

ASPECTOS TECNICOS DE LA RED SOLARIMETRICA

R. Lopardo, M.García, G. Atienza*
Grupo : Relevamiento Solarimétrico
C.N.E.G.H. -San Miguel-

Resumen:

Luego de establecer los lugares de instalación y disponer del instrumental necesario para montar la Red Solarimétrica, se da comienzo a la última etapa del proyecto. En este trabajo se describe una estación tipo, el instrumental a instalar y las modificaciones realizadas en el mismo, se presenta un análisis de la linealidad, la estabilidad temporal y la dependencia con factores climáticos tanto del sensor(fotovoltaico) como del integrador, que son los principales componentes del equipo. Se discute sobre la presentación de los datos provenientes de los futuros centros de medición de radiación solar.

Abstract:

Having selected the locations for the installation and mounting of Solarimetric Network in Argentine and having available the needed instrumentation, the last stage of project is being started.

A typical station, the instrumentation to be installed and the modifications performed on it are described in this article.

An analysis of linearity, time stability and climatic dependency of the sensor as well as of the integrator, which are the main components of the equipment, is presented.

Data input from future solar radiation measurements centers is discussed.

1. INTRODUCCION

La Red Solarimétrica de la República Argentina comprende la instalación de 40 estaciones destinadas a la medición de la radiación solar global diaria. Esto no es una tarea sencilla dada la extensión de nuestro país (1) y el alto costo de los instrumentos convencionales.

Una de las etapas del proyecto consistió en el estudio técnico-económico de los equipos a elegir (2), llegándose a una solución de compromiso que contempló las limitaciones económicas, las necesidades de información sobre datos de energía en el país y la confiabilidad de los equipos durante un tiempo relativamente largo.

El detector fotovoltaico y el integrador son dos instrumentos nuevos en la medición de la radiación solar, fueron estudiados y modificados según nuestra necesidad para lograr una mayor agilidad en la interpretación de los datos y el mantenimiento.

* Contratado por la Organización de los Estados Americanos

Estos equipos difieren de los convencionales en su principio de funcionamiento y características, lo que hace necesario definir nuevos valores de conversión y verificar su correcto comportamiento en todas sus exigencias.

2. SOLARIMETRO

Solarímetro original

El piranógrafo elegido es defabricación comercial en serie en los Estados Unidos de América y su costo original sin las modificaciones intròducidas es de u\$s 130.

Sus principales componentes y características son:

- 1- Una celda de silicio cuya superficie posee un depósito de SiO₂, que no sólo la protege sino que también le confiere propiedades antirreflectivas, asemejándolas a las de sensores de termopilas convencionales en lo que respecta a la respuesta a la ley del coseno.
- 2- Un circuito compensador de temperatura, lográndose que el corrimiento del valor de conversión de la constante debido a la temperatura no supere el orden del 0,1% por °C.
- 3- Un nivel de salida del orden de 100 mV por 500 W/m².
- 4- Una cápsula de silicagel que preserva de los problemas de humedad.
- 5- Una cúpula de vidrio pulido para la protección de la celda.
- 6- El armado está hecho sobre un disco de metal que apoya sobre tres patas regulables para su nivelación, presentándose untanto frágil e inseguro.

Diferencia entre un solarímetro de termopila y uno fotovoltaico

Los detectores convencionalmente usados para la medición de radiación solar son del tipo termoeléctrico, el sensor es una termopila ubicada de tal manera que las uniones calientes se hallan alojadas por debajo y en contacto con un

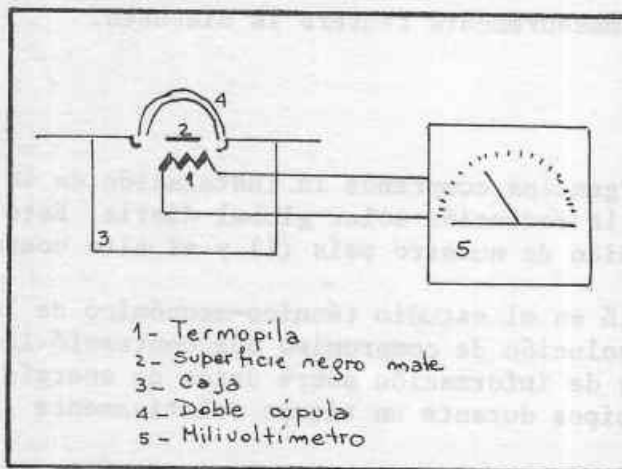


Fig. 1

pequeño disco negro mate en el que incide la luz solar, mientras que las frías simplemente se alojan protegidas de la radiación y las variaciones bruscas de temperatura; en algunos modelos se acopla un circuito Compensador de temperatura.

La radiación incidente en la cara negra calienta a ésta, generando una diferencia de potencial entre los extremos de la termopila, la que es proporcional a la energía recibida, no dependiendo de su composición espectral.

Una vez contrastado con un instrumento patrón se obtiene una constante que relaciona la salida (mV) con la energía incidente. (fig.1).

Por el contrario en la celda fotovoltaica de silicio se da un mecanismo por el cual se absorbe un fotón, utilizando su energía para elevar un electrón de su nivel de energía potencial a otro, así aparece la energía en forma eléctrica y con un circuito externo al mecanismo es posible utilizarla.

Sin entrar en los detalles de los fenómenos de la física de sólidos, se puede decir que en estos materiales los electrones pueden estar ligados a la red del cristal o libres, no pudiendo estar en estados intermedios, este rango de energía se llama banda prohibida y su anchura representa el mínimo de energía que necesita un electrón para moverse desde su posición ligada. La energía mínima necesaria depende del material semiconductor y de su temperatura; en nuestro caso para el silicio, a temperatura ambiente, la anchura de la banda prohibida es del orden de 1,1 eV, esto es que sólo las radiaciones de longitud de onda menor de 1,2 μm tienen suficiente energía para liberar electrones; los fotones de mayor longitud de onda no poseen energía suficiente y en consecuencia no realizan ningún aporte. Cuando llegan fotones con energía mayor que 1,1 eV se debe considerar que un fotón libera sólo un electrón y la cantidad de energía suplementaria queda transformada en calor(3),(4),(5),(6).

Respuesta espectral y determinación de la constante

De acuerdo a lo expresado en el punto anterior, este tipo de sensor posee una señal de salida diferente para cada color del espectro con un máximo en los 900 nm, tal como se observa en la fig.2.

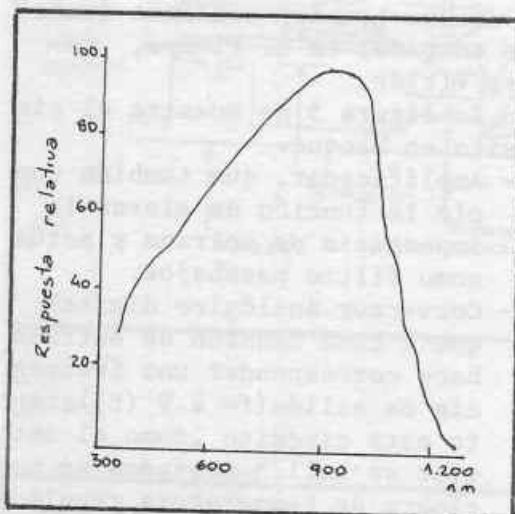


Fig. 2

La radiación solar presenta una variación espectral diaria, siendo poco significativa entre las 10 y las 14 hs aproximadamente. Si esta situación se mantuviera a lo largo del día se podría determinar una constante media (pesada) que relacione la energía solar incidente y la señal de salida del sensor fotovoltaico.

En condiciones reales esto no sucede; por eso nuestro método de determinar la constante de un sensor fotovoltaico consiste en contrastar las integrales diarias del mismo, frente a las integrales de un solarímetro Eppley de precisión. fig.3.

La constante así obtenida minimiza los errores de medición ya que nos interesa el valor de la integral diaria de radiación solar global de cada estación; pero no sirve para hacer mediciones instantáneas. El error estimado

en el valor de la integral diaria es del orden del 4%. (7),(8).

Una experiencia realizada se muestra en el gráfico 1, donde la absisa y la ordenada representan los valores instantáneos obtenidos simultáneamente de un solarímetro Kipp & Zonen y de uno fotovoltaico 1008 respectivamente.

Las observaciones se hicieron durante varios días a distintas horas y con diversas condiciones climáticas.

En el gráfico se puede observar una alta correlación en el funcionamiento de ambos instrumentos. Por lo tanto el error cometido en una medición instantánea no sería demasiado significativo.

Modificaciones

La fragilidad del modelo Rho Sigma 1008, nos motivó a rediseñar su continente, garantizándose así la solidez requerida para nuestros objetivos. Las modificaciones realizadas consistieron fundamentalmente en dotarlo de una carcasa

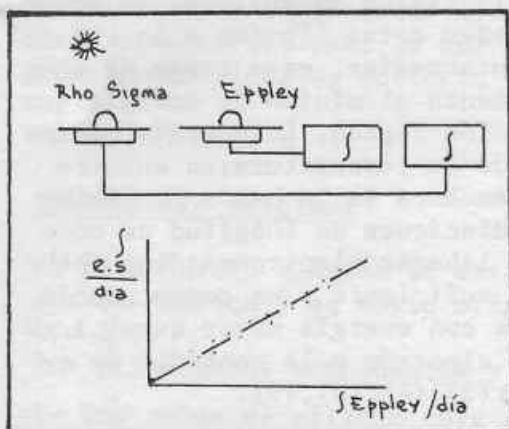


Fig. 3

3. INTEGRADOR

Descripción

Su función fundamental es computar la integral de una tensión continua (señal de entrada) en el tiempo,

$$E = \int V(t) dt.$$

En la figura 5 se muestra el circuito en bloque.

- 1- Amplificador, que también cumple la función de elevar la impedancia de entrada y actúa como filtro pasabajos.
- 2- Conversor analógico digital que a cada tensión de entrada hace corresponder una frecuencia de salida ($f = k \cdot V(t)$); tanto este circuito, como el anterior se hallan alojados en una cámara de temperatura regulada para asegurar su linealidad.
- 3- La última etapa es la de acumulación y presentación de los pulsos emergentes de la anterior; se halla esencialmente constituida por una calculadora integrada UD 2, con su respectivo display.

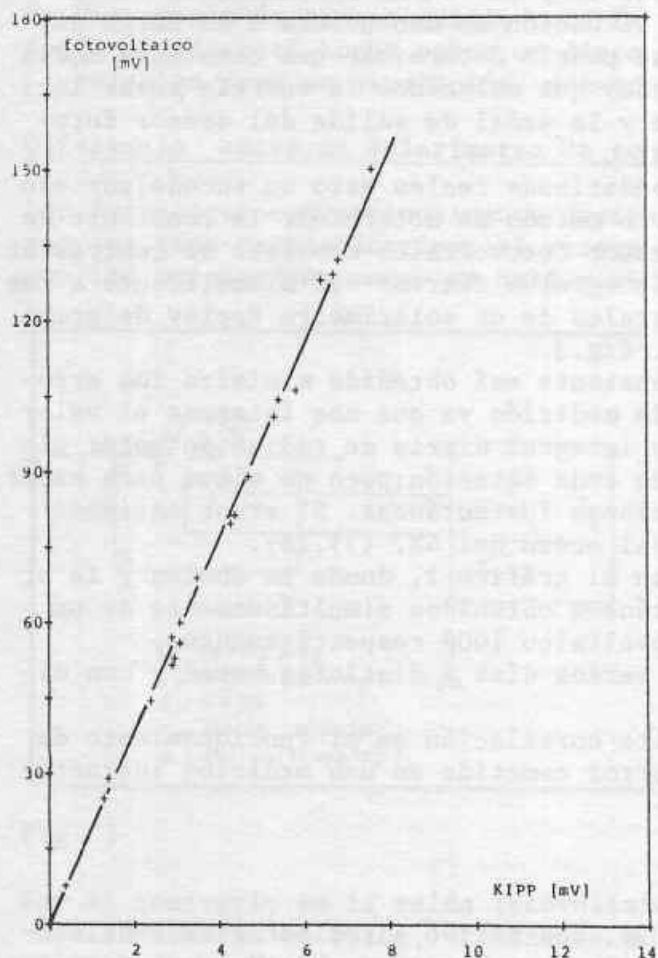


Gráfico 1

- E : energía
- I(t) : radiación global instantánea.
- a : constante del solarímetro.
- V(t) : tensión de salida del solarímetro.
- b : constante del integrador.
- N : suma acumulada por el integrador

$$I(t) = a.V(t)$$

$$V(t) = b.dN/dt$$

$$E = \int I(t) dt = a \int V(t) dt = a.b \int (dN/dt).dt = a.b.N$$

Si hacemos $a.b=1$, la lectura del display coincidirá con el valor de la energía incidente en el solarímetro.

En las fotos 2 y 3 se puede apreciar el instrumento.

Experiencias:

El integrador SIDCON modelo 5011/02-09 fué diseñado y construido por una empresa argentina según nuestros requerimientos y aporte, en especial en la etapa de pruebas y ajustes finales. Para ello se encaró un programa de rutina de mediciones y calibraciones de los equipos bajo distintas condiciones: normales y críticas.

El gráfico 2 muestra una curva de correlación de frecuencia y la tensión de entrada; en él se puede observar una bajísima dispersión (coeficiente de correlación= 0,999997). El gráfico 3 es una ampliación del anterior, mostrando el comportamiento en bajas tensiones de entrada, en el que se puede apreciar la poca variación de pendiente (0.6%), lo que nos sugiere la gran linealidad de estos instrumentos.

Las curvas obtenidas a diferentes temperaturas muestran una pequeña diferencia de la pendiente, entre 48°C y 10°C se observaron corrimientos del orden del 1% en dicho parámetro. Estas mediciones se realizan en distintos momentos de funcionamiento, utilizando instrumental de gran precisión y cámaras de temperatura controlada, procesando los datos automáticamente.

En algunas oportunidades se observaron interferencias aún no localizadas que perturbaron el normal conteo; por ello hemos centralizado en este momento la búsqueda sistematizada de la posible anomalía.

La capacidad de almacenaje permite su funcionamiento ininterrumpido durante unos 6 años sin borrar la suma anterior, siendo el error de lectura de ± 1 dígito, o sea 0,001% en un día, leyéndose en el display directamente en KJoules/m².

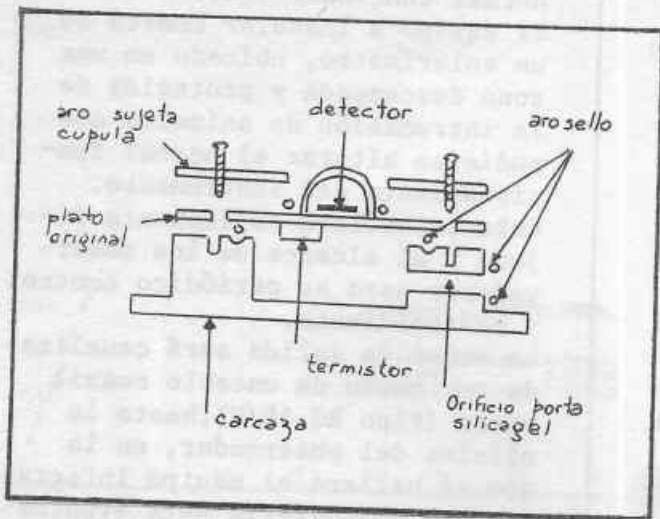


Fig.4

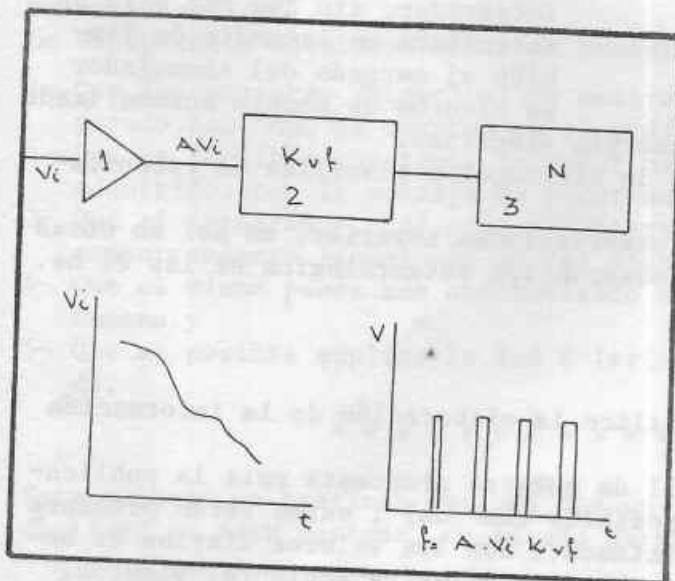


Fig.5

Estación tipo;

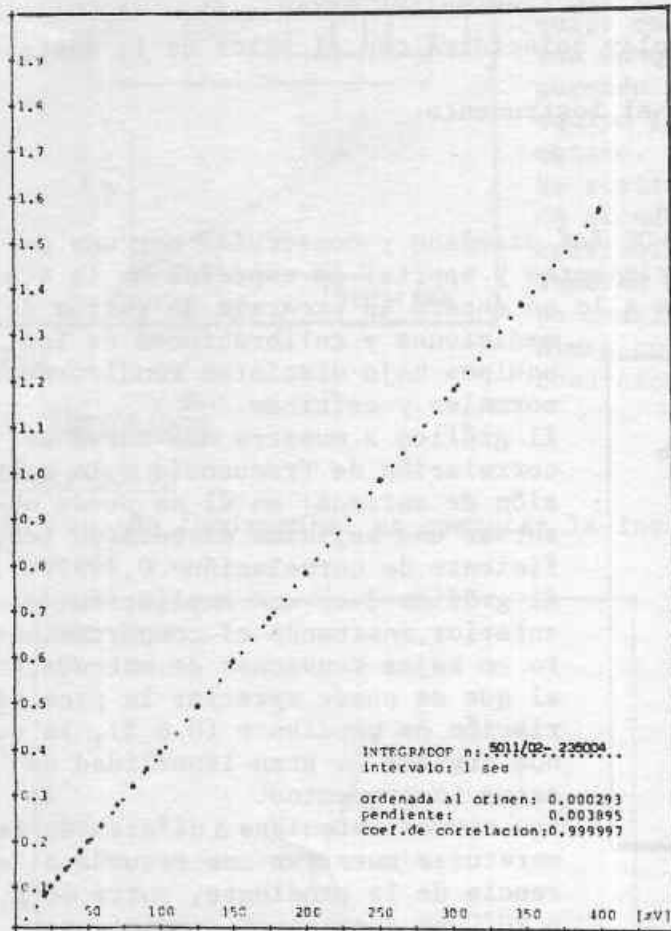


Gráfico 2

La Red está proyectada para ser instalada en lugares donde se realizan mediciones meteorológicas de rutina (estaciones agrometeorológicas del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria I.N.T.A.), de manera tal que ya se cuenta con la infraestructura necesaria para asegurar su normal funcionamiento.

El equipo a instalar consta de un solarímetro, ubicado en una zona descampada y protegida de la intromisión de animales que pudieran alterar el normal funcionamiento del instrumento. Este se hallará solidamente fijado y al alcance de los observadores para su periódico control y mantenimiento.

La señal de salida será canalizada por medio de uncable coaxil aéreo (tipo RG 59/U), hasta la oficina del observador, en la que se hallará el equipo integrador con una batería para eventuales cortes del suministro eléctrico; el acople de esta última es automáticamente realizado por el integrador, sin que por ello se interfiera en la medición. También el cargado del acumulador se efectúa de manera automatizada

en los momentos en que se cuenta con energía eléctrica.

Se dejarán además cápsulas de recambio de silicagel y planillas de recopilación de datos .

En algunas estaciones piloto se harán observaciones horarias; no así en otras donde serán diarias junto a la última observación meteorológica de las 21 hs.

5. Flujo de información:

Se prevee una rutina que facilite y agilice la elaboración de la información y su posterior distribución.

En la foto 4 se puede observar un símil de nuestra propuesta para la publicación de los datos (sujeta todavía a posibles cambios); estos serán presentados en cuadernillos trimestrales conjuntamente con los valores diarios de heliofanía, temperaturas máxima y mínima, humedad relativa ambiente, vientos, etc, de todas las estaciones.

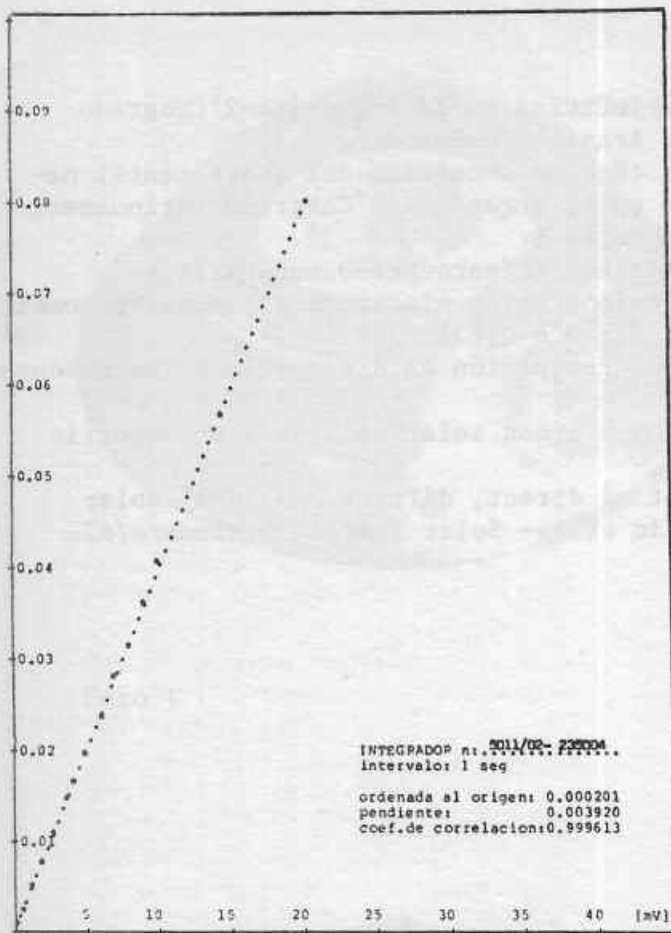


Gráfico 3

ponentes menores.

La experiencia adquirida hasta el momento nos induce a pensar:

- 1- Que los sensores fotovoltaicos mostraron un comportamiento superior al esperado, tal como se observa en el gráfico 1.
- 2- Que es factible construir la mayor parte de los componentes del solarímetro adquirido, con la ventaja de poder mejorarlo.
- 3- Que el integrador, tal como se observa en los gráficos 2 y 3, presenta un comportamiento lineal aún en las situaciones límites.
- 4- Que el mismo puede ser automatizado a efectos de reducir la intervención humana. y
- 5- Que es posible ampliar la Red Solarimétrica a un costo notablemente reducido.

Este trabajo no pretende ser mas que un informe técnico sobre la tarea desarrollada en este periodo, su estado actual y su proyección en el futuro.

En cada centro de medición se llevará una planilla con los mencionados datos, que al cabo del mes será enviada a nuestra central de cómputo, en la que será procesada por una computadora H.P. 9815 A y su respectivo impresor.

6. Conclusiones:

Este trabajo es la síntesis de más de un año dedicado a planificar una ágil implementación de lo proyectado, no sólo en la etapa de instalación, sino también en la dinámica de su futuro funcionamiento. Muchos imprevistos demoraron y corrigieron los requisitos exigidos para el cumplimiento de nuestro objetivo. Tuvimos que desarrollar rutinas nuevas, seguras y rápidas para el control y calibración de los equipos, de manera tal que todos ellos fueran examinados satisfactoriamente en repetidas oportunidades, como así también para minimizar y acotar su error, antes de su instalación definitiva. Para asegurar una permanente disponibilidad de repuestos en el mercado (cúpulas, conectores, conductores, etc), tuvimos que modificar el solarímetro y otros com-

BIBLIOGRAFIA

- 1- GARCIA M., FERNANDEZ R.: Red Solarimétrica en la Argentina-2° Congreso Latinoamericano de Energía Solar, Brasil, Febrero/78.-
- 2- LOPARDO R., FERNANDEZ R.: Estudio técnico económico del instrumental necesario para la Red Solarimétrica en la Argentina-2° Congreso Latinoamericano de Energía Solar, Brasil, Febrero/78.
- 3- DAUGUET A.: La detection des radiations infrarouges-Dunod-París/64.
- 4- ADLER R.B., SMITH A.C., LONGINI; Semiconductor electronics education committee
- 5- BENSKI G.: Semiconductores-Monografía N°6 O.E.A./70-
- 6- BRUK V., GARSHENIN V., KURNISOV A.: Producción de dispositivos semiconductores- MIR- Moscú/71.-
- 7- WITHERELL P.G., FAULHABER M.E.: The silicon solar cell as a photometric detector- Applied Optics-Enero/70.-
- 8- SELSUC K., YELLOTT J.: Measurement of direct, diffuse and total solar radiation with silicon photovoltaic cells- Solar Energie-Diciembre/62-

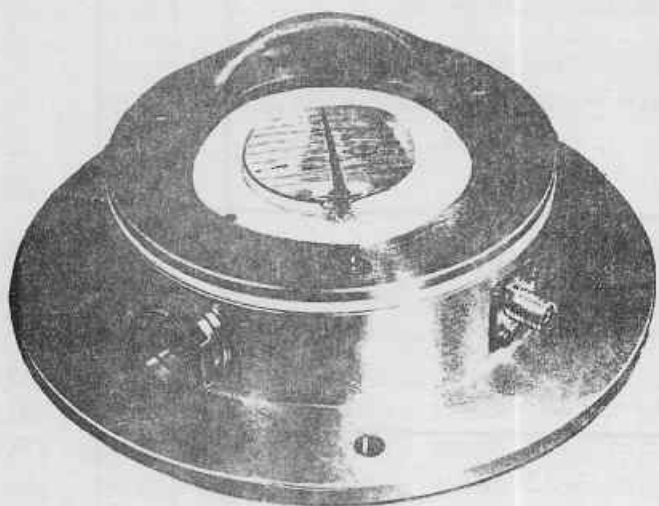


Foto 1

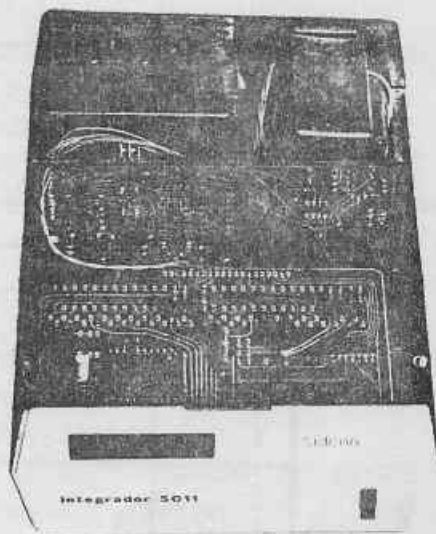


Foto 3

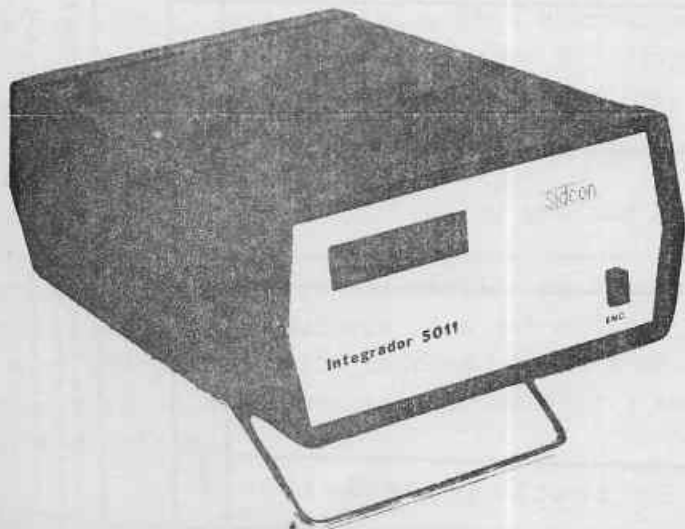


Foto 2

ESTACION:
 LATITUD:
 LONGITUD:
 ALTITUD:

MES:

AÑO:

DIA	RADIACION GLOBAL (KJoule/m ²)	DECLINACION (°)	DURACION DIA (Horas)	HELIOFANIA RELATIVA (%)	TEMP. MEDIA DIURNA (°C)	HUMEDAD RELAT. MEDIA (%)	VIENTO D.P. Velocidad (Km/h)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
TOTAL:							

RADIACION SOLAR GLOBAL MAXIMA:
 RADIACION SOLAR GLOBAL MINIMA:

Temperatura media diurna: tomada en abrigo meteorológico a 1,50 m. de altura.
 Humedad Relativa media: tomada a 1,50 m. de altura.
 Viento: velocidades media tomada a 1,50 m. de altura. D.P. : Dirección prevalente.

Foto 4