CE} = 80\text{ Vdc}$, $V_{EB(ol)}$ = 1.5 Vdc, $T_C = 125^\circ\text{C}$)	2N6666	I_{CEX}	--	300	μA
	2N6667		--	300	
	2N6668		--	300	
	2N6666		--	3.0	mAdc
	2N6667		--	3.0	
	2N6668		--	3.0	
Emitter Cutoff Current ($V_{BE} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	--	5.0	mAdc
ON CHARACTERISTICS (1)					
DC Current Gain ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 5.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 8.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	2N6666	h_{FE}	1000	20000	--
	2N6667, 2N6668		1000	20000	
	2N6666		100	--	
	2N6667, 2N6668		100	--	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $I_B = 0.006\text{ Adc}$) ($I_C = 5.0\text{ Adc}$, $I_B = 0.01\text{ Adc}$) ($I_C = 8.0\text{ Adc}$, $I_B = 0.08\text{ Adc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $I_B = 0.1\text{ Adc}$)	2N6666	$V_{CE(sat)}$	--	2.0	Vdc
	2N6667, 2N6668		--	2.0	
	2N6666		--	3.0	
	2N6667, 2N6668		--	3.0	
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 5.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 8.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 10\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	2N6666	$V_{BE(sat)}$	--	2.8	Vdc
	2N6667, 2N6668		--	2.8	
	2N6666		--	4.5	
	2N6667, 2N6668		--	4.5	

**D40N1
D40N2**

**D40N3
D40N4**

**DUOWATT
NPN SILICON
AMPLIFIER TRANSISTORS**



Tab forming and TO-5 lead forming available on special request.

**NPN SILICON ANNULAR
HIGH VOLTAGE AMPLIFIER TRANSISTORS**

... designed for high-voltage TV video and chroma output circuits, high-voltage linear amplifiers, and high-voltage transistor regulators.

- High Collector-Emitter Breakdown Voltage --
 $BV_{CEr} = 300 \text{ Vdc (Min) @ } I_C = 1.0 \text{ mAdc} - \text{D40N3, 4}$
- Low Collector-Base Capacitance --
 $C_{cb} = 3.0 \text{ pF (Max) @ } V_{CB} = 20 \text{ Vdc}$
- Duowatt Package --
2 Watts Free Air Dissipation @ $T_A = 25^{\circ}\text{C}$

D40N1 D40N3
D40N2 D40N4

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	D40N1, 2	D40N3, 4	Unit
Collector-Emitter Voltage (1, 2)	V_{CE1}	250	300	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB0}	250	300	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB0}	5.0		Vdc
Collector Current - Continuous	I_C	0.1		Adc
Peak		0.7		
Base Current	I_B	250		mAdc
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$	P_D	167 (3)		Watts
Derate above 25°C		13.1		mW/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	P_D	6.25		Watts
Derate above 25°C		50		mW/ $^\circ\text{C}$
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-55 to +150		$^\circ\text{C}$
Solder Temperature, 1/16" from Case for 10 Seconds		260		$^\circ\text{C}$

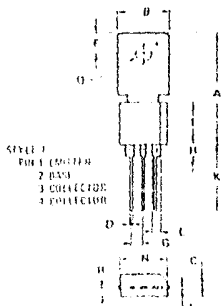
THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction to Ambient	$R_{\theta JA}$	75	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance, Junction to Case	$R_{\theta JC}$	20	$^\circ\text{C}/\text{W}$

(1) $I_C = 1.0 \text{ mAdc}$, $R_{BE} = 10 \text{ k}\Omega$

(2) Pulse Test: Pulse Width - 300 μs , Duty Cycle - 2%

(3) The actual power dissipation capability of Duowatt transistors are $3 \text{ W}/^\circ\text{C}$ $T_A = 25^\circ\text{C}$



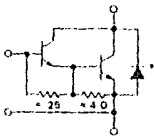
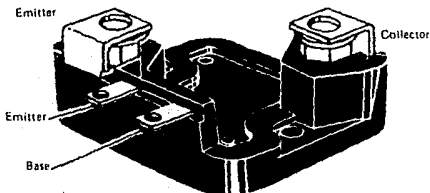
DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	21.84	22.35	0.860	0.880
B	9.91	10.41	0.390	0.410
C	4.39	4.65	0.173	0.183
D	0.58	0.74	0.023	0.029
F	3.55	4.06	0.140	0.160
G	2.41	2.67	0.095	0.105
H	1.40	1.76	0.067	0.077
J	0.48	0.65	0.019	0.026
K	12.19	12.35	0.480	0.510
L	1.65	2.03	0.065	0.080
N	9.91	10.16	0.390	0.400
O	3.55	3.81	0.140	0.150
Q	1.07	1.25	0.042	0.049
T	7.87	8.14	0.310	0.320

10-292AC
CASE 300114

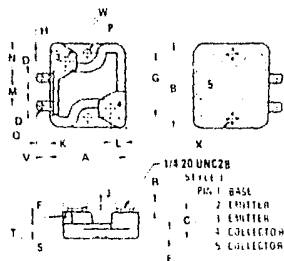
Designer's Data Sheet

50 KVA SWITCHMODE TRANSISTOR 100-Ampere Operating Current

The MJ10100 Darlington transistor is designed for industrial service under practical operating environments found in switching high power inductive loads off 230-Volt lines.



*Emitter-Collector Diode is a high power diode.



NOTES:

- 1 DIMENSION A AND B ARE DATUMS
- 2 I IS SEATING PLANE
- 3 POSITIONAL TOLERANCE FOR MOUNTING HOLES

⑥ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺

DIM	MILLIMETERS		INCHES	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	53.03	53.84	2.090	2.120
B	55.37	56.39	2.220	2.220
C		26.67		1.050
D	6.10	6.60	0.240	0.260
E	6.60	7.11	0.260	0.280
F	0.31	0.81	0.012	0.032
G	23.31	85.0	1.100	85.0
H	12.57	32.87	0.495	0.505
J	1.62	1.67	0.060	0.064
K	9.56	9.75	0.374	0.384
L	10.21	10.46	0.402	0.412
M	18.92	19.18	0.745	0.755
N	23.67	23.93	0.932	0.942
P	5.08	5.71	0.200	0.205
Q	3.53	3.78	0.139	0.149
R	6.76	7.26	0.266	0.286
S	14.13	15.24	0.560	0.600
V	5.33	5.84	0.210	0.230
W	6.40	6.65	0.252	0.262
X	7.37	7.87	0.290	0.310

CASE 348-01
MO-040AA

**100 AMPERE
NPN SILICON
POWER DARLINGTON
TRANSISTOR**
450 VOLTS
500 WATTS

**Designer's Data for
"Worst-Case" Conditions**

The Designer's Data Sheet permits the design of most circuits entirely from the information presented. Limit data — representing device characteristics boundaries — are given to facilitate "worst-case" design.

MAXIMUM RATINGS

Mechanical Ratings		
Rating	Value	Unit
Mounting Torque (To heat sink with 10-32 Screw) (Note 1)	20	in-lb
Lead Torque (Lead to bus with 1/4-20 Screw) (Note 2)	20	in-lb
Per Unit Weight	120	grams

THERMAL CHARACTERISTICS

Thermal Resistance, Junction to Case, $R_{\theta JC}$	0.25	°C/W
---	------	------

Mica Insulators available as separate items.
0.003" thick, Motorola Part Number 14ASB12387B001
0.006" thick, Motorola Part Number 14ASB12387B002

Notes:

1. A Belleville washer of 0.472" O.D., 0.205" I.D., 0.024" thick and 150 pounds flat is recommended.
2. The lead torque should be limited to 20 in-lb unsupported to prevent rotation of the terminal in the package. The torque may be increased to 50 in-lb if support is used to prevent rotation. The maximum penetration of the screw should be limited to 0.75"

MAXIMUM RATINGS (Continued)

Electrical Ratings			
Rating	Symbol	Value	Unit
Collector-Emitter Voltage	V _{CEO}	450	V _{dc}
Collector-Emitter Voltage (R _{BE} = 10 Ωrms)	V _{CER}	500	V _{dc}
Collector-Base Voltage	V _{CB}	500	V _{dc}
Emitter-Base Voltage	V _{EB}	80	V _{dc}
Collector Current — Operating, T _C = 87.5°C	I _C	100	A
— Continuous, T _C = 25°C		150	
— Peak Repetitive, T _C = 25°C		300	
— Peak Nont repetitive, T _C = 25°C		500	
Base Current — Continuous	I _B	50	A
— Peak Nont repetitive		100	
Total Device Dissipation @ T _C = 25°C	P _D	500	Watts
Derate above 25°C		4.0	W/°C
For 1-minute overload		667	Watts
Operating Junction and Storage Temperature Range	T _J , T _{stg}	-55 to +150	°C
For 1-minute overload		-55 to +200	

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T_C = 25°C unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
OFF CHARACTERISTICS					
Collector-Emitter Sustaining Voltage (1) (I _C = 250 mA _{dc} , I _B = 0)	V _{CEO(sus)}	450	--	--	V _{dc}
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 500 V _{dc} , V _{BE(off)} = 1.5 V _{dc})	I _{CEV}	--	--	7.0	mA _{dc}
(V _{CE} = 500 V _{dc} , V _{BE(off)} = 1.5 V _{dc} , T _C = 150°C)		--	--	10	
Collector Cutoff Current (V _{CE} = 500 V _{dc} , R _{BE} = 10 Ω, T _C = 100°C)	I _{CER}	--	--	10	mA _{dc}
Emitter Cutoff Current (V _{EB} = 4.0 V _{dc} , I _C = 0)	I _{ERO}	--	--	650	mA _{dc}

MJ10100 (Continued)

Symbol	Min	Typ	Max	Unit
--------	-----	-----	-----	------

SAFE OPERATING AREA

Second Breakdown Collector Current with Base Forward-Biased	FBSOA
Clamped Inductive SOA with Base Reverse-Biased	HRBSOA
Overload SOA	OLSOA

ON CHARACTERISTICS (1)

DC Current Gain ($I_C = 100$ Adc, $V_{CE} = 5.0$ Vdc) ($I_C = 100$ A, $V_{CE} = 10$ V)	h_{FE}	50 60	— —	— —	
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 100$ Adc, $I_B = 3.3$ A) ($I_C = 150$ Adc, $I_B = 12$ A) ($I_C = 100$ Adc, $I_B = 3.3$ A, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	$V_{CE(sat)}$	— — —	— — —	2.0 3.3 2.5	Vdc
Base-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 100$ Adc, $I_B = 3.3$ Adc) ($I_C = 100$ Adc, $I_B = 3.3$ Adc, $T_C = 100^\circ\text{C}$)	$V_{BE(sat)}$	— —	— —	3.0 3.0	Vdc

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Output Capacitance ($V_{CB} = 10$ Vdc, $I_E = 0$, $f_{test} = 1.0$ kHz)	C_{ob}	—	—	4(000)	pF
--	----------	---	---	--------	----

 (1) Pulse Test. Pulse width of 300 μs , duty cycle $\leq 2.0\%$.

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A.

- 1.- Jui Sheng Hsieh. "Solar Energy Engineering", Prentice Hall.
- 2.- Antonio Alonso C., Luis Rodríguez V.: "Alternativas Energéticas", Fondo de Cultura Económica.
- 3.- Wolfrang Palz: "Electricidad Solar", Blume.
- 4.- M. D. Siegel, S. A. Klein, W. A. Beckman: "A Simplified Method for Estimating the Monthly-Average Performance of Photovoltaic Systems", Solar Energy, vol. 26, pp. 413, Pergamon Press.
- 5.- A. Castellanos, M. Escobedo: "La Energía Solar en México", Centro de Ecodesarrollo.
- 6.- R. Almazan, S. López: "Radiación Solar Global en la República Mexicana Mediante Datos de Insolación", Instituto de Ingeniería, UNAM.
- 7.- A. Palacio, A. Rodríguez: "Estimación de la Radiación Solar y de la Temperatura Ambiente Instantánea", Memorias IV Reunión Nacional de Energía Solar, UASLP, pp. 43-46.
- 8.- J. CARRILLO et. al.: "Desarrollo de la Microelectrónica", Ciencia y Desarrollo, mayo-junio 1984, núm. 56 año X, pp. 29-51.
- 9.- Fritz R. Kalhammer: "Sistemas para Almacenar Energía", Scientific American, núm. 41, feb. 1980, pp. 8-18.
- 10.- M. Martínez: "Sistemas Fotovoltaicos", Instituto de Inves-

- tigación en Materiales, UNAM.
- 11.- David Dickson: "Tecnología Alternativa", Ediciones ORBIS, Barcelona España.
 - 12.- Carol Hopping Stoner: "Como Usar las Fuentes de Energía Natural", Diana.
 - 13.- Manule Folo Encinas: "Energeticos y Desarrollo Tecnológico", LIMUSA.
 - 14.- Juan F. Navarro Campos, Luis E. Borro C.: "La Energía Solar en la Edificación", Revista Obras, 1984.
 - 15.- Boletín IIE, Vol. 2, No. 6.
 - 16.- Boletín IIE, Vol. 6, No. 7/8.
 - 17.- Manuel Martínez: " Sistemas Fotovoltaicos", Instituto de Investigaciones de Materiales, UNAM.
 - 18.- Arturo Morales Acevedo: "Hacia una Celda Solar", Centro de Investigación y de Estudios Avanzados IPN.
 - 19.- "Tecnologías Energéticas del Futuro", Programa Universitario de Energía, Coordinación de la Investigación Científica, UNAM.
 - 20.- "La Ingeniería y el Medio Ambiente": División de Ciencias Básicas, Depto. de Metodología y Lenguajes, Fac. de Ingeniería.
 - 21.- Heberto Castillo, Jacinto Viqueira: "Los Energeticos, El Petróleo ¿Y Nuestro Futuro?", Representaciones y Servicios de Ingeniería.

- 22.- Reyes Sánchez: "Diseño de Circuitos con Transistores", LIMUSA.
- 23.- Richard S. Muller, Theodore I. Kamins: "Electronica de los Dispositivos para Circuitos Integrados", LIMUSA.
- 24.- George C. Stanley: "Fundamentos del Transistor", DIANA.
- 25.- Morris Slurzberg, William Osterheld: "Fundamentos de Electricidad-Electronica", McGraw-Hill.
- 26.- Pedro Camarena, Oscar Schrader Camarena: "Manual de Instalaciones Electricas Residenciales", C.E.C.S.A.
- 27.- A. Bandinibuti, M. Bertolini: "Instalaciones Electricas de Baja Tensión", Ed. Tecnicas de Rede, Barcelona, España.
- 28.- Becerril L. Diego O.: "Instalaciones Electricas Practicas", IPN.
- 29.- Gilberto Enriquez Harper: " El ABC de las Instalaciones Electricas Residenciales", LIMUSA.
- 30.- Harry Mileaf: "Electricidad Seis", Serie Uno Siete, LIMUSA.
- 31.- Yunny Meas, Jaime R. Esquivel, Hugo Sánchez, Marco A. Quiroz e Ignacio González: "Como Funciona: Las Pilas y Las Baterias", Revista ICYT, CONACYT, Vol. 10, No. 136, 1988.
- 32.- "¿Que es un Acumulador?", Boletín ACUMEX, Reportaje, Año 23, No. 184, Marzo-Abril, 1989.
- 33.- C. Cobang: "Energía Solar - Bases y Aplicaciones", Ed. Paraninfo.
- 34.- Jose A. Amrique: "Energía Solar: Fundamentos y Aplicaciones

- Fototermicas", HARLA.
- 35.- "Energía Solar Fotovoltaica", Serie: Mundo Electronico, MARCOMBO, BOIXAREU ED.
 - 36.- Richard A. Flinn, Paul K. Trojan: "Materiales de Ingeniería y sus Aplicaciones", McGraw-Hill.
 - 37.- Ferdinand L. Singer: "Resistencia de Materiales", Harper & Row Publisher Inc.
 - 38.- René Garduño López: "El Sol Sale para Todos (El Motor del Clima)", ICYT, Vol. 10. No. 141, Junio 1988.
 - 39.- William Pickin, Salvador Cruz: "El silicio Amorfo (Aplicaciones en Electrónica)", ICYT, Vol. 9, No. 134, Nov. 1987.
 - 40.- Manuel Martínez Fernández: "Conéctese al Sol (Recurso Energético Inagotable)", ICYT, Vol. 9, No. 134, Nov. 1987.
 - 41.- Rufus P. Turner: "Solar Cells and Photocells", Howard W. Sams & Co. USA.
 - 42.- Pier Luigi Cerato: "Amplificadores Magnéticos", Ed. Rede, Barcelona, España.
 - 43.- Alejandro pedroza, Elsa Chavira y Raúl Fournier: "Crecimiento de Silicio Monocristalino", Ciencia y Desarrollo, No. 70, Sep.-Oct. 1986.
 - 44.- "Motorola Power Data Book", Motorola Semiconductor Products Inc., Arizona, USA.
 - 45.- "Propiedades, Elementos y Resistencia de Perfiles Estructurados", Manual para Constructores de la Compañía Fundidora

de Fierro y Acero de Monterrey.

46.- Robert Boylestad & Louis Nashelsky: "Electronica Teoría de Circuitos", Prentice Hall.

47.- Jhosep A. Wolston: "Transistores, Circuito - Diseño", CECSA.