

## MODELO MATEMATICO DE UN BANCO DE GERMOPLASMA

Ricardo Ashur\* y Luis Saravia\*\*

INENCO<sup>#</sup>, Universidad Nacional de Salta  
Buenos Aires 177 - 4400 Salta

### Resumen

El presente trabajo describe un modelo matemático del comportamiento de un banco de germoplasma refrigerado mediante un dispositivo termoeléctrico alimentado por paneles fotovoltaicos.

En la evaluación se tiene en cuenta tanto el aspecto térmico como eléctrico.

### Introducción

El proyecto de una cámara de conservación de semillas a mediano plazo con fines genéticos refrigerada mediante energía no convencional, presentado en un trabajo anterior (1), contemplaba el enfriamiento a  $-4^{\circ}\text{C}$  mediante un sistema autosuficiente sin partes móviles que hacía uso de las condiciones climáticas nocturnas de baja temperatura en la zona Andina y la radiación terrestre hacia el espacio. Para el verano se disponía de un acumulador estacional de cambio de fase (agua-alcohol) que se enfriaba en invierno.

Posteriormente se realizó un diseño (2) para el enfriamiento a  $-15^{\circ}\text{C}$  en una cámara interior a la de  $-4^{\circ}\text{C}$  antes citada (ver Fig.1), con el fin de encargar el almacenamiento de semillas a muy largo plazo. Esto se realizaba mediante módulos termoeléctricos alimentados por un sistema fotovoltaico a través de acumuladores, elección realizada nuevamente por las necesidades mínimas de mantenimiento que implica la ausencia de partes móviles.

La ubicación del mismo estaba prevista para la localidad de Abra Pampa, en la provincia de Jujuy a 3500 m sobre el nivel del mar.

Becario del CONICET

Miembro de la Carrera del Investigador Científico del CONICET  
Instituto UNSa. - CONICET

En el presente trabajo se describe un modelo computacional de este banco de germoplasma, destinado a optimizar su diseño. El modelo evalúa el comportamiento tanto térmico como eléctrico del sistema en forma horaria. Para ello se recurre a valores de temperatura externa y radiación generados en forma automática.

### El Modelo

#### Datos climáticos

Por la necesidad de disponer datos horarios de radiación y temperatura externa, se trabajó con dos subrutinas que generan dichos valores en forma aproximada a partir de datos globales con la radiación total diaria, temperatura máxima, mínima y media. Estos programas generan los datos para una secuencia de días a lo largo de los cuales se estudiará el comportamiento del banco. La primera subrutina genera datos de radiación horaria de un día para una superficie cualquiera y eventualmente cubierta con vidrio, como lo son los paneles fotovoltaicos, mediante el método de Liu Jordán. La segunda subrutina genera los datos de radiación para una sucesión de días deseados ordenando convenientemente los valores generados por la primera. Agrega además los valores aproximados de temperatura calculados mediante una función analítica que se obtiene a partir de las temperaturas mínima, máxima y media del día y la mínima del siguiente.

#### El refrigerador

Los pares termoeléctricos extraen calor de la cámara central al exterior (Fig. 1). La evacuación se realiza, debido a la pequeña superficie de los pares, a través de un lazo convectivo con una mezcla de agua glycol.

Debido a que el C.O.P. de los módulos aumenta cuando la diferencia de tempe-

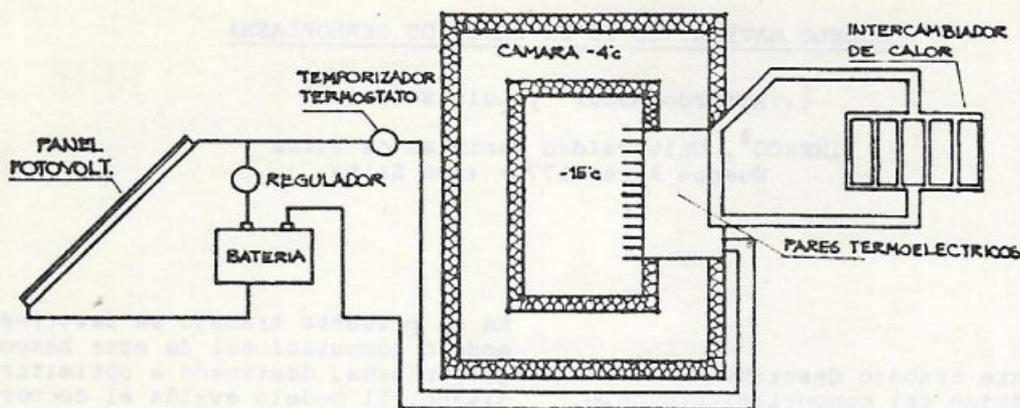


Fig. 1

ratura entre sus caras el sistema funciona durante la noche, aprovechando el fenómeno de radiación al cielo en el intercambiador. Por ello el sistema se alimenta con baterías que se cargan durante el día mediante paneles fotovoltaicos, previéndose períodos con ausencia de radiación.

Con el fin de integrar el refrigerador al modelo se simuló en forma separada sus componentes: paneles fotovoltaicos, módulos termoeléctricos y baterías.

#### Paneles fotovoltaicos

Para este trabajo se consideró un modelo caracterizable a partir de parámetros externos (3): tensión de vacío  $V_{oc}$ , corriente de corto circuito,  $I_{sc}$  y potencia máxima,  $P_m$  representados en la Fig. 2 que corresponde a las características de un panel fotovoltaico. A su vez se determina la variación de estos parámetros con respecto a las variaciones de radiación y temperatura proponiéndose para la corriente de corto circuito la radiación:

$$I_{sc}(E, T) = [a_0 + a_1(T - T_0) + a_2(T - T_0)^2] E$$

para tensión de vacío:

$$V_{oc}(E, T) = a_0 + a_1(T - T_0) + a_2(T - T_0)^2 + [b_0 + b_1(T - T_0) + b_2(T - T_0)^2] \log E$$

en tanto que para la potencia máxima,

$$P_m(E, T) \approx P_m(1, 25^\circ C) \frac{I_{sc}(E, T) \cdot V_{oc}(E, T)}{I_{sc}(1, 25^\circ C) \cdot V_{oc}(1, 25^\circ C)}$$

La Tabla I muestra valores de los parámetros ajustados.

Ya en el programa la temperatura de los

paneles se simula en base a un modelo de los mismos que considera temperatura ambiente y radiación. El mismo está ajustado con datos experimentales.

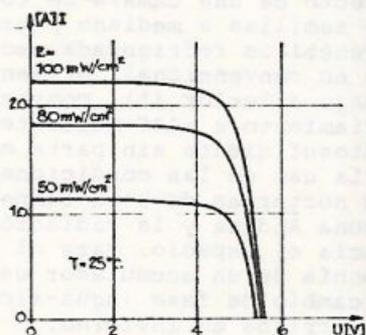


Fig. 2

TABLA I

$a_0$	1.15	$2.16 \cdot 10^{-5}$
$a_1$	$6.27 \cdot 10^{-2}$	1.31
$a_2$	$-2.01 \cdot 10^{-3}$	$-2.4 \cdot 10^{-4}$
$b_0$		-45.53
$b_1$		3.15
$b_2$		$-5.35 \cdot 10^{-4}$

#### Módulos termoeléctricos

La Fig. 3 muestra el esquema de un módulo termoeléctrico. El mismo consta

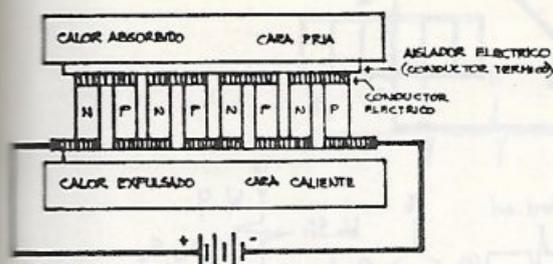


Fig. 3

cierto número de juntas semiconductor n-metal-semiconductor p. Cuando circula corriente a través del módulo, a causa del efecto Peltier, una de las caras absorbe calor (cara fría) y la otra la expulsa (cara caliente). Debido a la influencia del efecto Joule y Seebeck en el fenómeno, la relación de calor absorbida por la cara fría se expresa:

$$Q_c = \alpha IT_c - \frac{1}{2} I^2 R - U(T_h - T_c) \quad (2-1)$$

entras que el calor expulsado por la cara caliente:

$$Q_h = \alpha IT_h + \frac{1}{2} I^2 R - U(T_h - T_c) \quad (2-2)$$

amos que la potencia eléctrica necesaria para producir la absorción de calor puede expresarse como la diferencia de estos calores:

$$P_e = Q_h - Q_c \quad (2-3)$$

emplazando (1) y (2) en (3)

$$P_e = \alpha (T_h - T_c) I + I^2 R \quad (2-4)$$

nto el coeficiente Seebeck como la resistencia eléctrica  $R$  y la conductancia térmica del conjunto  $U$  se obtienen a través de las características de los dispositivos. La Tabla II muestra los valores obtenidos mediante una regresión de los coeficientes para dos módulos diferentes.

TABLA II

	$U$ (w/k)	$R$ ( $\Omega$ ) <sup>a</sup>	$\alpha$ (v/k)
MÓDULO 1	-2.8	-995	$2.66 \cdot 10^{-2}$
MÓDULO 2	-4	1.4	$3.1 \cdot 10^{-2}$

El C.O.P. del refrigerador se determina por la relación entre el calor extraído por la cara fría y la potencia eléctrica consumida. Esto es:

$$COP = \frac{Q_c}{P_e} = \frac{\alpha IT_c - \frac{1}{2} I^2 R - UAT}{\alpha IAT + I^2 R} \quad (2-5)$$

Como podrá observarse en la última expresión, el C.O.P. es función de la corriente por el módulo y de la diferencia de temperaturas entre sus caras. Extremando la relación (5) obtenemos la corriente necesaria para obtener el máximo C.O.P. con un determinado par de temperatura de las caras:

$$I_{op} = \frac{\alpha \Delta T}{R(\sqrt{1+ZT_m} - 1)} \quad (2-6)$$

$$\text{donde, } Z = \alpha^2 / UR \\ T_m = (T_h + T_c) / 2$$

Se hace notar que estos dispositivos funcionan con corriente continua, lo que permite un acoplamiento directo con baterías, evitando dispositivos convertidores que disminuyen el rendimiento del sistema.

#### Baterías

Los acumuladores usados en general en sistemas fotovoltaicos son del tipo plomo-ácido. Se tiene en cuenta para este trabajo los acumuladores del tipo "descarga superficial". Esto es, admiten una descarga no superior al 20% en cada ciclo. Se considera además que el estado de carga depende solamente del redimiento con un valor de 80% tanto en la carga como en la descarga. Estos:

$$C = C + I_{carg} \eta_{bat} \cdot \Delta t \quad \text{en la carga}$$

$$C = C - I_{descarg} \Delta t / \eta_{bat} \quad \text{en la descarga}$$

Se tiene en cuenta, además, los dispositivos electrónicos de control: regulador de carga y temporizador. Este último, para controlar el período de funcionamiento del refrigerador, estaría provisto de un termostato para interrumpir la energía en caso de descender demasiado la temperatura de la cámara.

#### Balance energético

El banco de germoplasma presenta dos comportamientos: diurno y nocturno, estableciéndose la diferencia a través

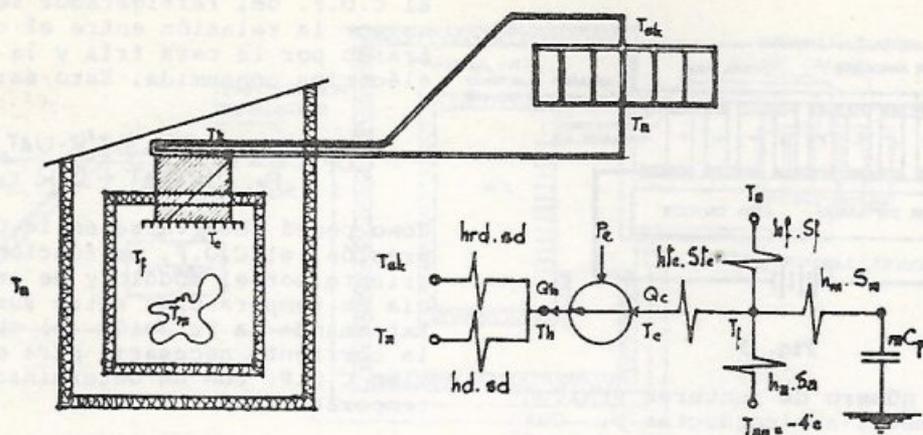


Fig. 4

del dispositivo temporizador.

### Funcionamiento nocturno

En la Fig. 4 se muestra el esquema usado para el balance energético en este período.

La temperatura que a la cámara interna se supone constante e igual a  $-4^{\circ}\text{C}$ . Además, la disposición de los pares termoeléctricos en el techo es a los efectos de favorecer la convección dentro de la cámara.

La cantidad de calor extraído de la cámara por los pares termoeléctricos se expresa:

$$Q_c = \alpha I T_c - \frac{1}{2} I^2 R - U(T_h - T_c) \quad (2-7)$$

considerándose que por los módulos circula la corriente para máxima C.O.P. dada por la ecuación (2-6).

Este calor proviene de la masa de acumulación de la cámara, de las pérdidas al ambiente y a la cámara intermedia:

$$Q_c = h_m S_m (T_m - T_s) + h_a S_a (T_{\text{amb}} - T_c) + h_f S_f (T_a - T_s) \quad (2-8)$$

La razón de cambio de la temperatura de la masa cumple:

$$m C_p \frac{\delta T_m}{\delta t} = h_m S_m (T_c - T_m) \quad (2-9)$$

Se debe considerar además el salto de temperatura entre el aire de la cámara y la placa intercambiadora interna,

que se supone a una temperatura uniforme;

$$Q_c = h_{tc} S_{tc} (T_f - T_c) \quad (2-10)$$

En lo que respecta al circuito para la evacuación de calor de los pares termoeléctricos recordemos que el flujo ecuado se calculaba mediante la ecuación (2). Se cumple además:

$$Q_h = h_d S_d (T_h - T_a) + h_{rd} S_d (T_h - T_{sk}) \quad (2-11)$$

Siendo  $T_{sk}$  la temperatura del cielo calculada a partir de la temperatura del punto de rocío a través de la correlación de Berdhal y Fromberg.

$$T_{sk} = (.741 + .0062 \cdot T_r)^{1/4} \cdot T_a \quad (2-12)$$

El sistema así planteado se resuelve mediante diferencias finitas, avanzando a intervalos de tiempo donde sea un submúltiplo de una hora. Los resultados obtenidos se almacenan para estudio posterior.

En lo que respecta al sistema eléctrico, se evalúa por el mismo método el estado de carga de las baterías, la potencia media consumida y el C.O.P. del refrigerador.

### Funcionamiento diurno

El dispositivo termoeléctrico no funciona, suponiéndose que se aísla su cámara caliente del ambiente exterior como se muestra en la Fig. 5.

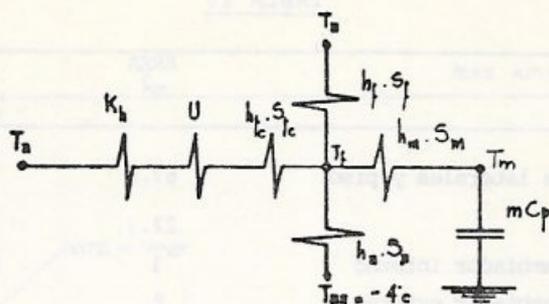


Fig. 5

Este período la masa aumentará su temperatura debido al flujo proveniente del exterior y de la cámara intermedia, cumpliéndose:

$$K_h(T_a - T_f) + h_c S_c (T_m - T_f) + h_m S_m (T_m - T_f) + m C_p \frac{dT_m}{dt} = 0 \quad (2-14)$$

$$K_h + U + h_c S_c (T_a - T_f) = 0$$

La variación temporal de la temperatura de la masa se determina mediante la ecuación (2-9).

Para determinar el balance energético hora a hora se realiza por incrementos finitos de tiempo igual que el cálculo de la energía producida por los paneles fotovoltaicos y con ello el incremento en la carga de los acumuladores.

#### Resultados

Los datos climáticos de la localidad de Abra Pampa usados se muestra en la Tabla III.

Para los análisis se tuvieron en cuenta los datos de sieño (Tabla IV) y las siguientes consideraciones de diseño:

- En régimen, la variación diaria de temperatura del sistema de acumulación no debe superar los \$4^\circ C\$ con el objeto de proteger las semillas de grandes cambios térmicos.
- La descarga de las baterías debe ser inferior al 20% para 4 días sin radiación, período considerado para contemplar días nublados.
- La diferencia de temperatura entre las caras de los módulos termoeléctricos debe ser inferior a \$50^\circ C\$. Esto para mejorar el rendimiento del refrigerador.

Se analizó el comportamiento del módulo para diferentes épocas del año. Se observó el tiempo de establecimiento del régimen en la cámara, resultando de aproximadamente diecinueve días para verano (enero) y doce días para invierno

TABLA III

	Media °C	Mínima Media °C	Temp. de cielo °C	Rad. total sobre sup horizont. MJ/m <sup>2</sup> día
Enero	12.4	4.8	-11.9	24.4
Febrero	12.5	5.3	-11.4	24.4
Marzo	11.5	3.4	-13.5	23.5
Abril	7.2	- 3.5	-22.0	22
Mayo	2.7	-10.4	-28.4	19.3
Junio	.0	-13.5	-31.2	17.5
Julio	-.1	-14.2	-32.1	18.4
Agosto	2.2	-11.2	-29.3	21.5
Setiembre	5.5	- 7.0	-25.6	25
Octubre	7.6	- 4.1	-21.5	28.3
Noviembre	10.5	.3	-16.6	29.4
Diciembre	11.7	3.6	-12.9	27.6

TABLA IV

	AREA m <sup>2</sup>	COEF. Transf. w/°C m <sup>2</sup>
Paredes laterales y piso	67.5	.15
Techo	22.3	.1
Intercambiador interno	3	10. *
Intercambiador externo	8	7
Masa de acumulación	20	8

(junio) las Figs. 6 y 7 muestran salidas del programa de esta evolución de temperaturas hasta el régimen, pudiéndose apreciar su relación con la temperatura externa.

La Fig. 8 representa las variaciones de la potencia media consumida por los módulos y el calor absorbido en relación al estado de carga de las baterías. Las características del refrigerador usado para estas simulaciones son las siguientes:

- Paneles fotovoltaicos: 2 Kw
- Baterías: 4500 Ah
- Módulos termoeléctricos: 19 módulos

Sistema de acumulación: 2000 Kg

Del estudio realizado se desprende la necesidad de que el dispositivo funcione sólo durante la noche para que el intercambiador externo aproveche el fenómeno de radiación al cielo y así aumentar el C.O.P. disminuyendo el salto de temperaturas entre las caras del refrigerador.

REFERENCIAS

1. Generación de bajas temperaturas mediante radiación nocturna en la zona Andina. L. Cardón, L. Saravia, G. Lasso y otros. Actas de la 7a. Reunión ASADES, Rosario, 1981.
2. Conservación de semillas refrigeradas mediante energía no convencional.

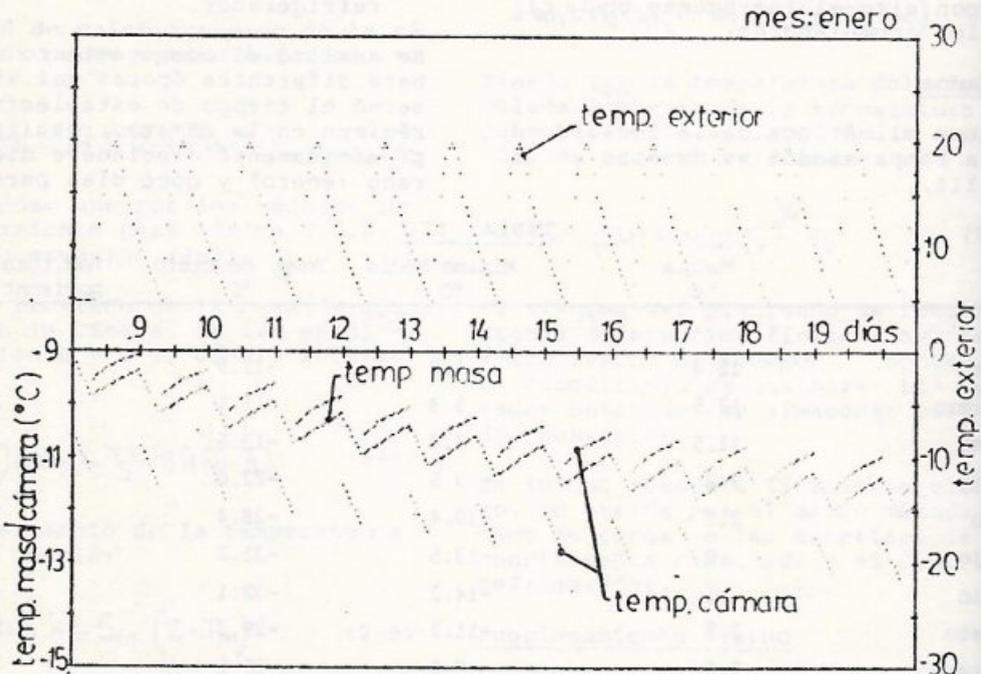


Fig. 6

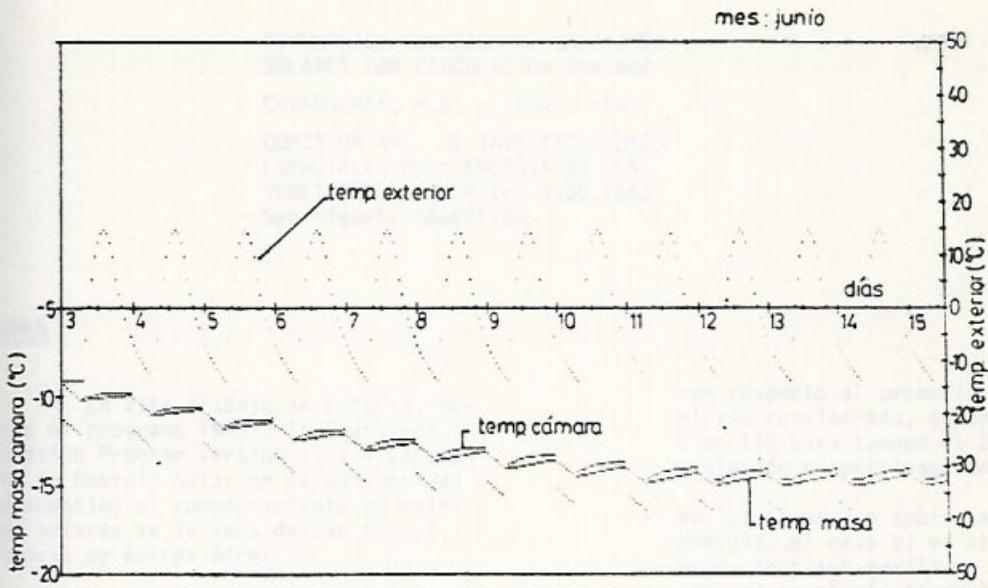


Fig. 7

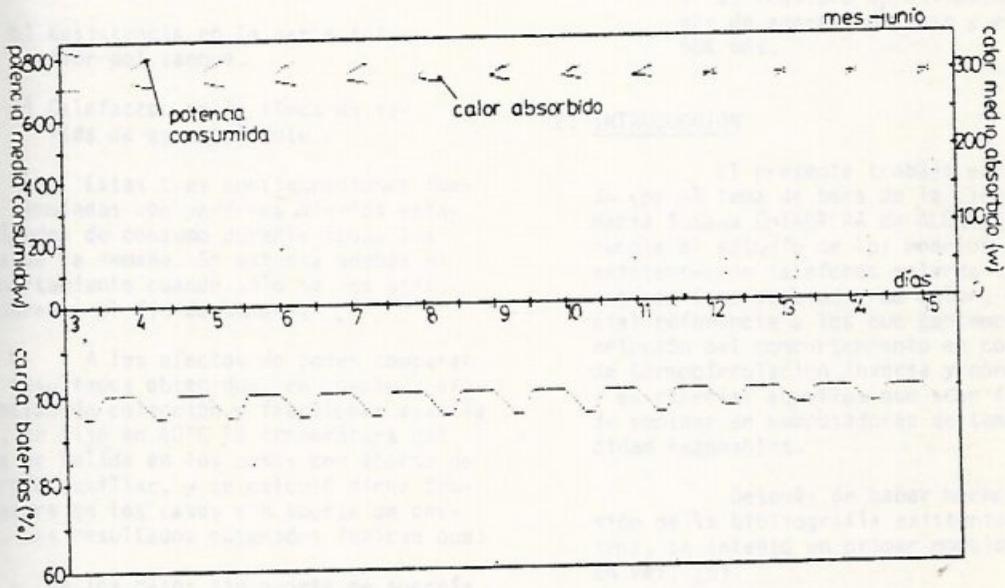


Fig. 8