

MONITOREO Y CONTROL DE UN SISTEMA FOTVOLTAICO ESTUDIO PRELIMINAR

Carlos Cadena Daniel Hoyos Humberto Bárcena Luis Santander
INENCO

Instituto Nacional de Energía No Convencional
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400 Salta Argentina
Fax (087)251034

Resumen

El presente trabajo surge como consecuencia de la necesidad de disponer de un sistema auxiliar de energía en el Dep. de Física, y por otra parte de evaluar el modelo del sistema fotovoltaico propuesto.

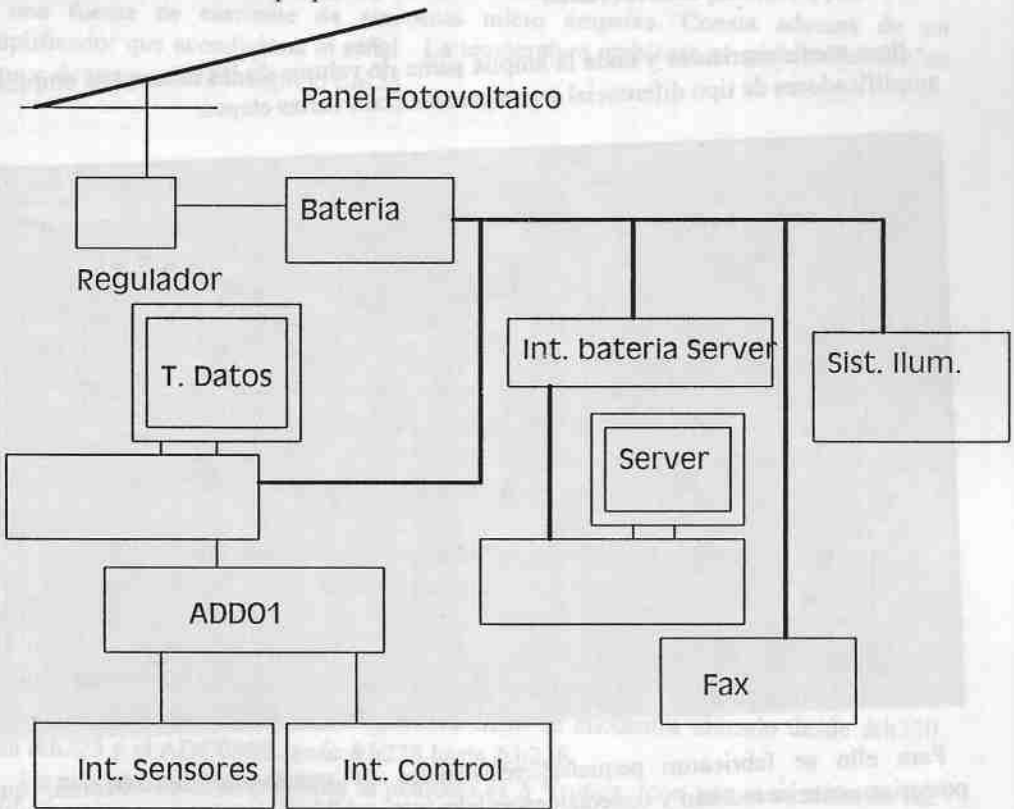


Figura 1 : Esquema general

La energía auxiliar se emplea en este caso para alimentar el server de una red Novell, la iluminación auxiliar en pasillos y paliers del edificio, una computadora auxiliar para toma de datos-control y un tel-fax.

1. Generador auxiliar y computadora

MONITOREO Y CONTROL DE UN SISTEMA FOTVOLTAICO ESTUDIO PRELIMINAR

Carlos Cadena Daniel Hoyos Humberto Bárcena Luis Santander
INENCO

Instituto Nacional de Energía No Convencional
Universidad Nacional de Salta
Buenos Aires 177, 4400 Salta Argentina
Fax (087)251034

Resumen

El presente trabajo surge como consecuencia de la necesidad de disponer de un sistema auxiliar de energía en el Dep. de Física, y por otra parte de evaluar el modelo del sistema fotovoltaico propuesto.

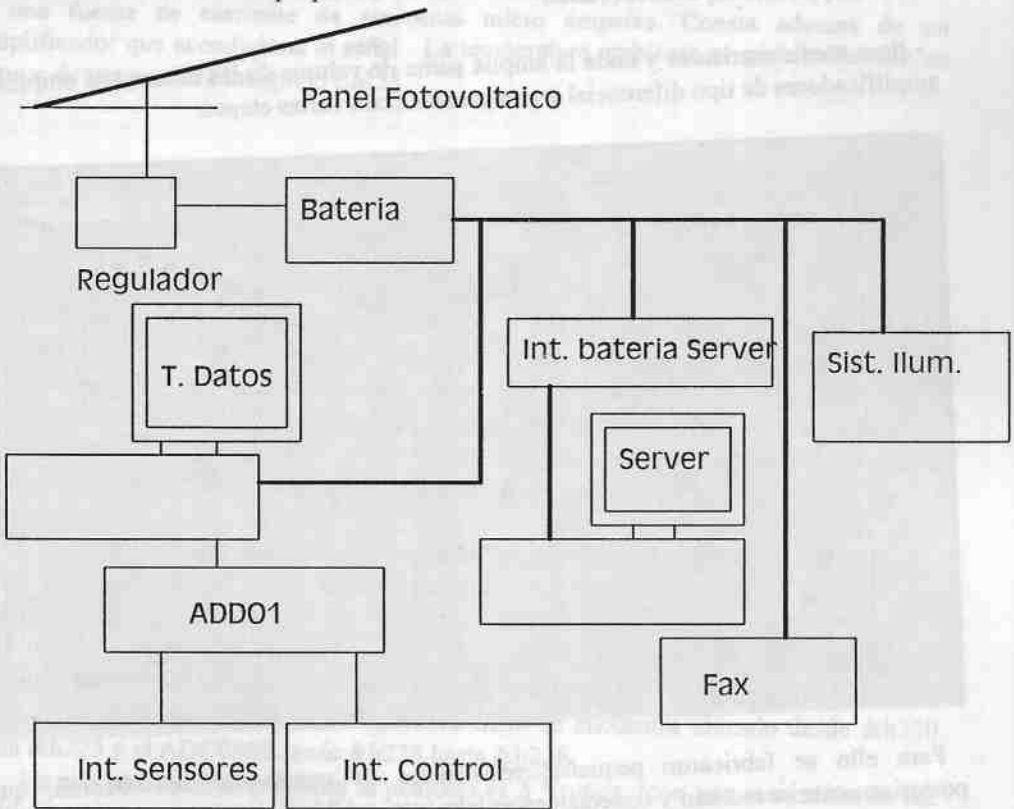


Figura 1 : Esquema general

La energía auxiliar se emplea en este caso para alimentar el server de una red Novell, la iluminación auxiliar en pasillos y paliers del edificio, una computadora auxiliar para toma de datos-control y un tel-fax.

1. Generador auxiliar y computadora

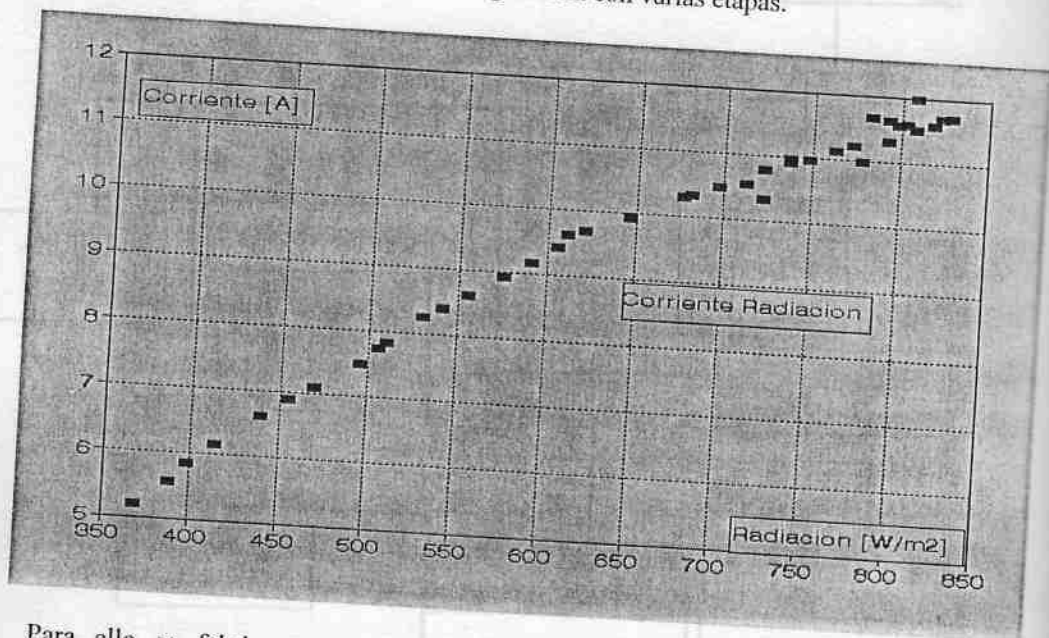
El generador bajo ensayo consta de seis módulos fotovoltaicos de cuarenta y cinco vatios pico cada uno, y el sistema de acumulación de cuatro baterías de cien Ah. cada una, y están ubicados en la terraza del edificio.

La computadora y el sistema de adquisición-control se encuentran ubicados en el Laboratorio de Electrónica en la planta baja (para una mejor verificación de los valores medidos).

Se destaca que tanto la computadora como el sistema de adquisición son de bajo consumo (menos de veinte vatios el conjunto). Considerando que esto representa una carga para el sistema, se tuvo en cuenta al elegir las partes constitutivas, que los componentes elegidos fueran de mínimo consumo de potencia. Con este criterio se eligieron las fuentes switching y los reguladores integrados, como así también el Mother board donde se instala el CPU.

2. Los sensores e interfases

- Para medir corrientes y dada la amplia gama de valores de las mismas se emplearon amplificadores de tipo diferencial y alta ganancia con varias etapas.



Para ello se fabricaron pequeñas resistencias de constantán de 0.01ohm, que posteriormente se montan y conectan especialmente, midiéndose tensiones en diferentes puntos.

El método resulta ser efectivo, y permite medir valores de cero a veinte amperes con un error menor del 0.5%; tanto como para corrientes de carga, como de descarga de baterías. Se emplearon, como instrumento de contraste pinzas amperométricas.

- La medición de tensiones, se realiza con divisores resistivos por tres y un amplificador diferencial de ganancia unitaria al solo efecto de aislar el sistema de medición, del sistema de generación.

- La detección de los niveles de iluminación, se realiza con resistores del tipo LDR (resistencias variables con la iluminación), estando ubicadas en lugares estratégicos en el interior del edificio. Permite arrancar el sistema de iluminación auxiliar en valores prefijados, con el empleo de una referencia de tensión y "potes" de ajuste.

- Para medir radiación, se emplean solarímetros Kipp&Zonnen con amplificadores adecuados dada la longitud de los cables de conexión. Se miden radiación horizontal y en el plano de los paneles.

- Se miden igualmente valores de UvA y UvB, necesarios para otras experiencias, en el mismo lugar que los otros medidores, y con sus respectivos sistemas de amplificación.

- También se mide temperatura de paneles con una resistencia de platino PT100 y una fuente de corriente de cincuenta micro amperes. Consta además de un amplificador que acondiciona la señal. La temperatura ambiente se mide utilizando un sensor de temperatura integrado LM35.

3. La plaqueta y el programa

El dispositivo en cuestión fue diseñado aprovechando las características de los circuitos integrados 8255 y ADC0808. El primero de estos es un PPI (periferical parallel Interfase) que suministra 32 puertos de entrada-salida. Este integrado fue construido para ser conectado a un sistema de microprocesadores de INTEL. Por ello la lógica de control para su conexión al bus de expansión de la computadora es mínimo. El integrado ADC0808 tiene un conversor ADC de 8 bits, un multiplexor de 8 canales y un registro de control del multiplexor. Este circuito también puede ser usado para conectarse a un sistema de INTEL.

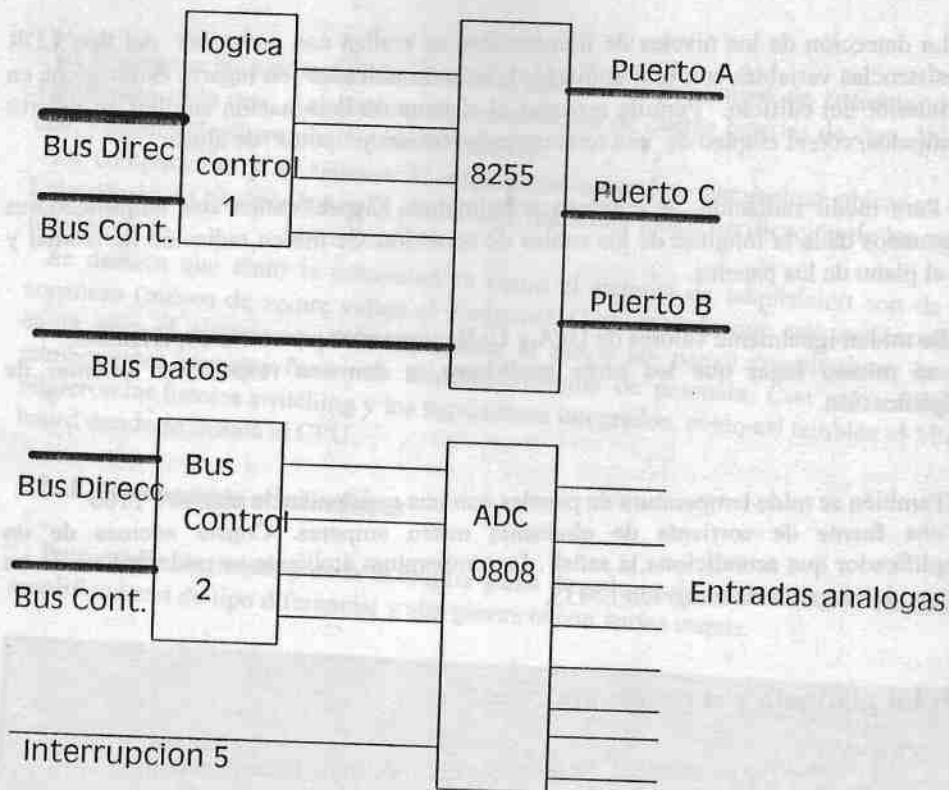
La plaqueta fabricada utiliza los integrados CD4048, CD4050, CD4049, CD4023 como lógica de selección y control (componentes mínimos, al igual que en los dispositivos comerciales).

Los lugares de acceso a la memoria de la computadora se encuentran ubicados a partir de la dirección &h220. El dispositivo 8255 se encuentra ubicado desde &h220 hasta &h223 y el ADC0808 desde &h228 hasta &h22F.

La máxima tensión que mide la plaqueta es 5 Voltios, (con una resolución de .02 Voltios) aunque esto no representa un inconveniente, dado que se pueden acondicionar adecuadamente las señales de entrada.

El programa fue diseñado en Visual Basic Dos y las funciones del mismo son:

1 . Medición de ocho canales de tensión analógica . A cada canal se le puede ingresar una tabla de calibración . La tabla ingresada, se encuentra en un archivo ASCII que es generada por el programa.



- Control de seis líneas de salidas digitales. Estas líneas se prenden o apagan dependiendo del estado de alguno de los canales análogos. El código para que una línea se active cuando varía alguna magnitud de un canal, se encuentra en un archivo ASCHII y el programa también puede generar este archivo.
- Graficación de cualquier canal análogo.

Este sistema permite ingresar la cantidad de canales que se desean medir y el tiempo entre cada medida. En su pantalla de control se encuentran el valor de la última medida en cada canal, el número de medidas realizadas desde el inicio de la medición y el estado de las salidas digitales.

4. Interfase baterías - server

El sistema de mantenimiento de tensión del server de la computadora funciona con la entrada de una tensión continua de 48 voltios. La tensión que sale de las baterías se encuentra en 12 voltios. Por ello se utiliza un sistema elevador de tensión de 12 a 48 voltios. Este sistema fue diseñado alrededor del C.I TL497, y es una fuente regulada switching. La configuración utilizada es la denominada STEP-UP. Este sistema tiene que convertir 12 a 48 (5A en esa tensión) y el consecuente problema de las altas corrientes en juego, lo que lleva a utilizar transistores de potencia colocados en paralelo.

5. Simulación de un sistema fotovoltaico

El objetivo de esta parte del trabajo, es obtener los valores de corriente de carga horaria anual, proporcionados por un sistema de paneles fotovoltaicos. Para lograr este objetivo se siguen los siguientes pasos:

- 1- Cálculo de los Kt diarios.
- 2- Cálculo de los valores de radiación total horaria sobre superficie inclinada.
- 3- Cálculo de los valores de temperatura ambiente para cada valor de radiación total horaria.
- 4- Características y modelo de un generador fotovoltaico.
- 5- Datos de la carga.

Se desarrollan a continuación cada uno de los puntos mencionados:

5.1.- Cálculo de los Kt diarios

Habitualmente se dispone como dato los Kt promedios mensuales, pero como información interesan más los Kt diarios, para luego poder obtener los valores de radiación horarios.

Trabajando con un método estadístico que utiliza una librería de matrices de transición de Markov, se pasa de los Kt promedios mensuales a los Kt diarios. Este método fue propuesto por Aguilar, Collares-Pereira y Conde.

En su artículo aparecen once tablas, las diez primeras son las matrices de Markov y cada una de ellas es válida para un cierto rango de Kt promedio mensual; la última tabla da el valor de Kt_{máx} y de Kt_{mín} para cada uno de las diez clases anteriores.

El procedimiento de cálculo es el siguiente:

Con el valor de Kt del mes a calcular, se controla a cual de las diez tablas pertenece y luego de la tabla once y según la clase que sea, se obtienen los valores de Kt máximo y mínimo. Luego se calcula "h" con la siguiente fórmula:

$$h = (Kt_{máx} - Kt_{mín}) / 10$$

Este "h" sirve para tomar diez intervalos a partir de Kt_{mín} hasta llegar a Kt_{máx} de la siguiente forma:

$$Kt_{mín}; Kt_1 = Kt_{mín} + h; Kt_2 = Kt_1 + h; \dots; Kt_{máx} = Kt_{19} + h$$

Se toma el Kt promedio del mes anterior como Kt(0) y se observa a cual de los diez intervalos mencionados pertenece. Luego se utiliza un generador de números aleatorios entre cero y uno y se obtiene un número R1.

Suponiendo que el valor de Kt(0) pertenece al intervalo "i" (i=1,2,...,10) de la tabla a la que pertenece el Kt promedio del mes a calcular, se suman los elementos de la fila "i" hasta que supere al valor de R1:

$$\sum_{i,j} P_{ij} > R1$$

Nota: en las M.T.M. siempre se verifica lo siguiente: $\sum P_{ij} = 1$

Con el valor de j obtenido se calcula:

$$K_t(1) = (K_{t,j+1} + K_{t,j}) / 2$$

Este valor de $K_t(1)$ es el valor para el primer día del mes que se está calculando.

Para el segundo día se vuelve a obtener un número aleatorio R_2 y se calcula :

$$\sum_{i,j} P_{ij} > R_2 \quad j=r$$

Con el valor de "r" obtenido se calcula :

$$K_t(2) = (K_{t,r+1} + K_{t,r}) / 2$$

Se procede de esta manera hasta el último día del mes (n) y se obtiene el promedio :

$$K_{t,prom} = \frac{\sum_{h=1}^n K_t(h)}{n}$$

Este proceso se debe realizar hasta que :

$$\bar{K}_t - K_{t,prom} \leq 0.01$$

Es importante aclarar que todo este proceso se realiza por ordenador (Visual Basic Dos), de lo contrario sería muy difícil su resolución.

Este método vale para cualquier lugar de la Tierra debido, a que las M.T.M. fueron obtenidos considerando distintos lugares del planeta.

5.2. Cálculo de los IT

Con los valores de k_t diarios y con la correlación de COLLARES-PEREYRA Y RABE se va a calcular la radiación diaria total H , la directa H_B y la difusa H_D para plano horizontal.

Luego se pasa al cálculo horario para superficies horizontales y finalmente mediante el método HKDR se calculan radiaciones horarias para superficies inclinadas.

5.3. Cálculo de las temperaturas ambiente

Para calcular las temperaturas ambiente durante las horas de radiación se utilizó el siguiente criterio:

Se supuso que el máximo de temperatura se corresponde con el máximo de radiación del mes y que la salida o la puesta coincide con el promedio mensual. Para todos los valores intermedios se tomó una aproximación de tipo lineal (Si hubiera indicios de que no fuese lineal se tomarán otros tipos de perfiles). Para la salida o puesta del sol se podrá tomar un valor que se encuentre en un intervalo no muy grande del promedio mensual, de todas maneras con el perfil que se ha tomado se obtienen buenos resultados.

5.4. Características y modelo de un panel fotovoltaico

La ecuación básica de un panel fotovoltaico es :
 $I = I_L - I_0 * \{ \exp[(v + I * R_s) / a] - 1 \}$; con R_{sh} tendiendo a infinito.

El modelo que resulta es el siguiente:

$$\mu_{i,cc} \approx [I_{cc}(T_2) - I_{cc}(T_1)] / (T_2 - T_1)$$

$$\mu_{v,c} \approx [V_o(T_2) - V_o(T_1)] / (T_2 - T_1)$$

$$a = (a_r * T_c) / T_{c,r}$$

$$a_r = [\mu_{v,c} * T_{c,r} + \epsilon * N_s - V_{c,r}] / [(\mu_{i,cc} * T_{c,r} / I_{cc}) - 3]$$

$$I_{o,r} = I_{o,r} * (T_c / T_{c,r})^3 * \exp[\epsilon * N_s / a_r] * (1 - T_{c,r} / T_c)$$

$$I_L = (I_t / I_{t,r}) * [I_{L,r} + \mu_{i,cc} * (T_c - T_{c,r})]$$

$$T_c = T_a + (I_t / U_L) * [(\alpha \tau - V * I) / (A_c * I_t)]$$

$$U_L = U_t + U_v = (2.8 + 3v) + k/x$$

$$R_s = [a * \log(1 - I_{mp} / I_L) + V_o - V_{mp}] / I_{mp}$$

tomando como referencia $I_{t,r} = 3.6 \text{ Mj/hm}^2$, $T_{c,r} = 2.98$, y con los valores de N_s , A_c y ϵ , se obtiene I_{cc} y V_o que nos permite calcular lo siguiente:

$$V_{c,r} = V_o, \quad I_{L,r} = I_{cc}, \quad I_{o,r} = I_{cc} * \exp(-V_o / a_r)$$

El programa realizado, tiene la siguiente estructura:

1. Ingreso de $I_{t,r}$ $T_{c,r}$ $V_{c,r}$ $I_{L,r}$ I_{mp} V_{mp} $\mu_{i,cc}$ $\mu_{v,c}$
2. Ingreso de datos climatológicos para cada hora de radiación durante un año: T_a , I_t , V
3. Ingreso de datos característicos del sistema: a_c , N_s , ϵ , $\alpha \tau$, U_v , N
4. Ingreso de la tensión requerida por la carga V
5. Cálculo de a_r , R_s , U_L , $I_{o,r}$
6. Mediante un ciclo se obtienen los I_t para ser guardados en archivo

5.5. Datos de la carga

Se introducen los valores de carga horarios que el sistema va a alimentar y se comparan con los valores obtenidos en el punto seis.

Los cálculos se realizan en forma horaria y también diaria.

La batería es considerada también como una carga y en el programa se utiliza una función de eficiencia para expresar este hecho.

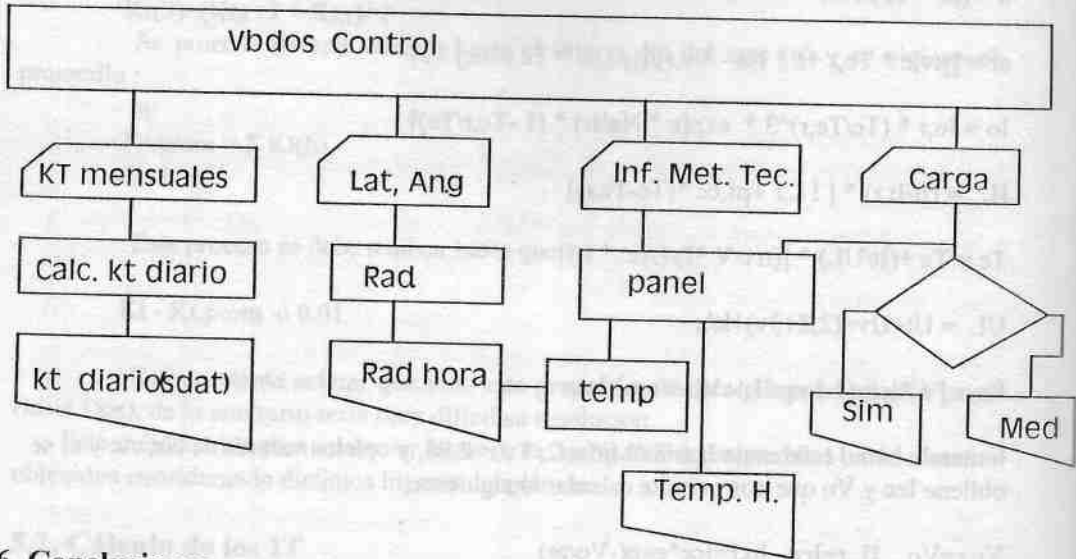
5.6. Nomenclatura

I_L corriente de fotones

R_s resistencia serie

V tensión de la carga
 μ_i , cc coef. de temp. para cortocircuito
 $T_{c,r}$ temp. de referencia
 T_c temp. de cubierta
 T_a temp. ambiente
 v vel. de viento
 I_{mp} corriente del pto. de máx. pot.
 N_s número de celdas serie
 I_{cc} corriente de cc.

a parámetro
 μ_v , cc coef. de temp. en circ. abierto
 $I_{t,r}$ rad. de ref.
 V_{cr} tensión de ref.
 A_c área del panel
 V_{mp} tensión del pto. de máx. pot.
 U_L coef. global de pérdidas
 N número de paneles en paralelo
 V_o tensión de circ. abierto



6. Conclusiones

Se han diseñado y construido equipos para monitoreo de un sistema fotovoltaico completo.

Todas sus partes han sido ensayadas, obteniéndose valores altamente satisfactorios en la mayoría de los casos. Se han puesto a punto técnicas de medición y control novedosas, confiables y de bajo costo, por lo que se puede concluir que el sistema **está en régimen**.

Se ha elaborado un software para modelar sistemas fotovoltaicos en forma casi general. el sistema fotovoltaico propuesto ha sido evaluado parcialmente por lo que se considera que en un tiempo razonable se podrán obtener las conclusiones definitivas.

REFERENCIAS

- Tompkins y Webster. Interfacing sensors to the IBM Pc.
- Gates y Becker. Laboratory Automation using the IBM Pc.
- Imamura y Helm. Photovoltaic System Tecnology: a european handbook.
- Texas Inst. Linear Circuits Vol.3 Voltage Regulators And Supervisors.
- Microsoft Manual Visual Basic DOS.
- Linden. Handbook of Bateries.
- Larrea y Marin. Modelización semiempírica de Acumuladores Estáticos
- Duffie Beckman. Solar engineering of thermal processes.