



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL  
Dpto. de Ingeniería Eléctrica  
BIBLIOTECA

Inv. No. \_\_\_\_\_

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA



"DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CONTROLADOR  
DIGITAL PARA MAXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA  
APLICADA A UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA"

**TESIS DE GRADO**

**Previa a la obtención del Título de:  
INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Especialización: ELECTRONICA

PRESENTADA POR:  
**VICENTE SALTOS B.**

Guayaquil - Ecuador

1.987

## AGRADECIMIENTO

A los Ings. Norman Chootong, Director de Tesis y Gustavo Bermudez, por su valiosa y desinteresada ayuda que me permitió culminar con éxito este trabajo.

Y a todos aquellos, que de una u otra manera hicieron posible mi formación:

- A mis Profesores
- A mi Familia
- A mis Amigos

DEDICATORIA


*[Faint handwritten text, possibly a signature]*  
MIS PADRES  
MIS HERMANOS

*[Faint handwritten text, possibly a signature]*  
MIS PADRES  
MIS HERMANOS

*[Faint handwritten text, possibly a signature]*  
MIS PADRES  
MIS HERMANOS

- A MIS PADRES
- A MI ESPOSA
- A MI HIJA
- A MIS HERMANOS

DECLARACION EXPRESA



ING. CARLOS VILLAFUERTE P.  
(Presidente del Tribunal)



ING. NORMAN CHOOTONG CH.  
(Director de Tesis)

La responsabilidad por los hechos, ideas y posturas  
expuestas en esta tesis, es correspondiente exclusivamente  
al autor y al patrimonio intelectual de la misma, a la  
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE QUITO.



ING. SERGIO FLORES M.  
(Miembro del Tribunal)



ING. HUGO VILLAVICENCIO V.  
(Miembro del Tribunal)

Vacante 2. del Tribunal Arbitral

### DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Titulos profesionales de la ESPOL).

.....  
*Vicente J. Saltos Braganza*

Vicente J. Saltos Braganza

## RESUMEN

### INDICE GENERAL

El trabajo que se realizó tiene como objetivo el de presentar una serie de análisis teóricos y experimentales, llevados a efecto sobre el diseño y construcción de un controlador digital basado en un microcomputador SDK-85 y su aplicación para obtener la máxima potencia de una Central Solar Fotovoltaica.

#### CAPITULO I

Este proyecto formará parte del Laboratorio de Energía Solar de la ESPOL, y está relacionado con los proyectos que se están realizando en la Institución.

##### 1.1 OBJETIVO GENERAL

El análisis teórico del sistema comprenderá un estudio de los conceptos básicos para el seguimiento del punto de máxima potencia de una Central Fotovoltaica.

##### 1.2 CONSTRUCCION DEL SISTEMA

Con estas bases se procederá al diseño del controlador digital que permita el funcionamiento de un prototipo de Central Solar Fotovoltaica extrayendo permanentemente la máxima cantidad de energía que pueda ceder en cada instante.

##### 1.3 DISEÑO DE CIRCUITOS Y COMPONENTES ELECTRONICOS

El sistema básico está conformado por un microcomputador SDK-85, sobre el cual se implantaron los circuitos de apoyo para dar al controlador digital toda la flexibilidad necesaria.

## INDICE GENERAL

	Pag.
RESUMEN .....	VI
INDICE GENERAL .....	VII
INDICE DE FIGURAS .....	XII
INDICE DE TABLAS .....	XVII
INTRODUCCION .....	18
CAPITULO I	
CONCEPTOS GENERALES SOBRE CENTRALES SOLARES	
FOTOVOLTAICAS	
1.1 ENERGIA SOLAR .....	20
1.1.1 El sol como fuente de energia .....	20
1.1.2 Radiación solar .....	21
1.1.3 Aprovechamiento de la energia solar .....	22
1.2 CONVERSION FOTOVOLTAICA .....	23
1.2.1 Introduccion .....	23
1.2.2 Conversion fotovoltaica por medio de celulas solares .....	24
1.2.3 Panel solar fotovoltaico .....	25
1.3 DIAGRAMA DE BLOQUES Y COMPONENTES BASICOS DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA .....	26
1.3.1 Componentes Energeticos .....	27
1.3.1.1 Arreglo de paneles solares .....	29
1.3.1.2 Bateria .....	29



CAPITULO I	1.3.2 Componentes de regulacion, control y acondicionamiento de potencia .....	30
	1.3.3 Carga .....	32
EL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA SOLAR DE LA EDIFICACION		
CAPITULO II		
FUNDAMENTOS BASICOS PARA MAXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA EN UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA		
2.1	INTRODUCCION .....	33
2.2	FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO .....	35
2.2.1	Punto de funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico .....	35
2.2.2	Funcionamiento de un sistema formado por un panel solar conectado a una carga sin bateria .....	40
2.2.3	Funcionamiento de un sistema formado por un panel solar conectado directa- mente a una bateria .....	40
2.2.4	Funcionamiento del sistema sin pro- duccion de corriente por el panel solar .....	42
2.2.5	Tiempo de carga y descarga de la bateria .....	44
2.3	FUNDAMENTO CONCEPTUAL DEL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA EN UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA .....	49
2.4	SISTEMAS DE DATOS MUESTREADOS .....	55
2.5	CONTROL DIGITAL DIRECTO .....	56



CAPITULO III	55
DISEÑO DEL CONTROLADOR DIGITAL APLICADO A UN	58
PROTOTIPO DE CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA PARA	59
EL LABORATORIO DE ENERGIA SOLAR DE LA ESPOL	57
3.1 PROTOTIPO DE CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA	58
3.1.1 Generalidades	58
3.1.2 Simulador de panel solar	59
3.1.3 Elementos de interconexión	63
3.1.3.1 Tipo de convertidor utilizado	63
3.1.3.2 Determinación de la frecuencia	
de operación	68
3.1.3.3 Modulador de ancho de pulso	69
3.2 DISEÑO DEL CONTROLADOR DIGITAL	77
3.2.1 Funcionamiento del sistema	77
3.2.2 Conmutación de una etapa a otra	79
3.2.3 Elección de la interface entre el	
microcomputador y los convertidores	82
3.2.3.1 Elección de la interface entre	
el microcomputador y el conver-	
tador 1	82
3.2.3.2 Elección de la interface entre	
el microcomputador y el conver-	
tador 2	85
3.2.3.3 Elección de la interface entre	
el microcomputador y el conver-	
tador 3	87

3.3	CIRCUITO DE CONTROL .....	88
3.3.1	Consideraciones generales .....	88
3.3.2	Unidad de control .....	90
3.3.2.1	Modulación de ancho de pulso .....	92
3.3.2.2	Conversión analógica - digital .....	96
3.3.3	Algoritmo del Control Digital .....	104
3.3.3.1	Programa Principal .....	106
3.3.3.2	Subrutina Etapa 0 .....	109
3.3.3.3	Subrutina Etapa 1 .....	112
3.3.3.4	Subrutina Etapa 2 .....	113
3.3.3.5	Subrutina Etapa 3 .....	119
3.3.3.6	Subrutina Etapa 4 .....	120
3.3.3.7	Subrutina Etapa 5 .....	122
3.3.3.8	Subrutina MPPT .....	126
3.3.3.9	Secuencias de Instrucciones .....	132
3.3.4	Acondicionadores de señales .....	132
3.3.4.1	Acondicionadores de Voltaje .....	162
3.3.4.2	Acondicionadores de Corriente .....	163
3.3.5	Banco de Switches .....	163
3.4	Circuito de Potencia .....	165

#### CAPITULO IV

#### CONSTRUCCION DEL SISTEMA

4.1	LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO .....	174
4.2	TARJETAS DE LAS DIFERENTES PARTES DEL SISTEMA, MONTAJE Y DISPOSICION DE LAS	

MISMAS ..... 178

INDICE DE FIGURAS

CAPITULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS CON NUESTRO PROTOTIPO

5.1 CURVA CARACTERISTICA DEL SIMULADOR .....  
 DE PANEL SOLAR ..... 186

5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL .....  
 SISTEMA EN LAS ETAPAS 0, 1, 2, 3, 4 y 5 ..... 188

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... 204

APENDICES

APENDICE A: EL MICROCOMPUTADOR SDK-85 ..... 206

APENDICE B: MANUAL DEL USUARIO ..... 226

BIBLIOGRAFIA ..... 232

## INTRODUCCION

La utilización de la energía solar para el desarrollo de centrales eléctricas fotovoltaicas es hoy un campo, objeto de numerosas investigaciones teóricas y prácticas.

Su fundamento como es sabido, se basa en la conversión directa de la radiación solar (insolación) en energía eléctrica en forma de corriente continua, la conversión se realiza por medio de células solares.

La energía eléctrica en continua así obtenida, puede ser utilizada directamente, o bien, lo que es mucho más usual convertirla a corriente alterna.

El voltaje y la potencia de salida de un sistema fotovoltaico es más variable que la mayoría de los generadores convencionales y por lo tanto necesita de algún almacenamiento y "acondicionamiento" para que de ésta manera pueda ser utilizada como más convenga.

Para el uso óptimo del generador fotovoltaico, se necesita la presencia de un banco de baterías, para almacenar los excesos de energía cuando la potencia máxima del arreglo

solar exceda la que consume la carga (etapa 2), o recíprocamente para suministrar energía, cuando necesita la carga (etapa 4 y 5).

La adaptación de voltaje y el control de transferencia de energía entre el arreglo de paneles solares y la carga, arreglo de paneles y batería, batería y carga, es realizada por convertidores DC/DC.

Donde el manejo y control de los convertidores se lo hace por medio del microcomputador SDK-85, cuya función principal es la de elegir la etapa de funcionamiento y la de realizar el seguimiento del punto de máxima potencia dentro de la etapa determinada.

## CAPITULO I

### CONCEPTOS GENERALES SOBRE CENTRALES SOLARES FOTOVOLTAICAS

#### 1.1 ENERGIA SOLAR

##### 1.1.1 El sol como fuente de energia

El sol es la fuente de casi toda nuestra energia (con la excepci3n de las fuentes radiactivas y las mareas), y seguir3 siendo la m3s importante a menos que se utilicen los reactores de fisi3n y fusi3n nuclear controladas.

Si el hombre ha de utilizar todav3a m3s energia que en el momento actual, tendr3 dificultades en conseguir la suficiente a partir de la radiaci3n solar que incide sobre la tierra, ya que esta llega a captar en su superficie  $1\text{Kw}/\text{m}^2$  debido a la distancia que se encuentra del sol.

Esta limitaci3n intr3nica es una de las caracteristicas que distinguen la energia proveniente



del sol, de otras fuentes energeticas cuyo suministro puede variarse, en principio, a voluntad con tal de graduar la cantidad de combustible en un sistema de tamaño prefijado.

### 1.1.2 Radiación Solar

El sol se comporta muy aproximadamente como un cuerpo negro emisor con una temperatura superficial de 5800 °K, lo cual significa que la distribución espectral de la radiación recibida por la Tierra es amplia (consta de una gran variedad de componentes elementales de distintas longitudes de onda).

Al nivel terrestre tanto la irradiancia solar total como su distribución espectral (Fig. 1.1) varían de manera complicada y a veces aleatoria, ya que los rayos solares al atravesar la atmósfera son a la vez parcialmente absorbidos y dispersados. El espesor efectivo de atmósfera que los rayos solares deben atravesar varía en función del movimiento aparente del sol en el espacio, también varía la composición de la atmósfera de unos días a otros e incluso de unos instantes a otros.

Otro factor que influye es la existencia o no de las nubes y las características de estas.

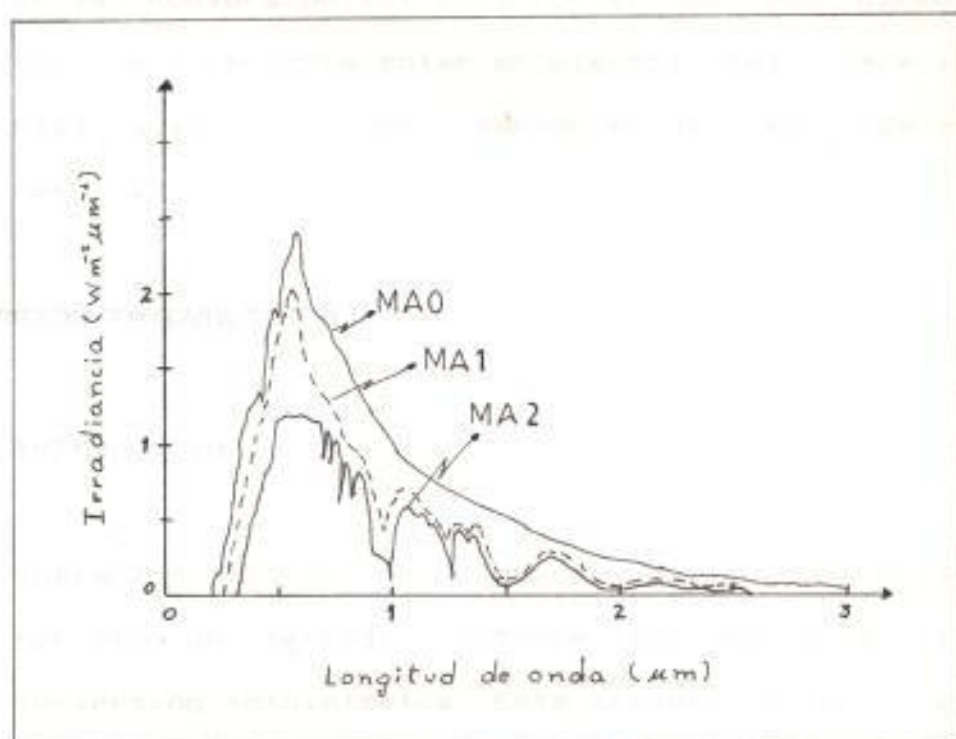


Fig. 1.1 Irradiancia espectral solar

### 1.1.3 Aprovechamiento de la energía solar

Existen dos métodos principales de aprovechamiento de la energía solar: conversión fototérmica y conversión fotovoltaica. En la conversión foto térmica se utiliza la energía solar para calentar un fluido que realiza un trabajo, bien sea directamente o por medios termodinámicos, por ejemplo, la bomba de calor, o recurriendo al método tradicional: turbina de vapor, trabajo mecánico, alterna-

dor, energía eléctrica.

En la conversión fotovoltaica se convierte directamente la energía solar en electricidad, para su utilización o transformación en otra forma de energía.

## 1.2 CONVERSION FOTOVOLTAICA

### 1.2.1 Introducción

Entre los sistemas de captación de energía solar revisten un marcado interés los dedicados a la conversión fotovoltaica. Esta transferencia de energía directa luz/electricidad, es silenciosa, no contaminante.

La conversión de energía de las radiaciones ópticas en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido con el nombre de efecto fotovoltaico. La célula solar es sin duda, el dispositivo fotovoltaico más importante para la conversión de energía.

Aunque el futuro es prometedor, esta aplicación no está exenta de problemas, la fabricación de ce-

lúlas fotovoltaicas ha de ser muy depurada y, por tanto, no es barata; la acumulación de energía presenta también problemas técnicos y económicos— muy a considerar durante el diseño del sistema de cada aplicación particular.

### 1.2.2 Conversión fotovoltaica por medio de células solares

Las células fotovoltaicas se fabrican con materiales (el más común es silicio). Al semiconductor se le somete a un proceso conocido como "dopping" o dopado que consiste en introducir un elemento al semiconductor que se constituya en una "impureza" de la estructura cristalina de aquél.

Esta distorsión de la estructura cristalina del semiconductor unida a la recepción de fotones de energía solar (radiación solar), producen la migración de electrones y, por tanto, una corriente eléctrica.

Una red metálica conduce la corriente de cada célula (Figura 1.2), adicionalmente las células se conectan entre si para formar paneles.

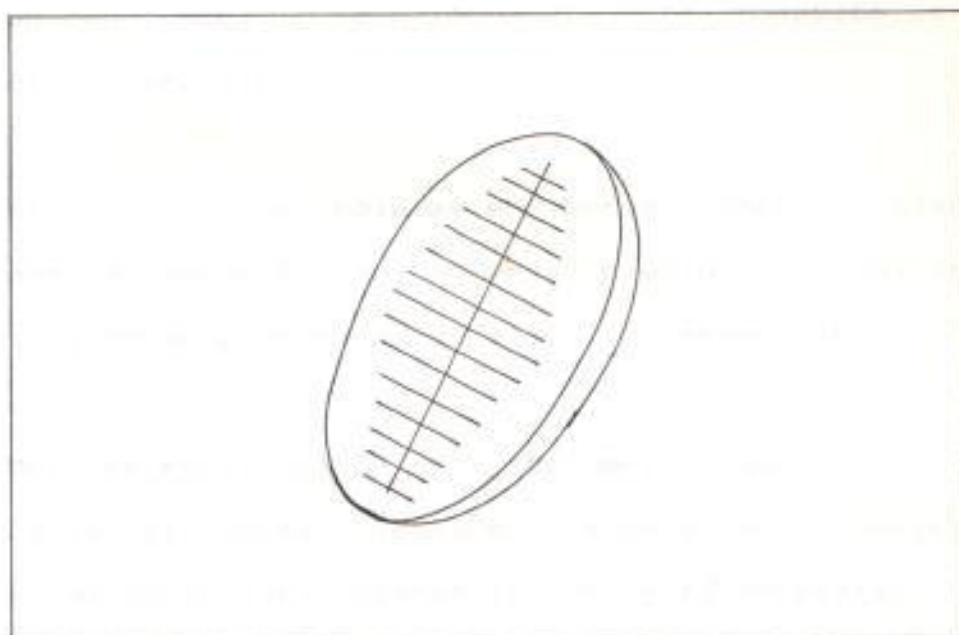


Fig. 1.2 Célula Solar Fotovoltaica

### 1.2.3 Panel Solar Fotovoltaico

Un panel fotovoltaico está constituido por un conjunto de células solares conectadas entre sí y colocadas entre dos placas planas de variados materiales, uno de los cuales tiene forzosamente que ser transparente. La interconexión que será el

Las placas superior e inferior entre las que se sitúan las células actúan como barrera encapsulante para protegerlas de los agentes atmosféricos.

Las interconexiones eléctricas más corrientes en

En un panel son: la conexión serie y la conexión serie - paralelo.

El arreglo de  $n$  células en serie vienen forzadas por la necesidad de alcanzar ciertos valores de tensión de acuerdo a la aplicación específica.

Una vez realizada la conexión serie capaz de alcanzar el voltaje deseado, se conectará  $m$  series en paralelo para obtener la corriente necesaria.

La característica eléctrica más importante del panel, la máxima potencia de salida no es, en general, igual a la suma de las potencias máximas de cada célula por separado. Para que se cumpliera la igualdad sería preciso que todas las células que componen el panel fuesen exactamente iguales.

Es decir toda agrupación real de células solares producen pérdidas de interconexión que serán mayores cuanto mayor sea la dispersión de las curvas  $V-I$  de las células componentes.

### 1.3 DIAGRAMA DE BLOQUES Y COMPONENTES BASICOS DE UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

La característica de una central solar fotovoltaica de-



pende en última instancia de las características y requisitos de la carga que ha de satisfacer y de la radiación solar disponible en el lugar.

La gama de posibles configuraciones es muy amplia, desde el caso en que el sistema fotovoltaico esté compuesto exclusivamente por el panel a, aquel, en el que el acondicionamiento de potencia es tal que la carga recibe energía eléctrica de una fuente regulada en tensión, continua o alterna, según sus necesidades, haciendo un uso óptimo de la energía generada por el panel.

En la figura 1.3 se representa de manera general por medio de un diagrama de bloques, una central solar fotovoltaica y sus componentes básicos constitutivos.

Los componentes básicos de la central fotovoltaica se pueden dividir en dos grupos llamados: Componentes energéticos y componentes de regulación, control y acondicionamiento de potencia, y carga.

### 1.3.1 Componentes Energéticos

Salvando unos pocos casos excepcionales en los que el sistema fotovoltaico puede estar formado por el panel, en las demás aplicaciones se exige la pre-

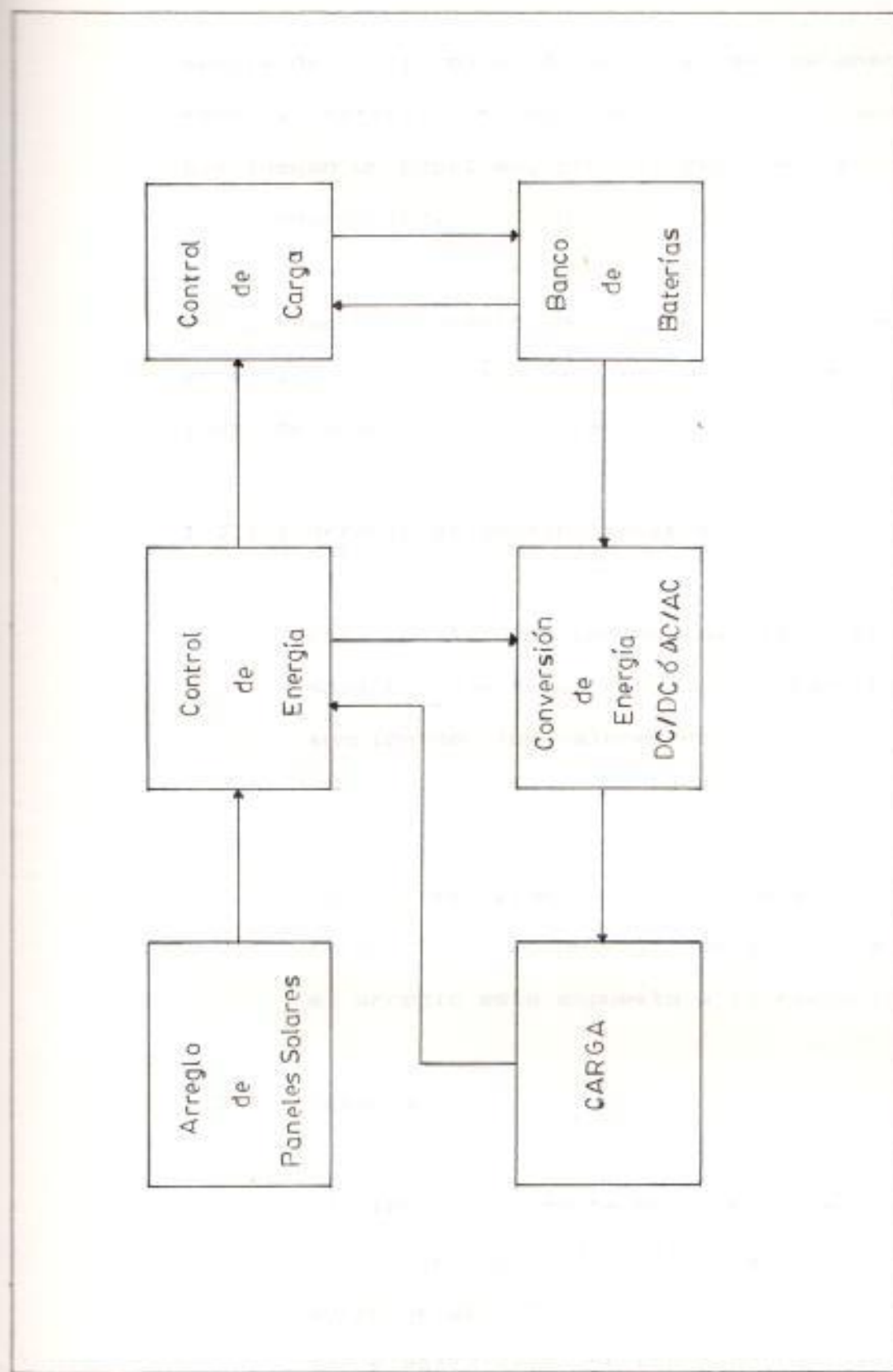


Fig. 1.3 Diagrama de bloques y componentes básicos de una Central Solar Fotovoltaica

sencia de un elemento de acumulación de energía. Panel y batería son por tanto los dos elementos que juegan un papel muy crucial desde el punto de vista energético.

El correcto dimensionamiento de ambos elementos permitirá alcanzar los valores exigidos de fiabilidad de suministro a la carga.

#### 1.3.1.1 Arreglo de paneles solares

Esta constituido por una matriz de paneles solares conectados en serie y paralelo en función de los valores de tensión y corriente requeridos por la carga.

La matriz produce energía eléctrica en forma D.C. con un valor de acuerdo a como el arreglo este expuesto a la radiación.

#### 1.3.1.2 Batería

La elección correcta de la batería para una instalación fotovoltaica implica una serie de opciones y compromisos. La batería elegida debe ser adecuada para la co-

corriente disponible y procedente de los paneles, así como para suministrar la corriente de carga exterior; respecto a su capacidad debe ser suficiente como para superar (suministrar corriente sin recibir) el periodo de máxima oscuridad.

Otro factor que influye en la elección de la batería es el tiempo de descarga, puesto que éste no solamente determina las condiciones de funcionamiento del sistema sino también el máximo periodo de oscuridad a compensar. El mantenimiento es un factor a tener en cuenta en muchas aplicaciones.

### 1.3.2 Componentes de regulación, control y acondicionamiento de potencia:

Son aquellos componentes que opcionalmente van asociados a una instalación fotovoltaica además del panel, batería y carga.

Estos componentes son:

a) **Diodo de bloqueo.**— En una instalación fotovol-

taica en los periodos de obscuridad la batería se descargará a través del panel pues polarizará las células en directo. En consecuencia es necesario introducir un elemento que bloquee el circuito panel-batería en ausencia de radiación.

La solución más inmediata es un simple diodo colocado en oposición a las células solares. Pero se presenta el inconveniente de que si se trata de sistemas de muy baja tensión las pérdidas en el diodo podrían resultar muy significativas.

- b) Controlador de energía.- Este subsistema sirve para determinar si la máxima energía obtenida del arreglo solar, parte o en su totalidad debería ser suministrada a la carga, el resto será almacenado. Además el circuito de control de energía ha de decidir de acuerdo a las características de la carga, si la energía que entrega el panel debería ser pasada directamente a la carga a través de un convertidor DC/DC o DC/AC.

- c) Controlador de carga.- El subsistema de control

No. Ho. \_\_\_\_\_

de carga es diseñado para mantener al subsistema de almacenamiento (baterías) suficientemente cargado. Además ha de determinar la óptima proporción de carga y descarga de tal manera que el tiempo de vida se mantenga en su máximo.

- d) Convertidor DC/DC o DC/AC.- En muchas ocasiones dependiendo del tipo de carga se requiere un cierto nivel de voltaje con una forma de onda en particular. En tal condición la energía producida por el panel tiene que sufrir una transformación, bien sea de DC/DC o de DC/AC.

Esto hace que sea necesario incluir en una central fotovoltaica bien sea un inversor que convierta la corriente continua del panel o de la batería en corriente alterna, o, un convertidor que modifique la corriente continua a un nivel apropiado para la carga.

### 1.3.3 Carga

La carga es el consumidor de energía eléctrica, ésta puede ser constante o de carácter variable, y consume la energía producida en forma DC o AC.



## CAPITULO II

### FUNDAMENTOS BASICOS PARA MAXIMA TRANSFERENCIA DE POTENCIA EN UNA CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

#### 2.1 INTRODUCCION

Los parámetros bajo los cuales los sistemas solares fotovoltaicos operan en una localización dada, causan que el voltaje de salida d.c. varíe en un rango considerable durante todo el año. Algunos de esos parámetros sufren variaciones aleatorias, tales como los niveles de insolaración durante cubiertas de nubes intermitentes.

El voltaje y la potencia de salida de un sistema fotovoltaico es más variable que la mayoría de los generadores convencionales y por lo tanto necesita de algún almacenamiento y "acondicionamiento" para que de ésta manera pueda ser utilizada como más convenga.

En la figura 2.1 se presentan las diferentes curvas características tensión - intensidad de un panel solar según sea la intensidad de radiación incidente sobre él.

En dicha figura puede observarse que, para cada curva, es decir para una temperatura y un nivel de radiación incidente determinado, la potencia suministrada por el panel depende del punto en el que trabaje, 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, este punto recibe el nombre de punto de máxima potencia.

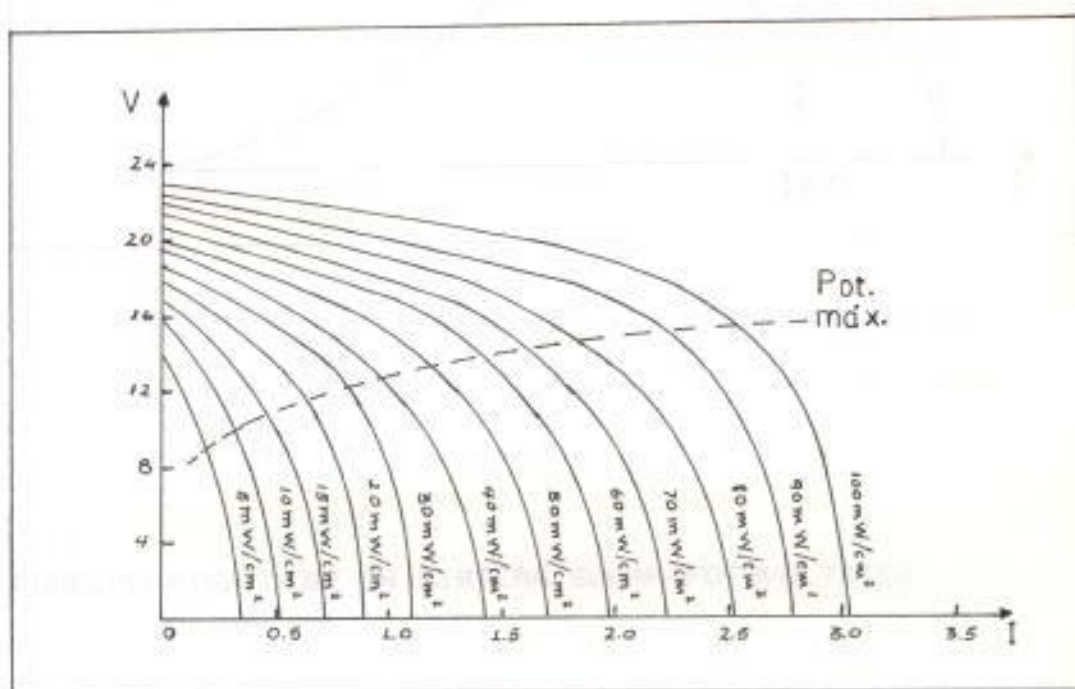


Fig. 2.1 Curvas características tensión-intensidad de un panel solar.

En la figura 2.2 se muestra, para un valor de temperatur-

ra y de radiación incidente constante, la característica típica de la potencia extraída del panel, según sea su punto de funcionamiento.

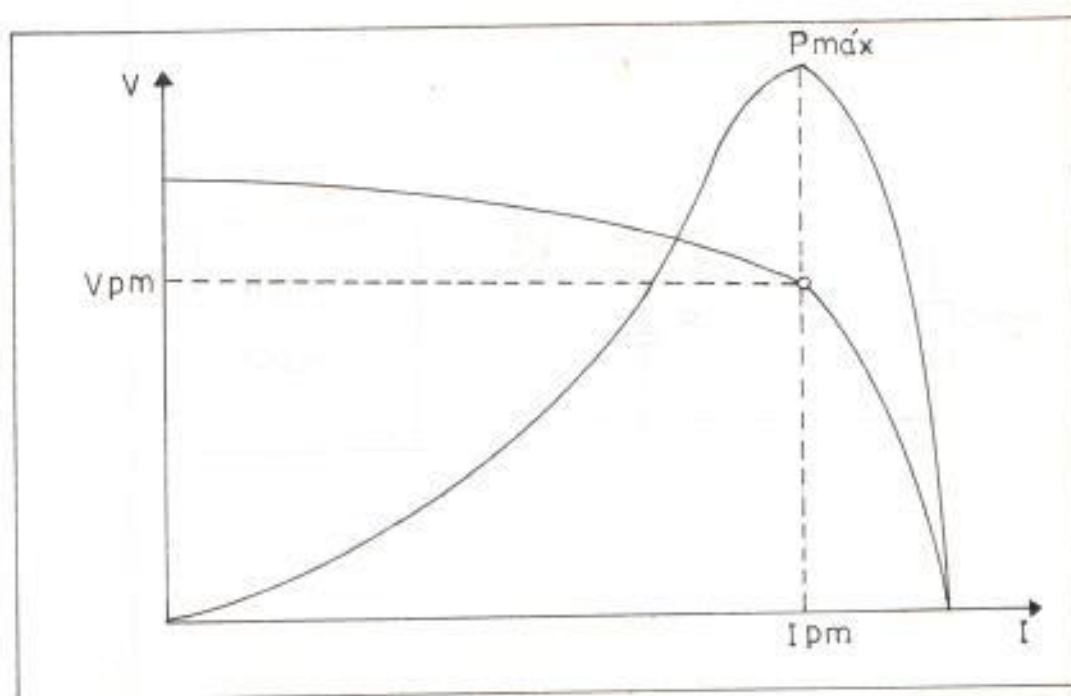


Fig. 2.2 Característica potencia-intensidad de un panel solar para temperatura y radiación incidente constante.

Desde la instalación debe llevar, como mínimo:

## 2.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

### 2.2.1 Punto de funcionamiento de un sistema solar fotovoltaico

La figura 2.3 constituye el esquema de principio de una central fotovoltaica con acoplamiento di-

recto a batería de f.e.m.  $E$  y resistencia interna  $R_b$  así como una resistencia de carga  $R_L$ .

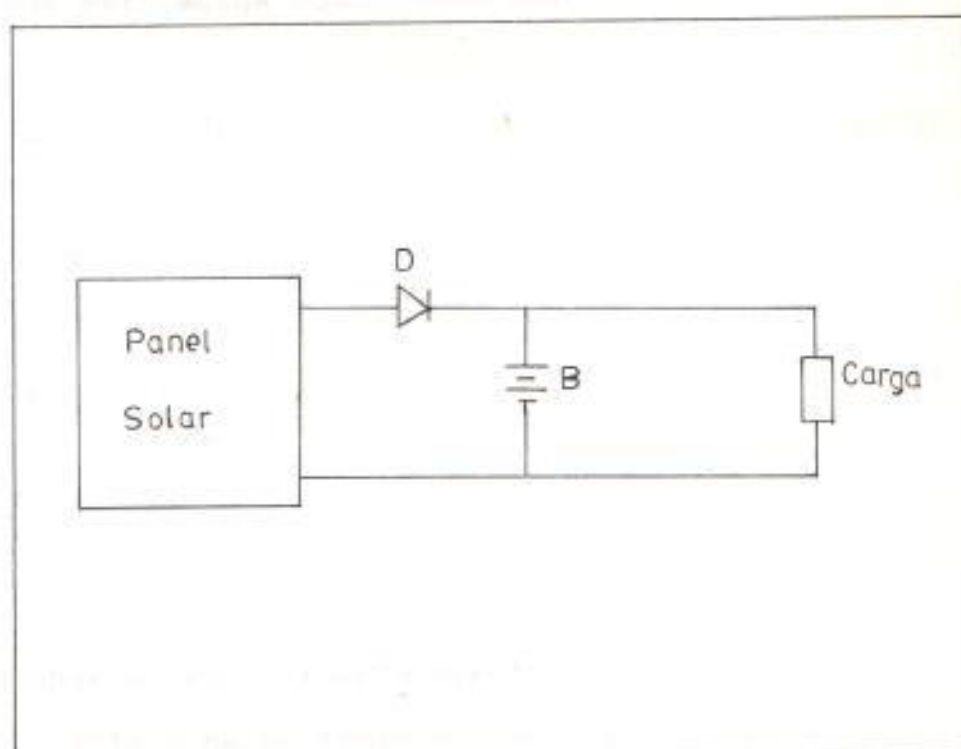


Fig. 2.3 Esquema eléctrico de un sistema solar fotovoltaico.

Aunque la instalación debe llevar, además un diodo de bloqueo para evitar la descarga de la batería en periodos de poca iluminación, éste no se ha representado por su pequeña influencia a efectos de caída de tensión.

Para los sentidos de corriente representados, la relación existente entre la intensidad de corrien-

te producida por el panel ( $I_p$ ), corriente de carga ( $I_1$ ) y corriente de batería ( $I_b$ ) suponiendo que ésta actúa como generador, es:

$$I_p = I_1 - I_b \quad (2.1)$$

Además

$$I_b = \frac{(E - V_1)}{R_b} \quad (2.2)$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} \quad (2.3)$$

Donde  $E$  es la fuerza electromotriz (f.e.m.) de la batería y  $R_b$  su resistencia interna,  $V_1$  es la tensión de trabajo del sistema.

Sustituyendo 2.2 y 2.3 en 2.1 queda :

$$I_p = V_1 \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_b} \right) - \frac{E}{R_b}$$

Y, por tanto, la relación existente entre intensidad del panel,  $I_p$ , y tensión de trabajo  $V_1$ , puede escribirse como:

$$I_p = \frac{(R_b - R_1)V_1}{R_1 R_b} - \frac{E}{R_b} \quad (2.4)$$

Ecuación de una recta cuya pendiente depende de las resistencias de carga ( $R_1$ ) e interna de la batería ( $R_b$ ), y que corta el eje de voltaje ( $V_1$ ) para un valor de tensión  $ER_1 / (R_b - R_1)$ ; dado que la f.e.m. depende del estado de carga de la misma, se concluye que para valores de  $R_b$  y  $R_1$  constantes la recta (4) se desplazará paralelamente así misma, cuando varíe el estado de carga.

La relación tensión - intensidad del panel solar está dada por su ecuación característica:

$$I_p = I_s - I_0(e^{q(V_1 - R_w I_p)/KT} - 1) \quad (2.5)$$

Donde  $I_s$  es la corriente de cortocircuito, por otro lado  $I_0$ ,  $K$ ,  $R_w$  y  $q$  representan respectivamente:

$I_0$  = corriente inversa máxima del panel

$K$  = constante de Boltzman

$T$  = temperatura de trabajo en grados Kelvin

$R_w$  = resistencia interna del panel

$q$  = carga del electrón

El punto de funcionamiento del sistema solar representado en la figura 2.3 vendrá dado, por consiguiente, por la solución del sistema formado por



las ecuaciones (2.4) y (2.5), que se han representado en la figura 2.4 por la recta  $I_p$  y la curva  $I$  respectivamente, por lo tanto el citado punto de funcionamiento resulta ser  $P$ .

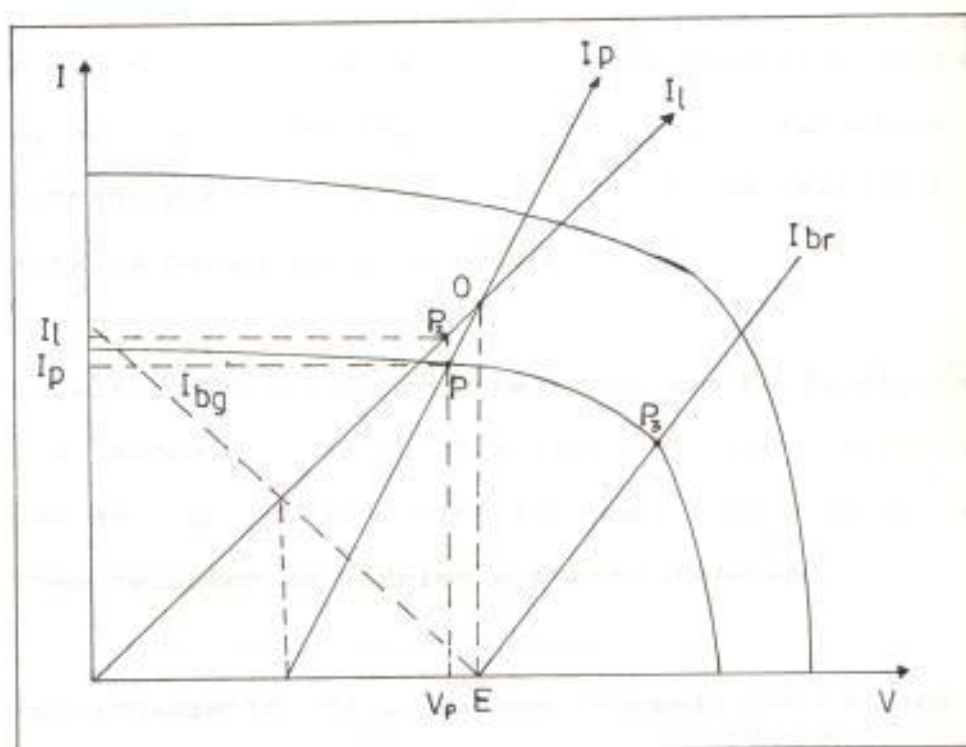


Fig. 2.4 Punto de funcionamiento del sistema solar, para una iluminación que origina una curva de respuesta de panel  $I$ .

En la figura 2.4 se ha representado igualmente la recta  $I_{br}$ , en trazo discontinuo. Observese que la recta de intensidad de batería  $I_{br}$  tiene pendiente negativa, cuando aquella actúa como generador ( $I_{bg}$  en la figura), cuando la batería actúe como recep-

tor será:

$$I_b = \frac{V_1 - E}{R_b} \quad (2.6)$$

Ecuación de una recta que se ha representado en la misma figura como ( $I_{br}$ ). La intensidad  $I_p$  proporcionada por el panel, para el punto de trabajo P, será la dada por la ecuación (2.1).

La situación del punto O representado en la figura 2.4 marca la zona de transición de las condiciones de iluminación, para las que la batería actúa como receptor de corriente ó como generador.

### 2.2.2 Funcionamiento de un sistema formado por un panel solar conectado a una carga sin batería

Cuando se elimina la batería, el punto de trabajo del sistema vendrá dado por el sistema de ecuaciones formado por (2.5) y la ecuación (2.3), solución que se representa en la figura 2.4 por el punto  $P_2$ .

### 2.2.3 Funcionamiento de un sistema formado por un panel solar conectado directamente a una batería

Si en el sistema no existe carga, cuando la batería está recibiendo energía desde el panel solar, el punto de funcionamiento vendrá dado por la solución del sistema formado por la ecuación (2.5) y la ecuación (2.6).

El punto de trabajo del sistema panel solar - batería sería por tanto el punto  $P_3$  representado en la figura 2.4.

En la figura 2.5 se representa el desplazamiento del punto de trabajo del sistema cuando varía el nivel de radiación, a medida que se va cargando la batería y aumentando por tanto su f.e.m..

Es evidente que si, manteniendo constante el nivel de insolación y el estado de carga de la batería, y si se introduce carga en el sistema, ésta provocará una caída de tensión y una subida de la intensidad de corriente que produce el panel solar, pasando el punto de funcionamiento de  $P_3$  a P (figura 2.4).

Las variaciones de corriente y tensión serán distintas según la zona de curva V-I del panel en que nos encontremos ya que, para zonas próximas al co-

do de la curva, las variaciones de intensidad serán lógicamente mayores. En cualquier caso, si se trabaja en la zona horizontal de la curva, las variaciones de carga conectada producen muy poca variación en intensidad (corriente), por lo tanto el panel solar se comportará como una fuente de corriente constante.

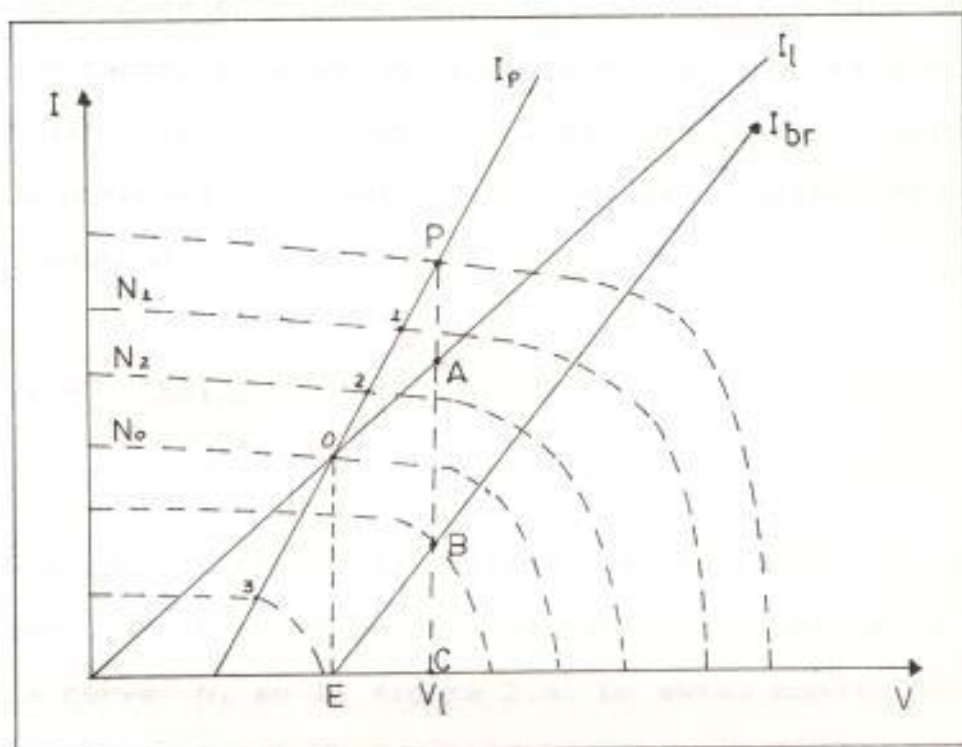


Fig. 2.5 Variación del punto de trabajo según varía el nivel de iluminación.

#### 2.2.4 Funcionamiento del sistema sin producción de corriente por el panel solar

En la figura 2.6 se ha representado la recta  $I_p$

para un determinado valor de  $R_1$  y de f.e.m. (batería). Igualmente se ha representado la curva de respuesta del panel ( $N_1$ ), de forma que ésta corta al eje  $V_p$  en el mismo punto que lo corta la recta  $I_p$ .

En estas condiciones de iluminación no habrá producción de corriente ( $I_p$ ) por el panel solar y, por tanto, éste estará trabajando bajo una tensión igual a la tensión de vacío. El voltaje de trabajo se obtendrá haciendo  $I_p = 0$ , en la ecuación (4), quedando:

$$V_1 = \frac{ER_1}{R_1 - R_b} \quad (2.7)$$

Que coincidirá con la tensión de vacío del panel para las condiciones de iluminación que determina la curva  $N_1$  en la figura 2.6. En estas condiciones, los valores de intensidad de carga  $I_1$  y de la intensidad proporcionada por la batería  $I_{b0}$  serán idénticas y su valor será:

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1} = \frac{E}{R_b - R_1}$$

Que es idéntico al valor que resultaría de susti-

tuir (2.7) en la ecuación (2.2) de funcionamiento de la batería.

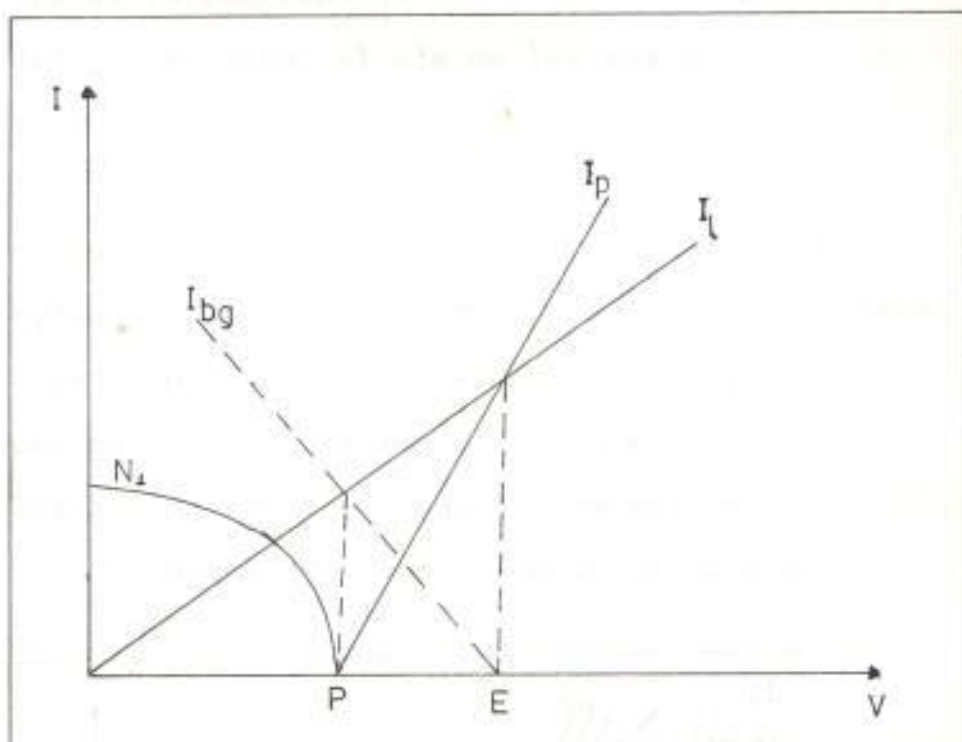


Fig. 2.6 Situación de la curva de respuesta del panel solar ( $N_s$ ) y de la recta  $I_p$ , en el que la corriente de carga es suministrada exclusivamente por la batería.

### 2.2.5 Tiempo de carga y descarga de la batería

La batería, sometida a procesos de carga y descarga, debe cuidarse en el sentido de que tales valores no sobrepasen los permisibles y, en resumen los valores de su f.e.m. han de estar compren-

dados entre un máximo y un mínimo. Supongamos que cuando comienza a amanecer, la f.e.m. de la batería es la correspondiente a la recta  $I_{pb}$ , (figura 2.7), que corta al eje de las abscisas ( $V_1$ ) en el punto B.

Es evidente que para esta situación, cuando la curva  $V-I$  de respuesta del panel sea la representada según  $N_1$ , la intensidad  $I_p$  sería negativa y por tanto, la batería se descargará sobre el panel solar a no ser que, como sucede realmente se colocará un diodo de bloqueo que lo impedirá.

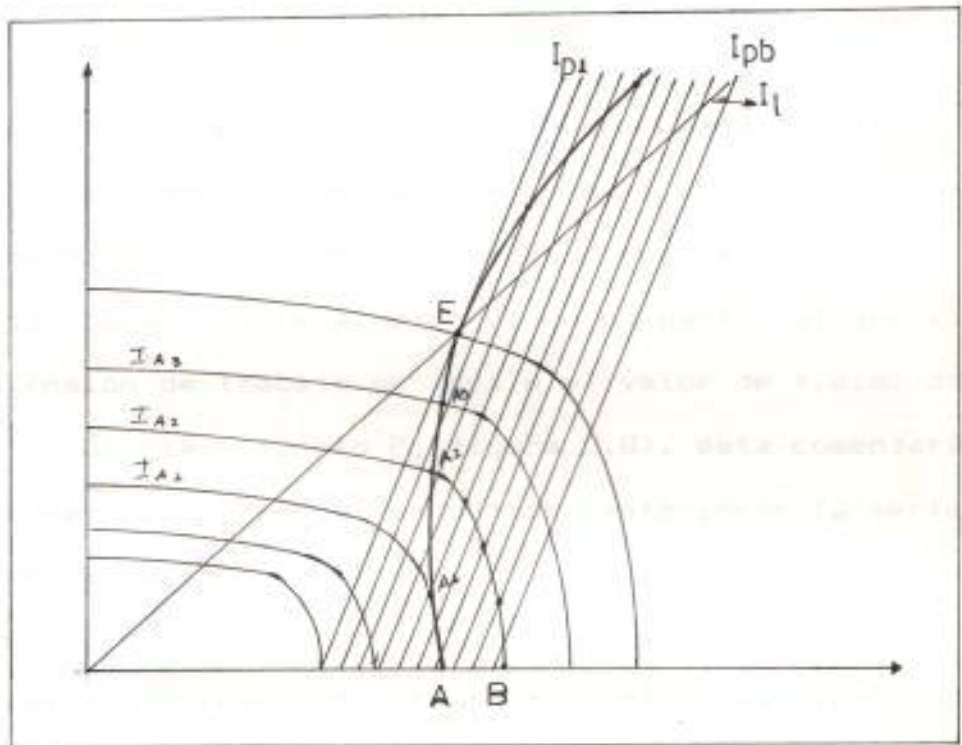


Fig. 2.7 Desplazamiento del punto de trabajo.



Habría, por otra parte, descarga de la batería sobre la carga  $R_1$ . En estas condiciones su f.e.m. irá disminuyendo y la recta  $I_p$  se desplazará paralelamente así misma, hacia la izquierda.

Dado que, según aumenta el nivel de insolación, la curva V-I de respuesta del panel solar va desplazándose hacia la derecha. Se llegará a una situación en que la curva V-I y la recta  $I_{pb}$  se cortan en el punto A, en que, aunque no se colocara el diodo de bloqueo que impida la descarga de la batería sobre el panel solar, esta descarga no tendrá lugar por ser nulo el valor de  $I_p$ .

Es claro que, según se va incrementando la iluminación desde el amanecer, sin que exista carga conectada, sólo cuando la correspondiente curva V-I del panel corte al eje  $V_1$  en un punto tal que la tensión de trabajo se iguale al valor de f.e.m. de la batería, (punto P, figura 2.8), ésta comenzará a cargarse, ya que en puntos anteriores  $I_p$  sería negativa.

Así pues, cuando la iluminación llega al nivel correspondiente a la curva  $I_p$ , la batería comienza a cargarse y a medida que va subiendo la ilumina-

ción, los puntos de funcionamiento del sistema serían  $A_1$ ,  $A_2$ , etc hasta alcanzar el punto A, correspondiente al valor máximo del día, sobre la curva N. Puede comprobarse en la figura, para un punto de trabajo como el  $A_1$ , el valor de la f.e.m. E es menor que la tensión  $V_1$ , por lo que la batería estará cargándose.

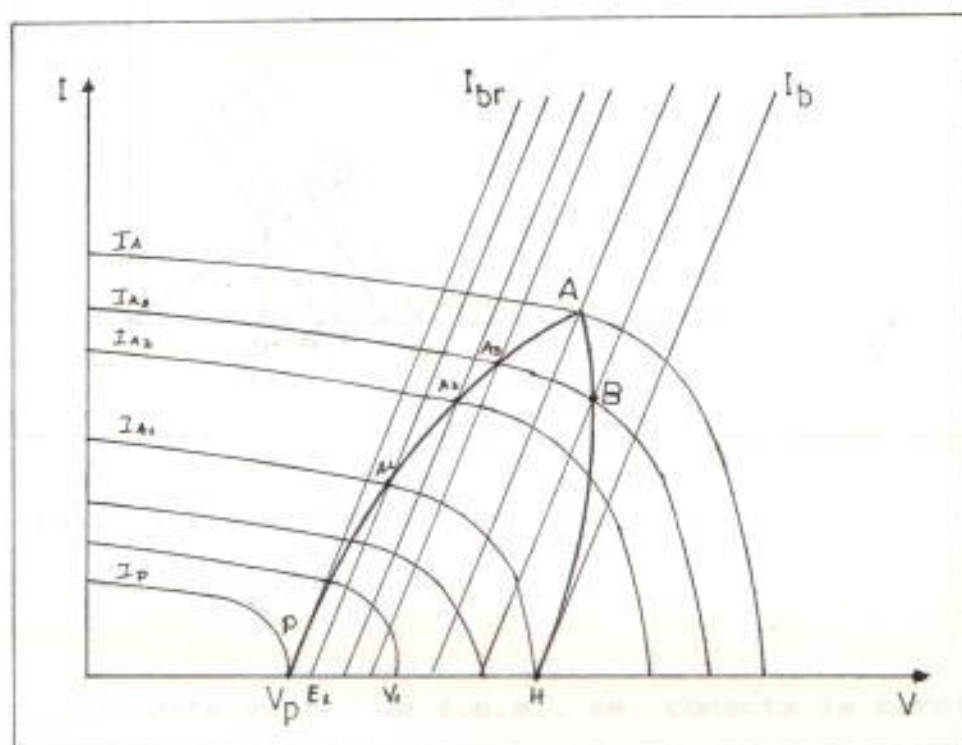


Fig. 2.8 Proceso de carga de la batería en el día.

Cuando llega el atardecer, comienza a bajar el nivel de iluminación, la batería seguirá cargándose hasta que se llegue al punto H, en que la f.e.m.

vuelva a ser tal que  $I_b$  corte al eje  $V_1$  en un punto en que la tensión es nuevamente igual a la f.e.m..

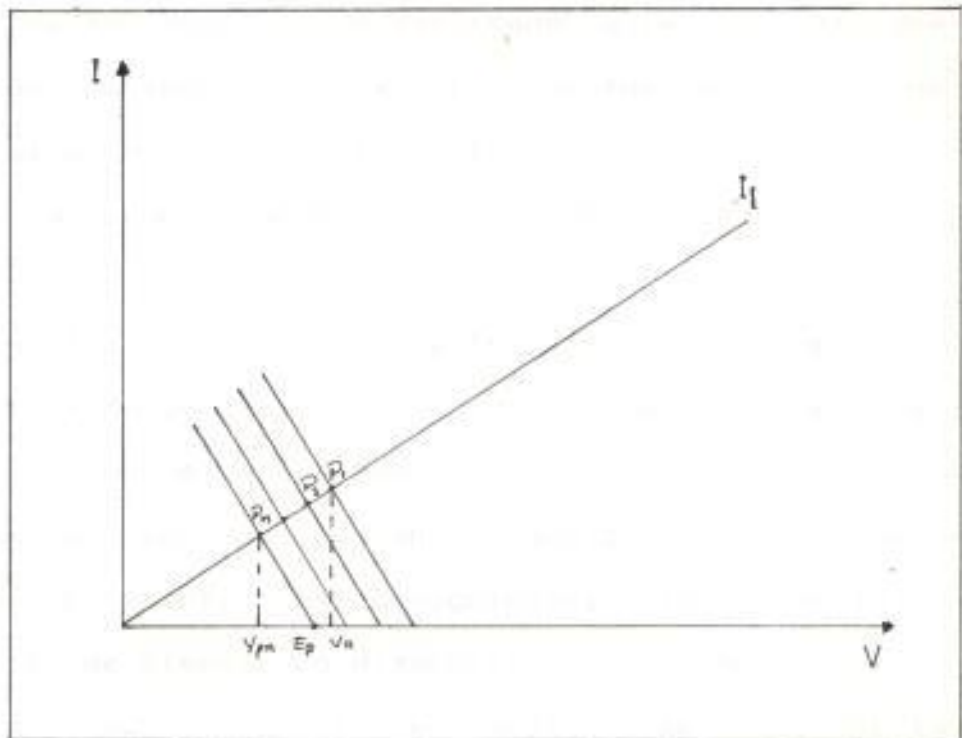


Fig. 2.9 Proceso de descarga de la batería durante la noche.

Si con este valor de f.e.m., se conecta la carga durante la noche, la batería comenzará a descargarse, decreciendo la f.e.m. desde  $E_n$  hasta el valor de f.e.m. correspondiente a P ( $E_p$ ), de la figura 2.8 (véase también figura 2.9). De la misma manera decrece la tensión de trabajo desde  $V_n$  hasta  $V_{pn}$ .

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 (figura 2.11).

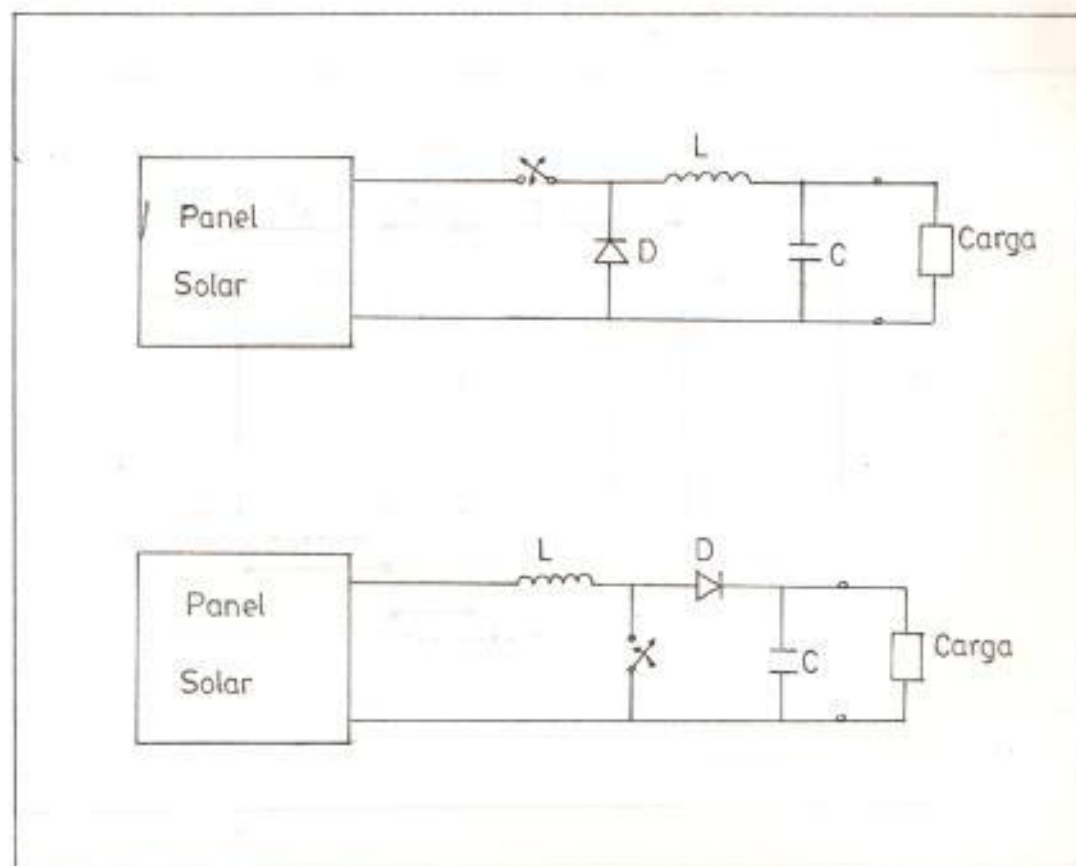


Fig. 2.10. Esquema de principio para la formación de una impedancia variable.

De las dos modalidades señaladas, la variante 2.10.b no resulta aplicable en este caso, puesto que supondría cortocircuitar la batería durante intervalos determinados de tiempo. Además incluso aunque no existiera este

inconveniente, la realización de la impedancia variable no reportaría beneficios ya que, si bien el panel suministraría la máxima potencia, ello no quiere decir que el exceso de potencia extraída se aprovechara realmente, pues se disiparía en forma de calor en el circuito.

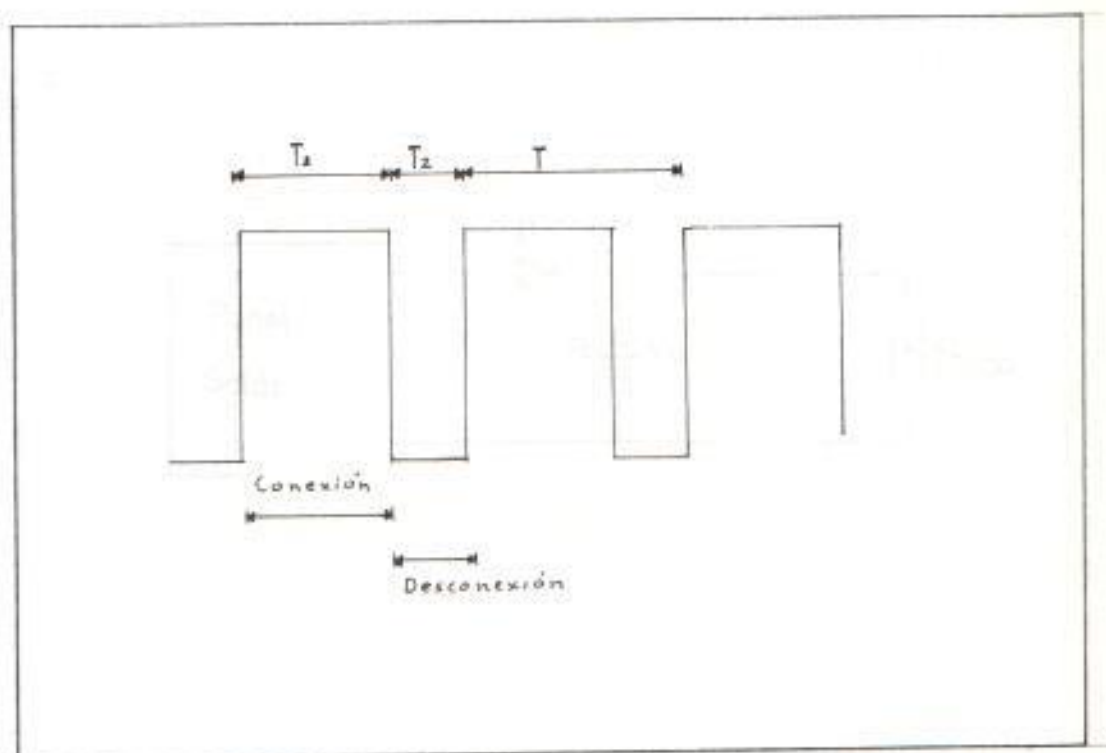


Fig. 2.11 Tiempo de conexión/desconexión del interruptor electrónico. acoplamiento directo a batería y

Por consiguiente, resta como alternativa viable en este caso la variante 2.10.a. La obtención de este resultado puede analizarse también desde una perspectiva física complementaria.

Inv. No. \_\_\_\_\_

En la figura 2.12 se observa que la batería, conectada directamente al panel, impone a éste su tensión  $V_b$ . El panel, sin embargo, para ceder la máxima potencia debería proporcionar intensidad a una tensión  $V_{pm}$  distinta y superior a  $V_b$ .

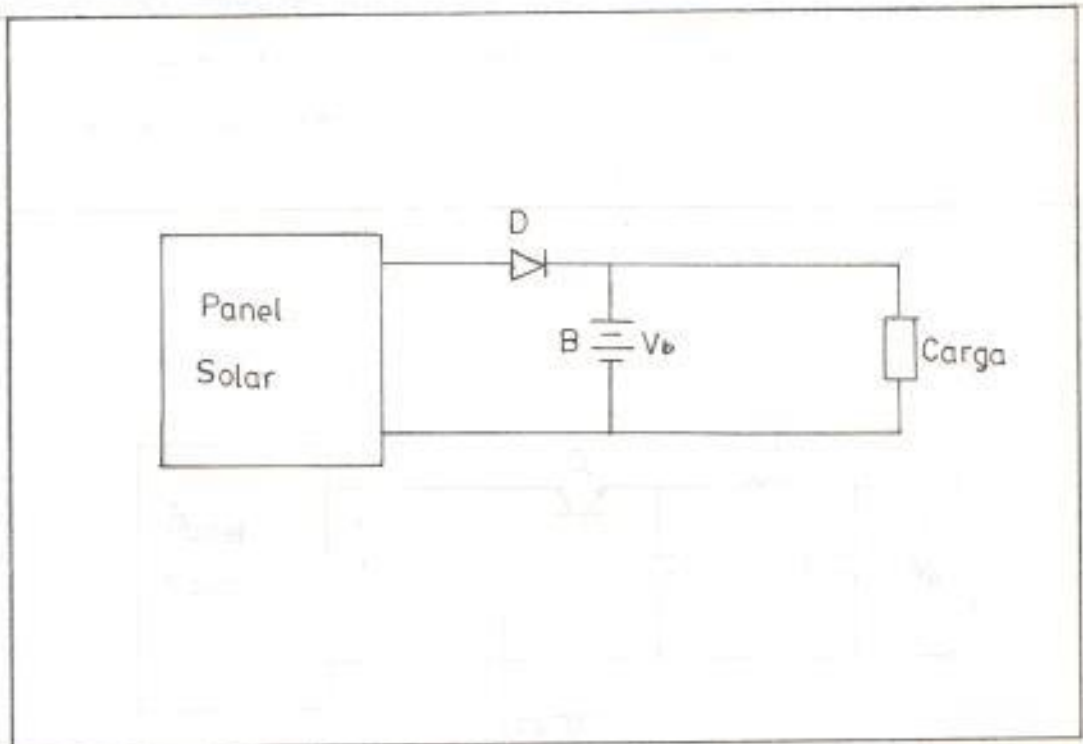


Fig. 2.12 Esquema simplificado de una central fotovoltaica con acoplamiento directo a batería y salida en continua.

Tanto  $V_b$  como  $V_{pm}$  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.). Por consiguiente, se requiere un-

"transformador de corriente continua de relación variable"; es decir un dispositivo que transforme o acople, sin pérdidas, dos tensiones continuas, cuyos valores pueden variar dentro de un cierto margen.

Un primer esquema de principio, en el que se ha usado como interruptor electrónico un transistor, se muestra en la figura 2.13.

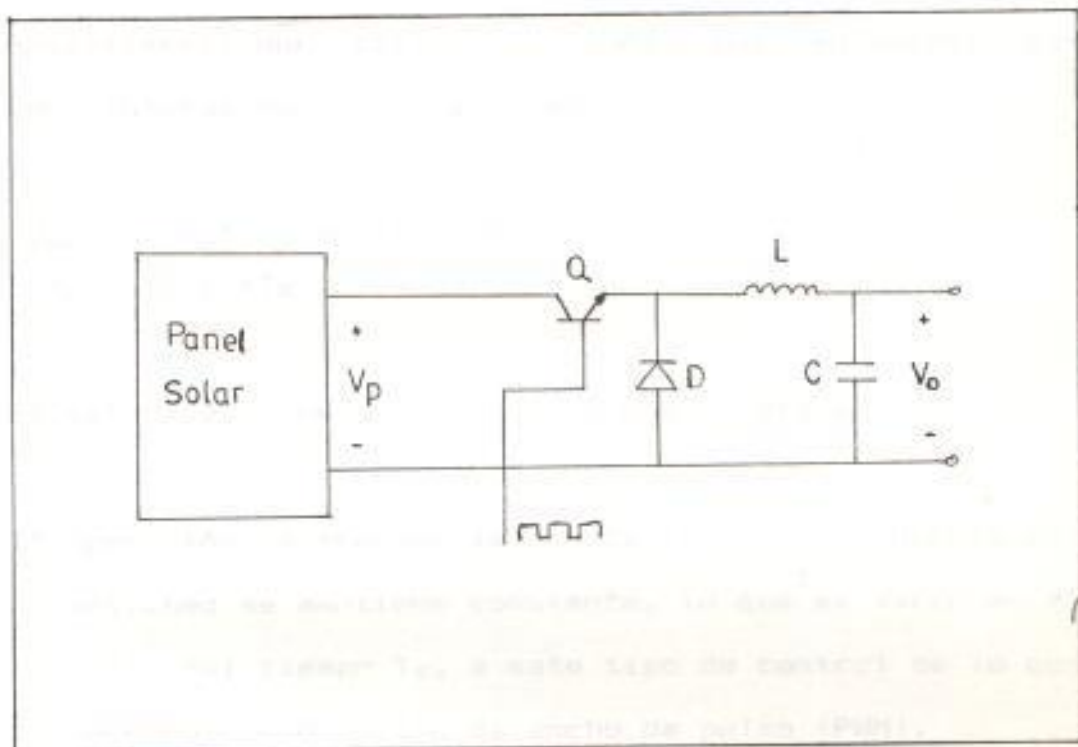


Fig. 2.13 Acoplamiento de dos tensiones continuas diferentes mediante transistores.

Dicho esquema, como se ve, pertenece al tipo general representado en la figura 2.10.a. Si se hace funcionar al



transistor con una frecuencia  $f$ , de periodo  $T = 1/f$ , siendo los intervalos de conducción y bloqueo  $T_1$  y  $T_2$  respectivamente (figura 2.11), para el valor medio  $V_{oB}$  de la tensión  $V_o$  se cumple :

$$V_{oB} = \frac{1}{T} \int_0^{T_1} V_p dt = \frac{T_1}{T_1+T_2} V_p \quad (2.8)$$

La relación de transformación de tensiones  $V_{oB}/V_p$  puede modificarse; por tanto, regulando convenientemente dichos intervalos, y su valor es :

$$\frac{V_{oB}}{V_p} = \frac{T_1}{T_1+T_2} = \frac{T_1}{T} = K$$

El valor de  $K$  puede variarse de dos maneras:

- 1) Operación a frecuencia constante.- La frecuencia de switcheo se mantiene constante, lo que se varia es el ancho del tiempo  $T_1$ , a este tipo de control se lo conoce como modulación de ancho de pulso (PWM).
- 2) Operación a frecuencia variable.- La frecuencia de switcheo ( $f$ ) se varia, manteniendo constante el tiempo  $T_1$  o el tiempo  $T_2$ , a este tipo de control se le conoce como modulación de frecuencia.

Con este tipo de control, la frecuencia tiene que variarse en un gran rango, para tener una amplia variación del voltaje de salida. Además este tipo de control produce una serie de armónicas y frecuencias no predecibles, y ocasionan que el diseño del filtro sea dificultoso.

#### 2.4 SISTEMAS DE DATOS MUESTREADOS

Los sistemas que contienen tanto señales discretas como continuas, es conocido como sistemas de datos muestreados. Los sistemas de control de datos muestreados están sujetos a algunos problemas dentro de los cuales los más importantes son:

- a) Si la tasa de muestreo es demasiada baja, problemas de estabilidad pueden ocurrir.
- b) Debido a la longitud de palabra finita del microprocesador, se producen truncaciones que pueden causar bien sea problemas de estabilidad, o una respuesta de transientes no deseable, o algún error no aceptable en estado estable.

En el presente trabajo, es suficiente la longitud de palabra del microprocesador utilizado para cumplir con los

Por otro lado, "software" se refiere a los programas, los cuales están constituidos por instrucciones de máquina necesarias para que el computador evalúe y reduzca los datos de entrada y genere la salida requerida.

Una vez que ha sido establecida la circuitería necesaria para medir la variable dinámica, proveer control sobre ella y transformar las señales a formato digital, el resto de las operaciones de control es programación.

## CAPITULO III

DISEÑO DEL CONTROLADOR DIGITAL APLICADO A UN PROTOTIPO DE CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL LABORATORIO DE ENERGIA SOLAR DE LA ESPOL

### 3.1 PROTOTIPO DE CENTRAL SOLAR FOTOVOLTAICA

#### 3.1.1 Generalidades

El estudio se realizó a partir de un prototipo de central solar fotovoltaica construido en el Laboratorio de Energía Solar de la ESPOL.

El generador fotovoltaico, que sirve de soporte experimental, se construyó a partir de un simulador de panel solar que tiene una tensión DC (voltaje) del orden de los 28 voltios con una corriente aproximada de 2.2 amperios.

El generador esta asociado con una batería para almacenamiento de energía, en nuestro caso utilizamos dos baterías de 6 voltios nominales a 2 am-

Dr. No. \_\_\_\_\_

perios, que la conectamos en serie para obtener 12 voltios, ya que la tensión de alimentación de la carga es de 12 voltios.

El elemento receptor que consume la energía producida esta representado por una carga resistiva.

La transferencia de energía tanto del generador fotovoltaico a la batería y carga, como de la batería a la carga se realiza por medio de convertidores de corriente continua a corriente continua.

A continuación (ver figura 3.1) se presenta un diagrama de bloques general del prototipo de central solar fotovoltaica, donde se muestra el generador fotovoltaico (simulador de panel solar), los elementos de almacenamiento (baterías), los convertidores de energía (convertidor cc/cc), la carga y todos los elementos que forman parte de la unidad de control que hacen que el sistema sea autónomo.

### 3.1.2 Simulador de panel solar

Para proporcionar una tensión al vacío del orden de 30 voltios y una corriente de cortocircuito de

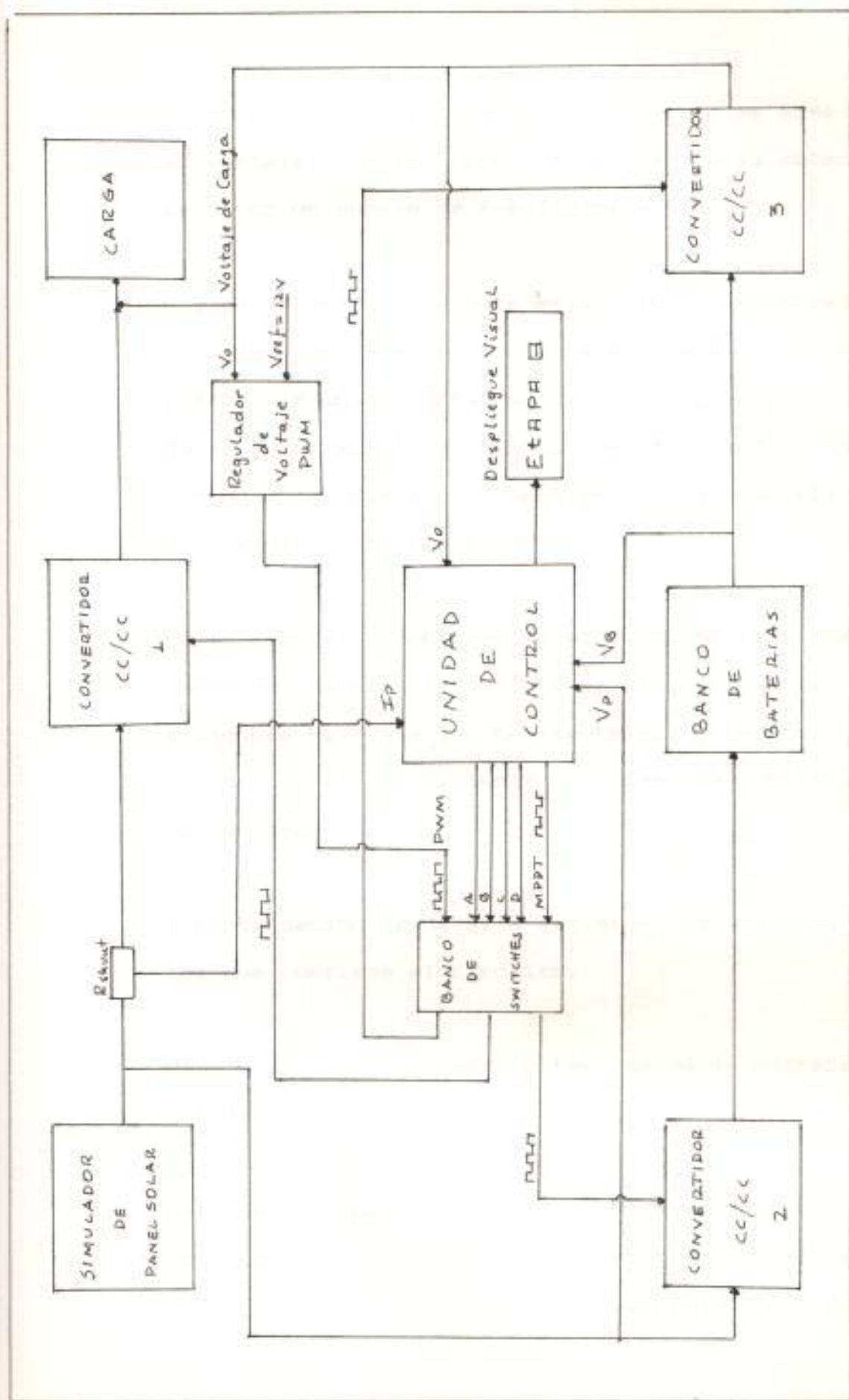


Fig. 3.1 Diagrama de bloques del prototipo de Central Solar Fotovoltaica

2 amperios. El circuito que se utilizó se basa en un montaje colector común (transistor  $Q_1$ ), polarizada por un puente de resistencias ( $R_1$  y  $R_2$ ).

Una parte de la corriente emisor ( $Q_1$ ), se deriva a la unión base - emisor del transistor  $Q_2$  a fin de introducir una contra reacción no lineal, imagen de la característica  $I_{be}$  ( $V_{be}$ ) de éste, para producir una característica semejante a la obtenida en una célula fotovoltaica.

En la figura 3.2 se muestra el circuito del simulador de panel solar, donde se observa que la resistencia  $R_w$  fija la corriente de cortocircuito, es decir el equivalente del nivel de insolación del generador.

A continuación se detalla el valor de los elementos que contiene el circuito.

Partiendo de los siguientes datos de entrada y salida:

Dato de entrada

Voltaje  $V_s = 32$  V

Dato de salida

Voltaje  $V_p = 30$  V

Corriente  $I_p = 2$  A



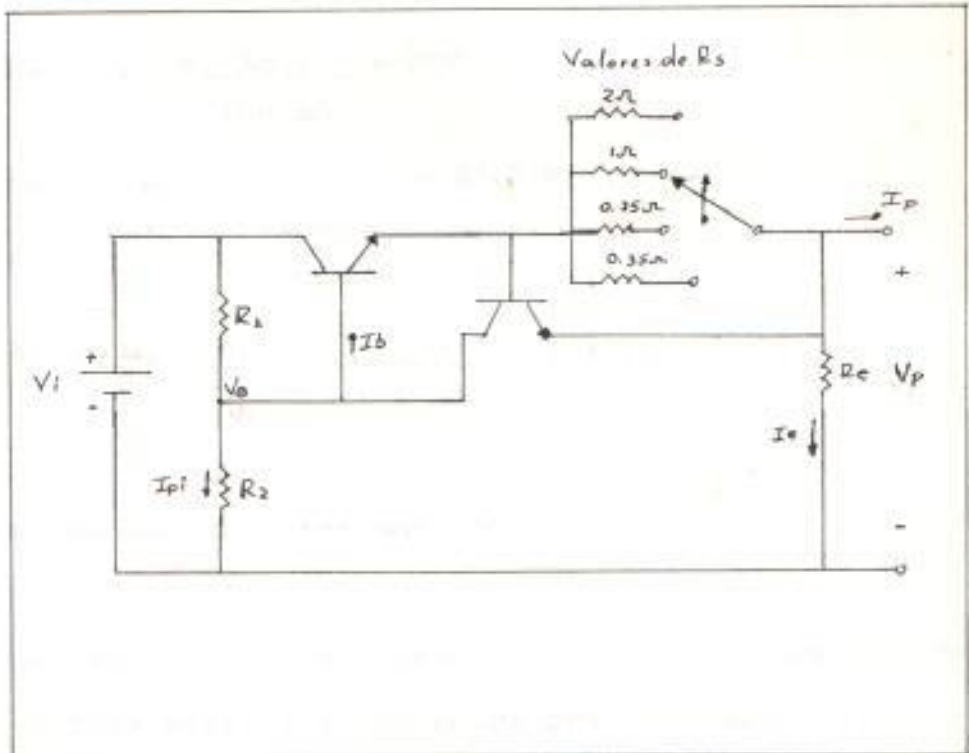


Fig. 3.2 Simulador de panel solar

Definiendo una corriente de base  $I_b = 0.1 \text{ mA}$  tendremos  $I_e = 100 \text{ mA}$  si el beta del transistor  $\beta$ , es 1000.

Además  $I_{p1} = 10 I_e$ , entonces  $I_{p1} = 1 \text{ mA}$

Por otro lado  $V_b = V_p + 0.7 = 30.7$  despreciando la caída de voltaje en  $R_w$ .

Con estos valores de voltaje y corriente calcula-

mos los valores de resistencias.

$$R_w = \frac{V_{ps}}{I_w} = \frac{30 \text{ V}}{100 \text{ mA}} = 300$$

$$R_2 = \frac{V_{b_1}}{I_{p_1}} = \frac{30.7 \text{ V}}{1 \text{ mA}} = 30.7 \text{ K}$$

$$R_1 = \frac{V_i - V_{b_1}}{I_{p_1} + I_w} = \frac{1.3 \text{ V}}{1.1 \text{ mA}} = 1.1818 \text{ K} \quad 1.2 \text{ K}$$

### 3.1.3 Elementos de interconexión

La regla de estos elementos es la transferencia de energía eléctrica obtenida del generador fotovoltaico hacia la carga y/o hacia la batería, dentro de cada caso si la potencia disponible en el generador es suficiente, en caso contrario; de la batería a la carga, si no hay suficiente potencia o ninguna.

#### 3.1.3.1 Tipo de convertidor utilizado

El tipo de convertidor que se utilizó se basa en el modelo general que se presentó en el capítulo II, y es el que nos va a servir para simular la impedancia variable, que vista desde el panel sea la impe-

dancia óptima, para que entregue la máxima potencia. Además este convertidor dependiendo de la etapa en que trabaje realizará la función de regulador de voltaje.

A este convertidor se lo conoce con el nombre de convertidor reductor de tensión (Buck) ver figura 3.3.

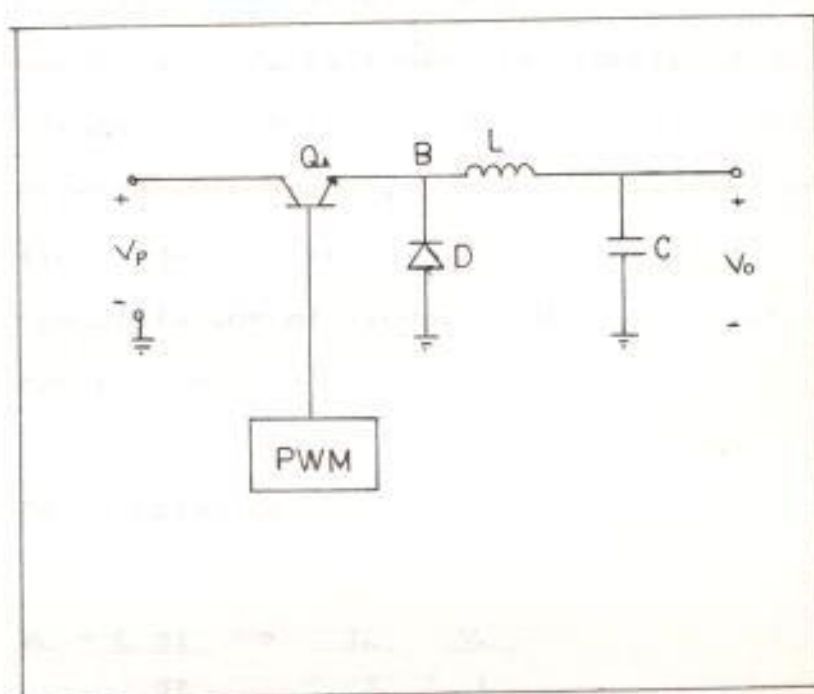


Fig. 3.3 Convertidor tipo Buck

El circuito trabaja de la siguiente manera:  $Q_1$  es usado como un switch que tiene tiempos  $T_{on}$  y  $T_{off}$  controlados por un modulador de ancho de pulso (PWM).

Cuando  $Q_1$  está en saturación (ON), la potencia es conducida desde  $V_p$  hacia la carga a través del inductor  $L$ . El voltaje en el punto B es aproximadamente igual a  $V_p$ , el diodo está polarizado en sentido inverso y el capacitor  $C$ , se está cargando.

Cuando  $Q_1$  está en corte (OFF), el inductor  $L$  fuerza a que el voltaje en el punto B sea negativo, para mantener la corriente que almacena en ella, el diodo es polarizado directamente, por lo que va existir un flujo de corriente a través de la malla compuesta por el diodo, inductor, capacitor y carga.

De la relación

$$V_L = L \frac{di}{dt} \Rightarrow \frac{I_L}{T_{ON}} = \frac{V_L}{L}$$

En el tiempo  $T_{ON}$  tenemos que:

$$(I_L)_{ON} = \frac{V_p - V_o}{L} \cdot T_{ON}$$

Y, en el tiempo  $T_{OFF}$

$$(I_L)_{\text{OFF}} = \frac{-V_{\text{CE}}}{L} \cdot T_{\text{OFF}}$$

De aquí podemos obtener en forma aproximada los valores de corriente cuando el transistor está en saturación, o cuando está en corte.

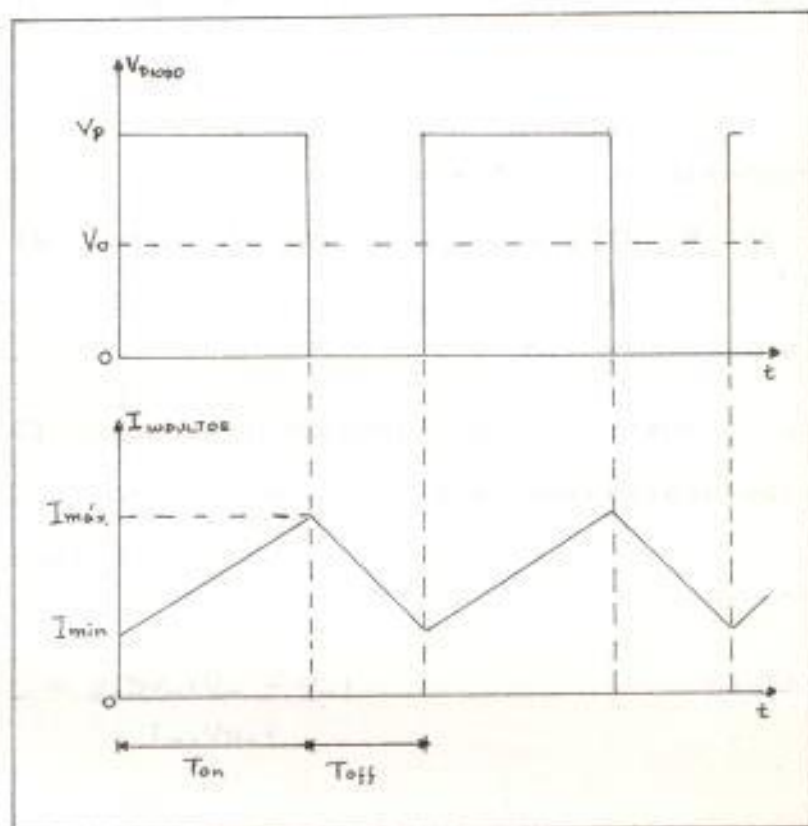


Fig. 3.4 Formas de onda que corresponden a la corriente que circula por el inductor.

Cuando el transistor está en saturación el

valor de corriente es:

$$I_L = \frac{V_p - V_o}{L} \cdot t + I_{min} \quad (3.1)$$

Y, cuando está en corte:

$$I_L = \frac{-V_o}{L} \cdot t + I_{max} \quad (3.2)$$

En la figura 3.4 se muestran las diferentes formas de onda que representan a las ecuaciones descritas.

El valor de inductancia y capacitancia ( $\theta$ ) que forman parte de este convertidor esta dada por:

$$L = \frac{2.5V_o(V_p - V_o)}{I_o \cdot V_p \cdot f} \quad (3.3)$$

$$C = \frac{(V_p - V_o)V_o \cdot T^2}{8 V_o \cdot V_p \cdot L} \quad (3.4)$$

Donde L esta dado en henrios, C en faradios, f en herz y  $V_o$  es el rizado del voltaje de salida.

Además  $T = 1/f$ , esta dado en segundos.

### 3.1.3.2 Determinación de la frecuencia de operación de los convertidores

El dimensionamiento de los componentes que integran el equipo regulador y el del seguimiento del punto de máxima potencia de una central fotovoltaica está íntimamente ligado a la frecuencia. Como puede verse que el aumento de la frecuencia conduce a una reducción lineal de las dimensiones requeridas para el condensador y la bobina (formulas 3.3 y 3.4).

Desde este punto de vista es evidente la conveniencia de elejir una frecuencia muy alta. Esto, sin embargo, no es posible por las siguientes razones:

- a) Un aumento de la frecuencia ocasiona un crecimiento muy rápido de las pérdidas en las bobinas: pérdidas por corrientes parasitas (proporcionales al cuadrado de la frecuencia) y pérdidas por histéresis (proporcionales a la frecuencia).



b) El uso de frecuencias elevadas determina que la potencia disipada por el interruptor electrónico aumente notoriamente (pérdidas de conmutación).

El conjunto de estos factores causan que el rendimiento del sistema disminuya. Esto hace ver que en la elección de la frecuencia hay que llegar a un compromiso.

Sopesando los diferentes factores contrapuestos, parece conveniente elegir como frecuencia de funcionamiento más adecuado una de las situadas en la zona que se extiende desde 400 - 2000 Hz. (7).

Así como frecuencia de funcionamiento, luego de un previo cálculo de tanteo se fija a 1000 Hz. La acción de control se realiza en el control de los tiempos  $T_{on}$  y  $T_{off}$ .

### 3.1.3.3 Modulador de ancho de pulso

Como se ha dicho la tensión de salida del convertidor depende de los tiempos de conducción ( $T_{on}$ ) y de bloqueo ( $T_{off}$ ), del transistor. La acción de comando se lo

realiza por medio de un modulador de ancho de pulso (PWM).

Existen diferentes maneras de realizar esta modulación como:

Utilizar un circuito analógico que defina los tiempos de conducción y de bloqueo del interruptor (transistor) a partir de un voltaje de control, la información se transmite en forma analógica entre el elemento de control y el modulador asociado con el convertidor.

Utilizar un circuito digital que defina los tiempos de abertura, o cierre del interruptor, el voltaje de control analógico es digitalizado a través de un convertidor A/D, para de esta manera se pueda realizar el control de los tiempos  $T_{on}$  y  $T_{off}$ .

A continuación se explica los dos tipos de moduladores utilizados.

a) Modulador PWM Analógico.- Este modulador se caracteriza por la simplicidad

del mismo, y se basa en el LM 3524 de National. Este circuito integrado contiene toda la circuitería de control necesaria para implementar: reguladores de switcheo de cualquier polaridad, transformadores de energía acoplado a convertidores DC/DC y algunas otras aplicaciones que lo pueden consultar en la referencia 8.

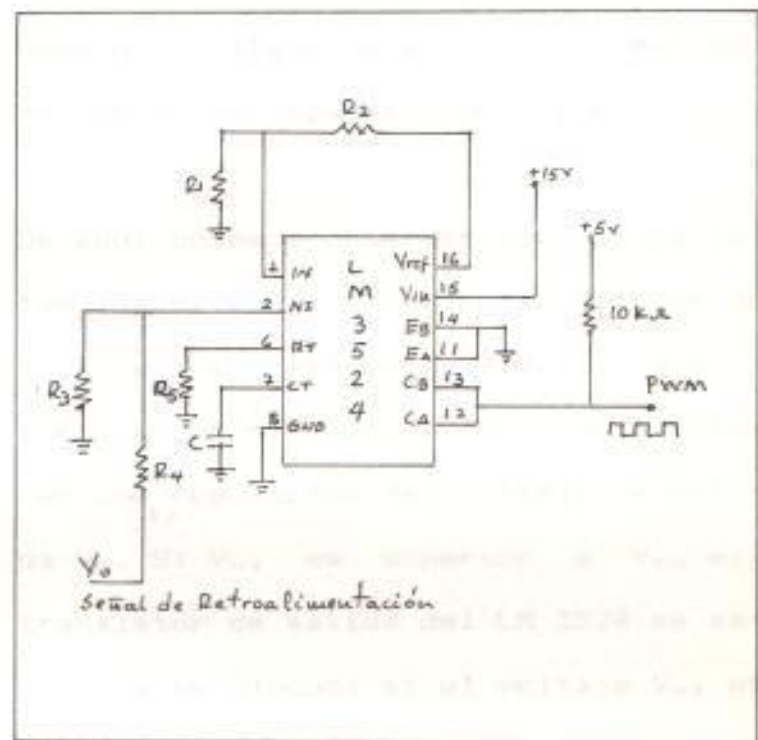


Fig. 3.5. Modulador PWM analógico.

En nuestro caso se utilizó este integrado como regulador de voltaje (12 V),

y el principio en que se basa para regular, es variando el ancho de pulso de la señal de salida (PWM). En la figura 3.5 se muestra el diagrama de conexión utilizado.

La frecuencia de operación de este modulador esta dado por  $f = 1/1.1R_0.C$ . Como  $f = 1\text{Khz}$  y si el valor de  $R_0$  es igual a  $10\text{ K}$  el valor de  $C$  es  $0.09\text{ uf}$ . Como no existe este valor en el mercado se compro un capacitor de  $0.1\text{ uf}$ .

De aqui podemos observar que las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ , sirve para obtener un voltaje de referencia ( $V_{\text{ref}}$ ), que se compara con el voltaje ( $V_{\text{in}}$ ) para obtener una regulación del voltaje de salida  $V_o$ . Si  $V_{\text{in}}$  es superior a  $V_{\text{ref}}$  el transistor de salida del LM 3524 se satura, y se bloquea si el voltaje  $V_{\text{in}}$  es inferior a  $V_{\text{ref}}$ .

Para el calculo de los valores de resistencia se baso en lo siguiente:

$$V_{in} = V_{ref} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{y} \quad V_{ref} = 5 \text{ V.}$$

Si  $R_1 = R_2 = 10 \text{ K}$ , entonces  $V_{in} = 2.5 \text{ V}$

Además

$$V_{in} = V_o \cdot \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Y como  $V_{in} = V_{ref}$  y si a  $R_3$  toma el valor de  $10 \text{ K}$  se tiene que:

$$R_4 = (4V_o - 10 \text{ V}) \text{ K} / \text{V}$$

Para un voltaje  $V_o = 12 \text{ V}$  se tiene que el valor de resistencia es:

$$R_4 = 38 \text{ K}$$

- b) **Modulador PWM digital.**- Este modulador es particularmente destinado a comandar los convertidores, que van a simular la impedancia variable para obtener la máxima potencia.

Este modulador se lo realiza con dos

contadores programables controlados por el microcomputador SDK-85 por medio de una interface (hardware y software). Un esquema inicial del circuito se muestra en la figura 3.6

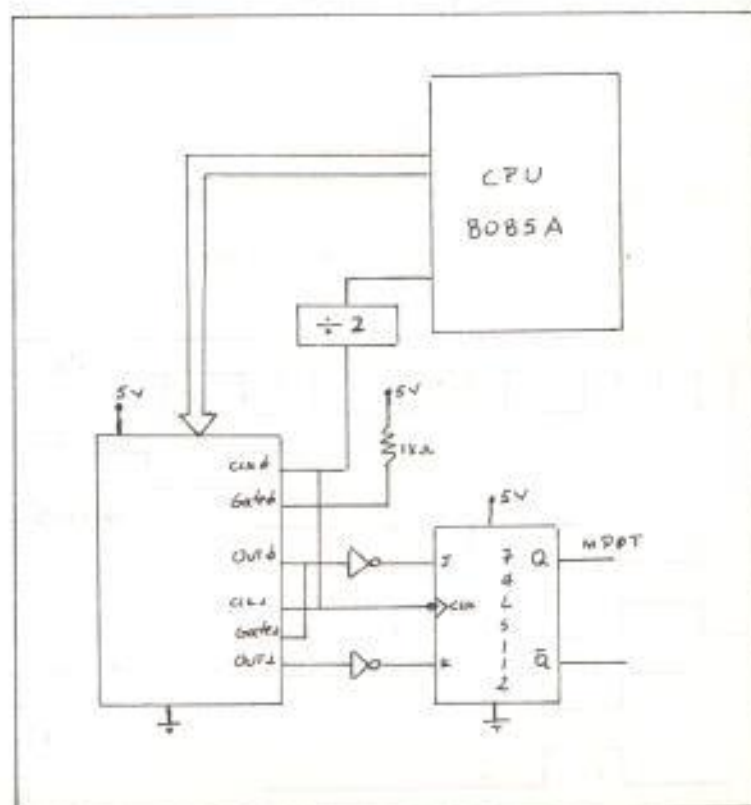


Fig. 3.6 Modulador PWM digital.

El circuito integrado 8253 de Intel que se utilizó para realizar este modulador, contiene tres contadores programables independientes de 16 bits (información adicional consultar Ref. 9).

Donde el contador #0, está programado para que funcione como generador de frecuencia (modo 2), mientras que el contador #1, está programado de tal manera que, cuando el contador #0 inicie la cuenta, esté empezando a contar (modo 5).

El principio de funcionamiento de este modulador es el siguiente:

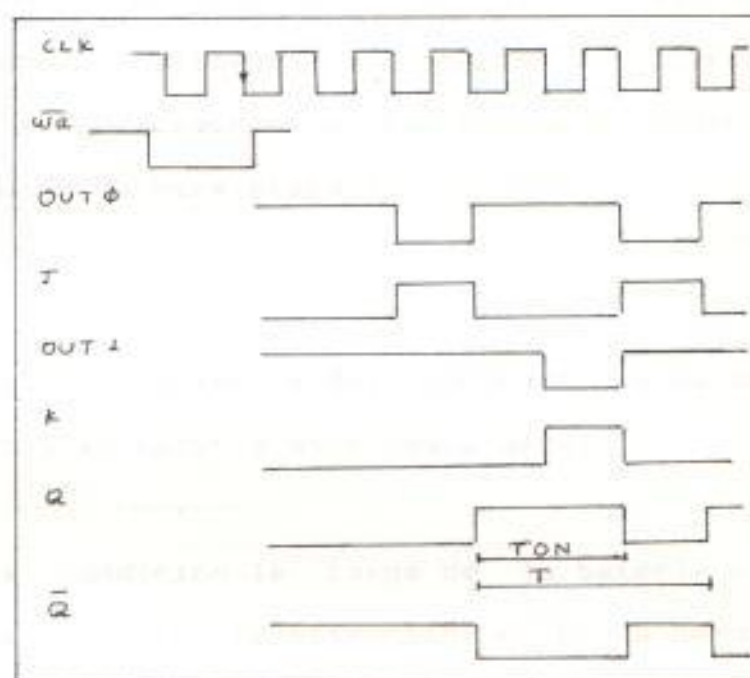


Fig. 3.7 Diagrama de tiempo del modulador PWM digital.

El contador #0 genera la frecuencia de



- a) Etapa 0.- En esta etapa nos encontramos con la situación que la potencia del generador es igual a cero (radiación luminosa ausente), y batería descargada.

Este caso se puede dar únicamente si las condiciones de dimensionamiento de la Central no ha sido la correcta.

Para saber si el generador fotovoltaico esta en condiciones de alimentar a la carga o no, procedemos periódicamente a una prueba de potencia. Dentro de esta etapa la carga no es alimentada.

- b) Etapa 1.- La potencia del generador es mayor que cero y la batería esta descargada.

Con esta condición la carga de la batería es prioritaria sobre la alimentación de la carga que es interrumpida, debido a que se necesita tener la batería cargada, para que pueda suministrar energía a la carga, cuando en periodos de poca iluminación (durante el día), el generador fotovoltaico no pueda hacerlo.

corte del convertidor a partir del reloj del microcomputador. En cada inicio de cuenta del contador #0, empieza la cuenta el contador #1, de tal manera que el contador #0 fija la frecuencia de operación del convertidor, y, el contador #1 elabora el tiempo de apertura y cierre del interruptor (ver Fig. 3.7).

## 3.2 DISEÑO DEL CONTROLADOR DIGITAL

### 3.2.1 Funcionamiento del Sistema

Dentro de un sistema autónomo, los diferentes elementos que forman parte de éste, no funcionan al mismo tiempo. De acuerdo a esto, el algoritmo que se va a implantar en el microcomputador va a tener en cuenta las diferentes situaciones que se pueden presentar al controlar las diferentes elementos del prototipo de central fotovoltaica.

Así el funcionamiento del sistema se compone de una serie de secuencias que lo vamos a conocer como etapas. En total se han definido seis etapas y son las siguientes.

- c) Etapa 2.- La potencia del generador es mayor que la potencia del receptor (carga), y la batería esta en proceso de carga.

Estamos en esta etapa cuando la batería este a un nivel de carga apropiado. Así la alimentación de la carga esta asegurada, y el excedente de potencia es enviado a la batería para su completa carga.

- d) Etapa 3.- La potencia del generador es mayor que la potencia de la carga, y la batería esta cargada.

En este caso el generador fotovoltaico produce suficiente potencia para alimentar a la carga, y el excedente de potencia que se pueda obtener no es utilizado.

- e) Etapa 4.- La potencia del generador es inferior a la potencia del receptor, y la batería cargada.

El suministro de potencia por parte del generador fotovoltaico es insuficiente para alimentar a la carga. Así la falta de potencia para el

receptor es suministrada por la batería.

- f) Etapa 5.- Potencia del generador igual a cero, y batería cargada.

Dado que el generador fotovoltaico no es capaz de alimentar a la carga (durante la noche), en este caso la batería alimenta totalmente a la carga.

En la tabla 3.1 se resume las seis etapas en las que se indica el funcionamiento del sistema.

Además note que los convertidores C2 y C3 no funcionan juntos jamás.

### 3.2.2 Conmutación de una etapa a otra

El paso de una etapa a otra, tendrá lugar, si ciertas condiciones dentro de cada etapa se cumplen. Un diagrama de conmutación de una etapa a otra se muestra en la figura 3.B.

De la figura observamos que solamente en las etapas 1, 2 y 4 el seguimiento del punto de máxima

TABLA 3.1 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

ETAPA	CONDICIONES	C1	C2	C3	M.P.P.T	ALIMENTACION DE LA CARGA
0	Batería descargada	B	B	B	NO	NO
1	Batería cargándose	B	A	B	SI	NO
2	Batería cargándose	A	A	B	SI	SI
3	Batería cargada	A	B	B	NO	SI
4	Batería descargándose	B	A	A	SI	SI
5	Batería descargándose	B	B	A	NO	SI

Notación:

Convertidores : C1, C2, C3

A: Activo

B: Bloqueado

M.P.T.T.: Seguimiento del punto de máxima potencia

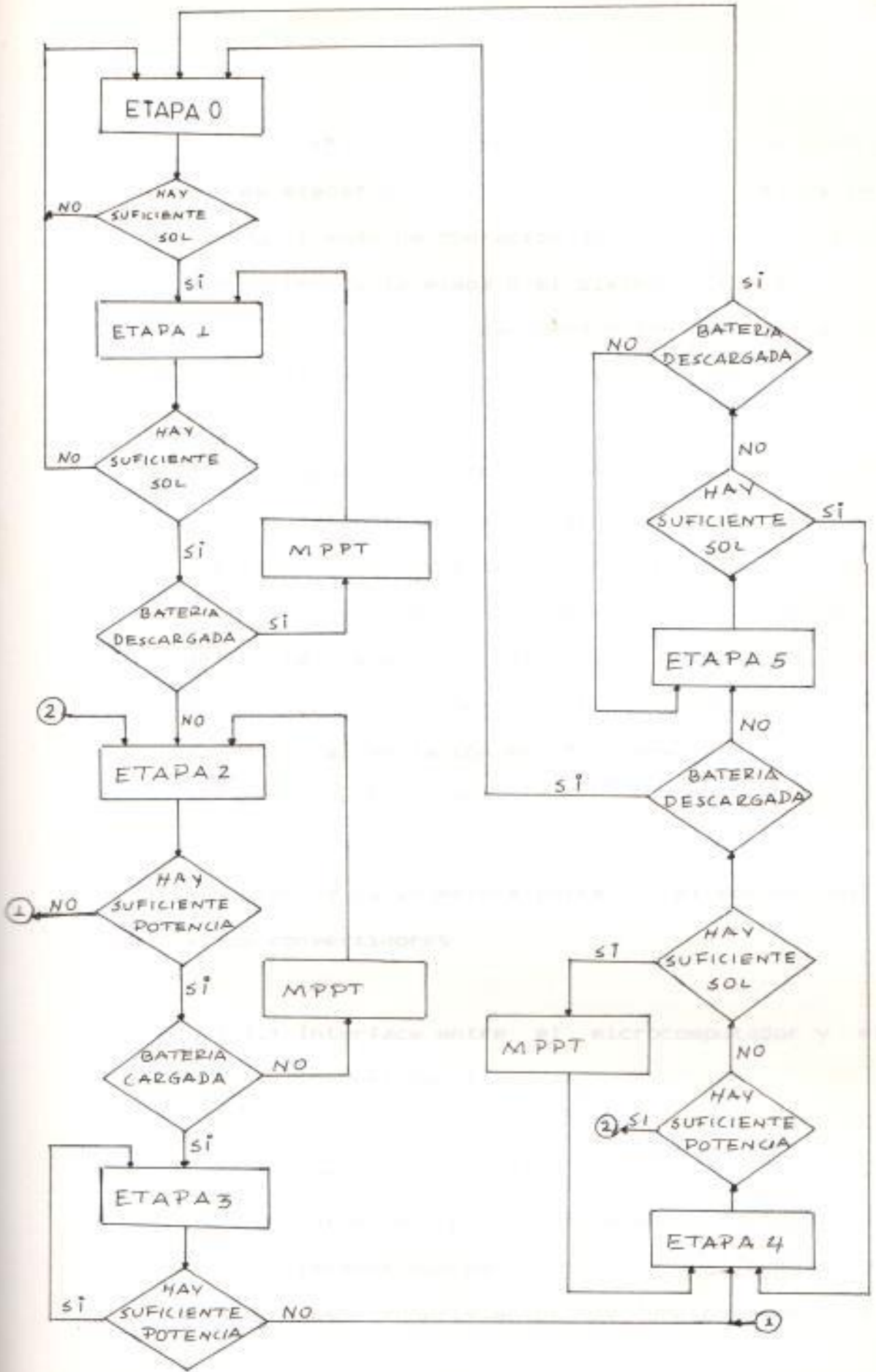


Fig. 3.8 Diagrama de conmutación de una etapa a otra

potencia (M.P.P.T.) se efectúa, lo que no ocurre en las etapas 0, 3 y 5. Ya que tal como se ha definido el modo de operación de cada etapa, tenemos que dentro de la etapa 0 el sistema está en reposo, implica que no hay producción de energía por parte del generador fotovoltaico.

En la etapa 3 la potencia suministrada por el generador fotovoltaico a la carga, a través del convertidor C1, es suficiente para alimentarla y por tanto no hay razón para realizar el seguimiento del punto de máxima potencia, y en la etapa 5 no hay producción de energía por parte del panel, por tanto la alimentación de la carga se la realizará por medio de las baterías.

### 3.2.3 Elección de la interface entre el microcomputador y los convertidores

#### 3.2.3.1 Interface entre el microcomputador y el Convertidor 1

Para elegir el tipo de interface que va entre el microcomputador y convertidor, tenemos que darnos cuenta que, cumpla con los requerimientos de funcionamiento del



convertidor, en las etapas 2, 3 y 4.

En las etapas 2 y 3 la función del convertidor C1 es la de mantener el voltaje de alimentación de la carga constante (12 voltios). El control de voltaje se lo realiza por medio del integrado LM 3524.

Por otro lado cuando la demanda de energía es tal, que el panel no puede suministrar (etapa 4), la función del convertidor C1 es la de simular una impedancia variable, para ubicar el punto de trabajo del panel en el punto que corresponda al de máxima potencia.

En la figura 3.9 se presenta la interface que acopla el panel con la carga a través del convertidor C1.

De la figura observamos que el control de la operación del convertidor en un modo u otro, lo realiza el microcomputador, canalizando las señales de control en torno del integrado MC 4016 (4 switches analógicos), que es el que va a dejar pasar las

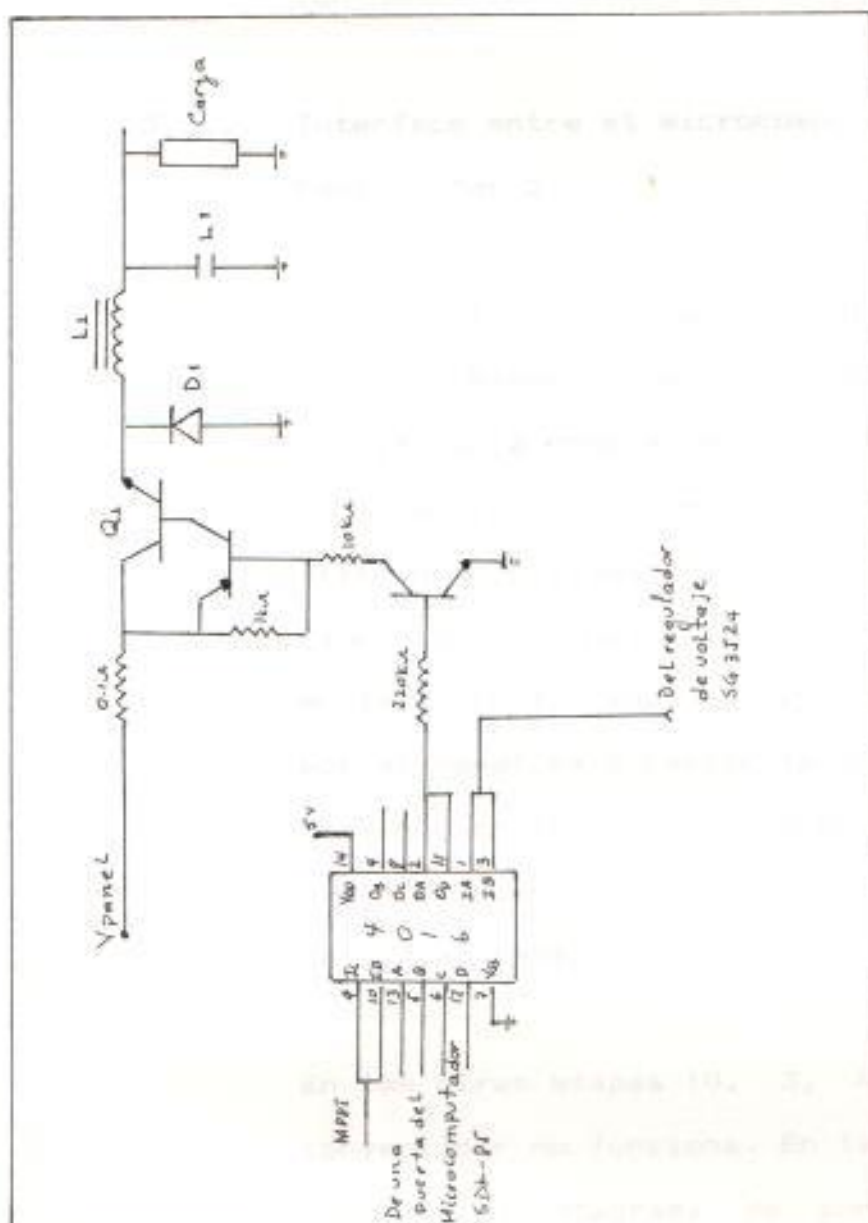


Fig.3.9 Diagrama de conexión entre el microcomputador y el convertidor 1

señales provenientes, tanto del regulador (LM 3542) como de la Unidad de control.

### 3.2.3.2 Interface entre el microcomputador y el Convertidor 2

El convertidor C2, funciona de igual manera en la etapa 1 y en la 2, es decir se lo utiliza para obtener máxima transferencia de energía de panel a batería. La única diferencia existente entre el modo de funcionamiento de una etapa y otra, es de que en la etapa 1, toda la energía producida por el panel va a cargar la batería, mientras que en la etapa 2, la potencia obtenida del panel se reparte a la batería y carga (a través del C1).

En las otras etapas (0, 3, 4 y 5) este convertidor no funciona. En la figura 3.10 se tiene el diagrama de conexión de la interface entre el microcomputador y convertidor C2.

De la figura observamos que la señal proveniente de la unidad de control, para

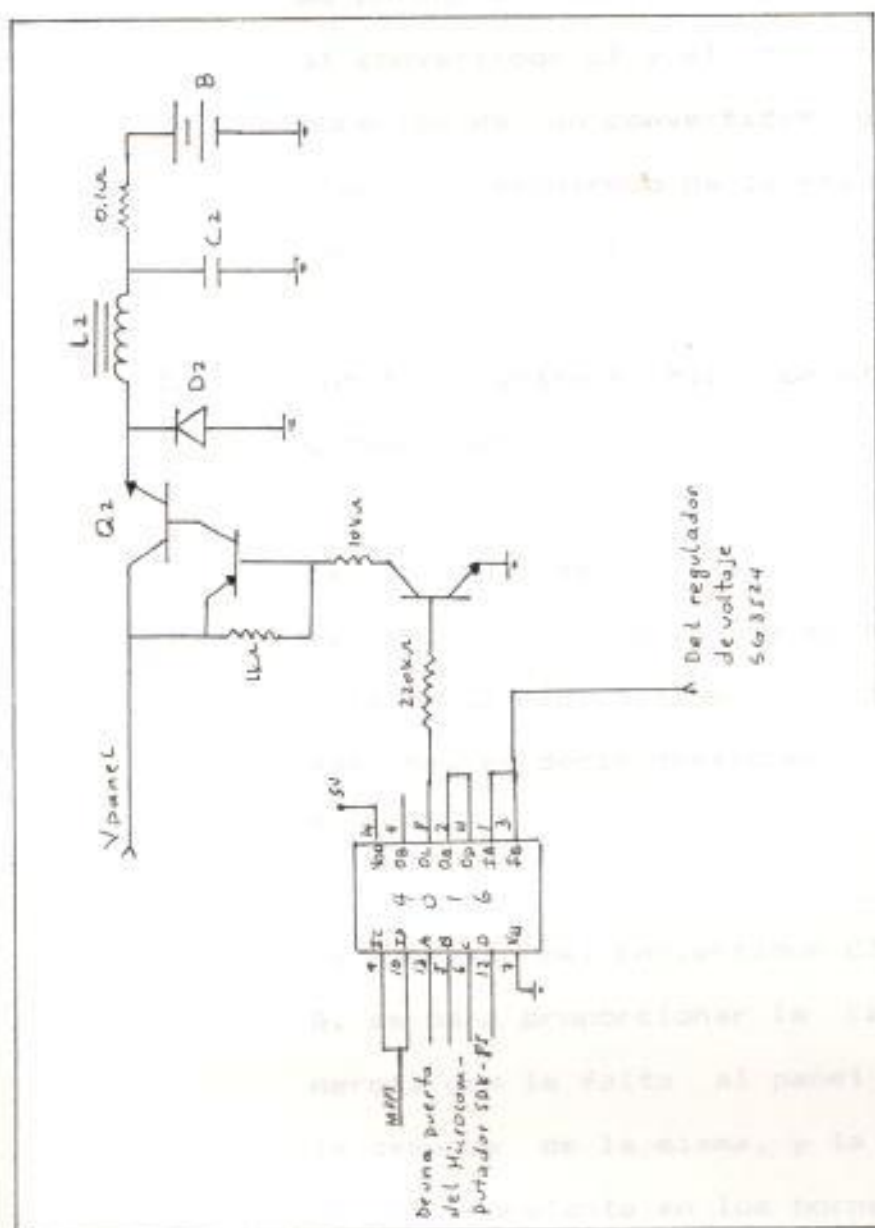


Fig. 3.10 Diagrama de conexión entre el microcomputador y el convertidor 2

realizar el seguimiento del punto de máxima potencia, se la utiliza para alimentar al convertidor C1 y al convertidor C2. La conexión de un convertidor u otro, se lo realiza dependiendo de la etapa en que esté, funcionando el sistema.

### 3.2.3.3 Inteface entre el microcomputador y el Convertidor 3

La finalidad de utilizar el convertidor C3 es la de proporcionar una tensión regulada a la carga (12 voltios), cuando el caso lo amerite, es decir dentro de las etapas 4 y 5.

La conexión del convertidor C3 en la etapa 4, es para proporcionar la cantidad de energía que le falta al panel para cubrir la demanda de la misma, y la de fijar una tensión constante en los bornes de la carga.

Mientras que en la etapa 5, la conexión se lo realiza por cuanto no hay producción de energía del panel (en las noches), y la

batería asume el suministro de potencia a la carga.

De acuerdo a estas consideraciones en la figura 3.11 se tiene la interface entre el microcomputador y el convertidor C3.

Hay que acotar que la señal de comando, proveniente del LM 3524 se utiliza tanto para alimentar al convertidor C1 como al C3, ya que de acuerdo a las diferentes etapas de funcionamiento del sistema, estos convertidores no funcionan de la misma manera, en una etapa dada.

### 3.3 CIRCUITO DE CONTROL

#### 3.3.1 Consideraciones generales

En el desarrollo de la presente tesis, el circuito de control esta formado por tres bloques principales (figura 3.1), que son : la unidad de control, los acondicionadores de señales y el banco de switches.

**Acondicionadores de señales.** - Proporcionan a la u-

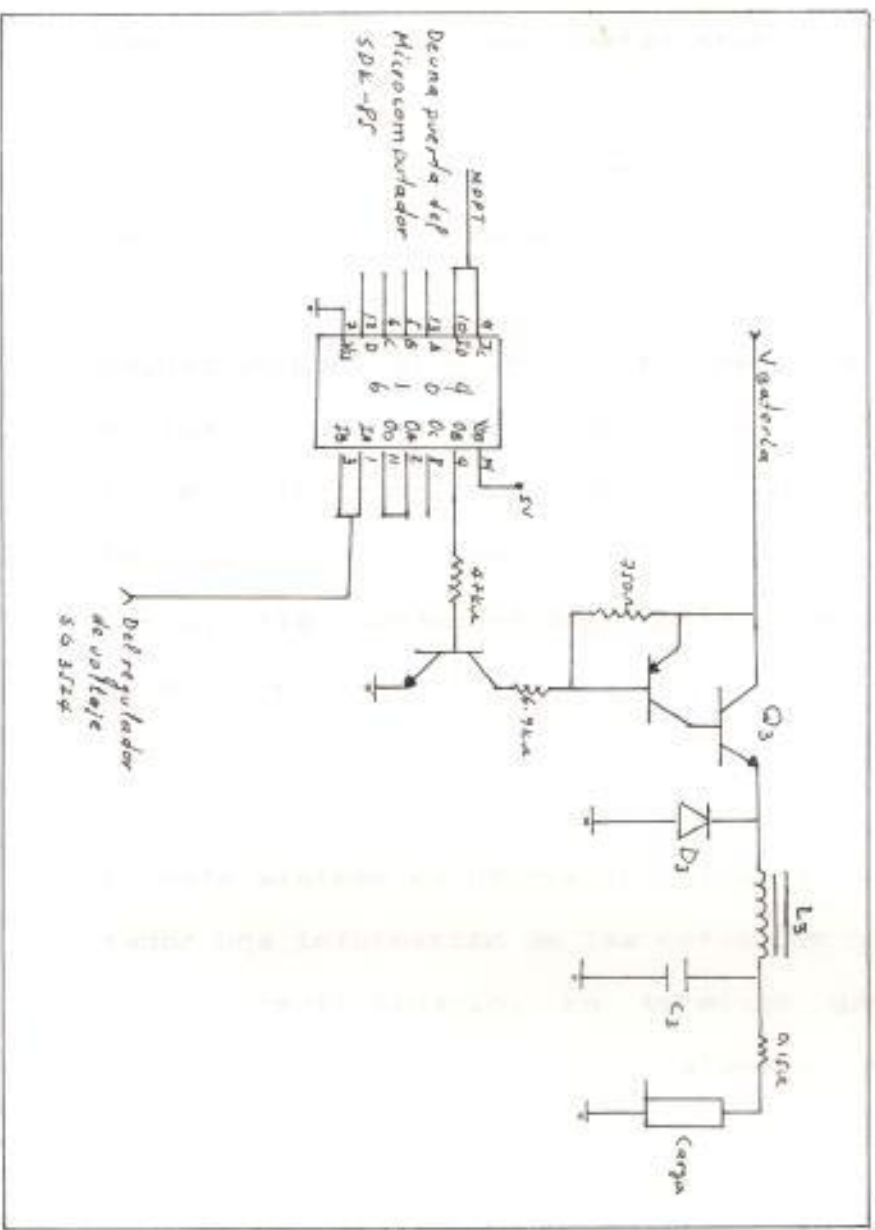


Fig. 3.11 Diagrama de conexión entre el microcomputador y el convertidor 3



nidad de control, las variables de control necesarias con valores apropiados para el buen funcionamiento del sistema.

**Banco de switches.**- Aquí están presentes las diferentes señales que alimentan a los convertidores, para que funcionen en un modo u otro, dependiendo de la etapa de funcionamiento.

**Unidad de Control.**- Se lo ha definido, como un sistema en que la acción de control es determinada por el microcomputador SDK-85 con un programa (software) almacenado en su memoria, y, con la circuitería (hardware) de soporte necesaria de tal manera que el control sea lo más funcional posible.

En este sistema es necesario entrar al microcomputador una información de las variables controladas en un formato binario. En terminos generales si dicha información es originalmente generada en forma analógica, su entrada al computador será a través de un convertidor analógico - digital.

### 3.3.2 Unidad de Control

Esta formado basicamente por un conjunto de cir-

cuitos (hardware) y programas (software), que juntos realizan la acción de control.

En la figura 3.12 se presenta un diagrama de bloques de la unidad de control, con sus respectivos elementos. De la figura observamos que está básicamente de cuatro partes fundamentales.

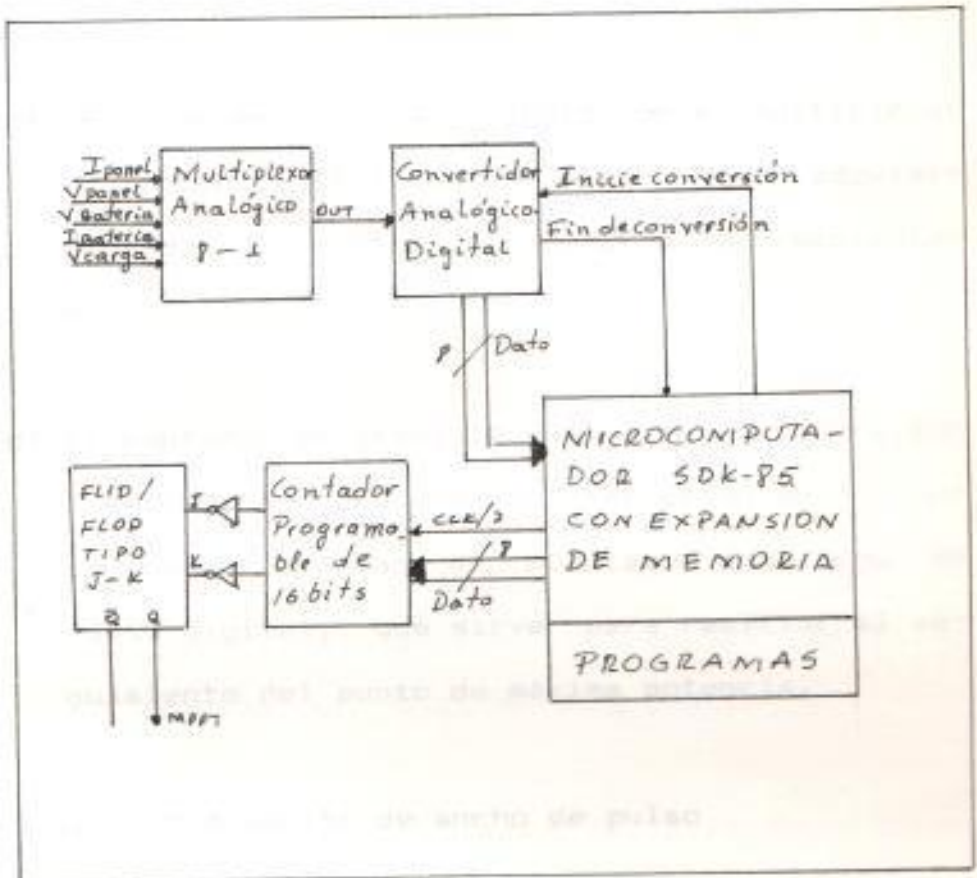


Fig. 3.12 Diagrama de bloques de la Unidad de Control.

a) El microcomputador SDK-85 que constituye el

Inv. No. \_\_\_\_\_

controlador del sistema, siendo éste el que gobierna el comportamiento de todos los elementos.

b) Los programas que van a estar almacenados en la memoria del microcomputador, tienen todos los algoritmos necesarios de la acción de control, que se va a realizar.

c) El convertidor A/D junto con el multiplexor analógico, constituyen los elementos de adquisición de datos para introducir al microcomputador.

d) El contador programable y el flip-flop J-K, son los elementos que con la interacción del microcomputador, forman el modulador de ancho de pulso digital, que sirve para realizar el seguimiento del punto de máxima potencia.

### 3.3.2.1 Modulación de ancho de pulso

En nuestro sistema para obtener variación del ancho de pulso de la señal, aplicada al convertidor que va a simular una impedancia variable, es necesario tener un mo-

dulador de ancho de pulso controlable.

Es por esta razón que utilizamos un circuito digital, que va a realizar esta función. El diagrama de conexión del modulador de ancho de pulso (PWM) se muestra en la figura 3.13.

De la figura observamos que este modulador está compuesto de; un circuito integrado (8253) que contiene tres contadores programables, un flip-flop J-K (74LS112) y dos inversores (74LS04).

El reloj para los contadores y el flip-flop se obtiene a partir del reloj del 8085A. El fabricante sugiere que para un buen funcionamiento de los contadores, se utilice un reloj menor a 2 Mhz.

La señal de reloj que se utilizó es aproximadamente igual a 1.5 Mhz, es por esta razón que el reloj del 8085A lo dividimos para dos (por medio de un flip-flop tipo D).



Ahora se procederá a describir la forma en que se realizó la interface entre el 8253 y el microprocesador 8085A.

Como se realizó una expansión de memoria en el microcomputador SDK-85 (ver apendicé A), a partir del rango de memoria 8000-97FF y dado que en todo este rango de 8 Kbytes, solamente se tomó 6 Kbytes (2 K para memoria RAM y 4 K para memoria ROM), la señal de selección del 74LS138 que habilita el rango de memoria 8800-8BFF que no es utilizada se tomó para habilitar (CS) a la pastilla 8253.

Esto quiere decir que al 8253 se lo ha tratado como si fuera un dispositivo de memoria, por lo tanto para programar este integrado se utilizó instrucciones que tiene que ver con operaciones de memoria. Para una mayor facilidad de operación se utilizó la instrucción STA Dirección - (8800-8BFF).

Además las señales  $A_0$  y  $A_1$ , que sirven para seleccionar a los contadores y para

indicar el modo de funcionamiento de ellos, se conectó a la barra de direcciones ( $A_0$  y  $A_1$ ) del microprocesador. De igual manera se conectó las señales  $D_0$ - $D_7$  al bus de datos  $D_0$ - $D_7$  del 8085A.

Queda por último indicar, que debido a la duración de las señales WR, RD y CS (del microprocesador) es muy corta, respecto del ancho de las señales WR, RD y CS del 8253 fue necesario utilizar un circuito sugerido por el fabricante (cuando se conectan dispositivos que se comportan como memoria lenta), para alargar la duración de las señales antes dichas generadas por el microprocesador y de esta manera poder programar el 8253.

### 3.3.2.2 Conversión Analógica - Digital

En un sistema de control digital programable, la señal controlada o de referencia, puede tener una forma analógica en su generación original, para lo cual era menester utilizar un convertidor analógico/digital, con el fin de ajustar dicha señal



continua en el tiempo a un formato binario, para de esta manera poder evaluarla por medio del microcomputador.

Se ha seleccionado el convertidor analógico-digital ADC 0804 de National Semiconductor, el cual es del tipo de aproximaciones sucesivas, de 8 bit y compatible con un microprocesador (información adicional ver Ref. 10). Su configuración de pines está dado en la figura 3.14.

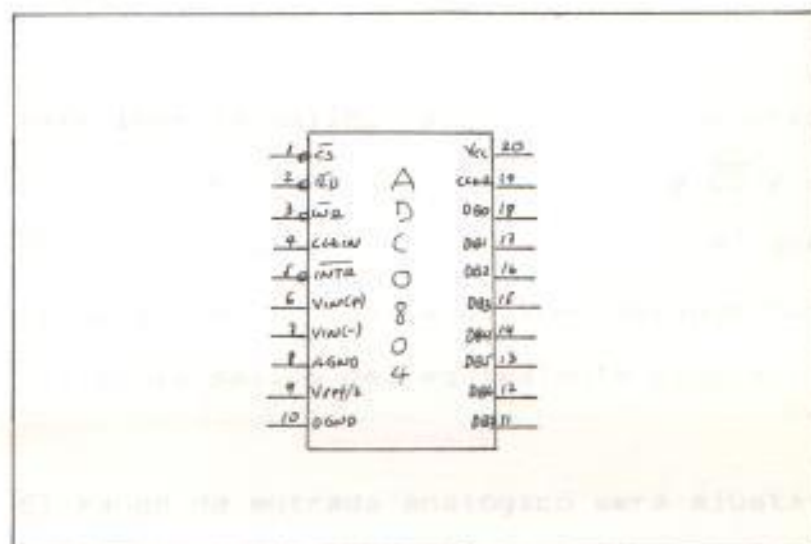


Fig. 3.14 Configuración de pines del convertidor A/D ADC0804.

El reloj para el convertidor A/D, puede ser obtenida del reloj del 8085A o por me-

dio de una red externa RC. El fabricante sugiere para una aplicación típica  $R=10\text{ K}$  y  $C=150\text{ pf}$ , y este será el método adoptado para el presente caso, con el fin de obtener la señal de reloj correspondiente.

El proceso de conversión se inicia al enviar las señales a  $\overline{CS}$  y a  $\overline{WR}$  simultáneamente en estado bajo. Una vez que dicho proceso termine, se tendrá una señal activa en estado bajo en el pin 5 que corresponde a  $\overline{INTR}$ .

Para leer la salida digital, es necesario enviar las señales respectivas a  $\overline{CS}$  y a  $\overline{RD}$  simultáneamente en estado bajo, lo que causará que la lógica de tres estados habilite la salida del equivalente digital.

El rango de entrada analógico será ajustado de 0 - 5 voltios, y para conseguir esto el fabricante sugiere el siguiente arreglo circuital ilustrado en la figura 3.15.

Ahora se procederá a describir la forma en que se realizó la interface entre el con-

vertidor A/D y el microprocesador 8085A. La salida digital será conectada a una puerta de la pastilla 8155, cuya dirección es 21, la cual debe ser programada para que actúe como puerta de entrada.

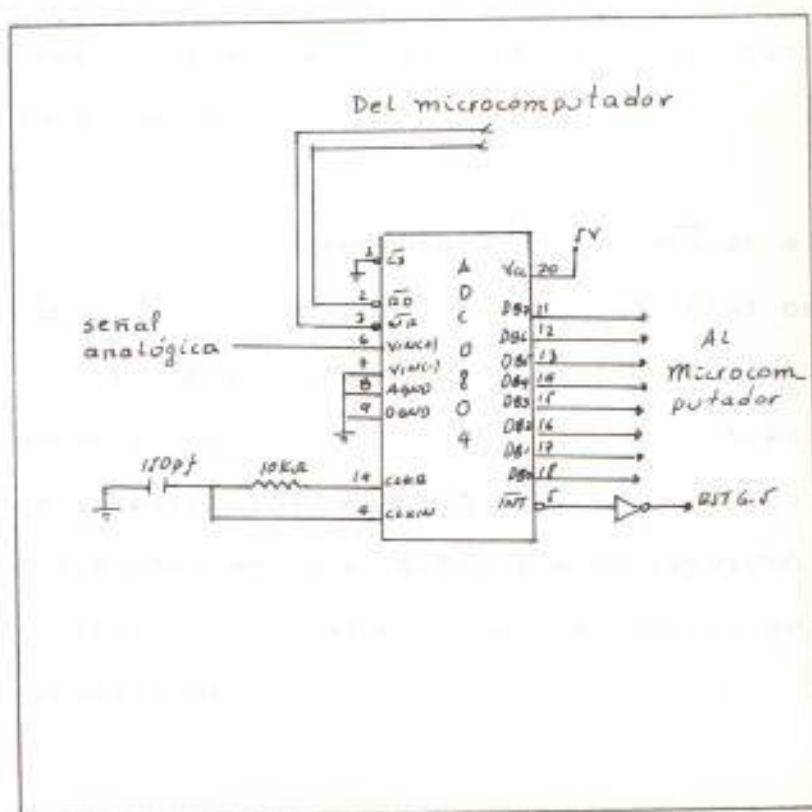


Fig.3.15 Diagrama de conexión del convertidor analógico - digital.

La generación del pulso de inicio de conversión y lectura de datos se lo realiza por medio de los bits 1 y 3 de una puerta (dirección 23) del 8155, la cual debe ser

programada como puerta de salida.

Como el convertidor está conectado a una puerta de entrada - salida, la interface entre dicho convertidor y el microprocesador sería de entrada por el acumulador para lo cual se utilizará la instrucción IN # puerta.

El pin 5, correspondiente a INTR en el convertidor donde se genera la señal de fin de conversión, será conectado a través de un inversor (1/6 74LS04) a la entrada de interrupción RST 6.5 del microprocesador 8085A, en cuya subrutina de servicio, se obtendrá el valor de salida digital del convertidor.

El diagrama completo del circuito de conversión analógico - digital se lo muestra en la figura 3.16.

A continuación se presenta el diagrama de flujo del programa (figura 3.17) que realiza la conversión de cada valor analógico (voltaje) de entrada, a un valor digital

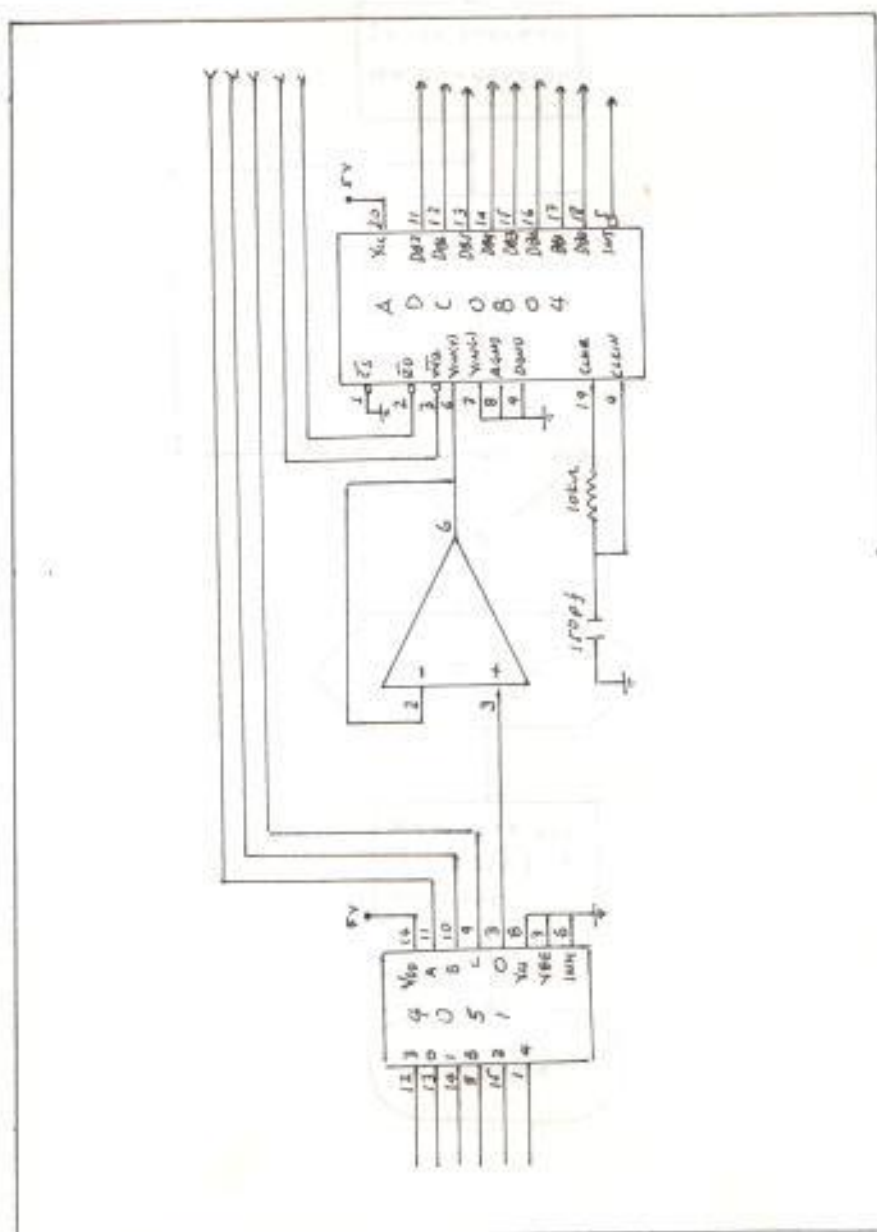


Fig. 3.16 Diagrama de conexión completa del convertidor A D

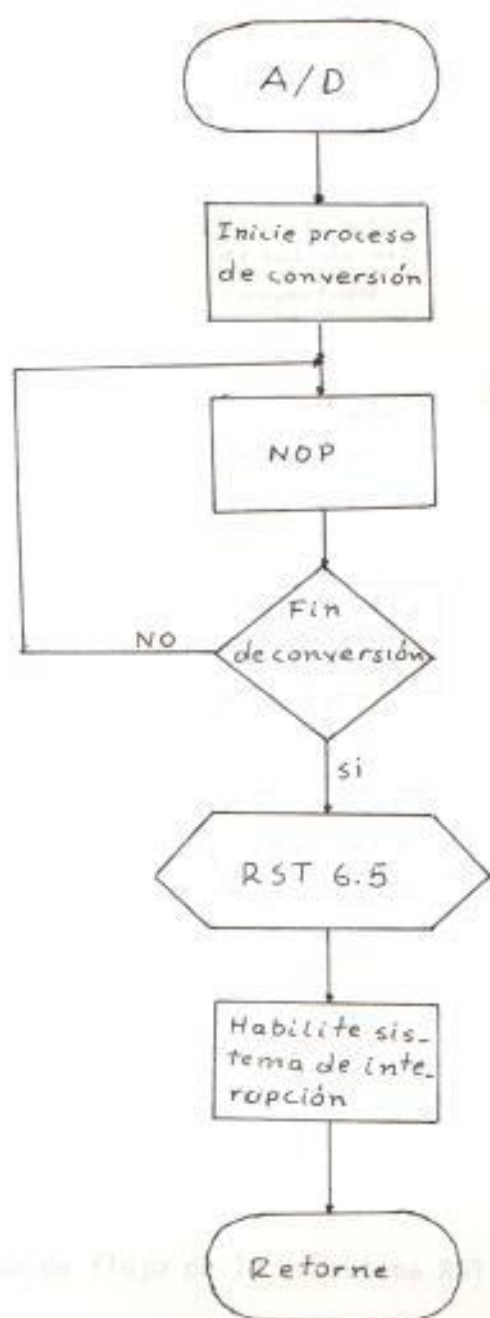


Fig.3.17 Diagrama de flujo de la Subrutina A D.



Diagrama de flujo de la subrutina RST 6.5



(salida).

El programa se lo ha implantado de tal manera que la generación de los pulsos de  $\overline{WR}$  y  $\overline{RD}$ , se lo hace a través de la instrucción DUT # puerta.

Dentro de la subrutina de servicio RST 6.5 se realiza, la lectura del equivalente digital de la señal analógica que se va a convertir, por medio de la instrucción IN # puerta.

En base a este programa, se determinó experimentalmente la siguiente tabla de conversión (ver tabla 3.2)

### 3.3.3 Algoritmo del Control Digital

En esta sección se describen los diferentes programas que se han implantado en el microcomputador SDK-85.

La lógica empleada en la elaboración de los programas aseguran el funcionamiento del sistema, tanto en lo que concierne a la conmutación de



etapas, como en el seguimiento del punto de máxima potencia.

### 3.3.3.1 Programa principal

El diagrama de flujo de esta programa se presenta en la figura 3.18.

Este programa empieza inicializando el puntero de pila con la dirección a partir del cual (forma descendente) el microprocesador pone las direcciones de retorno de las subrutinas e interrupciones.

Después llama a un programa de inicialización del sistema, cuya finalidad es la de definir los puertos de entrada - salida que se va a utilizar; así como también programar los contadores del integrado 8253 y habilitar la interrupción RST 6.5.

Además de acuerdo al funcionamiento del sistema ya descrito, se tienen definidas las etapas en las que se realiza el seguimiento del punto de máxima potencia, por lo que en la implementación del diagrama

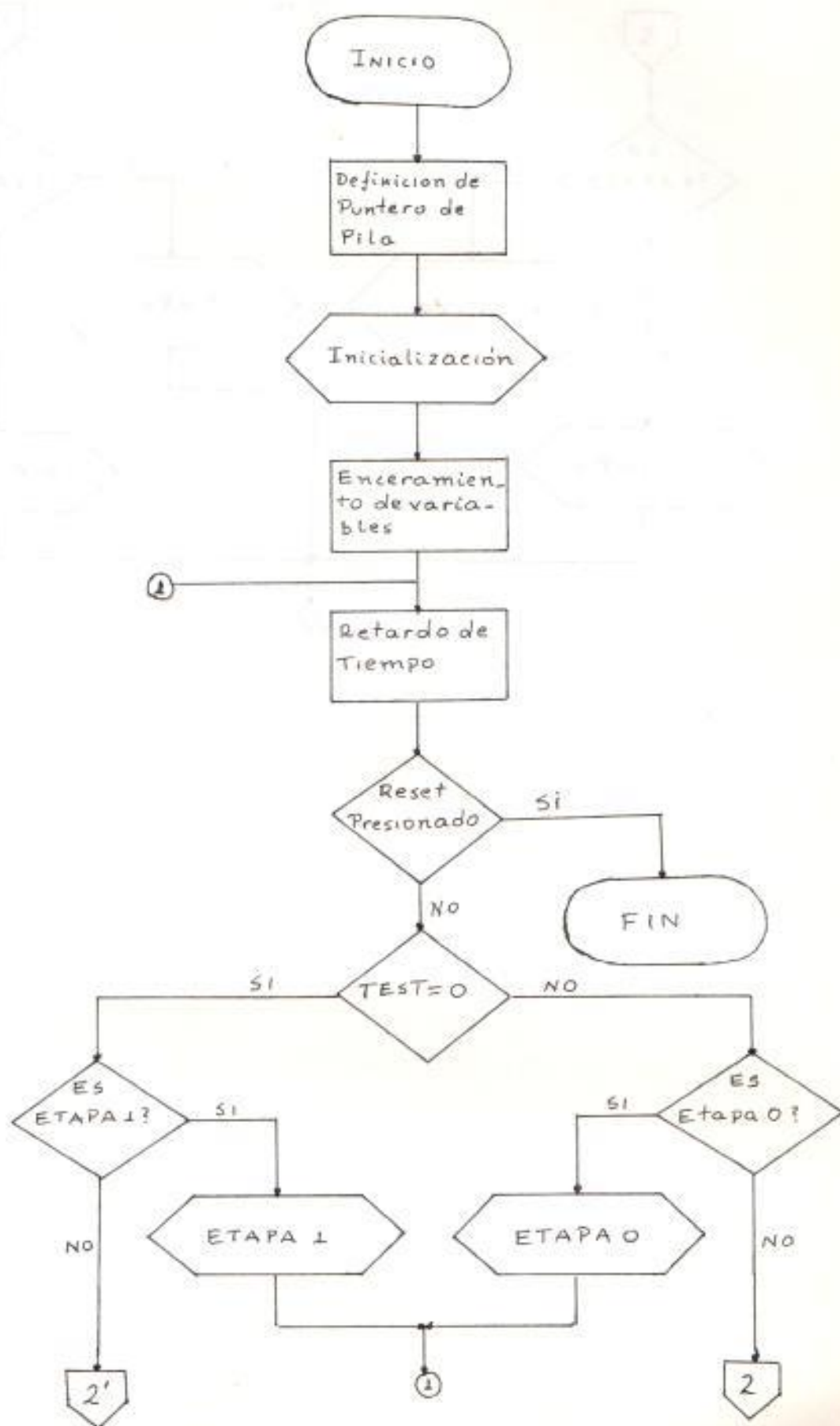
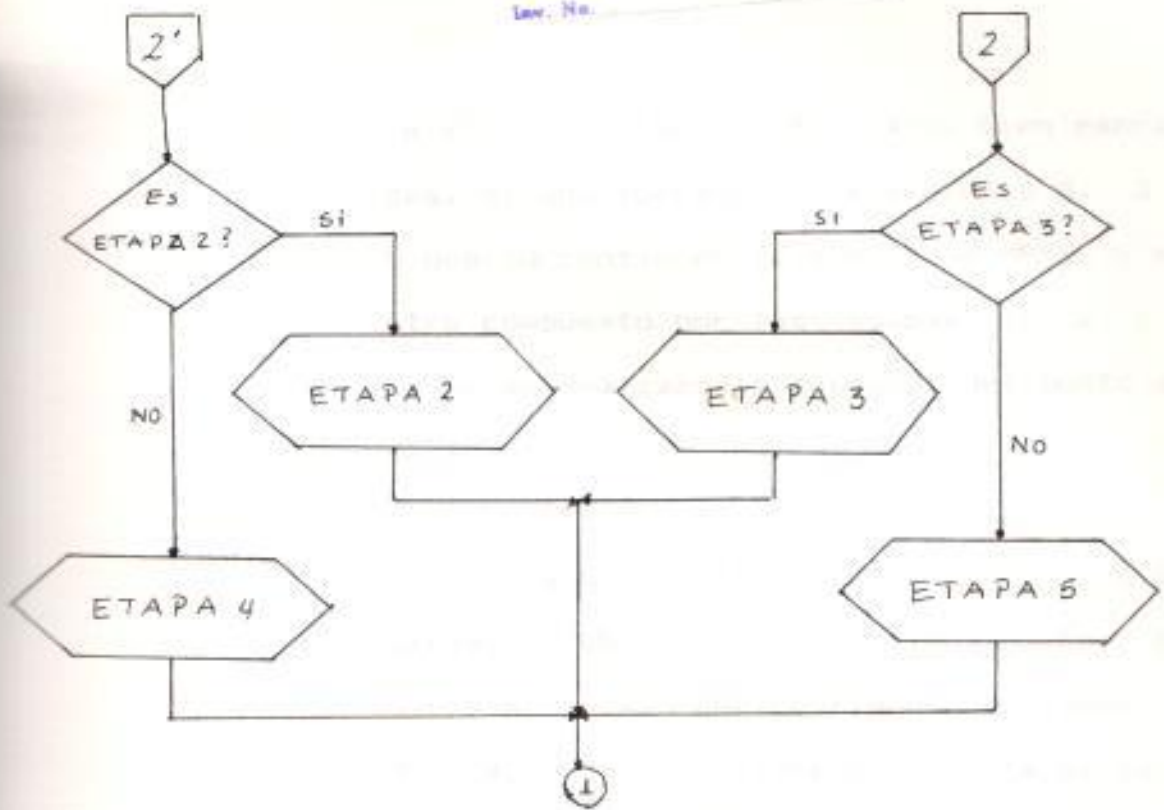


Fig. 3.18 Diagrama de flujo del Programa Principal

Inv. No. \_\_\_\_\_



Subrutina Etapa 0

de flujo se tienen dos lazos bien marcados, el uno formado por las etapas 0, 3 y 5 que no contienen la subrutina MPPT, y el otro compuesto por las etapas 1, 2 y 4 donde se realizan la búsqueda del punto de máxima potencia.

El paso a uno u otro lazo depende de la variable TEST. Si TEST es igual a cero se ejecuta el lazo que contiene las etapas 1, 2 y 4, y si es diferente ejecuta el lazo formado por las etapas 0, 3 y 5.

Ahora el funcionamiento del sistema en una u otra etapa dependerá de que cumpla ciertas condiciones dentro de las mismas como por ejemplo: estado de carga de la batería, nivel de radiación solar, etc.

### 3.3.3.2 Subrutina Etapa 0

En la figura 3.19 se tiene el diagrama de flujo de esta subrutina.

Conociendo las características de un panel solar, se puede hacer una prueba de la

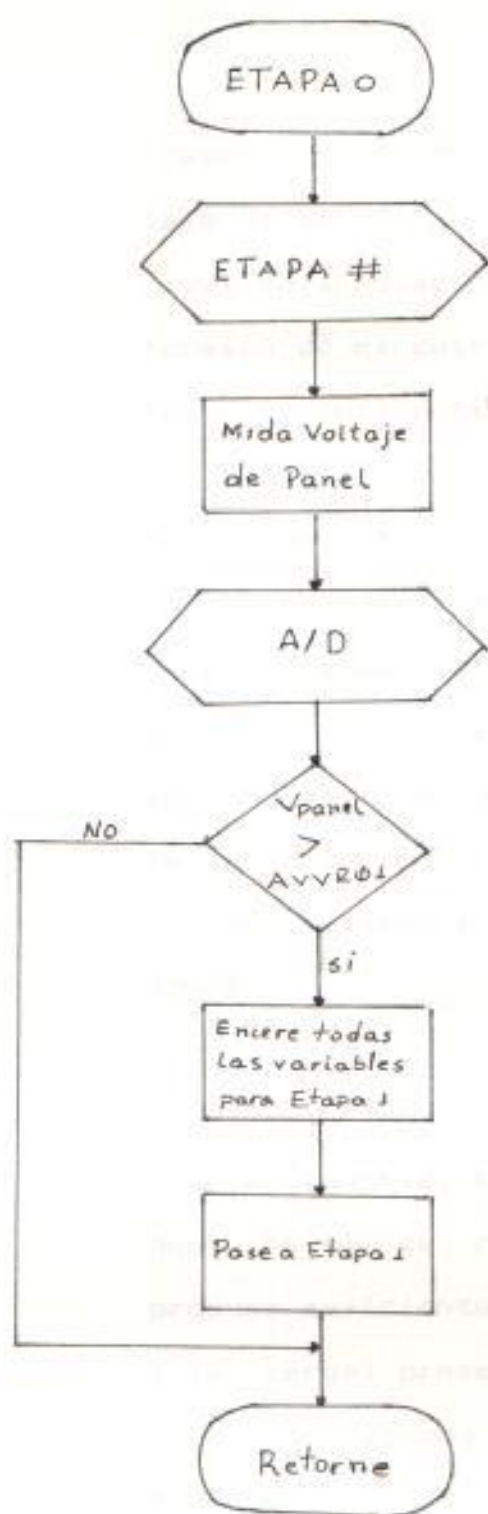


Fig. 3.19 Diagrama de flujo de la Subrutina Etapa 0



presencia de insolación, midiendo el voltaje de panel. En efecto ya que a cada nivel de insolación le corresponde una tensión de circuito abierto y una corriente de cortocircuito.

Dentro de esta etapa el panel funciona en vacío, es decir no tiene conectado ningún tipo de carga, la prueba de la presencia de radiación solar se la realiza, midiendo (muestreando) el voltaje de panel presente, para después compararlo con un voltaje de referencia almacenado en memoria (2807).

Si el valor medido es mayor que el almacenado en memoria, significa que se tiene un buen nivel de radiación solar (el panel produce suficiente energía para alimentar a la carga) presente, cuando cumple esta condición pasamos a la etapa 1, donde se procederá a cargar la batería.

En caso contrario, es decir cuando el valor medido es menor, se queda en esta etapa realizando nuevas mediciones.

Durante el paso a la etapa 1, encerramos todas las variables que se va a utilizar cuando se realice el seguimiento del punto de máxima potencia dentro de esta etapa.

### 3.3.3.3 Subrutina Etapa 1

Esta subrutina inicia, realizando una prueba de la tensión en los bornes de la batería, con el fin de conocer su estado de carga. Si la batería no esta cargada (descargada) y si el nivel de insolación es demasiado debil (ver fig 3.20, zona marcada), el control del sistema pasa a la etapa 0.

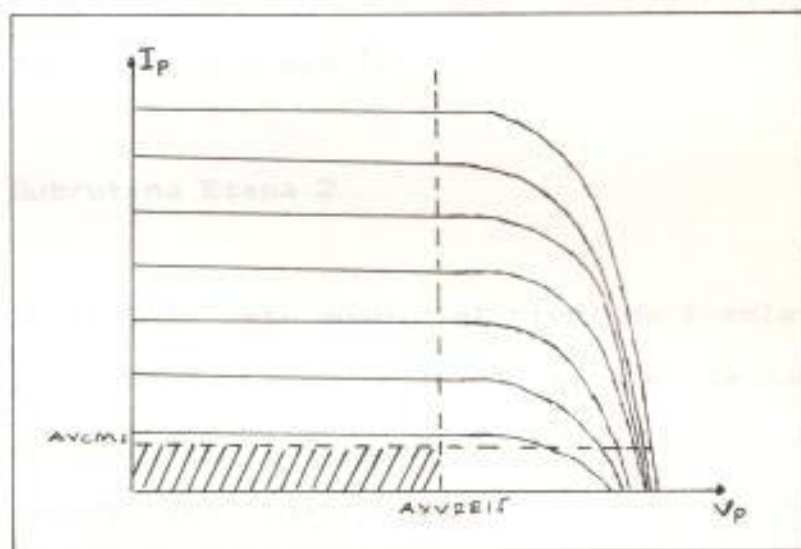


Fig. 3.20 Punto de trabajo del generador.

Fin

En caso contrario si la batería está descargada y si el punto de trabajo del generador solar se encuentra fuera de la zona marcada (fig. 3.20), se procede a realizar el seguimiento del punto de máxima potencia (Subrutina MPPT), para de esta manera forzar al generador a entregar la máxima energía y así asegurar la carga de la batería en forma rápida.

Cuando la batería alcanza un valor de tensión correspondiente al nominal, el control del sistema pasa a la etapa 2 donde se alimenta la carga.

En la figura 3.21 se tiene el diagrama de flujo de la etapa 1.

#### 3.3.3.4 Subrutina Etapa 2

Dentro de este modo, el nivel de insolaración se prueba midiendo el voltaje de panel y el voltaje de la carga, si estos valores son inferiores a aquellos que se tienen almacenados en memoria (2823 y 2823) y que sirven de referencia, implica

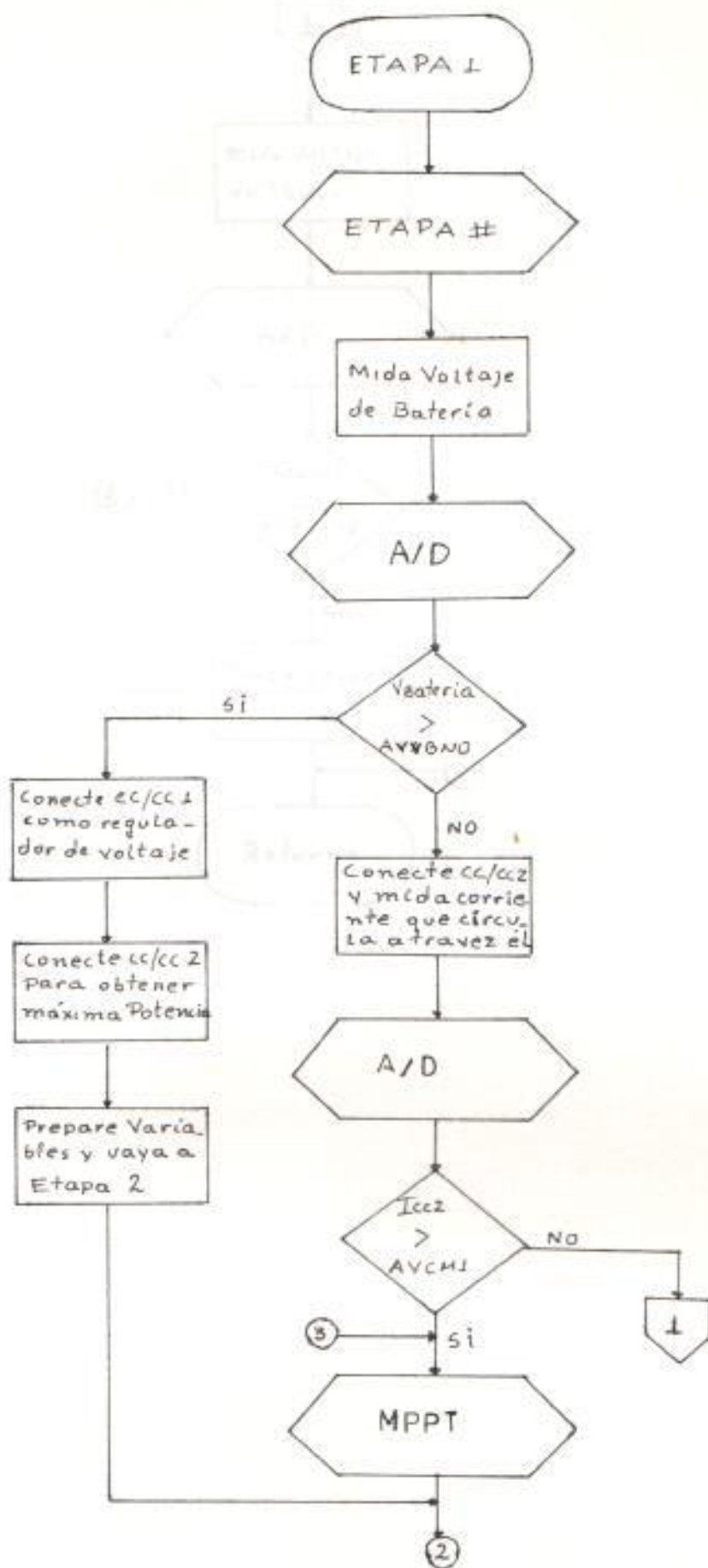
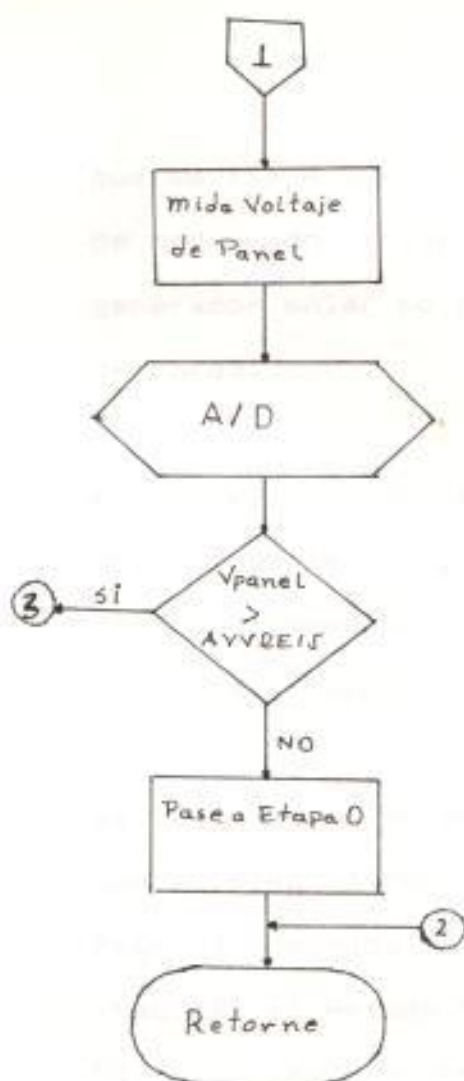


Fig. 3.21 Diagrama de flujo de la Subrutina Etapa 1



que se tiene una disminución en el nivel de radiación solar y como consecuencia el generador solar no puede cubrir la demanda de carga.

Para suplir esta falta de energía se conecta la batería, para de esta manera junto con el generador fotovoltaico alimentar la carga (Etapa 4).

Si los valores de tensión (panel y carga) son mayores a los de referencia (el panel cubre la demanda de energía), se procede a chequear el estado de carga de la batería. Si esta completamente cargada, se desconecta el circuito que alimenta la batería y se pasa a la etapa 3.

En caso contrario, es decir cuando la batería no está cargada se realiza el seguimiento del punto de máxima potencia, para que el excedente de potencia (que no consume la carga) se le conduzca a la batería.

Así con todas estas condiciones en la figura 3.22 se presenta el diagrama de flujo

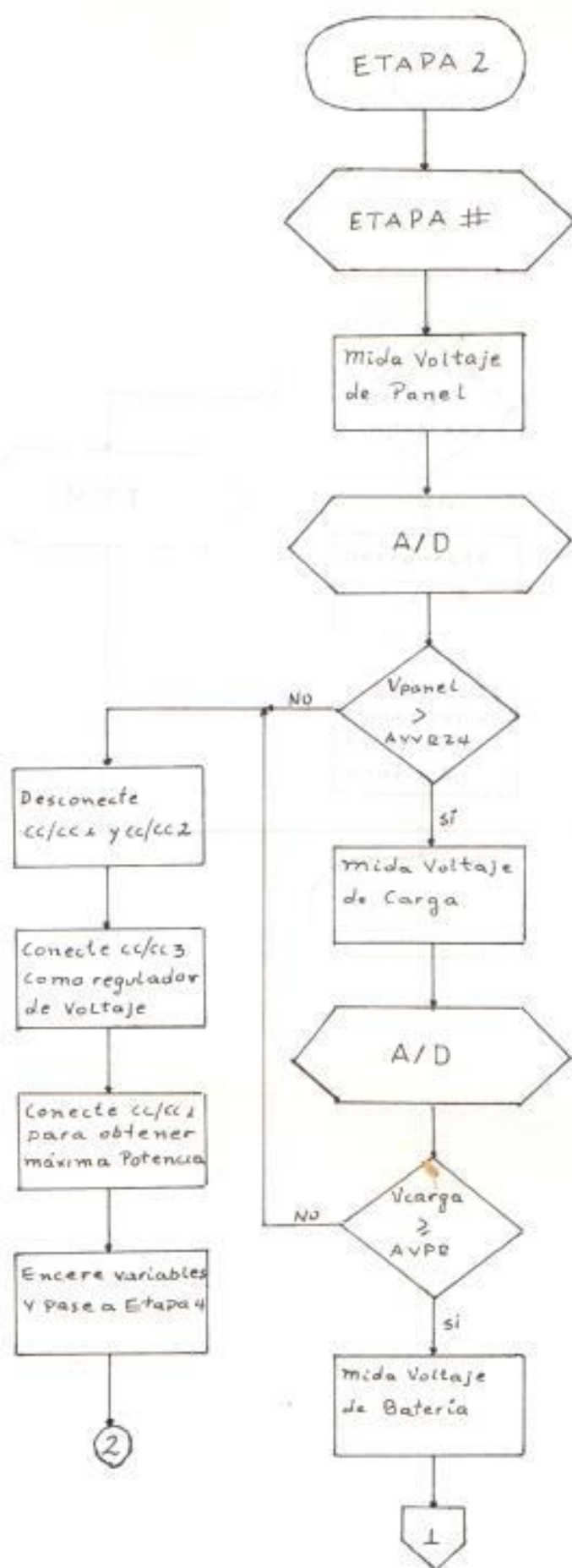
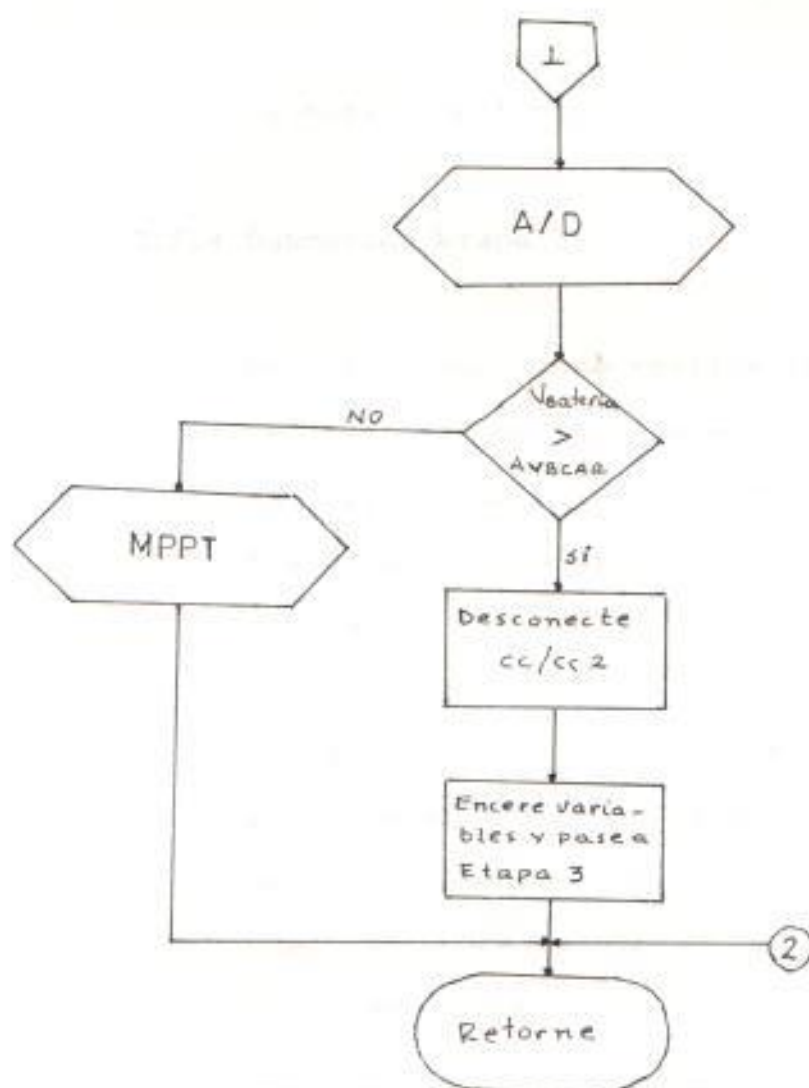


Fig. 3.22 Diagrama de flujo de 1a Subrutina Etapa 2.





de esta subrutina.

### 3.3.3.4 Subrutina Etapa 3

En esta etapa no se realiza el seguimiento del punto de máxima potencia, y la carga es alimentada directamente del panel a través del convertidor C1 a una tensión constante.

En la figura 3.23 se observa que cuando la carga se alimenta directamente, los puntos de funcionamiento del panel solar se encuentran sobre la hipérbola, que define la curva de potencia constante.

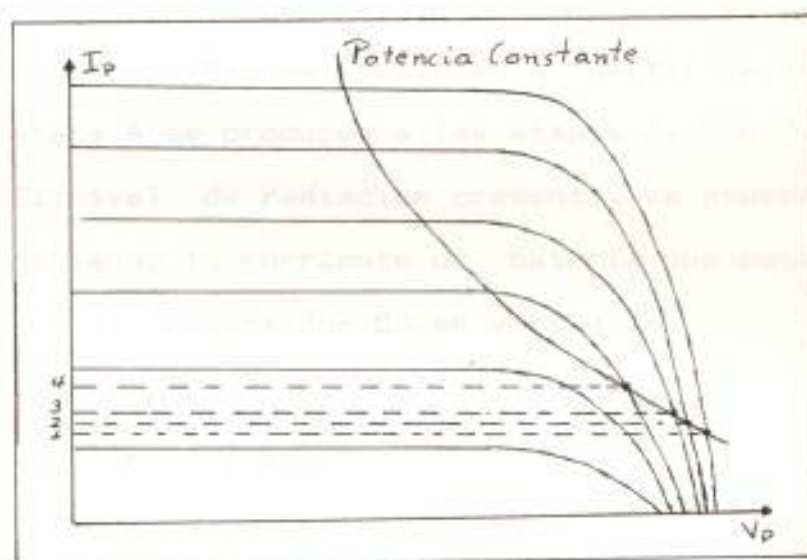


Fig. 3.23 Curva de potencia constante de un panel.

El paso a la etapa 4 se efectúa, midiendo la tensión del panel y comparándole con un voltaje de referencia (282A), se prueba si el nivel de radiación a disminuido.

Cuando se llega a un nivel de radiación tal que el generador fotovoltaico no es capaz de producir la potencia necesaria para alimentar la carga, se pasa a la etapa 4.

En la figura 3.24 se presenta el diagrama de flujo.

#### 3.3.3.5 Subrutina Etapa 4

Las transiciones posibles a partir de la etapa 4 se producen a las etapas 2, 5 o 0. El nivel de radiación presente, se prueba midiendo la corriente de batería que pasa por el convertidor C3 en virtud de:

$$I_L = I_{C1} + I_{C3}$$

Así, para una corriente de carga dada,  $I_{C3}$  será tanto más débil cuando  $I_{C1}$  sea más

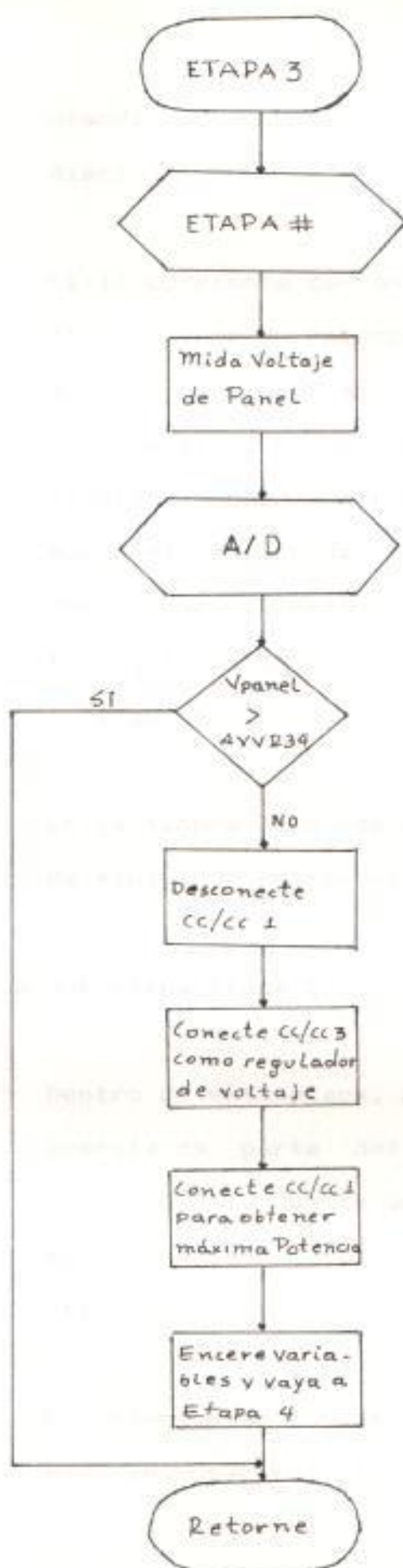


Fig. 3.24 Diagrama de flujo de la Subrutina Etapa 3

grande (por consiguiente el nivel de radiación).

Si la corriente de batería es inferior a la corriente de referencia (2823), se pasa a la etapa 2. En cambio si es mayor implica que el nivel de radiación solar a disminuido, seguidamente se realiza un chequeo del estado de carga de la batería y dependiendo si está cargada o no, el control del sistema pasa a la etapa 5 o etapa 0 respectivamente.

En la figura 3.25 se muestra el diagrama de flujo que representa a ésta subrutina.

### 3.3.3.6 Subrutina Etapa 5

Dentro de esta etapa, no hay producción de energía de parte del generador fotovoltaico por lo que la demanda de energía es suministrada exclusivamente por la batería.

Por efectos de consumo de energía la batería se descarga, el funcionamiento del

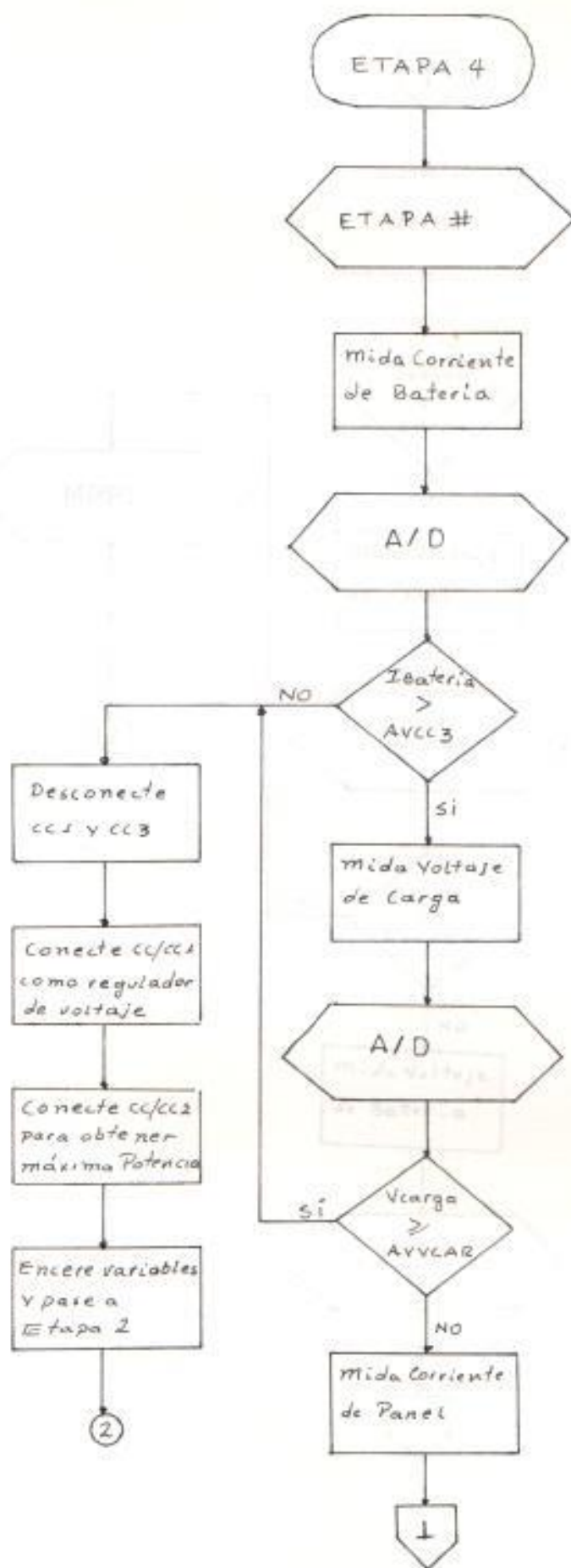
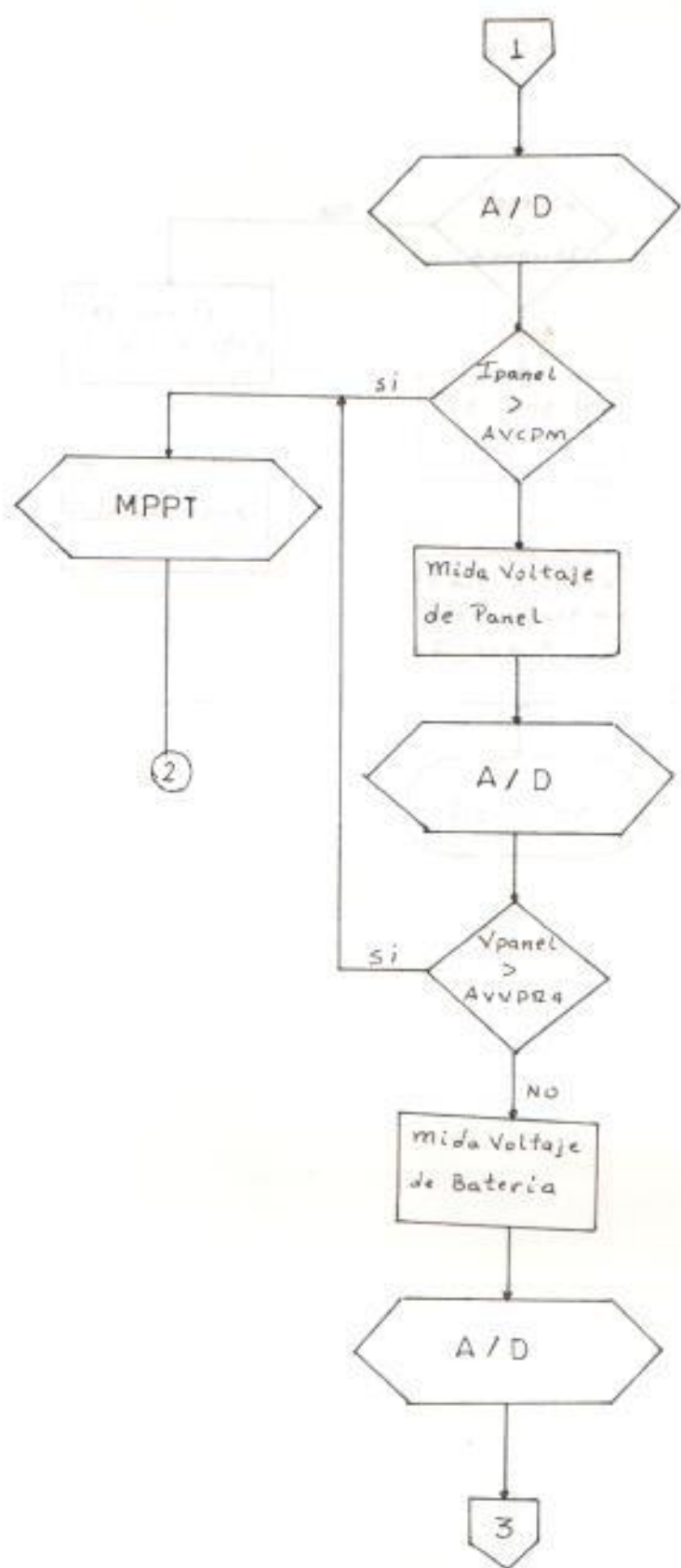
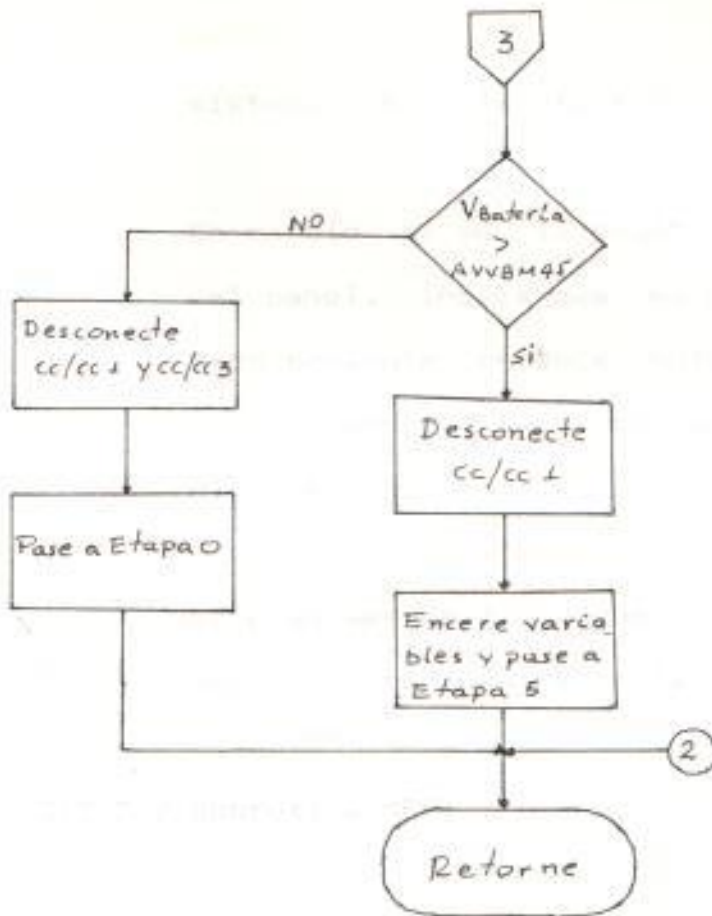


Fig. 3.25 Diagrama de flujo de la Subrutina Etapa 4







## Etapa 3

sistema pasa a la etapa 0.

En cambio, si en la prueba de la tensión del panel, indica que el nivel de radiación presente produce suficiente energía para alimentar a la carga, se pasa a la etapa 4.

El diagrama de flujo que representa a esta subrutina se muestra en la figura 3.26.

## 3.3.3.7 Subrutina MPPT

Inicio

Fin

Esta subrutina tiene como misión la de realizar el seguimiento del punto de máxima potencia, es decir forzar al generador solar a la entrega de la máxima cantidad de energía que pueda producir en cada instante.

El procedimiento que se sigue es el de realizar cada cierto intervalo de tiempo un muestreo de los valores de potencia e intensidad en los bornes del generador solar.

1

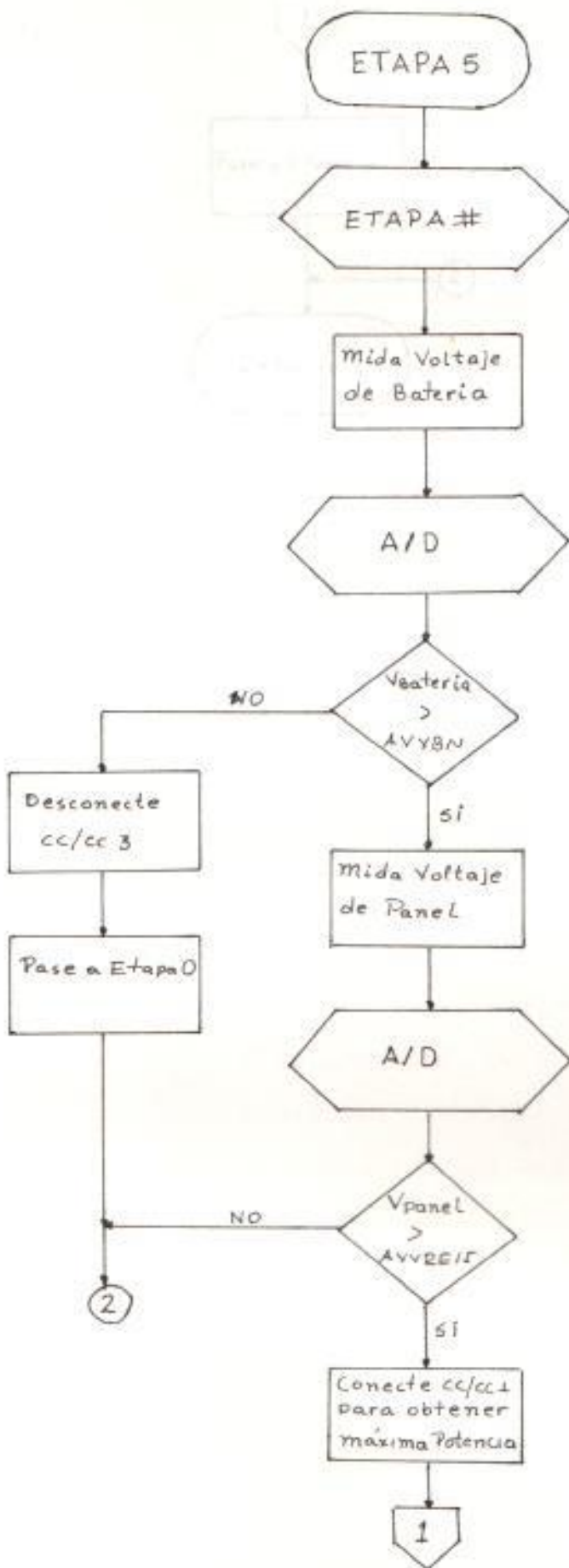
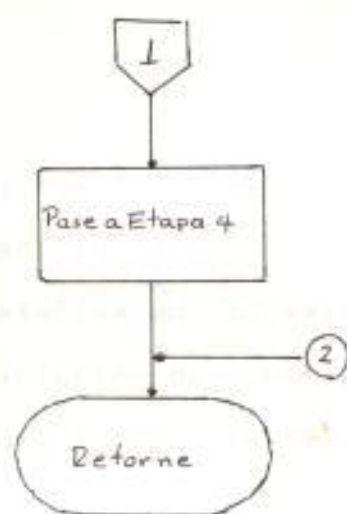


Fig. 3.26 Diagrama de flujo de 1a Subrutina Etapa 5



El muestreo tiene como finalidad determinar la evolución (aumento o evolución) relativa en el valor de ambas variables, evolución que como se verá más adelante es suficiente para realizar el control.

La comparación entre los valores de potencia e intensidad medidos, se los realiza en el microcomputador, para determinar si la variable en cuestión ha crecido o ha disminuido. Finalmente a partir del resultado de la comparación se elabora la orden que desplaza el punto de funcionamiento del generador.

Caractericemos mediante una variable "A" al aumento y "D" a la disminución de cualquiera de los dos parámetros, potencia o intensidad del generador solar. Y designemos por "R" a la zona situada a la derecha del punto de máxima potencia y por "L" la localizada a su izquierda (figura 3.27).

El funcionamiento del sistema en cualquiera de las dos zonas se resume en la tabla 3.3.

TABLA 3.3  
ACCION DE CONTROL DEL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA

COMPARACION DE POTENCIA $P_{nue} - P_{vie}$	COMPARACION DE CORRIENTE $I_{nue} - I_{vie}$	REEMPLAZA		ZONA	ACCION TON
		$P_{vie}$ con $P_{nue}$	$I_{vie}$ con $I_{nue}$		
D	D	NO	NO	R	AUMENTE
A	A	SI	SI	R	AUMENTE
D	A	NO	SI	L	DISMINUYA
A	D	SI	NO	L	DISMINUYA

NOTA:  $P_{vie}$ ,  $I_{vie}$  valores de potencia e intensidad en un tiempo  $n$

$P_{nue}$ ,  $I_{nue}$  valores de potencia e intensidad en un tiempo  $n+1$

Así entonces, el concepto básico del mando de este procedimiento puede entonces sintetizarse de la siguiente manera: conociendo la posición R o L del sistema, y de acuerdo a la acción de control definida en la tabla se elabora la orden que tienda a desplazar el punto de trabajo hacia la zona opuesta (L o R respectivamente).

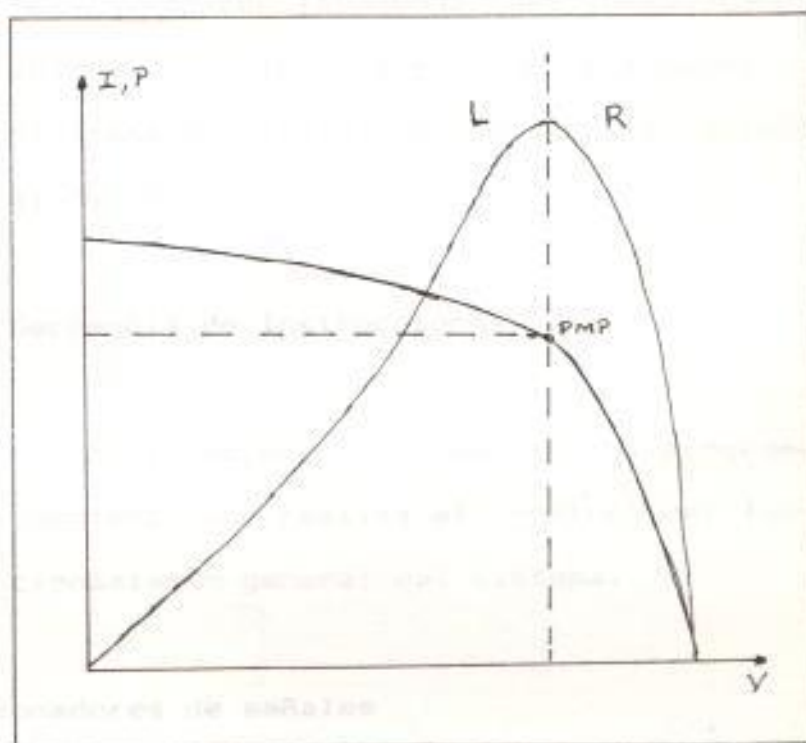
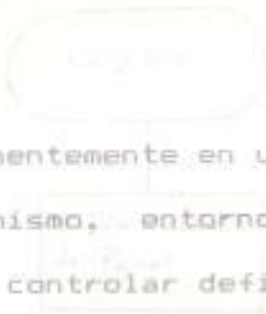
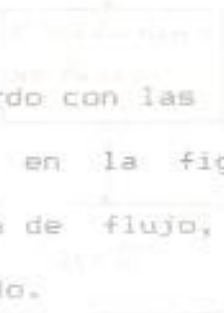


Fig. 3.27 Curva de potencia del generador.

En estas condiciones, el sistema no trabaja de forma continua en el punto matemático de máxima potencia, sino que oscila



permanentemente en un entorno muy pequeño del mismo, entorno cuya amplitud se la puede controlar definiendo el valor de la variable DELTA, de tal manera que en la práctica el generador entrega toda la energía que es capaz de proporcionar en cada instante.



De acuerdo con las consideraciones precedentes, en la figura 3.28 se muestra un diagrama de flujo, basado en el método discutido.

### 3.3.3.8 Secuencia de Instrucciones



A continuación se presenta el programa completo, que realiza el control del funcionamiento general del sistema.

### 3.3.4 Acondicionadores de señales



Los parámetros del circuito de potencia, que la unidad de control desea medir, se presentan en forma de tensión o corriente (tensión y corriente del panel, tensión de batería y corriente de carga). Por esta razón se requieren de elementos de



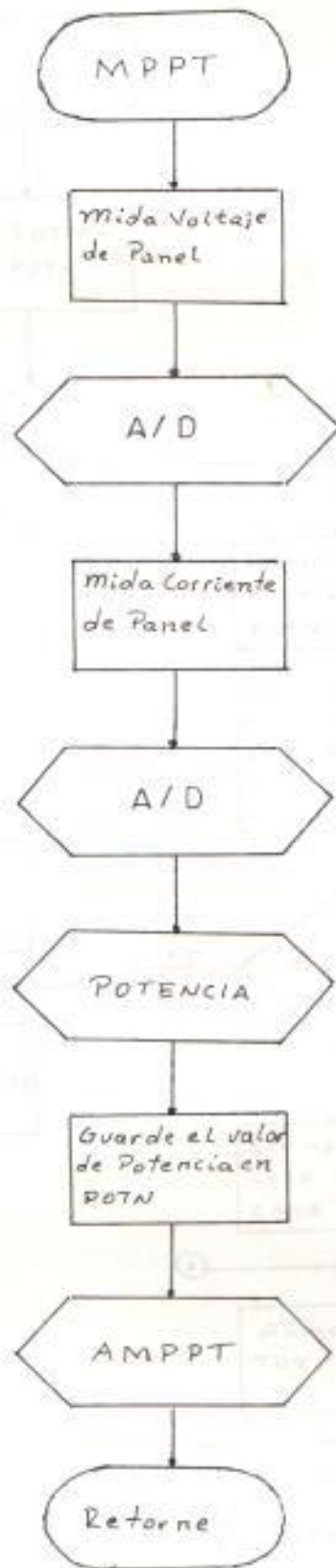


Fig. 3.28 Diagrama de flujo de la Subrutina MPPT

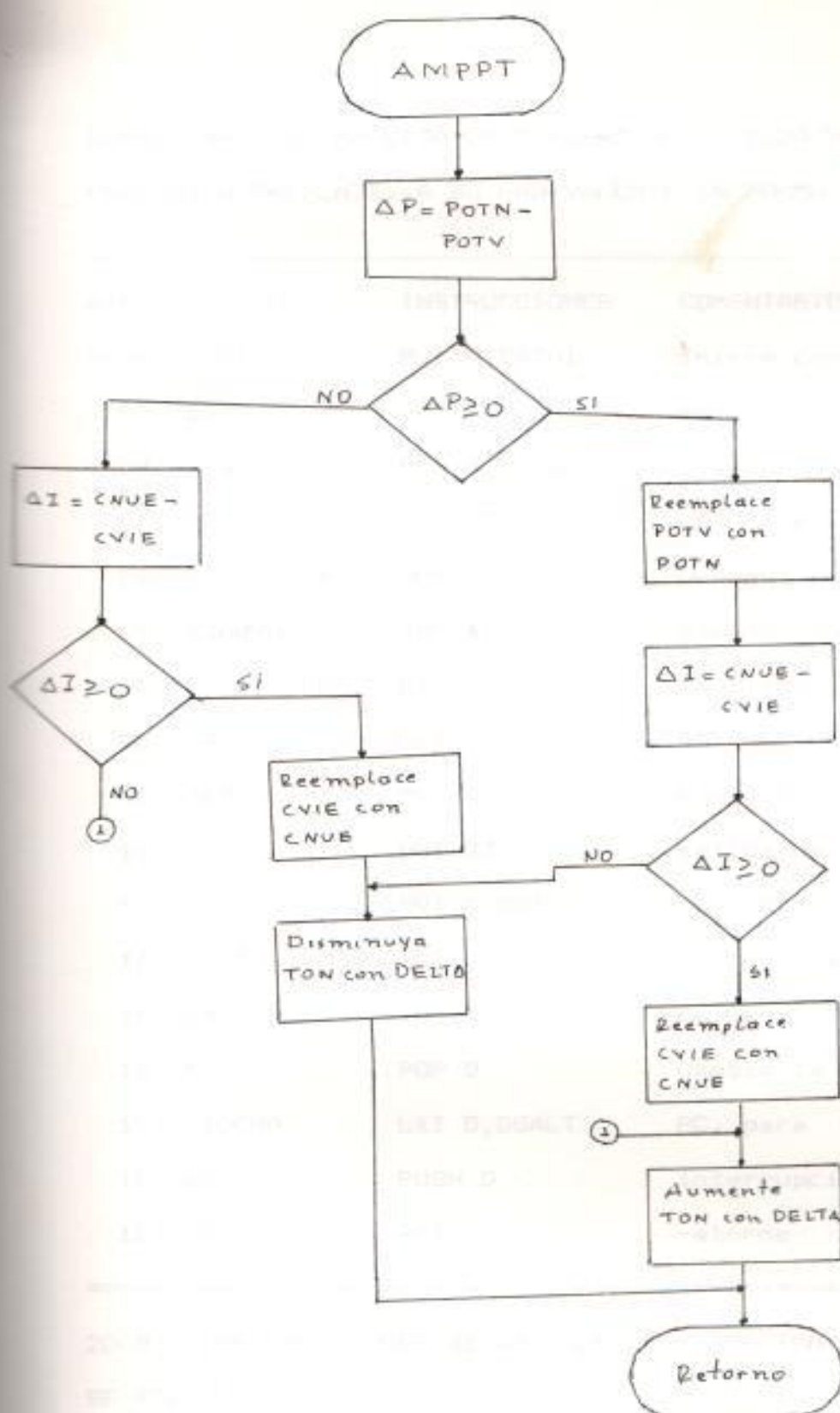


Diagrama de flujo de la subrutina AMPPT

SUBROUTINA A/D REALIZA LA CONVERSION DE TODA VARIABLE ANALOGICA PRESENTE, A SU EQUIVALENTE EN FORMA DIGITAL.

DIR.	CODIGO		INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9000	3E01		MVI A,DAT01	Inicie conversi3n de la
	02	D323	OUT 23	se3al presente en el
	04	3E03	MVI A,DAT02	convertidor A/D
	06	D323	OUT 23	WR=0 y WR=1
	08	00	*1 NOP	Quedese en el lazo hasta
	09	C30B90	JMP *1	que termine conversi3n
	0C	FB	DSALT EI	Habilite interrupci3n
	0D	C9	RET	RST 6.5 y retorne
	0E	3E02	*2 MVI A,DAT03	Habilite el buffer de-
	10	D323	OUT 23	salida del convertidor
	12	3E03	MVI A,DAT02	A/D, RD=0 y RD=1; e in-
	14	D323	OUT 23	introduzca lo en el acu-
	16	DB21	IN 21	mulador
	18	D1	POP D	Cambie la direcci3n del
	19	110C90	LXI D,DSALT	PC, para habilitar la-
	1C	D5	PUSH D	interrupci3n RST 6.5 y
	1D	C9	RET	retorne

=====

200B DIRECCION DONDE SE ATIENDE INTERRUPCION RST 6.5 CUANDO SE PRESENTA

200B C30E90 6.5 JMP \*2                    Acepta interrupci3n 6.5

=====

SUBROUTINA ETAPA # MUESTRA EN EL DISPLAY EL MENSAJE " ETAPA  
# " DONDE, # REPRESENTA 0,1,2, ,5

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9020	0680	MVI B,80	
22	21002B	LXI H,PUNT1	Dirección donde se en-
25	7B *3	MOV A,B	cuentra el mensaje a mos-
26	320019	STA 1900	trar, programando el 8279
29	7E	MOV A,M	que es el que controla el
2A	320018	STA 1800	teclado y el display.
2D	7D	MOV A,L	Luego de que termina de-
2E	FE 05	CPI 05	mostrar el mensaje, re-
30	CB	RZ	torne
31	04	INR B	
32	2C	INR L	
33	C32590	JMP *3	

=====

SUBROUTINA MULTIPLICACION REALIZA EL PRODUCTO DE VOLTAJE Y  
CORRIENTE PARA OBTENER POTENCIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9040	0600	MVI B,00	Encere el reg. B donde
42	1E09	MVI E,09	se va a guardar el MSB
44	79 *4	MOV A,C	del resultado, e inicia-
45	1F	RAR	lize el reg. E con 9
46	4F	MOV C,A	Desplaze el bit LSB del

47	1D		DCR E	multiplicador y almacene
48	CA5590		JZ *5	el nuevo resultado, de-
4B	7B		MOV A,B	cremente el contador. Si
4C	D25090		JNC *6	es cero termino la mul-
4F	B2		ADD D	tiplicación, si no con-
50	1F	*6	RAR	tinue sumando y despla-
51	47		MOV B,A	zando
52	C34490		JMP *4	
55	C9	*5	RET	

=====

SUBROUTINA INICIALIZACION SIRVE PARA DEFINIR PUERTAS DE ENTRADA Y SALIDA ASI COMO TAMBIEN PARA INICIALIZAR LOS CONTADORES PROGRAMABLES

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9058	3E0E	MVI A,0E	Define las puertas 00,
5A	D320	OUT 20	22 y 23 como salida y la
5C	3EFF	MVI A,FF	21 como entrada
5E	D302	OUT 02	
60	3E34	MVI A,34	Programa al contador 0,
62	320388	STA 8803	para que opere en modo 2
65	3E12	MVI A,DAT05	y cargue el valor de
67	320088	STA 8800	cuenta (frecuencia)
6A	3E06	MVI A,DAT06	
6C	320088	STA 8800	
6F	3E7A	MVI A,DAT07	Programa al contador 1,

71	320388	STA 8803	para que opere en modo 5
74	CDB090	CALL CONTA#1	
77	3E0D	MVI A,0D	Habilite la interrupción
79	30	SIM	RST 6.5
7A	C9	RET	

=====

SUBROUTINA CONTA#1 SE INICIALIZA EL CONTADOR #1 (TIMER 8253 PROGRAMABLE)

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9080	210A28	LXI H,AVLSBC#1	Cargue el contador 1 con el valor de Ton, que se encuentra en memoria, cuya dirección esta dada por DCON#1
83	7E	MOV A,M	
84	320188	STA 8801	
87	2C	INR L	
88	7E	MOV A,M	
89	320188	STA 8801	
8C	C9	RET	

=====

SUBROUTINA ETAPA #0 EN ESTA ETAPA SE ANALIZA SI LA PRESENCIA DE RADIACION SOLAR NOS DA LA SUFICIENTE ENERGIA COMO PARA CARGAR EL BANCO DE BATERIAS O PARA ALIMENTAR LA CARGA CONECTADA AL PANEL SOLAR

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9090	3A1428	LDA FLAG	Si flag es verdadero
93	A7	ANA A	muestre en la unidad de

94	CA9A90	JZ SA01	despliegue visual el
97	CD2090	CALL ETAPA#	mensaje Etapa 0
9A	3A132B SA01	LDA PASO	Si paso es falso mida
9D	A7	ANA A	voltaje de panel y com-
9E	C2D690	JNZ SA02	pare con voltaje de re-
A1	3E01	MVI A,DAT0B	ferencia que se encuen-
A3	D322	OUT 22	tra en memoria, cuya di-
A5	CD0090	CALL A/D	rección esta dada por
AB	21072B	LXI H,AVVR01	AVVR01.
AB	BE	CMP M	Si el voltaje medido es
AC	D2BA90	JNC SA03	menor que voltaje de re-
AF	3EFF	MVI A,FF	ferencia, preparese para
B1	32132B	STA AVPASO	una nueva medición. En
B4	3E00	MVI A,00	caso contrario encere
B6	32142B	STA AVFLAG	todas las variables que
B9	C9	RET	se van a utilizar en la
BA	210E2B SA03	LXI H,AVPOTV	Etapa 1.
BD	CDE990	CALL ENCERE	
C0	21102B	LXI H,AVPOTN	
C3	CDE990	CALL ENCERE	
C6	3E9F	MVI A,9F	
CB	32062B	STA AVTEST	
CB	32052B	STA AVETAPA	
CE	21122B	LXI H,AVVDEN	
D1	CDDE90	CALL ZERO	
D4	C9	RET	



```

D5  3EFF  SA02 MVI A,00
D7  32132B  STA AVPASO
DA  32142B  STA AVFLAG
DD  C9      RET

```

-----

SUBROUTINA ZERO SIRVE PARA ENCERAR LAS VARIABLES QUE SE VAN A UTILIZAR EN LAS DIFERENTES ETAPAS

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
90DE	1E05	MVI E,05	
E0	CDE990 SA04	CALL ENCERE	
E3	2C	INR L	
E4	ID	DCR E	
E5	C2E090	JNZ SA04	
EB	C9	RET	

-----

SUBROUTINA ENCERE SIRVE PARA PONER CEROS EN LAS MEMORIAS DADAS POR LAS DIRECCIONES ESPECIFICADAS EN EL REGISTRO PAR HL

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
90E9	3E00	MVI A,00	A partir de la memoria
EB	77	MOV M,A	dada por la dirección
EC	2C	INR L	especificada en el reg.
ED	77	MOV M,A	par HL, encere (poner
EE	C9	RET	ceros)

-----



SUBROUTINA POTENCIA SIRVE PARA CALCULAR EL PRODUCTO DE VOLTAJE Y CORRIENTE, Y DE ESTA MANERA SABER EL VALOR DE POTENCIA QUE ESTA ENTREGANDO EL PANEL.

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9160	0E40	MVI C,DAT09	Se carga el # de muestras
62	2D	SA20 DCR L	que se van a realizar.
63	7E	MOV A,M	en Reg. C y se
64	D322	OUT 22	procede a medir voltaje
66	CD0090	CALL A/D	y corriente.
69	E5	PUSH H	
6A	211628	LXI H,ASVLSB	Dirección de memoria
6D	CDA091	CALL SUMA	donde se va a guardar
70	E1	POP H	la suma de las muestras
71	2C	INR L	de voltaje
72	7E	MVI A,M	Mida corriente y guarde
73	D322	OUT 22	de la suma de las
75	CD0090	CALL A/D	muestras, que se realizan
78	E5	PUSH H	a partir de la
79	211828	LXI H,ASCLSB	dirección de memoria
7C	CDA091	CALL SUMA	dada por ASCLSB.
7F	E1	POP H	Luego de realizar el
80	0D	DCR C	numero total de muestras,
81	C26291	JNZ SA20	saque el promedio
84	211728	LXI H,ASVMSB	tanto de voltaje
87	CDB091	CALL PROMEDIO	como de corriente, pa-

BA	4F	MOV C,A	ra finalmente realizar
BB	211928	LXI H,ASCMSB	el producto de las dos
BE	CDB091	CALL PROMEDIO	variables medidas
91	57	MOV D,A	
92	CD4090	CALL MULTIPLICACIÓN	
95	C9	RET	

SUBROUTINA SUMA REALIZA LA ADICION DE LAS MUESTRAS DE VOLTAJE Y DE LAS MUESTRAS DE CORRIENTE

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91A0	B6	ADD M	Suma el valor actual
A1	77	MOV M,A	medido al valor almace-
A2	D2AA91	JNC SA21	nado en memoria (LSB), y
A5	2C	INR L	si hay sobrecarga suma
A6	3E00	MVI A,00	el valor de 0 con el
A8	BE	ADC M	transporte al valor que
A9	77	MOV M,A	que hay en memoria (MSB)
AA	C9	SA21 RET	si hay sobrecarga suma

SUBROUTINA PROMEDIO SIRVE PARA OBTENER EL PROMEDIO DE LAS VARIABLES QUE SE MUESTRAN

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91B0	1E06	MVI E,DAT010	
B2	7E	SA22 MOV A,M	

B3	1F	RAR
B4	77	MOV M,A
B5	2D	DCR L
B6	7E	MOV A,M
B7	1F	RAR
B8	77	MOV M,A
B9	2C	INR L
BA	1D	DCR E
BB	C2B291	JNZ SA22
BE	C9	RET

=====

SUBROUTINA RESTA REALIZA LA SUBSTRACCION DEL VALOR DEL CONTADOR ALMACENADO EN MEMORIA CON UN VALOR DELTA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91C0	7E	MOV A,M	El valor que se encuentra en memoria se resta
C1	93	SUB E	tra en memoria se resta
C2	77	MOV M,A	con el valor que esta en
C3	B2CB91	JNC SA23	el reg. E. El valor modificado se almacena en
C6	2C	INR L	la misma posición de memoria.
C7	7E	MOV A,M	
CB	DE00	SBI 00	
CA	77	MOV M,A	
CB	C9	SA23 RET	

=====

DIR. CODIGO INSTRUCCIONES COMENTARIOS

91C0

SUBROUTINA AUMENTE TON SIRVE PARA AUMENTAR EL VALOR ACTUAL DE TON CON UN VALOR DELTA ALMACENADO EN UNA POSICION DE MEMORIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91D0	3A2028	LDA ADELTA	Ponga en el acumulador
D3	210A28	LXI H,AVLSBC#1	el valor de delta y su-
D6	CDA091	CALL SUMA	me al valor almacenado
D9	CDB090	CALL CONTA#1	en memoria cuya direc-
DC	C9	RET	ción es DCON#1

SUBROUTINA DISMINUYA TON DIRVE PARA DISMINUIR EL VALOR DE TON CON UN VALOR DELTA ALMACENADO EN UNA POSICION DE MEMORIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91E0	3A2028	LDA ADELTA	Ponga en el acumulador
E3	5F	MOV E,A	el valor de delta y res-
E4	210A28	LXI H,AVLSBC#1	te al valor almacenado
E7	CDC091	CALL RESTA	en memoria cuya direc-
EA	CDB090	CALL CONTA#1	ción es DCON#1
ED	C9	RET	

SUBROUTINA COMPARACION DE CORRIENTE REALIZA LA COMPARACION DE DOS VALORES DE CORRIENTE QUE ESTAN ALMACENADAS EN DOS POSICIONES DE MEMORIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91F0	211828	LXI H,AVCNUE	El valor de corriente

F3	7E	MOV A,M	nueva se compara con el
F4	2C	INR L	valor anterior (vieja),
F5	2C	INR L	el resultado se refleja
F6	BE	CPM M	en las banderas Cy y Z.
F7	C9	RET	

SUBROUTINA COMPARACION DE POTENCIA REALIZA LA COMPARACION DE DOS VALORES DE POTENCIA, CUYOS VALORES OCUPAN CUATRO POSICIONES DE MEMORIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
91F9	7E	MOV A,M	
FA	2D	DCR L	
FB	2D	DCR L	
FC	BE	CMP M	
FD	C9	RET	

SUBROUTINA ALGORITMO DE MPPT REALIZA LA COMPROBACION DE SI EL PUNTO DE TRABAJO DEL PANEL CORRESPONDE AL DE MAXIMA POTENCIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9200	211028	LXI H,AVPOTN	
03	CDF991	CALL COMPPOTE	
06	CA1E92	JZ SA24	
09	D22792	JNC SA25	
0C	CDF091 SA27	CALL COMPCOR	

```

0F  D21692      JNC SA26
12  CDD091 SA30 CALL AUMENTETON
15  C9          RET
16  3A1828 SA26 LDA AVCNUE
19  77          MOV M,A
1A  CDE091 SA29 CALL DISMINUTON
1D  C9          RET
1E  211128 SA24 LXI H,AVPOTN
21  CDF991      CALL COMPPOTE
24  DA0C92      JC SA27
27  210F28 SA25 LXI H,AVPOTV
2A  3A1128      LDA AVPOTN
2D  77          MOV M,A
2E  2D          DCR L
2F  3A1028      LDA AVPOTN
32  77          MOV M,A
33  CDF091      CALL COMPCOR
36  DA1A92      JC SA29
39  3A1828 SA28 LDA AVCNUE
3C  77          MOV M,A
3D  C31292      JMP SA30

```

---

SUBROUTINA ENCERE CONTADOR #1 SE PROCEDE A INICIALIZAR EL VALOR DE TON, CARGANDO UN VALOR DE CUENTA EN EL CONTADOR #1

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9240	3E00	MVI A,00	Se encera el contador#1

42	320A2B	STA AVLSBC#1	con el valor de (0300)H,
45	3E03	MVI A,03	durante el paso del con-
47	320B2B	STA AVMSBC#1	trol del sistema a la
4A	CDB090	CALL CONTA#1	etapa 2.
4D	C9	RET	

---

SUBROUTINA ETAPA #3 EN ESTA ETAPA REALIZAMOS LA PRUEBA DE PRESENCIA DE RADIACION Y DE ESTA MANERA OBTENER ENERGIA PARA ALIMENTAR LA CARGA

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9250	3A142B	LDA AVFLAG	Se muestra en el display
53	A7	ANA A	el mensaje Etapa 3, para
54	C25A92	JNZ SA1	entonces proceder a me-
57	CD2090	CALL ETAPA#	dir el voltaje de panel,
5A	3E01 SA1	MVI A,DATDB	Si el valor medido es
5C	D322	OUT 22	menor que el de referen-
5E	CD0090	CALL A/D	cia (AVVR34) se pasa a
61	212A2B	LXI H,AVVR34	la etapa 4, en caso con-
64	BE	CMP M	trario se queda en esta
65	DA6E92	JC SA2	etapa.
68	3EFF	MVI A,FF	
6A	32142B	STA AVFLAG	
6D	C9	RET	
6E	3E0F SA2	MVI A,0F	Se desconecta todos los
70	D300	OUT 00	convertidores, para co-



72	3E0D	MVI A,0D	nectar primero el C3 y
74	D300	OUT 00	luego el convertidor 1
76	3E05	MVI A,05	
78	D300	OUT 00	
7A	3E99	MVI A,99	Enceramos la variable
7C	32062B	STA AVTEST	que permite el paso a la
7F	32052B	STA AVETAPA	etapa 4.
82	3E00	MVI A,00	
84	32142B	STA AVFLAG	
87	C9	RET	

-----

SUBROUTINA ETAPA#2 REALIZA EL CONTROL DE ENERGIA A LA CARGA Y BATERIA, ADEMAS EFECTUA EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9290	3A142B	LDA AVFLAG	Muestra en el display el
93	A7	ANA A	mensaje Etapa 2.
94	CA9A92	JZ SA1	
97	CD2090	CALL ETAPA#	
9A	3E01 SA1	MVI A,DAT08	Realiza el muestreo de
9C	D322	OUT 22	la señal correspondiente
9E	CD0090	CALL A/D	al voltaje de panel y se
A1	21252B	LXI H,AVVR24	lo compara con el de re-
A4	BE	CMP M	ferencia (AVVR24). Si es
A5	D2C392	JNC SA2	mayor vaya a SA2.



AB	3E0F	SA5	MVI A,0F	Desconecte los converti-
AA	D300		OUT 00	dores.
AC	3E0D		MVI A,0D	Conecte el convertidor 3
AE	D300		OUT 00	de valores.
B0	3E05		MVI A,05	Conecte el convertidor 1
B2	D300		OUT 00	
B4	21122B		LXI H,AVVDEN	Encere todas la varia-
B7	CDDE90		CALL ZERO	bles que se va a utili-
BA	3E99		MVI A,99	zar en la etapa 4.
BC	32062B		STA AVTEST	
BF	32052B		STA AVETAPA	
C2	C9		RET	
C3	21212B	SA2	LXI H,AVMV	Mida el valor de voltaje
C6	3605		MVI M,DAT015	de carga y el valor de
CB	2C		INR L	corriente que circula
C9	3604		MVI M,DAT014	por ella, para calcular
CB	CDA095		CALL POTENCIA1	su potencia.
CE	2D		DCR L	El valor de potencia
CF	211E2B		LDA AVLSBPR	calculado comparel6 con
D2	BE		CMP M	el de referencia (AVPR)
D3	CADC92		JZ SA3	Si es menor vaya a SA4 y
D6	DAE492		JC SA4	si es menor vaya a SA5 .
D9	C3AB92		JMP SA5	
DC	2C	SA3	INR L	
DD	211F2B		LDA AVMSBPR	
E0	BE		CMP M	

E1	D2A892	JNC SA5	
E4	3E00 SA4	MVI A,DATD11	Mida voltaje de batería
E6	D322	OUT 22	y compárelo con el valor
EB	CD0090	CALL A/D	de referencia (AVBCAR).
EB	211D28	LXI H,AVBCAR	Si es mayor significa
EE	BE	CMP H	que la batería está car-
EF	D2FB92	JNC SA6	gada (va a SA6), si es
F2	3E00 SA7	MVI A,00	menor continúe realizan-
F4	32142B	STA AVFLAG	do MPPT.
F7	CDC095	CALL MPPT	
FA	C9	RET	
FB	3E0E SA6	MVI A,0E	Desconecte convertidor 2
FD	D300	OUT 00	y prepare variables que
FF	211228	LXI H,AVVQEN	que se utilizan en la
9302	CDDE90	CALL ZERO	Etapa 3.
05	3E00	MVI A,00	
07	32062B	STA AVTEST	
0A	3E0B	MVI A,0B	
0C	32052B	STA AVETAPA	
0D	C9	RET	

---

SUBROUTINA ETAPA#5 REALIZA LA CONECCION DE LA BATERIA A LA CARGA Y LA PRUEBA DEL NIVEL DE TENSION DE ESTA Y DEL PANEL.

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9330	3A142B	LDA AVFLAG	

33	A7		ANA A	
34	C23A93		JNZ SA1	
37	CD2090		CALL ETAPA#	
3A	3E00	SA1	MVI A,DAT011	Mide el nivel de tensión
3C	D322		OUT 22	de la batería y se lo
3E	CD0090		CALL A/D	compara con el valor de
41	212F28		LXI H,AVVBN	referencia AVVBN. Si es
44	BE		CMP M	menor vaya a SA2, en ca-
45	DA6A93		JC SA2	so contrario, mida el
48	3E01		MVI A,DAT08	voltaje de panel y com-
4A	D322		OUT 22	parelo con el referencia
4C	CD0090		CALL A/D	(AVVRE15). Si es menor
50	211C28		LXI H,AVVRE15	vaya a SA3 en caso con-
53	BE		CMP M	trario conecte el con-
54	DA7793		JC SA3	vertidor 1 y vaya a
57	3E05		MVI A,05	Etapa 4, encerando todas
59	D300		OUT 00	las variables que se van
5B	211228		LXI H,AVVGEN	a utilizar en esta etapa
5E	CDDE90		CALL ZERO	
61	3E99		MVI A,99	
63	320528		STA AVETAPA	
66	320628		STA AVTEST	
69	C9		RET	
6A	3E0F	SA2	MVI A,0F	Desconecte el conver-
6C	D300		OUT 00	tidor 3 y vaya a la
6E	3E0C		MVI A,0C	Etapa 0.

```

70 32052B STA AVETAPA
73 32142B STA AVFLAG
76 C9 RET
77 3EFF SA3 MVI A,FF
79 32142B STA AVFLAG
7C C9 RET

```

---

SUBROUTINA ETAPA#4 REALIZA LA CONEXION DE LA BATERIA PARA CUBRIR EL FALTANTE DE ENERGIA QUE EL PANEL NO PUEDE SUMINISTRAR A LA CARGA

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9380	3A142B	LDA AVFLAG	
83	A7	ANA A	
84	C2BA93	JNZ SA1	
87	CD2090	CALL ETAPA#1	
8A	21222B SA1	LXI H, AVMC	Mida valor de corriente
8D	3602	MVI M,DATD12	que circula por el con-
8F	CD6895	CALL CORRIENTE	vertidor 3 y comparelo
92	21232B	LXI H,AVCC3	con el de referencia
95	BE	CMP M	(AVCC3). Si es mayor var-
96	D2BA93	JNC SA2	ya a SA2 en caso contra-
99	3E0F SA3	MVI A,0F	rio desconecte todos los
9B	D300	OUT 00	convertidores y encere
9D	CD4092	CALL ENCEREC#1	el contador programable
A0	3E0E	MVI A,0E	Conecte el convertidor 1

A2	D300	OUT 00	y el convertidor 2. Y
A4	3E0A	MVI A,0A	se prepara al sistema
A6	D300	OUT 00	para el paso a la etapa
AB	21122B	LXI H,AVVQEN	2.
AB	CDDE90	CALL ZERO	
AE	3E4A	MVI A,4A	
B0	32052B	STA AVETAPA	
B3	32062B	STA AVTEST	
B6	32142B	STA AVFLAG	
B9	C9	RET	
BA	3E05 SA2	MVI A,DAT015	Mida voltaje de carga
BC	D322	OUT 22	y comparelo con el de
BE	CD0090	CALL A/D	referencia (AVVCAR). Si
C1	212C2B	LXI H,AVVCAR	es mayor vaya a SA3 en
C4	BE	CMP M	caso contrario mida vol-
C5	D29993	JNC SA3	taje de panel y almacene
CB	3E01	MVI A,DAT08	en AVOLME, luego se mide
CA	D322	OUT 22	la corriente que circula
CC	CD0090	CALL A/D	por el convertidor 1 y
CF	320C2B	STA AVOLME	se compara con el de re-
D2	21222B	LXI H,AVMC	ferencia AVCPM.
D5	3604	MVI M,DAT014	Si es menor salta a SA3
D7	CD6895	CALL CORRIENTE	en caso contrario conti-
DA	212B2B	LXI H,AVCPM	nue realizando el segui-
DD	BE	CMP M	miento del punto de má-
DE	DAEA93	JC SA3	xima potencia.

E1	3EFF	SA4	MVI A,FF	
E3	21142B		STA AVFLAG	
E6	CDC095		CALL MPPT	
E9	C9		RET	
EA	3A0C2B	SA3	LDA AVOLME	El valor de tensión al-
ED	212D2B		LXI H,AVVPR4	macenado en AVOLME se
F0	BE		CMP M	compara con el de refe-
F1	D2E193		JNC SA4	rencia AVVPR4. Si es ma-
F4	3E00		MVI A,DAT011	yor vaya a SA4 en caso
F6	D322		OUT 22	contrario mida voltaje
FB	CD0090		CALL A/D	de batería y compárese
FB	210D2B		LXI H,AVVBM45	con AVVBM45. Si es me-
FE	0D		CMP M	nor vaya a SA5 en caso
FF	DA1B94		JC SA5	contrario, desconecte
9402	3E0F		MVI A,0F	todos los convertidores
04	D300		OUT 00	para preparar al sistema
06	3E0D		MVI A,0D	cuando pase a la etapa 5.
08	D300		OUT 00	Conectando el converti-
0A	3E29		MVI A,29	dor 3.
0C	32052B		STA AVETAPA	
0F	3E00		MVI A,00	
11	32062B		STA AVTEST	
14	21122B		LXI H,AVVQEN	
17	CDDE90		CALL ZERO	
1A	C9		RET	
1B	3E0F	SA5	MVI A,0F	Desconecte todos los

1D	D300	DUT 00	convertidores y vaya a:
1F	3E0C	MVI A,0C	la etapa 0.
21	32052B	STA AVETAPA	
24	32142B	STA AVFLAG	
27	3E00	MVI A,00	
29	32062B	STA AVTEST	
2C	C9	RET	

-----

SUBROUTINA ETAPA#1 REALIZA LA CARGA DE BATERIAS, MEDIANTE EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9430	3A142B	LDA AVFLAG	
33	A7	ANA A	
34	C23A94	JNZ SA1	
37	CD2090	CALL ETAPA#	
3A	3E00 SA1	MVI A,DATD11	Mida el voltaje de ba-
3C	D322	DUT 22	teria y comparelo con el
3E	CD0090	CALL A/D	de referencia (AVVBND).
41	21082B	LXI H,AVVBND	Si es menor vaya a SA2
44	BE	CMP M	en caso contrario encere
45	DA5B94	JC SA2	el contador #1 y pase a
48	CD4092	CALL ENCEREC#1	la etapa 2, encerando
4B	3E0A	MVI A,0A	todas las variables que
4D	D300	DUT 00	se utilizaran dentro de
4F	3E4A	MVI A,4A	esta etapa.



51	32052B	STA AVETAPA	
54	32142B	STA AVFLAG	
57	C9	RET AVFLAG	
58	3A152B	SA2 LDA AVSWITCH	
5B	A7	ANA A	
5C	C26B94	JNZ SA3	
5F	3EFF	MVI A,FF	
61	32152B	STA AVSWITCH	
64	3E0B	MVI A,0B	Conecte el convertidor 2
66	D300	OUT 00	y mida voltaje de panel
68	3E01	SA3 MVI A,DAT0B	
6A	D322	OUT 22	
6C	CD0090	CALL A/D	
6F	320C2B	STA AVOLME	Almacene el valor medido
72	21222B	LXI H,AVMC	en AVOLME y mida la co-
75	3603	MVI M,DAT013	rriente que circula por
77	CD6B95	CALL CORRIENTE	el convertidor 2.
7A	21092B	LXI H,AVCM1	Compare con el valor da-
7D	BE	CMP M	do por AVCM1. Si es ma-
7E	D29D94	JNC SA4	yor vaya a SA4, si es
81	3A0C2B	LDA AVOLME	menor compare el voltaje
84	211C2B	LXI H,AVVRE15	almacenado en AVOLME con
87	BE	CMP M	AVVRE15.
88	D29D94	JNC SA4	Si es mayor vaya a SA4,
8B	3E00	MVI A,00	y si es menor encere las
8D	32062B	STA AVTEST	variables y vaya a la



90	3E0C	MVI A,0C	Etapa 0.
92	320528	STA AVETAPA	
95	321428	STA AVFLAG	
98	3E0F	MVI A,0F	
9A	D300	OUT 00	
9C	C9	RET	
9D	CDC095 SA4	CALL MPPT	Realize el seguimiento
A0	C9	RET	del punto de MPPT.

---

PROGRAMA PRINCIPAL REALIZA LA COORDINACION Y EL CONTROL DE LAS DIFERENTES ETAPAS.

---

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9500	31C220	LXI H,20C2	Defina el puntero de pila.
03	CD5890	CALL INICIALI.	Prepare al sistema
06	210528	LXI H,AVETAPA	para que inicie el trabajo
09	360C	MVI M,0C	bajo en la Etapa 0.
0B	2C	INR L	
0C	3600	MVI M,00	Se encera TEST
0E	3EFF	MVI A,FF	
10	321428	STA AVFLAG	Se asegura que los convertidores
13	D300	OUT 00	estén desconectados y se
15	FB	EI	habilita el sistema de interrupción.
16	1100F0 SA12	LXI D,F000	
19	CD5105	CALL DELAY	
1C	3A0628	LDA AVTEST	Si TEST es diferente de

1F	A7	ANA A	cero vaya a SA10 en caso
20	C24295	JNZ SA10	contrario se verifica
23	3A052B	LDA AVETAPA	en que etapa se encuen-
26	FE0C	CPI 0C	tra, 0, 3 ó 5.
28	C23195	JNZ SA11	
2B	CD9090	CALL ETAPA#0	Ejecute Etapa 0
2E	C31695	JMP SA12	
31	FE0B	SA11 CPI 0B	
33	C23C95	JNZ SA13	
36	CD5092	CALL ETAPA#3	Ejecute Etapa 3
39	C31695	JMP SA12	
3C	CD3093	SA13 CALL ETAPA#5	Ejecute Etapa 5
3F	C31695	JMP SA12	
42	3A052B	SA10 LDA AVETAPA	Se pregunta en que etapa
45	FE9F	CPI 9F	se encuentra 1, 2 ó 4.
47	C25095	JNZ SA14	
4A	CD3094	CALL ETAPA#1	Ejecute Etapa 1
4D	C31695	JMP SA12	
50	FE4A	SA14 CPI 4A	
52	C25B95	JNZ SA15	
55	CD9092	CALL ETAPA#2	Ejecute Etapa 2
58	C31695	JMP SA12	
5B	CD8093	SA15 CALL ETAPA#4	Ejecute Etapa 4
5E	C31695	JMP SA12	

---

SUBROUTINA CORRIENTE REALIZA LA MEDICION DE CORRIENTE ESPECIFICADA POR LA VARIABLE AVMC

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9568	E5	PUSH H	
69	212828	LXI H, AVAT	
6C	CDE990	CALL ENDERE	
6F	E1	POP H	
70	0E40	MVI C, 40	
72	7E SA1	MOV A, M	
73	D322	OUT 22	
75	CD0090	CALL A/D	
78	E5	PUSH	
79	212828	LXI H, AVAT	
7C	CDA091	CALL SUMA	
7F	E1	POP H	
80	0D	DCR C	
81	C27295	JNZ SA1	
84	212928	LXI H, AVAT1	
87	CDB091	CALL PROMEDIO	
8A	C9	RET	

SUBROUTINA ENCEREVI SIRVE PARA PREPARAR A LAS VARIABLES DONDE SE ALMACENA TANTO VOLTAJE COMO CORRIENTE PARA TOMAR NUEVOS VALORES

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
9590	E5	PUSH H	
91	211628	LXI H,ASVLSB	
94	CDE990	CALL ENCERE	
97	2C	INR L	
98	CDE990	CALL ENCERE	
9B	E1	POP H	
9C	C9	RET	

SUBROUTINA POTENCIA1 REALIZA EL CALCULO DE LA POTENCIA QUE ESTA CONSUMIENDO LA CARGA

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
95A0	CD6091	CALL POTENCIA	
A3	212628	LXI H,AVPLMSB	
A6	70	MOV M,B	
A7	2C	INR L	
A8	71	MOV M,C	
A9	CD9095	CALL ENCEREVI	
AC	C9	RET	

SUBROUTINA POTENCIA0 REALIZA EL CALCULO DE LA POTENCIA QUE EL

PANEL ESTA ENTREGANDO EN ESE MOMENTO

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
95B0	CD6091	CALL POTENCIA	
B3	21102B	LXI H,AVPOTN	48 VOLTAGE
B6	70	MOV M,B	
B7	2C	INR L	
B8	71	MOV M,C	
B9	C9	RET	

=====

SUBROUTINA MPPT REALIZA EL SEGUIMIENTO DEL PUNTO DE MAXIMA POTENCIA CONJUNTAMENTE CON LA SUBROUTINA ALGORITMO DE MPPT (AMPPT)

DIR.	CODIGO	INSTRUCCIONES	COMENTARIOS
95C0	21212B	LXI H,AVMV	
C3	3601	MVI M,DAT08	
C5	2C	INR L	
C6	3603	MVI M,DAT013	
CB	CD6091	CALL POTENCIA	
CA	21102B	LXI H,AVPOTN	
CD	70	MOV M,B	
CE	2C	INR L	
CF	71	MOV M,C	
D0	CD0092	CALL AMPPT	
D3	CD9095	CALL ENCERVI	
D6	C9	RET	

ser. No. \_\_\_\_\_

transformación, que básicamente transformen o acondicionen las señales medidas, a valores apropiados.

#### 3.3.4.2 Acondicionadores de Corriente

##### 3.3.4.1 Acondicionadores de Voltaje

Dado que los valores de las señales medidas, es un poco alta, el circuito que se utiliza debe asegurar la conversión del valor de tensión a medir, de tal manera que sea compatible con la tensión máxima de entrada al convertidor A/D que es de 5 voltios.

En nuestro caso utilizamos un circuito reductor, que consiste en tomar la tensión de referencia (panel, batería o carga), y dividirla por medio de resistencias (figura 3.29).

Tanto la tensión del panel, como de la batería y de la carga que van al convertidor A/D, pasa primero por un multiplexor analógico de 8 canales, y cuando es seleccionada pasa al A/D, a través de un amplificador operacional de ganancia uno con el

fin de acoplar impedancias entre las señales a medir y el convertidor (figura 3.29)

#### 3.3.4.2 Acondicionadores de Corriente

La medida de corriente del panel, de la batería y de la carga es expresada en forma de voltaje, haciendola circular a través de una resistencia (shunt).

Esta caída de tensión es amplificada por medio de un circuito operacional en un rango de 0 - 5 voltios, para de esta manera pueda ser convertida.

En la figura 3.30 se tiene la configuración de los diferentes acondicionadores de corriente (corriente del panel, corriente de batería y corriente de carga).

De la figura los capacitores constituyen los filtros para eliminar las frecuencias parásitas, debido a la conmutación de los transistores de potencia (convertidores).

#### 3.3.5 Banco de switches

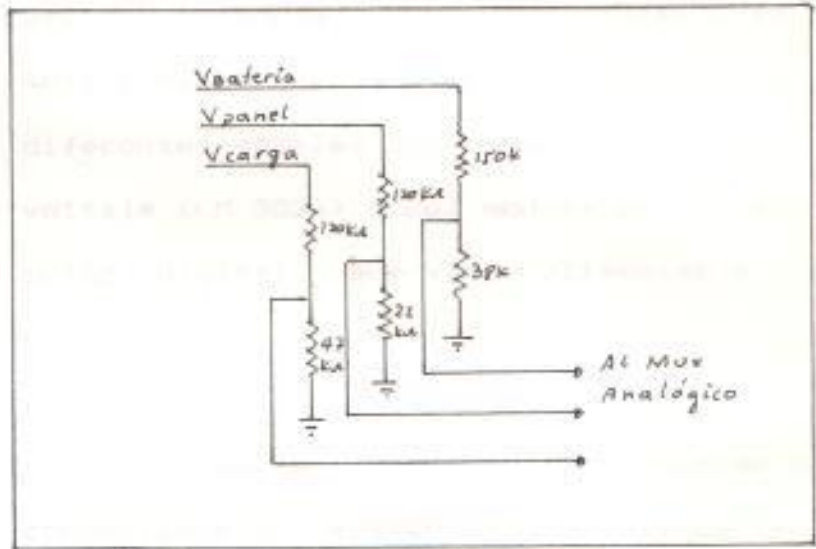


Fig. 3.29 Acondicionadores de voltaje

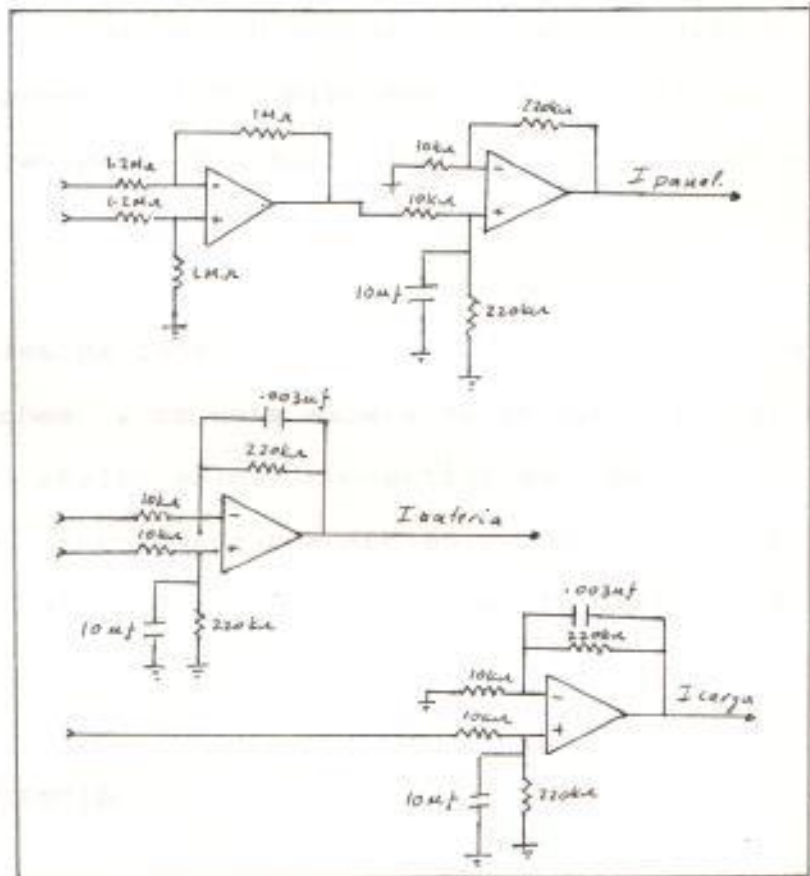


Fig. 3.30 Acondicionadores de corriente



Esta básicamente conformado por el circuito integrado MC 4016 y es el que va a servir para controlar las diferentes señales provenientes del regulador de voltaje (LM 3524) o del modulador de ancho de pulso digital, que van a alimentar a un convertidor dado.

De acuerdo a los posibles modos de funcionamiento de cada convertidor se realizó el diagrama de conexión de conexión que se muestra en la figura 3.31.

Así las salidas A y D se las utiliza para alimentar al convertidor C1, mientras que las salidas B y C sirven para excitar a los convertidores C3 y C2 respectivamente.

Las señales de control que permiten el cierre de los switches y de esta manera dejar pasar las diferentes señales a los convertidores, son generadas en el microcomputador SDK-85 y enviadas por la puerta 0 del 8355, por medio de la instrucción OUT.

#### 3.4 CIRCUITO DE POTENCIA

En la figura 3.32 se muestra el esquema detallado del

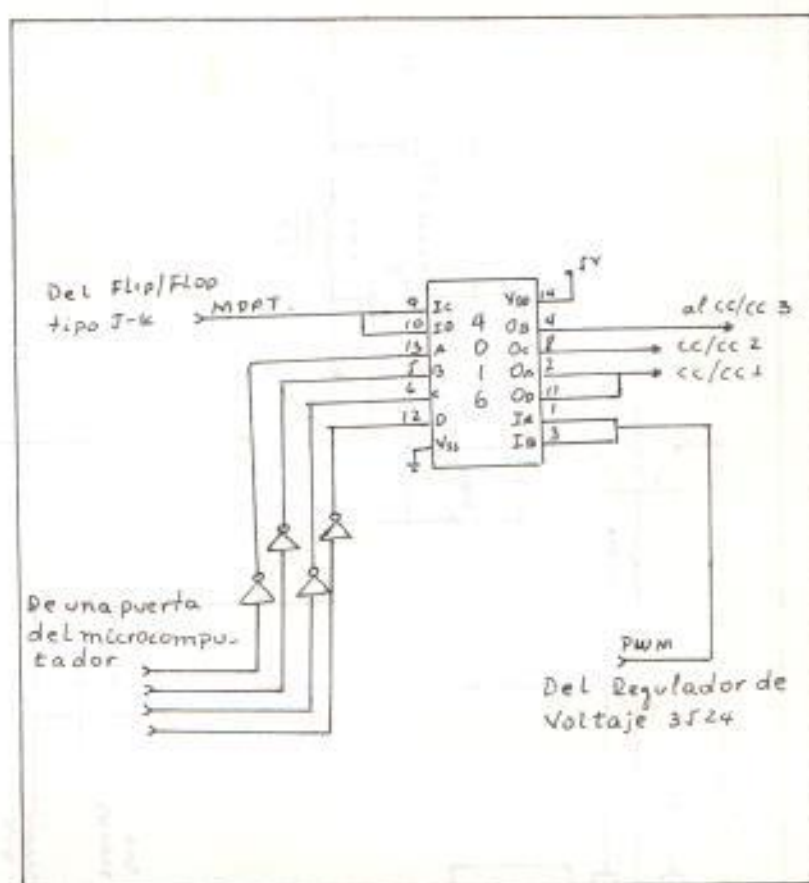


Fig. 3.31 Diagrama de conexión del MC 4016

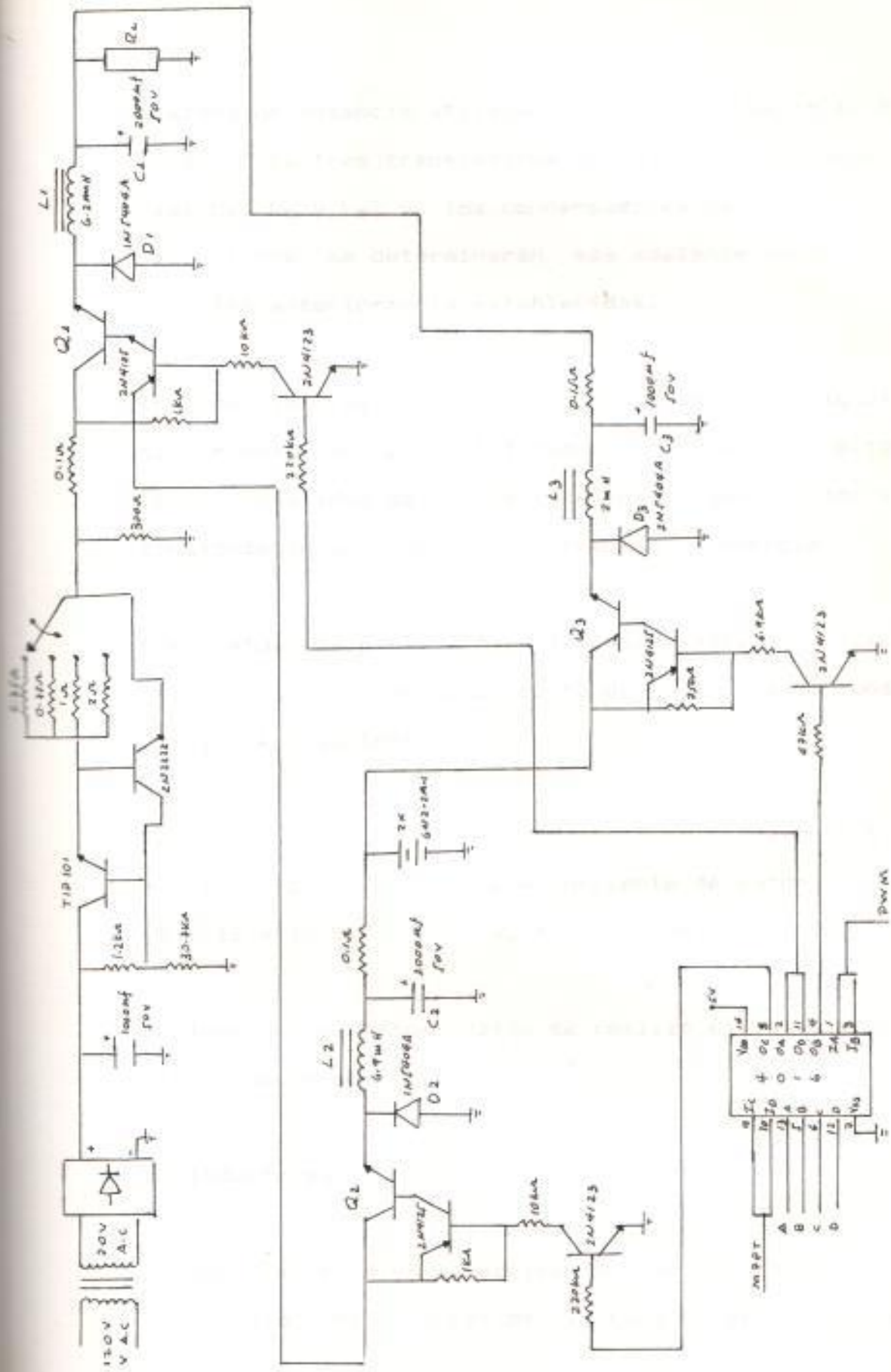


Fig. 3.32 Diagrama de conexión del circuito de Potencia

sistema de potencia utilizado, el núcleo básico lo constituyen los tres transistores  $Q_1$ ,  $Q_2$  y  $Q_3$ ; las inductancias  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$ , y, los condensadores  $C_1$ ,  $C_2$  y  $C_3$ , cuyos valores se determinarán más adelante aplicando las formulas anteriormente establecidas.

Los transistores de potencia son atacados individualmente por una etapa preamplificadora (corriente y voltaje), con la finalidad de obtener una buena conmutación y por consiguiente una buena transferencia de energía.

Como datos de partida para la determinación de los componentes que forman el circuito de potencia se consideraran los siguientes:

$$V_e = 30 \text{ V.}$$

$$V_o = \text{Voltaje de carga} = 12 \text{ V.}$$

$$f = 1000 \text{ Hz.}$$

$$I_o = \text{Corriente de carga} = 3 \text{ A.}$$

$$V_b = 12 - 15 \text{ V.}$$

$$V_w = \text{rizado de } V_o = 10 \text{ mV.}$$

En función de estos datos se realizó el calculo de los siguientes elementos:

#### a) Inductores

Con los datos y la aplicación de la fórmula 3.3 se calculó los valores de  $L_1$ ,  $L_2$  y  $L_3$  de la siguiente

manera:

$$L_1 = \frac{2,5 \cdot (30 - 12) \cdot 12}{3 \cdot 30 \cdot 1000} \quad L_1 = 6,0 \text{ mH}$$

$$L_2 = \frac{2,5 \cdot (30 - 15) \cdot 15}{3 \cdot 30 \cdot 1000} \quad L_2 = 6,25 \text{ mH}$$

$$L_3 = \frac{2,5 \cdot (15 - 12) \cdot 12}{3 \cdot 15 \cdot 1000} \quad L_3 = 2,0 \text{ mH}$$

Los valores que se utilizaron en la practica fueron:

$$L_1 = 6,2 \text{ mH} \quad L_2 = 6,9 \text{ mH} \quad L_3 = 2 \text{ mH}$$

#### b) Condensadores

Para el cálculo de los condensadores se utilizó los valores de los inductores ya calculados y los datos definidos, de tal manera que los reemplazamos en la fórmula 3.4 de la siguiente manera:

$$C_1 = \frac{(30 - 12) \cdot 12 \cdot (0,001)^2}{8 \cdot 0,1 \cdot 30 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}$$

$$C_2 = \frac{(30 - 15) \cdot 15 \cdot (0,001)^2}{8 \cdot 0,1 \cdot 30 \cdot 6,25 \cdot 10^{-3}}$$

$$C_3 = \frac{(15 - 12) \cdot 12 \cdot (0,001)_2}{8 \cdot 0,1 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 10^{-2}}$$

Los valores que en la practica se utilizarón fueron los siguientes:

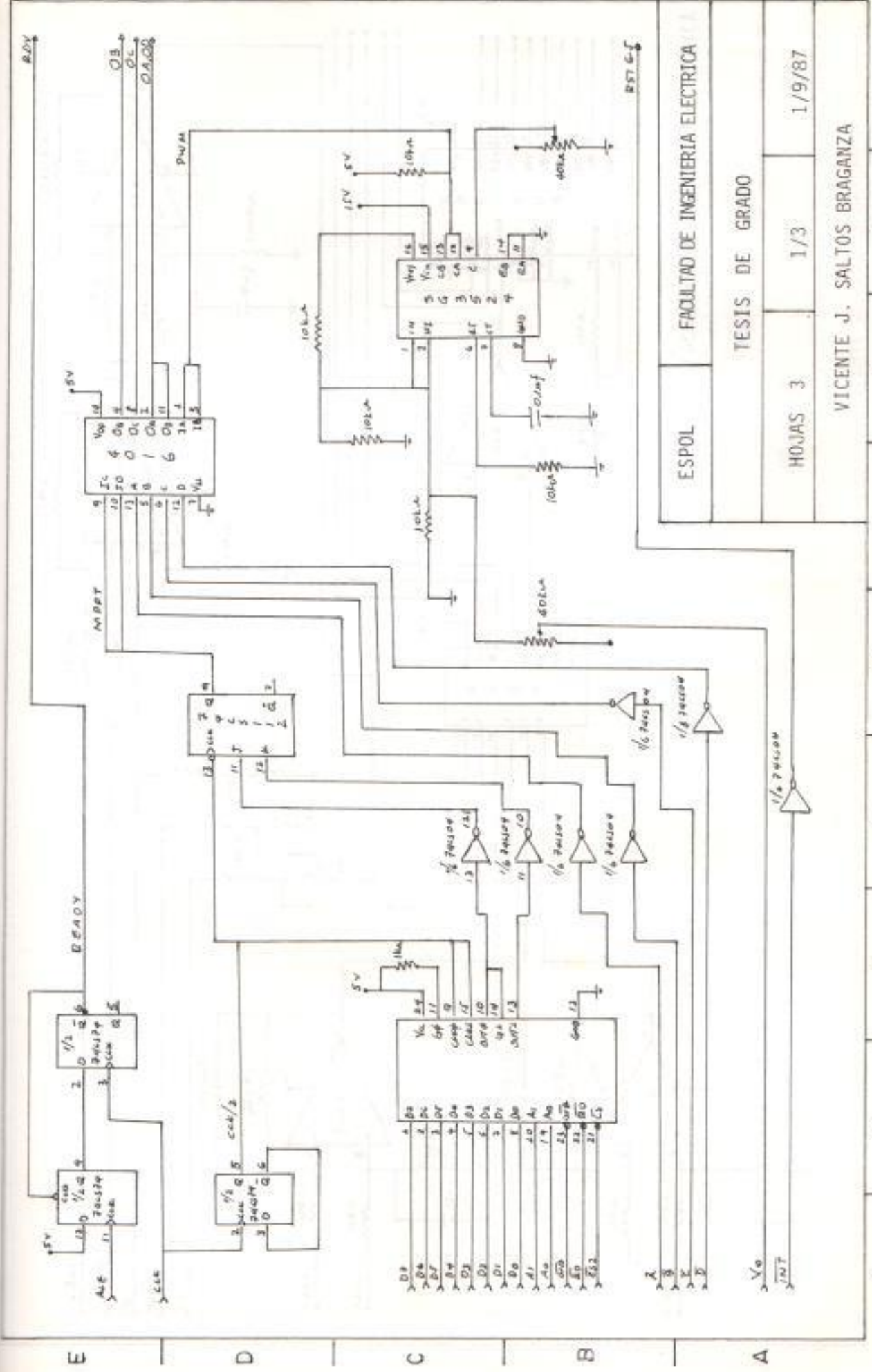
$$C_1 = 2000 \text{ mF} \quad C_2 = 2000 \text{ mF} \quad C_3 = 1000 \text{ mF}$$

### c) Transistores y Diodos

El calculo de estos elementos se realizó en base a los datos ya descritos, y tomando en consideración que este trabajo será de uso del Laboratorio de Energía Solar se sobredimensionó los valores, de tal manera que su utilización no comprometa el daño de uno de aquellos.

A continuación se presenta el diagrama esquemático que representa tanto al circuito de control como al circuito de potencia del presente trabajo.

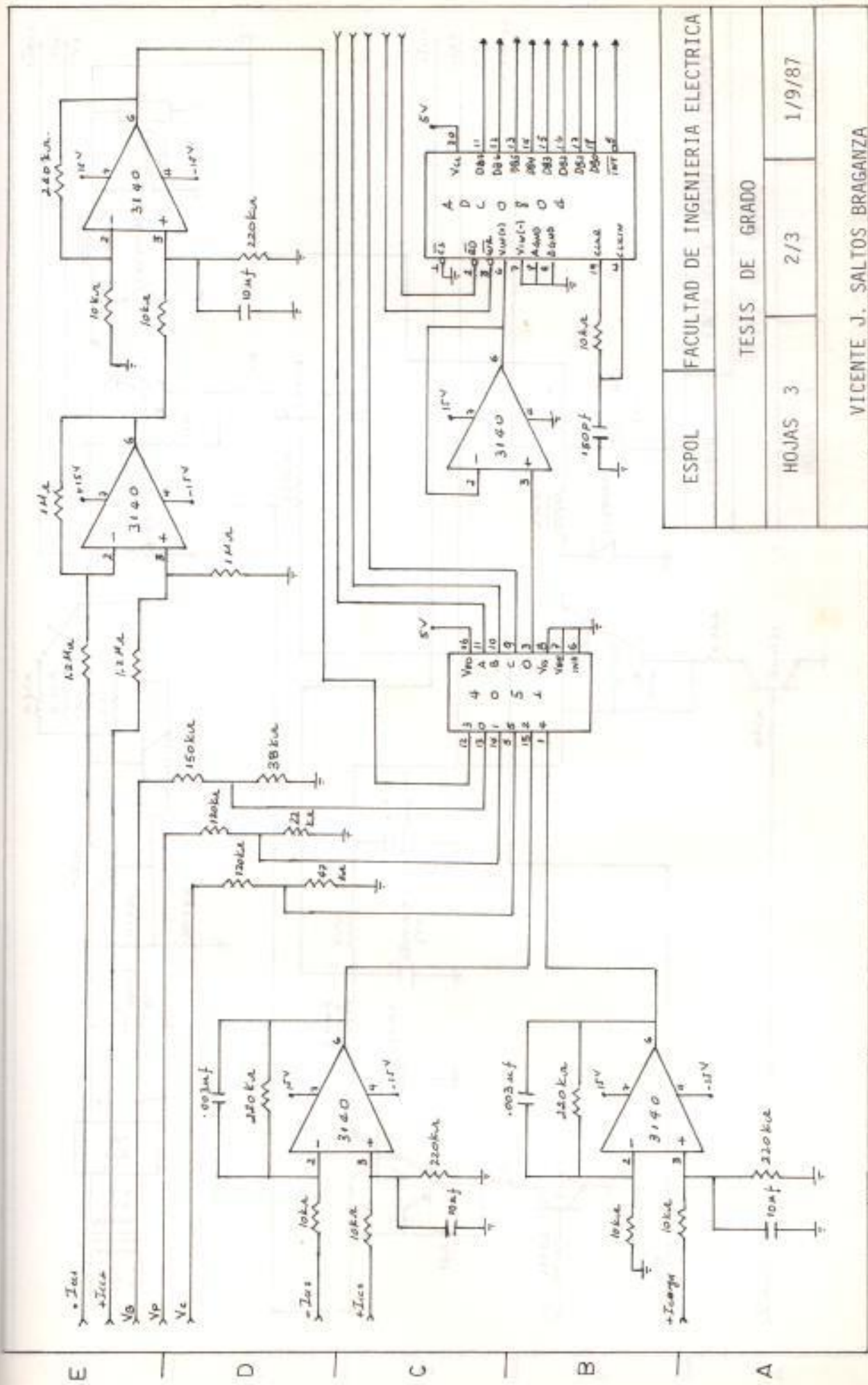




ESPOL	FAACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
HOJAS 3	1/3
	1/9/87
VICENTE J. SALTOS BRAGANZA	

1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9





ESPOL FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA

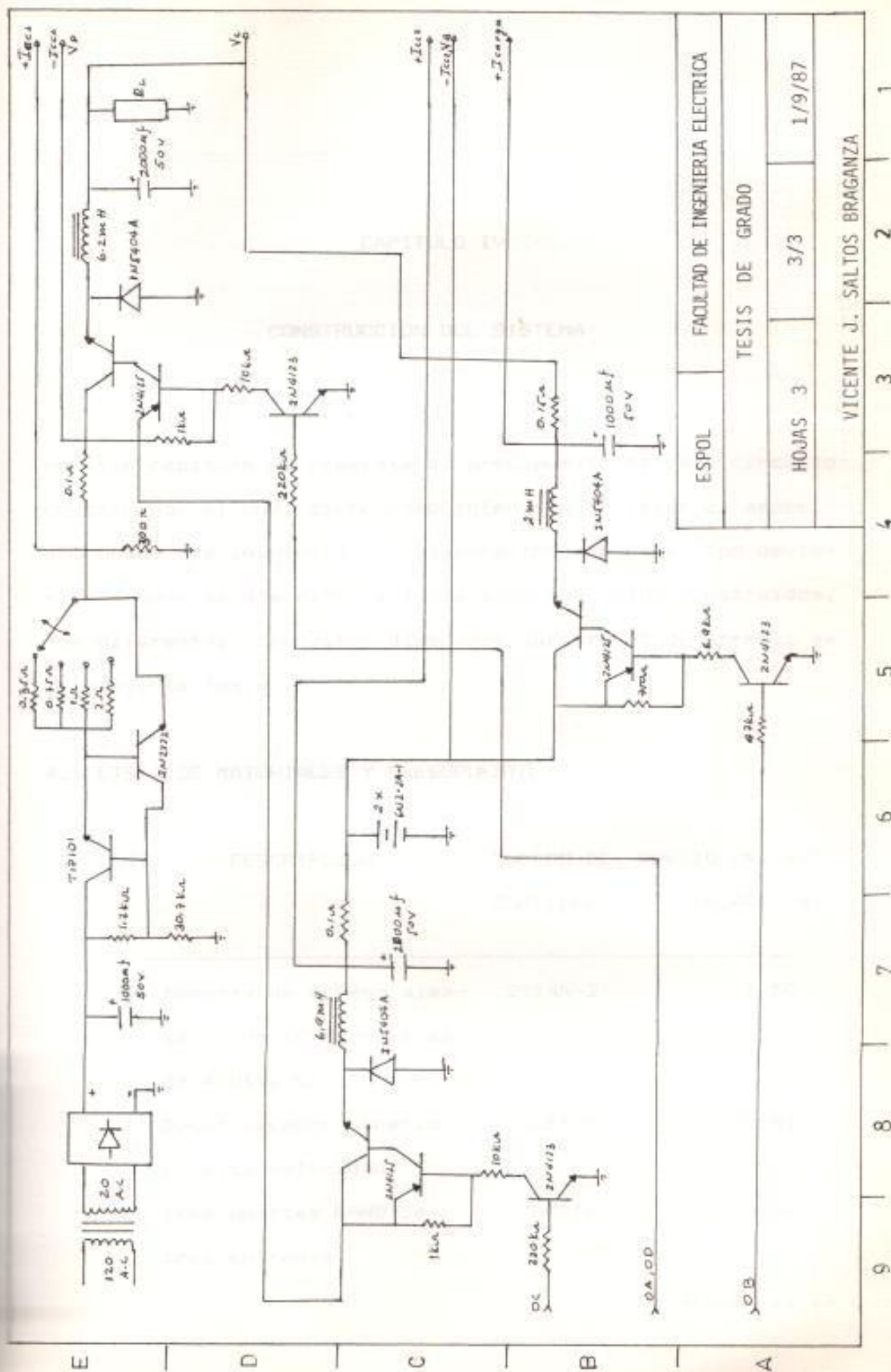
TESIS DE GRADO

HOJAS 3 2/3 1/9/87

VICENTE J. SALTOS BRAGANZA

9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1





ESPOL	FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRICA
-------	----------------------------------

TESIS DE GRADO	
----------------	--

HOJAS 3	3/3	1/9/87
---------	-----	--------

VICENTE J. SALTOS BRAGANZA		
----------------------------	--	--

Condensadores de Tanta-		
do 10µ22 y 10µ Voltios		
Seis Inversores	CAPITULO IV	0.49
Trabajo para circuito	10 p.p. en	0.90
Integrar	CONSTRUCCION DEL SISTEMA	
		0.70

En este capítulo se presenta el presupuesto de cada circuito construido, el cual tiene como intención reflejar el aspecto económico que involucra la elaboración de este tipo de tesis. Además se describe la forma como han sido construidos, los diferentes circuitos diseñados durante el desarrollo de la presente Tesis.

#### 4.1 LISTA DE MATERIALES Y PRESUPUESTO

CANT.	DESCRIPCION	NUMERO DE CATALOGO	PRECIO UNITARIO (DOLARES \$)
<hr/>			
4	Memoria de acceso aleatorio de 1024 palabras de 4 bits cada una.	2114N-2	1.50
1	Decodificador binario de alta velocidad.	74LS13B	0.89
1	Tres puertas NAND de tres entradas.	74LS10	0.49

Sigue .....

10	Condensadores de Tantalio TM.22 f 35 Voltios.		0.20
3	Seis inversores	74LS04	0.49
4	Zócalo para circuito integrado de 18 pines.	18 pin WW	0.99
3	Zócalo para circuito integrado de 16 pines.	16 pin TWW	0.55
8	Zócalo para circuito integrado de 14 pines.	14 pin WW	0.65
10	Condensadores de cerámica 0.1 f 50 Voltios.		0.15
2	Puertas de entrada - salida de 8 bits.	8212	1.95
5	Reforzadores y elevadores de corriente de 4 bits.	8216	1.59
3	Dual flip-flop tipo D	74LS74	0.59
1	Cuatro puertas AND	74S00	0.35
2	Zócalo para circuito integrado de 24 pines.	24 pin LP	0.31
5	Zócalo para circuito integrado de 16 pines.	16 pin LP	0.17
2	Zócalo para circuito integrado de 14 pines.	14 pin LP	0.17
1	Dual flip-flop J-K	74LS112	0.89

Sigue .....

1	Cuatro switch analógico	CD4016	0.60
1	Multiplexor analógico de 8 a 1.	CD4051	0.65
1	Temporizador programable	8253C	1.95
1	Memoria de lectura solamente de 4096 palabras de 8 bits cada una.	2732A	3.95
5	Amplificadores operacionales.	CA3140E	0.79
1	Convertidor analógico-digital de 8 bits.	ADC0804	3.19
1	Zócalo para circuito integrado de 20 pines.	20 pin WW	0.99
5	Zócalo para circuito integrado de 8 pines.	8 pin WW	0.59
2	Baterías de 6 Voltios	6N2-2A-1	15.00
3	Transistores NPN	2N4123A	0.70
3	Transistores PNP	2N4125A	0.70
3	Tarjetas	64P44XXP	2.19
5	Pies de cable plano	171.50	1.00
200	Postes plateados	T46	4.95 *
200	Postes porta resistencias.	T49	4.25 *
3	Diodos	1N5404A	0.80

Sigue .....

4.2.3	3 Transistores NPN de potencia.	1.50
	10 Conectores tipo hembra de 10 pines c/u.	0.79
	<b>Total .....</b>	<b>\$155.43</b>

Nota: \* representa el precio por cada cincuenta. Cada uno de los circuitos tratados en el capítulo 4, muestra el funcionamiento de los transistores NPN y PNP, y el uso de los conectores de 10 pines. Finalmente, a la prueba del sistema se le muestra una fotografía de la etapa de prueba del sistema de control.

El circuito de control de velocidad del sistema de control de velocidad se muestra en la figura 4.1. Este circuito se muestra en la figura 4.1.

El sistema de control de velocidad se muestra en la figura 4.1. Este sistema de control de velocidad se muestra en la figura 4.1.

#### 4.2 TARJETAS DE LAS DIFERENTES PARTES DEL SISTEMA, MONTAJE Y DISPOSICION DE LAS MISMAS

Antes de presentar físicamente, cada una de las tarjetas del sistema, haré un breve relato del desarrollo de éste trabajo.

En la etapa de experimentación se fueron armando cada uno de los bloques tratando de seccionar el sistema, de tal manera que el trabajo sea paulatino y secuencial.

Una vez que se obtuvo resultados satisfactorios de cada una de las partes, se procedió al ensamblaje del conjunto y finalmente a la prueba del mismo. La figura 4.1 muestra una fotografía de la etapa de prueba del sistema completo.

El circuito que representa la interfase entre el sistema controlador y controlado fue construido en dos tarjetas cuyas dimensiones son:

La técnica de conexión dentro de este circuito es la de alambre enroscado (Wire Wrap); la cual será utilizada en la construcción de todos los circuitos estudiados en el



Fig. 4.1 Fotografía de la etapa de experimentación.



presente trabajo, a excepción del circuito de convertidores.

Se ha seleccionado la técnica de conexión por alambre enroscado, ya que permite un ensamblaje en forma rápida y eficaz de tarjetas que contengan una alta densidad de circuitos integrados. Además permiten que se realicen modificaciones del circuito con relativa facilidad.

Para la modalidad de conexión por alambre enroscado, existen comercialmente zócalos especiales para circuitos integrados, provistos de terminales tipo poste; así como también terminales de tipo poste individuales para conectar componentes tales como: resistencias, condensadores, diodos, etc. De igual manera existen tarjetas, para la implantación de los circuitos, con perforaciones cuyos diámetros deben ajustarse a los de los terminales-tipo poste.

Para la conexión de la interface con el sistema controlador y controlado se utilizó conectores tipo hembra de 10 pines cada uno.

En las figuras 4.2 a 4.6 se tienen las fotografías, que muestran la disposición de los elementos en las diferentes tarjetas.



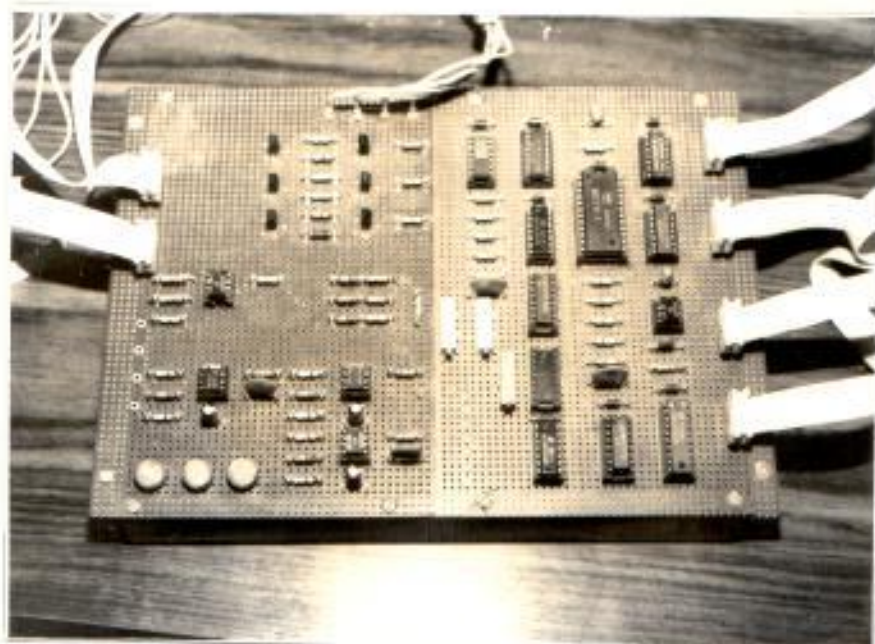


Fig. 4.2 Fotografía de la tarjeta que contiene la interface entre el sistema controlador y controlado.

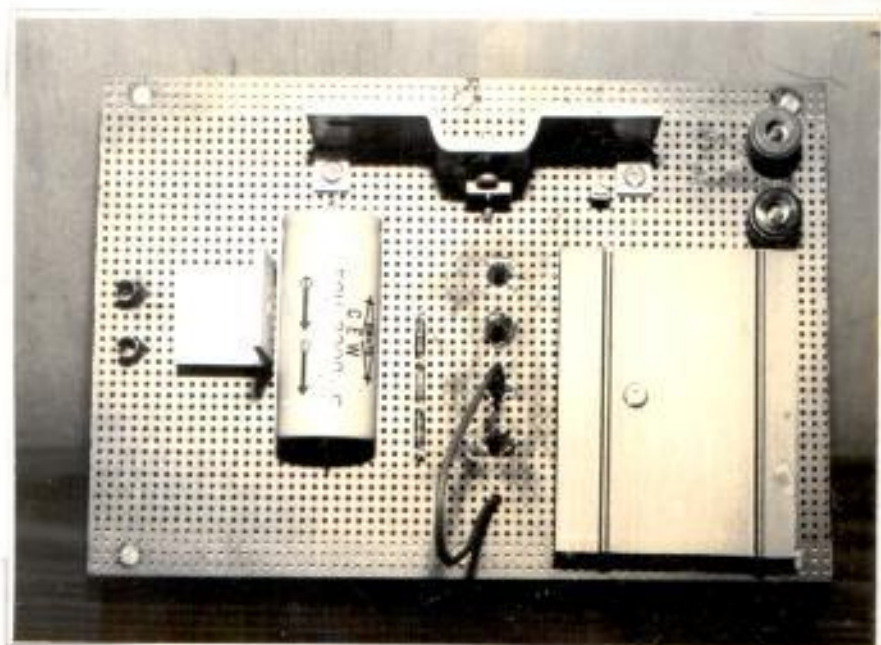


Fig. 4.3 Fotografía de la tarjeta que contiene el simulador de panel solar fotovoltaico.

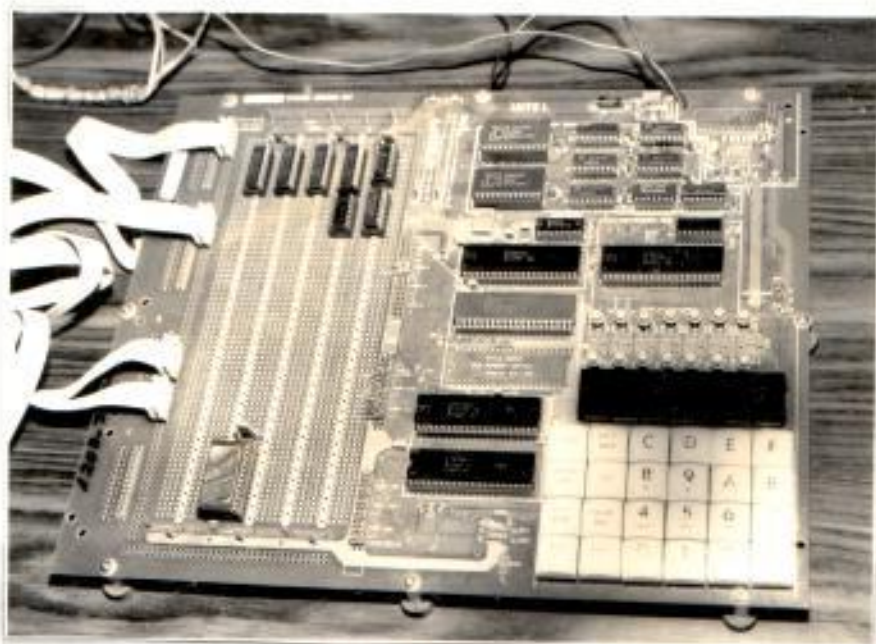


Fig. 4.4 Fotografía del microcomputador SDK-85 que contiene la expansión de memoria y el EPROM donde se encuentra el programa que forma parte del sistema controlador.

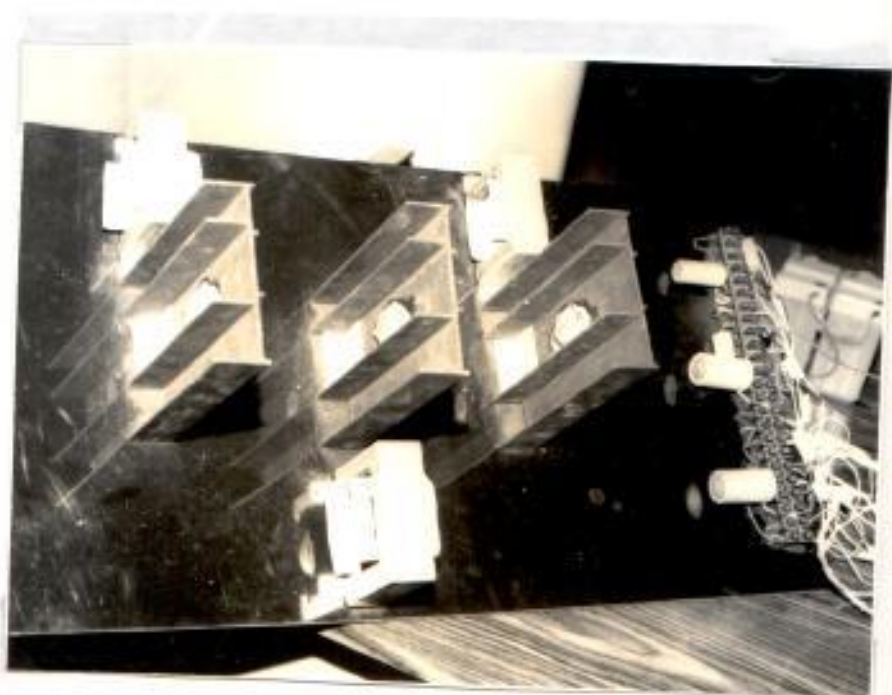


Fig. 4.5 Fotografía de la placa que contiene los tres convertidores DC/DC.



Fig. 4.6 Fotografía de las baterías que forman parte del prototipo de Central Solar Fotovoltaica.

## PRUEBAS Y RESULTADOS OBTENIDOS CON NUESTRO PROTOTIPO

## 5.1 CURVA CARACTERISTICA DEL SIMULADOR DE PANEL SOLAR

Con el propósito de obtener de obtener la curva del simulador de panel solar se implementó el circuito que se muestra en la figura 5.1

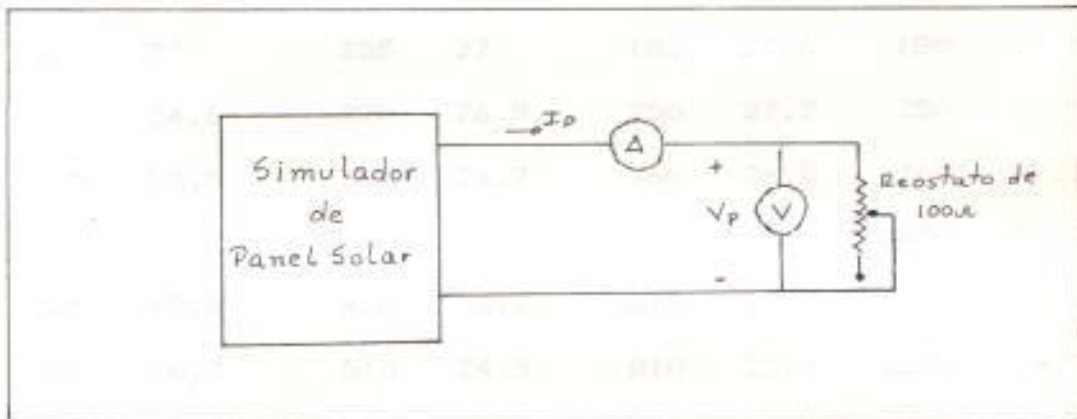


Figura 5.1 Circuito para medir características del simulador de panel solar.

A medida que se varia el valor del reóstato  $R$ , se tomó lectura tanto de voltaje como de corriente. Los datos están tabulados en la tabla 5.1.



TABLA 5.1

VALORES DE VOLTAJE Y CORRIENTE DEL SIMULADOR DE PANEL SOLAR PARA UN VALOR FIJO DE  $R_s$  (SIMULA EL NIVEL DE INSOLACION), Y VARIANDO LA CARGA (REOSTATO R) CONECTADA AL SIMULADOR.

$R_s = 2 \Omega$		$R_s = 1 \Omega$		$R_s = 0.75 \Omega$		$R_s = 0.35 \Omega$	
I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)	I (mA)	V (V)
0	28.2	0	28.2	0	28.2	0	28.2
18	28	180	27.4	25	28.1	25	28.1
100	27	255	27	180	27.6	180	27.8
225	24.6	270	26.9	250	27.2	250	27.5
255	23.5	315	26.7	360	26.8	360	27.1
265	22.7	350	26.5	500	26.2	630	26.3
285	19.8	420	26.1	675	25	900	25.6
300	16.3	510	24.5	810	22.9	1275	24.3
315	13.5	630	21	895	15.3	1740	21.8
340	9.3	675	13.8	910	11.6	1950	19
360	4.6	710	6	950	6.3	2070	9.8
370	1	750	2	975	4	2130	5.5
380	0	760	0	995	0	2180	0

Con los datos de la tabla 5.1 se hizo el grafico de voltaje del simulador de panel solar versus corriente (figura 5.2). Como se observa en el grafico de la figura 5.2, la curva característica del simulador de panel solar se asemeja a la característica real de un panel solar.

## 5.2 PRUEBAS Y RESULTADOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA EN LAS ETAPAS 0, 1, 2, 3, 4 Y 5

Las pruebas que se realizaron fue en base al prototipo de Central Solar Fotovoltaica anteriormente descrito.

Como carga exterior se conectó una resistencia de 22 - 20W y una de 11 /20W.

El nivel de radiación (ver fig. 5.1.c) presente en ese momento se seleccionó, tomando un valor de  $R_s = 0.75$  (controla la corriente de cortocircuito del simulador).

El paso de una etapa a otra se da cuando se cumplan ciertas condiciones, las cuales han sido previamente almacenadas en las posiciones de memoria reservadas con este proposito. Dichos valores para efectos de pruebas se los ha definido de tal manera, poder tomar las fotos que representen el funcionamiento del sistema en cada



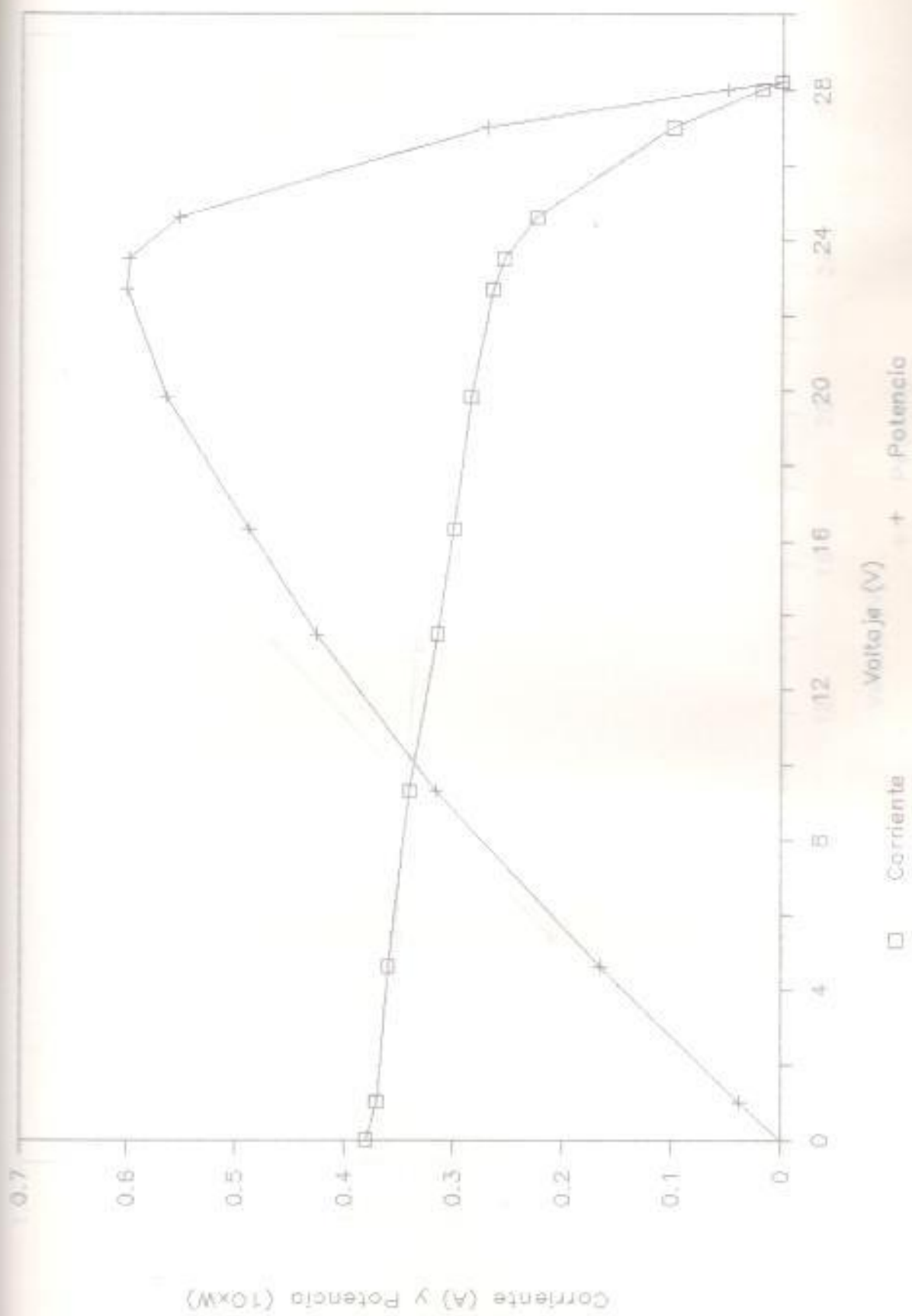


Fig. 5.2.a Característica del simulador de panel solar para  $R_s=2 \Omega$

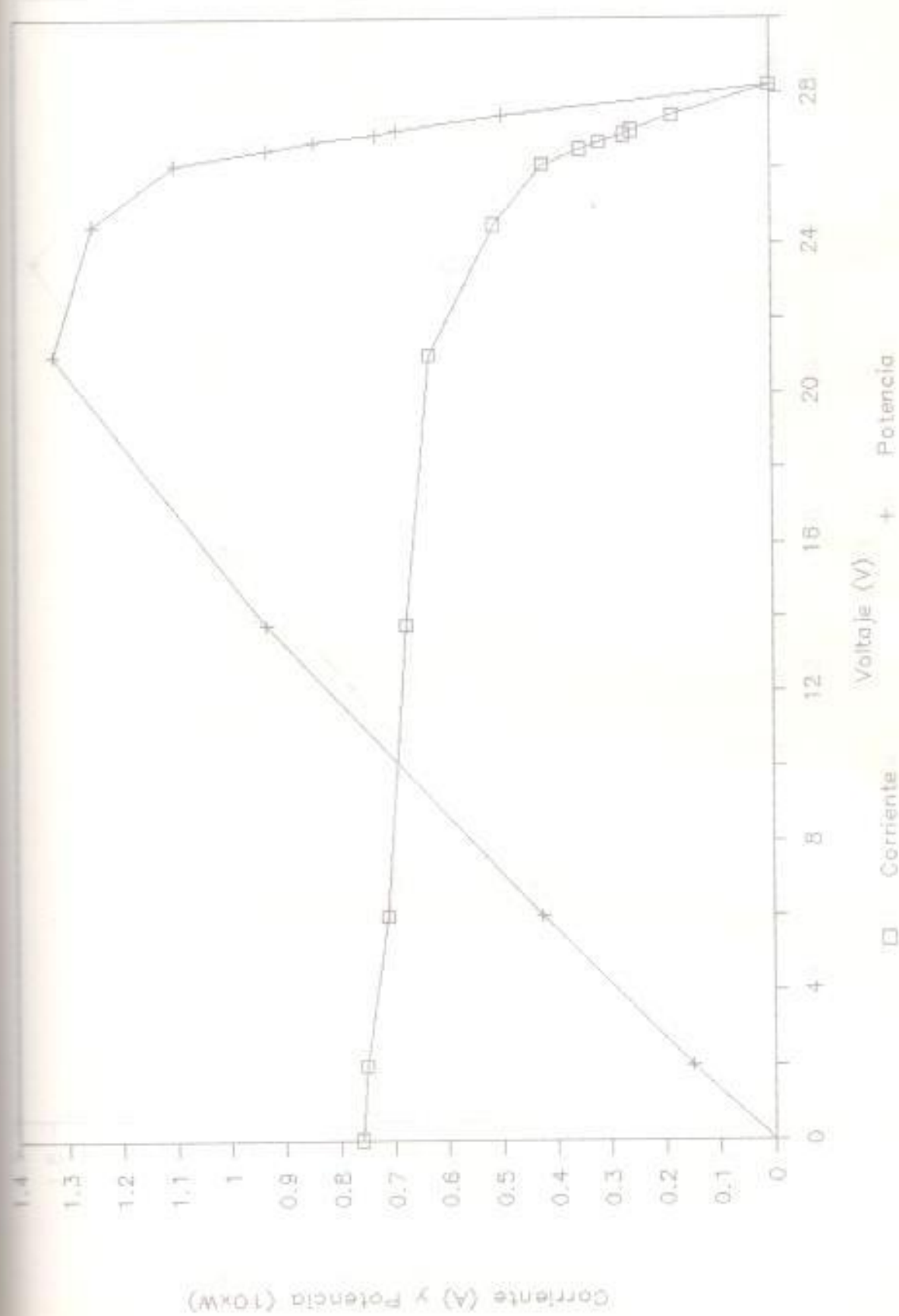


Fig. 5.2.b Característica del simulador de panel solar para  $R_s=1\Omega$

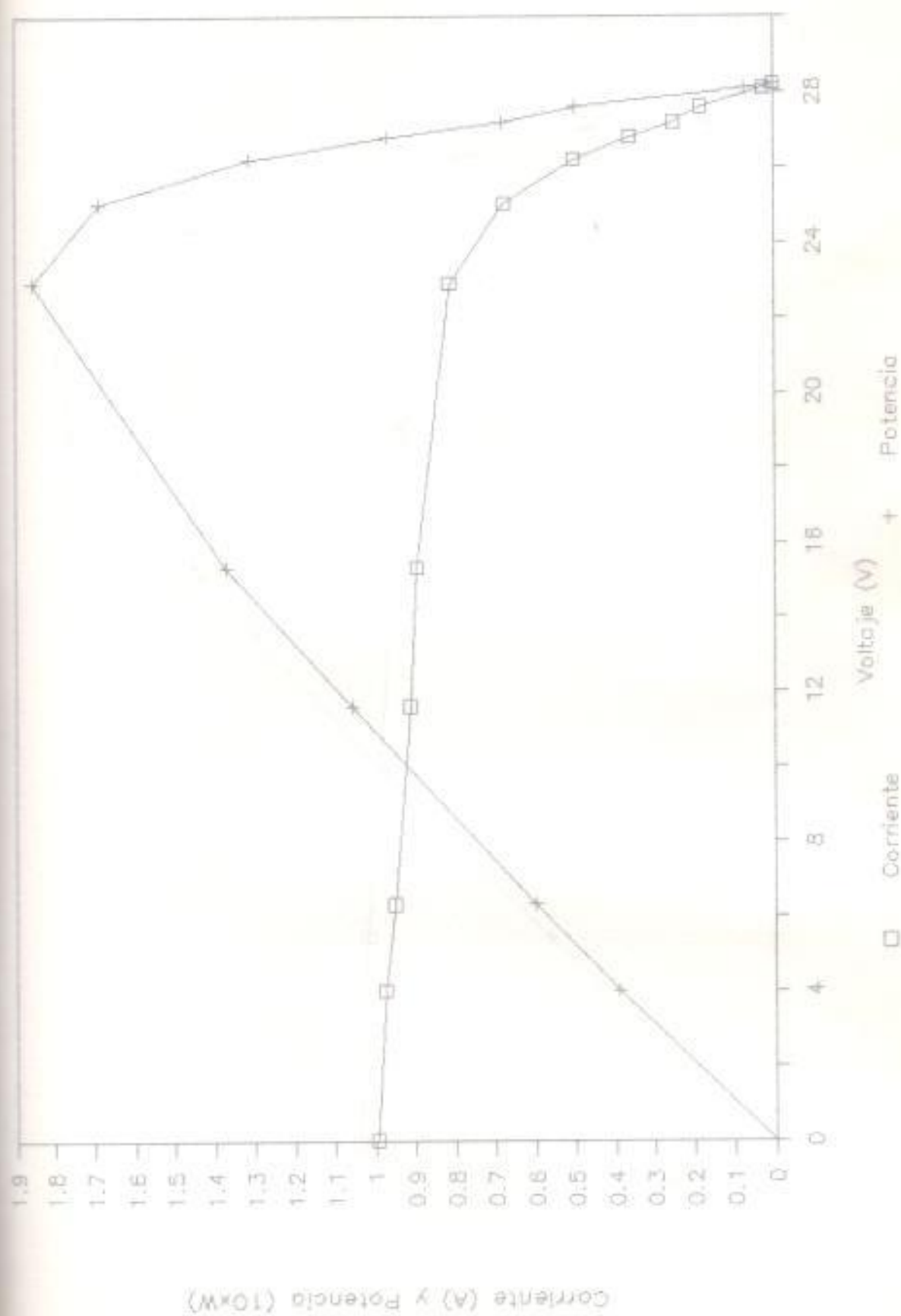


Fig. 5.2.c. Característica del simulador de panel solar para  $R_s=0.75\Omega$

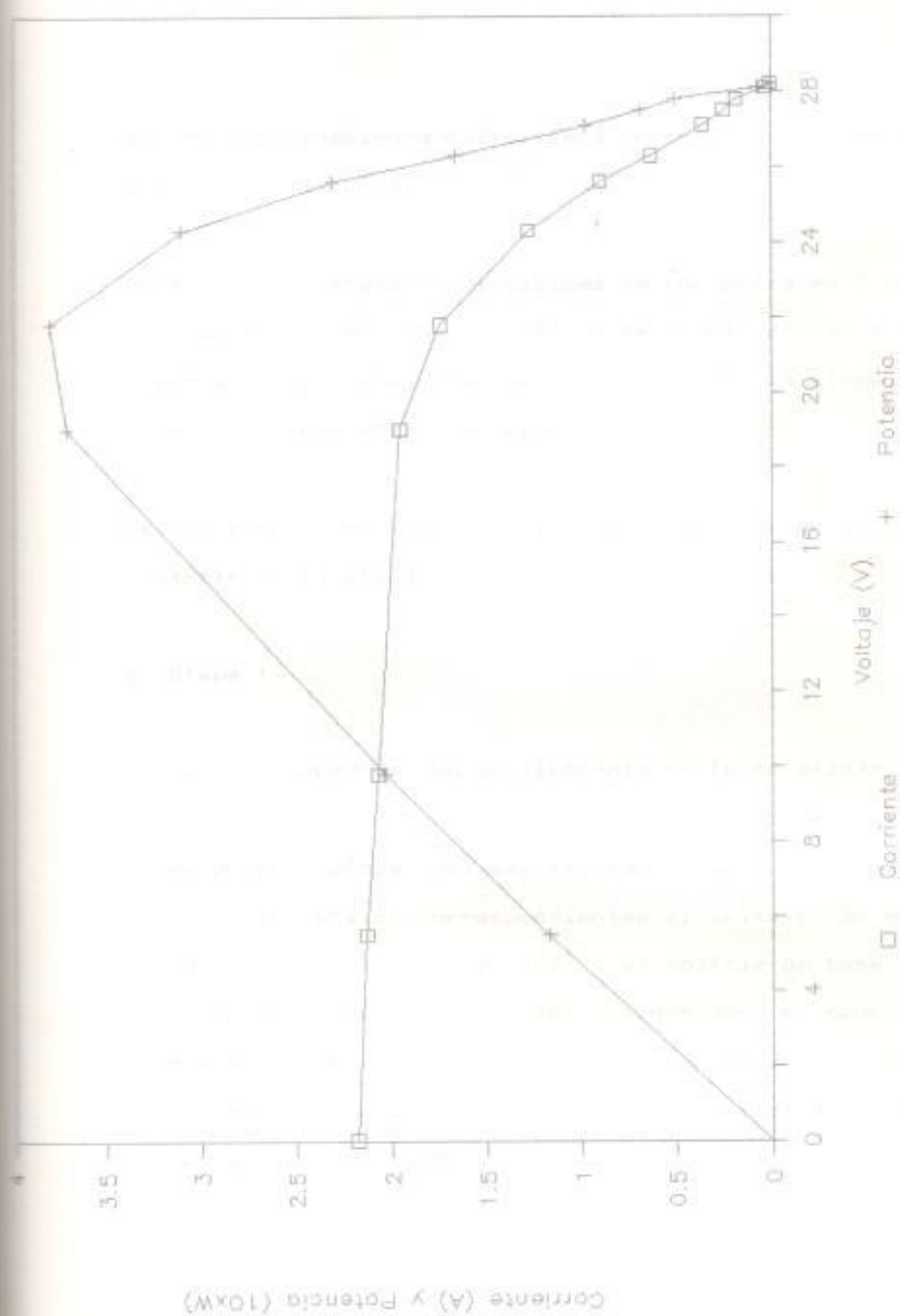


Fig. 5.2.d Característica del simulador de panel solar para  $R_s=0.35 \Omega$ .

etapa.

Así el funcionamiento del sistema se refleja en los siguientes resultados.

Dentro de la etapa 0, el sistema se encuentra en "reposo", es decir como no hay suficiente nivel de radiación solar ni suficiente potencia en la batería, la alimentación a la carga está bloqueada.

Es por esta razón que todos los resultados obtenidos fué a partir de la etapa 1.

#### a) Etapa 1

Con la ayuda de un osciloscopio se logró grabar las señales representativas del funcionamiento del sistema en esta etapa. Así las figuras 5.3.a y 5.3.b muestran las señales correspondientes al voltaje de emisor del convertidor 2 (C2) y al voltaje de base del circuito preamplificador del convertidor en mención, mientras que en la figura 5.3.c se muestra la corriente que circula por la bobina L2, medida sobre una resistencia de 1 /5W.

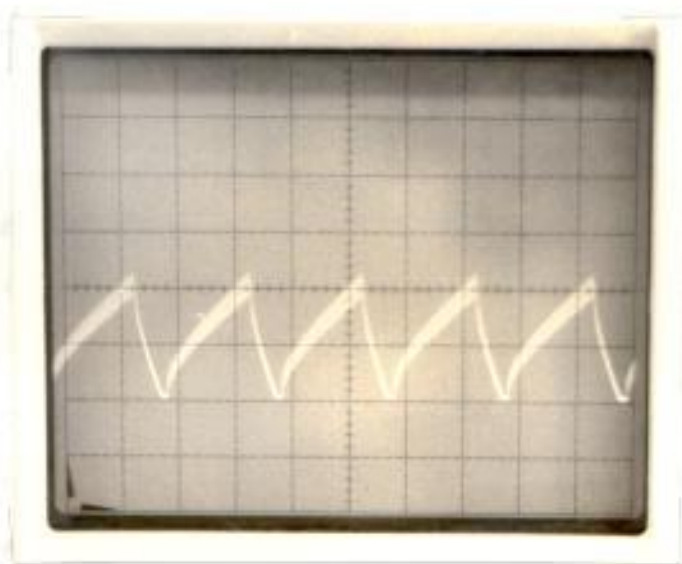
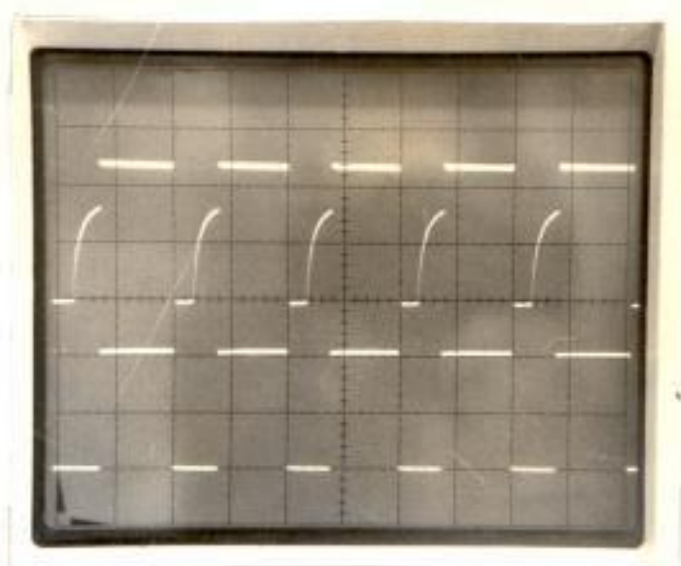


Fig. 5.3. Fotografía que representa el funcionamiento del sistema en la etapa 1.

- Voltaje de emisor del transistor del convertidor 2 (escala Y - 10 V/div., X - 0.5 mseg/div.).
- Voltaje del circuito preamplificador del convertidor 2 (escala Y - 20 V/div., X - 0.5 mseg/div.).
- Corriente que circula a través de la bobina L2 del convertidor 2 (escala Y - 0.5 V/div., X - 0.5 mseg/div.).

## b) Etapa 2

En esta etapa, tanto el convertidor 1 (C1) como el convertidor 2 (C2) están funcionando, C2 alimentando a la batería y C1 a la carga.

En la figura 5.4.a y 5.4.b aparecen las señales tomadas en el emisor del transistor Q1 (C1) y en el emisor del transistor Q2 (C2), teniendo 24 V. aproximadamente en saturación y -0.7 V. en corte (debido a la caída en el diodo cuando se polariza en sentido directo).

La figura 5.5 reproduce el voltaje en el emisor del transistor del convertidor 2 (tomado un tiempo después de la fotografía de la figura 5.4.b) y la señal correspondiente al voltaje aplicado a la base del circuito preamplificador de este convertidor (señal generada por el circuito PWM digital).

Comparando las dos figuras es decir fig. 5.4.b y 5.5.a vemos que el ancho del pulso aumentó, lo que concuerda con la teoría del seguimiento del pulso de máxima potencia.



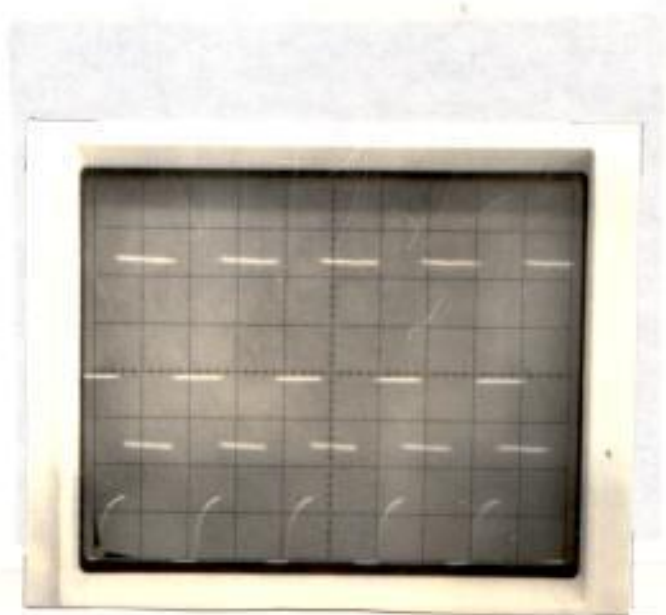


Fig. 5.4 Fotografía que representa el funcionamiento del sistema en la etapa 2.

- a) Voltaje de emisor del transistor del convertidor 1 (escala Y - 10 V/div., X - 0.5 mseg/div.).
- b) Voltaje de emisor del transistor del convertidor 2 (escala Y - 10 V/div., X - 0.5 mseg/div.).

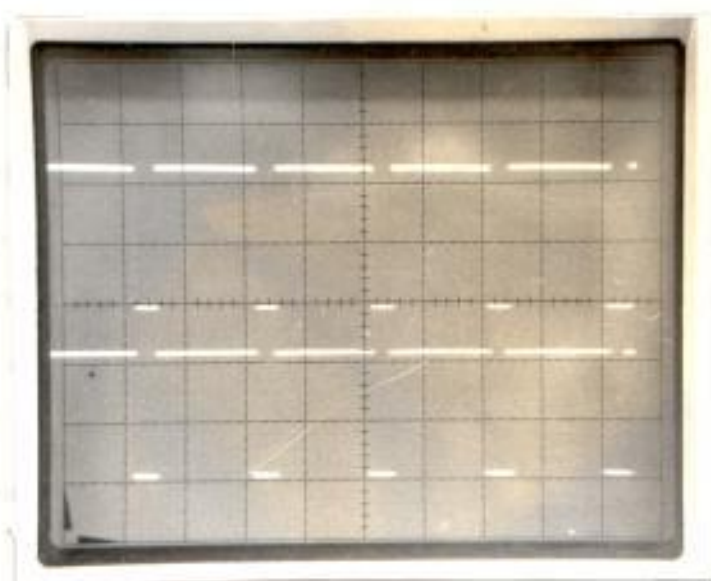


Fig. 5.5 Fotografía que representa el funcionamiento del sistema en la etapa 2.

- a) Voltaje de emisor del transistor del convertidor 2 (escala Y - 10 V/div., X - 0.5 mseg/div.).
- b) Voltaje del circuito preamplificador del convertidor 2 (escala Y - 5 V/div., X - 0.5 mseg/div.).

## c) Etapa 3

La figura 5.6 recoge la tensión de emisor del transistor del convertidor 1 y la tensión en la carga que se mantiene prácticamente constante e igual a 12 V.

Mientras que la figura 5.7 reproduce la corriente que circula a través de la bobina L1, medida sobre un shunt de 1  $\Omega$ . Notesé como la forma de onda coincide con lo expuesto en la teoría.

## d) Etapa 4

El control del sistema se encuentra en esta etapa, cuando la producción de corriente del generador fotovoltaico no es suficiente para alimentar la carga, por consiguiente la batería suministra el faltante de energía.

La figura 5.8 muestra la señal correspondiente tanto al voltaje de emisor del transistor Q3, así como la señal aplicada al circuito preamplificador del convertidor C3.

De la figura se puede notar que el tiempo de bloqueo del transistor Q3 tiene un valor cercano a cero, lo

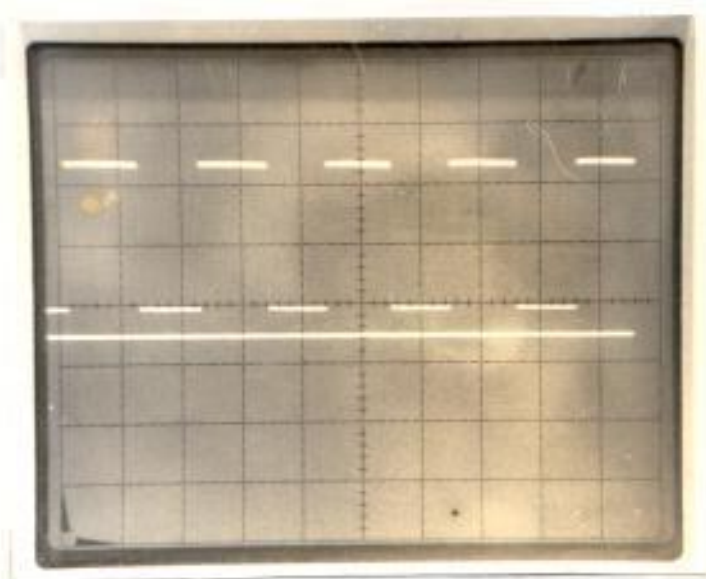


Fig. 5.6 Fotografía que representa el funcionamiento del sistema en la etapa 3.

- a) Voltaje de emisor del transistor del convertidor 1 (escala Y - 10 V/div., X - 0.5 mseg/div.).
- b) Voltaje aplicada a la carga (escala Y - 5 V/div., X - 0.5 mseg/div.).

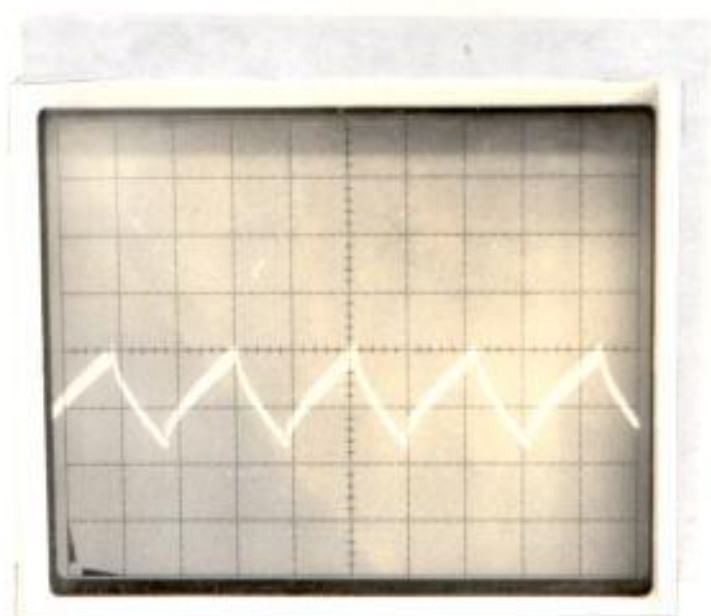


Fig. 5.7 Fotografía que representa a la corriente que circula por la bobina  $L_1$  del convertidor 1 (escala Y - 0.5V/div., X - 0.5 mseg/div.).

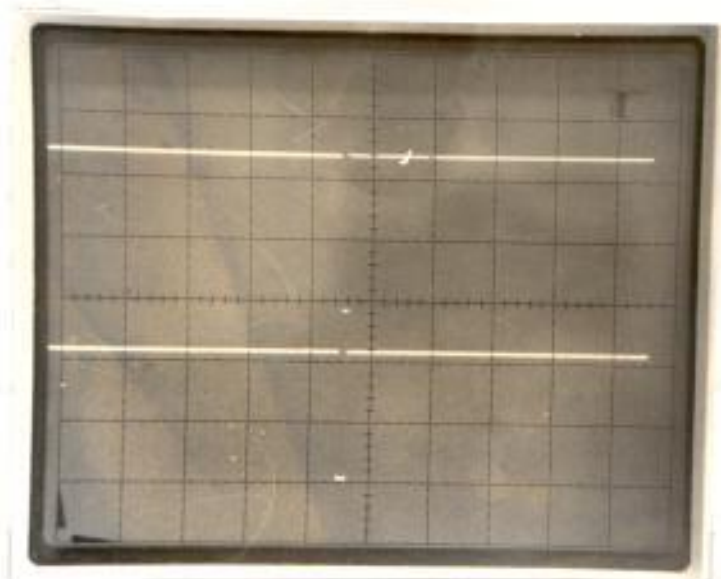


Fig. 5.8 Fotografía que representa el funcionamiento del sistema en la etapa 4.

a) Voltaje de emisor del transistor del convertidor 3 (escala Y - 5 V/div., X - 0.1 mseg/div.).

b) Voltaje del circuito preamplificador del convertidor 3 (escala Y - 2 V/div., X - 0.1 mseg/div.).

que implica que en ese momento la producción de energía del generador fotovoltaico es baja.

#### e) Etapa 5

En esta etapa la batería asume totalmente el suministro de energía a la carga. Así la figura 5.9 reproduce las señales correspondientes al voltaje de emisor del transistor Q3 y al voltaje aplicado al circuito preamplificador que excita este transistor.

De la figura se puede observar que el tiempo de conducción del transistor es igual al periodo de switcheo del convertidor, lo que implica que el nivel de tensión de la batería está bajando (batería descargándose).



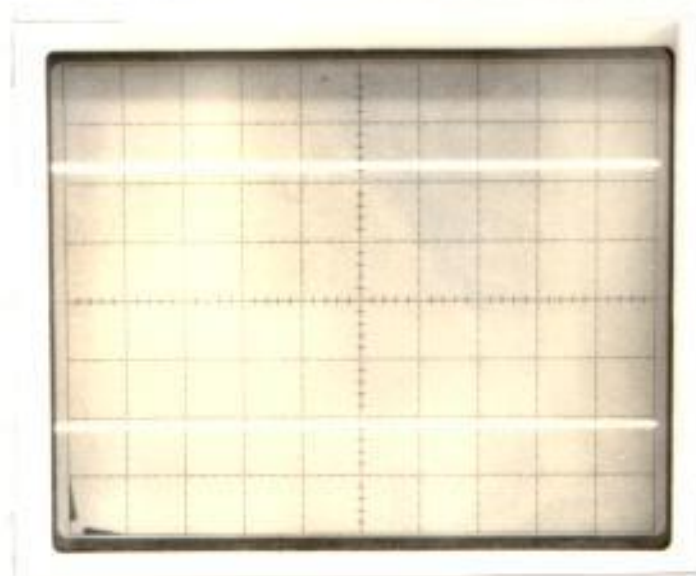


Fig. 5.9 Fotografía que representa el funcionamiento del sistema en la etapa 5.

- a) Voltaje de emisor del transistor del convertidor 3 (escala Y - 5 V/div., X - 0.1 mseg/div.).
- b) Voltaje del circuito preamplificador del convertidor 3 (escala Y - 5 V/div., X - 0.1 mseg/div.).

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El sistema descrito y analizado en el presente trabajo permite el funcionamiento de una Central Fotovoltaica extrayendo permanentemente la máxima potencia que puede ceder el panel.

Las medidas realizadas sobre un prototipo de pequeña potencia confirma la validez de las previsiones teóricas.

El funcionamiento óptimo del sistema, será en las etapas 1, 2 y 4, siempre y cuando exista un buen dimensionamiento de los elementos conformantes de una Central Solar Fotovoltaica.

La decisión para incluir ó no un seguidor del punto de máxima potencia (MPPT), depende de la energía útil que se obtenga con el uso del equipo de MPPT y del costo del mismo.

Para efectos de un mayor adelanto en este campo, sería bueno que la Institución cuente con una pequeña Central, donde se pueda realizar numerosas investigaciones.

Debido a que el interés de este trabajo es práctico y destinado al Laboratorio de Energía Solar de la ESPOL, no se ha

realizado un análisis matemático profundo.

Como un estudio complementario a este trabajo, se podría acoplar un inversor (convertidor DC/AC) y analizar el efecto que se impone cuando se realiza el seguimiento del punto de máxima potencia.

## BIBLIOGRAFIA

- Y. HARDEN, "Conditionnement de Puissance d un Systeme Autonome Gere par Micro Processeur Recherche du Point de Puissance Maximun d un Generateur Photovoltaique"(Dissertation Doctoral, Instituto Nacional Politecnica de Toulouse, Francia, 1983).
- J.I.B. WILSON, La Energia Solar, (1<sup>ra</sup> Edición, Madrid: Alhambra S.A.,1982).
- J. FUENTE, "Diseño y Construcción de un Controlador Digital basado en un Microprocesador 8085A de Intel para uso en el Laboratorio de Control Automatico de la Espol"(Tesis, Facultad de Ingenieria Eléctrica, Escuela Superior Politecnica del Litoral, 1983).
- E. IZQUIERDO, "Diseño y Construcción de un Control Digital de Velocidad de un Motor de Corriente Continua, con Regulación de un Lazo de Seguimiento de Fase"(Tesis, Facultad de Ingenieria Eléctrica, Escuela Superior Politecnica del Litoral,1983).
- L. SERRANO IRIBARNEGARAY, "Diseño del Convertidor CC/CC para el Seguimiento del Punto de Máxima Potencia", Revis-

ta Mundo Electrónico.

- I. de BERRUETE y L. SERRANO IRIBARNEGARAY, "Circuito de Mando para el Seguimiento del Punto de Máxima Potencia", Revista Mundo Electrónico.
- R. CAUGHLIN and F. DRISCOLL, "Operational Amplifiers and Linear Integrated Circuits", (2ª Edición; New Jersey: Prentice Hall, 1982).
- Linear Databook, National Semiconductor Corporation, 1982.
- MCS-80/85™, Family USER'S MANUAL (INTEL, Octubre 1979).
- A. de FRANCISCO, M. HIDALGO y M. CASTILLO, "Funcionamiento de un Sistema Solar Fotovoltaico", Revista Montaje e Instalaciones, No. 141.
- G. NACIJER, "Energía Solar Fotovoltaica: del Sol a la Red", Revista Regulación y Mando Automático, No. 106, (1981).
- H. BRANZ, W. HART and C. COX, Photovoltaic Array/Power Conditioner Interface (Massachusetts, Inst. of Tech., Lexington, Lincoln Lab., Octubre 1982).

- D. RUSSELL, Microprocessor Controlled Photovoltaic Array Loading Unit (Sandia National Labs., Albuquerque NM, Agosto 1982).
- D. STECHSCHULTE, K. SHUEY, J. VONDEREMBSE, D. SHIREMAN and NIEDERJOHN, Design and Conditioning of a 50 KVA Power Conditioning for Photovoltaic Power Systems (Sandia National Labs., Albuquerque NM, Julio 1981).
- J. BERRY, D. ESTEVE, C. GANIBAL, G. VIALARET y M. BORROU, Utilisation de Convertisseurs DC/DC pour la Recherche du Point de Puissance Maximum dans les Installations Photovoltaïques (Laboratoire D'Automatique et D'Analyse des Systemes, Toulouse, Novembre 1980).
- The TTL Databook, Texas Instrument, (2<sup>da</sup> Edición).
- SDK-85, System Design Kit User's Manual (INTEL, Octubre)