

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE CIENCIAS



TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE
LICENCIADO EN FISICA

***CONTROL Y EVALUACION DE
PARAMETROS FISICOS
POR COMPUTADORA***

APLICADO A UNA COCINA SOLAR EN CONSTRUCCION

LUIS ALBERTO GONZALEZ RAMIREZ

LIMA - PERU

1996

CONTENIDO

	<i>Pág.</i>
AGRADECIMIENTOS	I
PRESENTACION	1
DIAGRAMA DE FLUJO	3
1.- INTRODUCCION	4
2.- PRESENTACION DEL PROBLEMA FISICO	
2.1.- Uso de la energía solar	6
2.2.- Modelo fototérmico planteado	7
2.3.- Esquema de la cocina solar	8
2.3.1.- Parametros del colector	9
2.3.2.- Plano de la cocina solar	9
2.4.- Energía disponible	10
2.4.1.- Intensidad de la radiación directa	10
2.4.2.- Radiación sobre una superficie inclinada	12
2.5.- Modelo para el balance energético	14
2.6.- Eficiencia del equipo	17
2.7.- Diagrama de bloques de la interfase	19
3.- IMPLEMENTACION DE LA INTERFASE	
3.1.- COMPUTADOR (PRIMERA ETAPA)	
3.1.1.- Unidad Central de Procesos (C.P.U.)	20
3.1.2.- Tarjeta Controladora	20
3.1.3.- Fuente de voltaje	27

- 3.2.- MEDICION DE RADIACION (SEGUNDA ETAPA)
 - 3.2.1.- Equipos para medir la radiación 28
 - 3.2.1.1.- Amplificación 28
 - 3.2.1.2.- Saturación 30
 - 3.2.1.2.- Piranómetros 39
 - 3.2.2.- Medida de la radiación Solar 41
 - 3.2.3.- Medida de la radiación Térmica 42
- 3.3.- MEDICION DE TEMPERATURA (TERCERA ETAPA)
 - 3.3.1.- Transductores de medición de temperaturas 43
 - 3.3.2.- Experimento de calibración de los sensores 43
 - 3.3.3.- Diagrama de conección del LM335. 47
 - 3.3.4.- Oscilaciones térmicas 47
- 3.4.- MEDICION DEL FLUJO DE AGUA (CUARTA ETAPA)
 - 3.4.1.- Características del Flujímetro 50
 - 3.4.2.- Interfase para el flujímetro 51
 - 3.4.3.- Curva de calibración del flujímetro 55
- 3.5.- PROGRAMA DE COMPUTACION (QUINTA ETAPA)
 - 3.5.1.- Toma de datos 61
 - 3.5.2.- Graficar
 - 3.5.3.- Procesar 63
 - 3.5.4.- Iniciar y finalizar 63
 - 3.5.5.- Desarrollo del programa 63

4.- MEDICIONES Y GRAFICOS

4.1.- Primeras mediciones	64
4.2.- Mediciones finales	67
4.3.- Mediciones adicionales	69

5.- CALCULO ENERGETICO

5.1.- Cálculo de la energía incidente	78
5.2.- Energía ganada a la salida del colector	79
5.3.- Energía acumulada en el fluido del tanque	80

6.- BALANCE y EFICIENCIA DEL SISTEMA 82

6.1.- Balance	83
6.2.- Eficiencia	84

7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- CONCLUSIONES	88
7.2.- RECOMENDACIONES	91

APENDICE I .- Programa de computo 92

APENDICE II .- Amplificadores y Conversores 114

APENDICE III . Datos tecnicos 137

BIBLOGRAFIA 141

PRESENTACION

La realización del presente trabajo de tesis tiene como objetivo principal plantear las inmensas posibilidades que nos ofrece el uso del ordenador como elemento de apoyo para un eficiente control y seguimiento de los diversos parámetros físicos que intervienen en un experimento o en un proceso productivo.

Así, mediante la elaboración de un programa específico y lógico por excelencia, es posible tomar decisiones instantáneas en función de los valores medidos (por ejemplo temperaturas), permitiendo que el proceso experimental o productivo sea controlada en forma totalmente automatizada.

Este pequeño preámbulo deja notar que las posibilidades de acción que tenemos está limitado únicamente por la calidad de los elementos sensores o transductores a ser utilizados. Pero las posibles aplicaciones no tienen límite, por lo que con esta tecnología es factible realizar trabajos multidisciplinarios.

Afortunadamente la electrónica cuenta cada vez más con elementos transductores de alta sensibilidad dispuestos en forma de pastillas o de circuitos integrados de fácil utilización y bajo costo. De estos depende la precisión del proceso de medición.

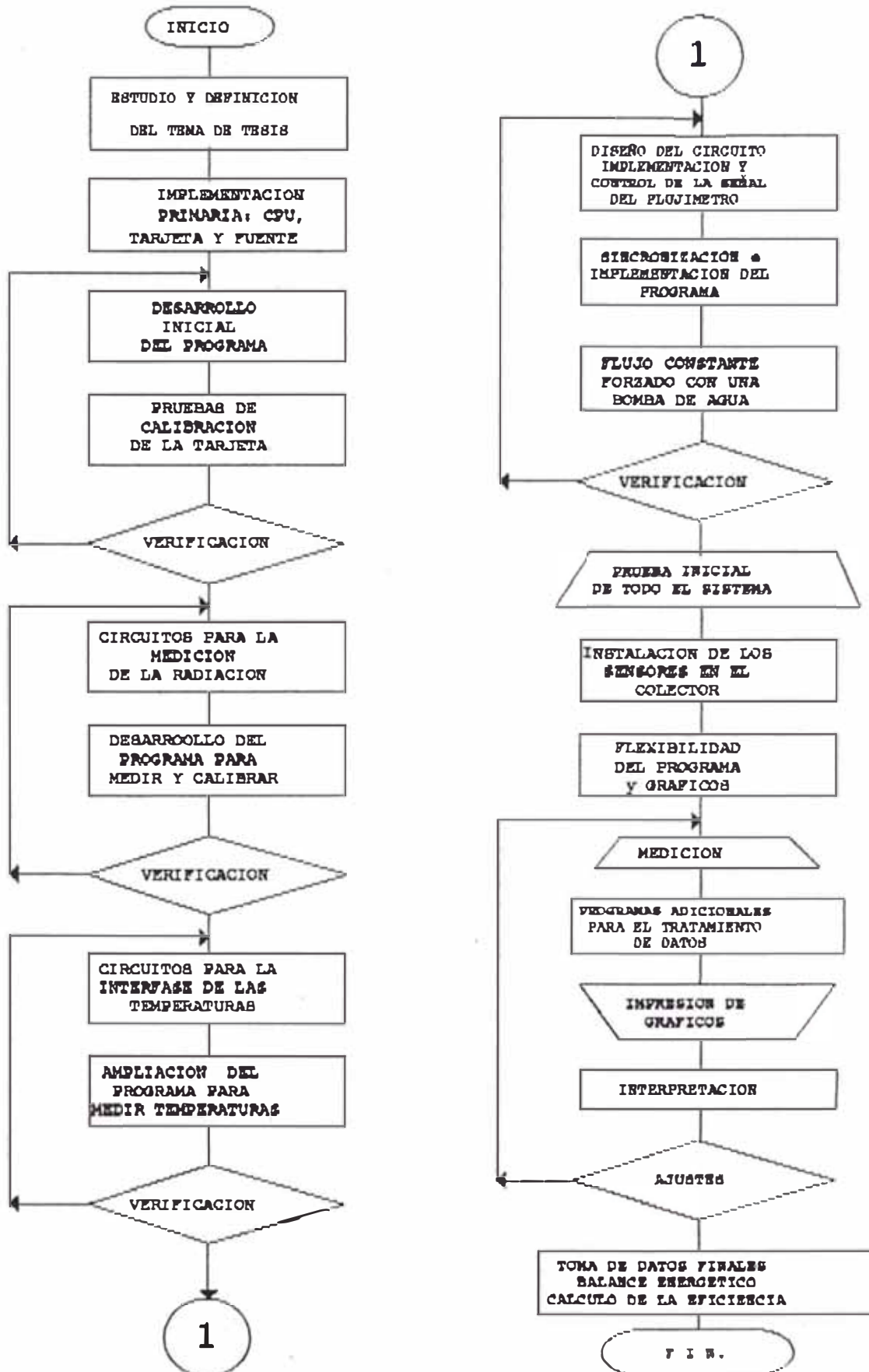
Es necesario también resaltar que el sistema computarizado permite medir y controlar en forma casi continua y por tiempos muy prolongados los diversos parámetros físicos seleccionados. Este proceso se realiza midiendo en forma rotativa, según la secuencia diseñada en el programa, las diversas señales emitidas por los sensores respectivos (uno a la vez). Esto se conoce en el ámbito de la electrónica como **multiplexado**.

El período o tiempo que transcurre entre una medición y la siguiente también es controlado por el programa, lo que significa que podemos decidir y es dable tener una secuencia de **períodos** cortos y largos según lo requiera cada parámetro, mostrando así una gran flexibilidad y adaptabilidad de este método a las condiciones experimentales específicas.

Para poder mostrar las bondades de este método, se propuso como tema de aplicación e investigación, *el control y evaluación de los parámetros físicos que intervienen en las pruebas experimentales del modelo de una cocina solar con dos reflectores planos en el colector*, que se está desarrollando en el Area de Energía Solar de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería. Lo que hace de este un trabajo mutuamente cooperativo, y cuyos resultados se muestran al realizar el balance energético y el cálculo de la eficiencia del sistema.

Finalmente es menester destacar que el enorme número de datos que se maneja con este método, da lugar a una exquisita información detallada de los fenómenos físicos que acontecen, lo cual queda a disposición y total libertad de interpretación por parte del experimentador. En este trabajo, se desarrolló además otros programas alternativos auxiliares que permitieron por ejemplo obtener promedios, mostrar los resultados gráficamente, realizar cálculos, juntar o separar información, seleccionar datos, etc., necesarios para el logro del objetivo trazado.

DIAGRAMA DE FLUJO SEGUIDO DURANTE
LA REALIZACION DE LA TESIS



1.- INTRODUCCION

De acuerdo con el diagrama de flujo mostrado anteriormente es necesario indicar que este trabajo consiste de una serie de etapas o bloques claramente diferenciados y cada uno con sus respectivos objetivos específicos, combinándose así la Física con la Computación y la Electrónica.

Del Tema seleccionado (ver cap.2), se desprende la necesidad de controlar y evaluar los siguientes parámetros físicos: a).- Radiación incidente, para lo cual disponemos de tres piranómetros especializados que miden radiación solar global, radiación solar difusa, y radiación infrarroja. b).- Energía térmica útil y energía perdida, para esto se consideró ocho puntos significativos donde medir temperaturas, así como un flujímetro para medir la traslación de la masa del fluido por unidad de tiempo ($dm/dt = \text{caudal}$). Posteriormente se añadió un pequeño impulsor o bomba de agua que permite mantener un flujo forzado constante.

Así la etapa inicial consistió en la implementación de un computador con una *tarjeta* que controla los datos en forma multiplexada, el cual se calibró para un rango de 0 a 5 voltios en todos los canales de entrada.

En la segunda etapa se implementaron los circuitos amplificadores, para las señales de los radiómetros, mediante un factor de ganancia compatible con el rango de entrada de la tarjeta, (de milivoltios a voltios) y un programa inicial que pueda "leer los datos" en forma secuencial y rotativa.

Además para medir adecuadamente la temperatura se seleccionó ocho puntos significativos, los que fueron distribuidos entre el colector y el tanque de agua. Entonces

la tercera etapa consistió en la implementación de los circuitos necesarios para el correcto funcionamiento de los transductores o sensores de temperatura LM335 respectivos.

La cuarta etapa sobre control de flujo de agua fue la más laboriosa e interesante, en ella se tuvo que diseñar un circuito que cumple con los siguientes requisitos: El circuito debe contar el número de pulsos o máximos que ocurren en un tiempo "t" seleccionado por el programador. La señal que se procesa es sinusoidal y de frecuencia variable, ésta se genera en el flujímetro y sus cambios de frecuencia son proporcionales a las fluctuaciones del caudal. Además dicha cuenta (digital) debe ser transformada en una señal analógica proporcional al número y luego debe ser amplificado hasta el rango definido para la tarjeta de 0 a 5V. Finalmente también debe ser posible "resetear" el contador (llevar a cero) mediante un programa, antes de iniciar una nueva cuenta.

Otra dificultad que se tuvo que resolver en esta cuarta etapa fue la calibración del flujímetro, dado que la señal sinusoidal que emite tiene una frecuencia variable proporcional al caudal que está pasando por el flujímetro.

Las demás etapas fueron esencialmente destinadas a poner en marcha todo el sistema, realizándose los ajustes necesarios, interpretando los datos, verificando las escalas, implementando programas adicionales para el tratamiento de datos, y cálculos preliminares del balance energético y eficiencia del sistema. Finalmente se tomó un número suficiente de datos en los cuales se basan las conclusiones.

2.- PRESENTACION DEL PROBLEMA FISICO

2.1.- USO DE LA ENERGIA SOLAR.

Las principales fuentes de energía en uso son: El petróleo, la hidroenergía, el gas natural y el carbón por lo que a estas se les conoce como energías convencionales y las restantes como energías no convencionales. De todas éstas, solo la energía solar es una fuente inagotable y disponible, en tanto que las demás fuentes adolecen de ser agotables o estar limitados geográficamente.

Considerando que la mayoría de los países exhiben reservas probadas y probables de energías fosiles por no mas de 40 años y teniendo en cuenta la creciente vertiginosa de la demanda energética y la contaminación ambiental producida por los hidrocarburos, podemos decir entonces que la humanidad en su conjunto tendrá que afrontar muy pronto la mas dura crisis energética y las consecuencias económicas y sociales que ello representa.

Sin embargo la cantidad de energía solar que capta la superficie terrestre en un año es aproximadamente 10 veces mayor que todas las reservas conocidas de energía fósil y unas 500 veces mayor que el resto de las fuentes de energía, incluidos la nuclear, la geotérmica y la gravitacional [7].

En tal sentido en el Perú la energía solar se presenta como una excelente alternativa para complementar a las energías convencionales ya que se dispone de cerca de 5KWH por metro cuadrado de superficie horizontal por día de energía solar [20].

El problema es entonces desarrollar tecnologías que transformen la energía solar en otras formas de energía útiles como son la mecánica, eléctrica y térmica.

2.2.- MODELO FOTOTERMICO PLANTEADO.

Mediante la conversión fototérmica, la energía solar se presenta como una alternativa sumamente atractiva en sustitución de los combustibles antes mencionados y es utilizada principalmente para: 1) Calentamiento doméstico de agua, 2) Cocción de alimentos, 3) Secado de productos agrícolas, 4) Calefacción de ambientes, 5) Destilación y producción de agua potable, 6) Calentamiento de piscinas, 7) Hornos solares, 8) Producción de vapor, 9) Conversión termodinámica del calor en energía mecánica a pequeña y gran escala.

Sumando esfuerzos dentro de esta corriente tecnológica se ha diseñado una cocina solar, la cual consiste esencialmente de un colector solar plano con dos reflectores metálicos, un fluido (agua o aceite) y un tanque de almacenamiento con una capacidad de $38 \times 38 \times 36 \text{ cm}^3$.

Esta cocina requiere ser evaluado, estudiando la evolución diaria de los diversos parámetros físicos que intervienen con el objeto de lograr la optimización del diseño. A fin de conseguir dicho objetivo se ha propuesto utilizar el ordenador (como se indico en la presentación) para la medición casi continua de la evolución del sistema.

Entonces el problema físico de cambiar energía solar en energía térmica está planteado y en el siguiente esquema se muestran los lugares donde se realizarán las mediciones de los diversos parámetros físicos que permitan calcular la energía disponible, la energía perdida, y la energía útil.

2.3.- ESQUEMA DE LA COCINA SOLAR

La figura 1 muestra la ubicación de los ocho sensores de temperatura, del Flujiómetro y de la bomba de agua, además indica esquemáticamente las radiaciones a ser medidas.

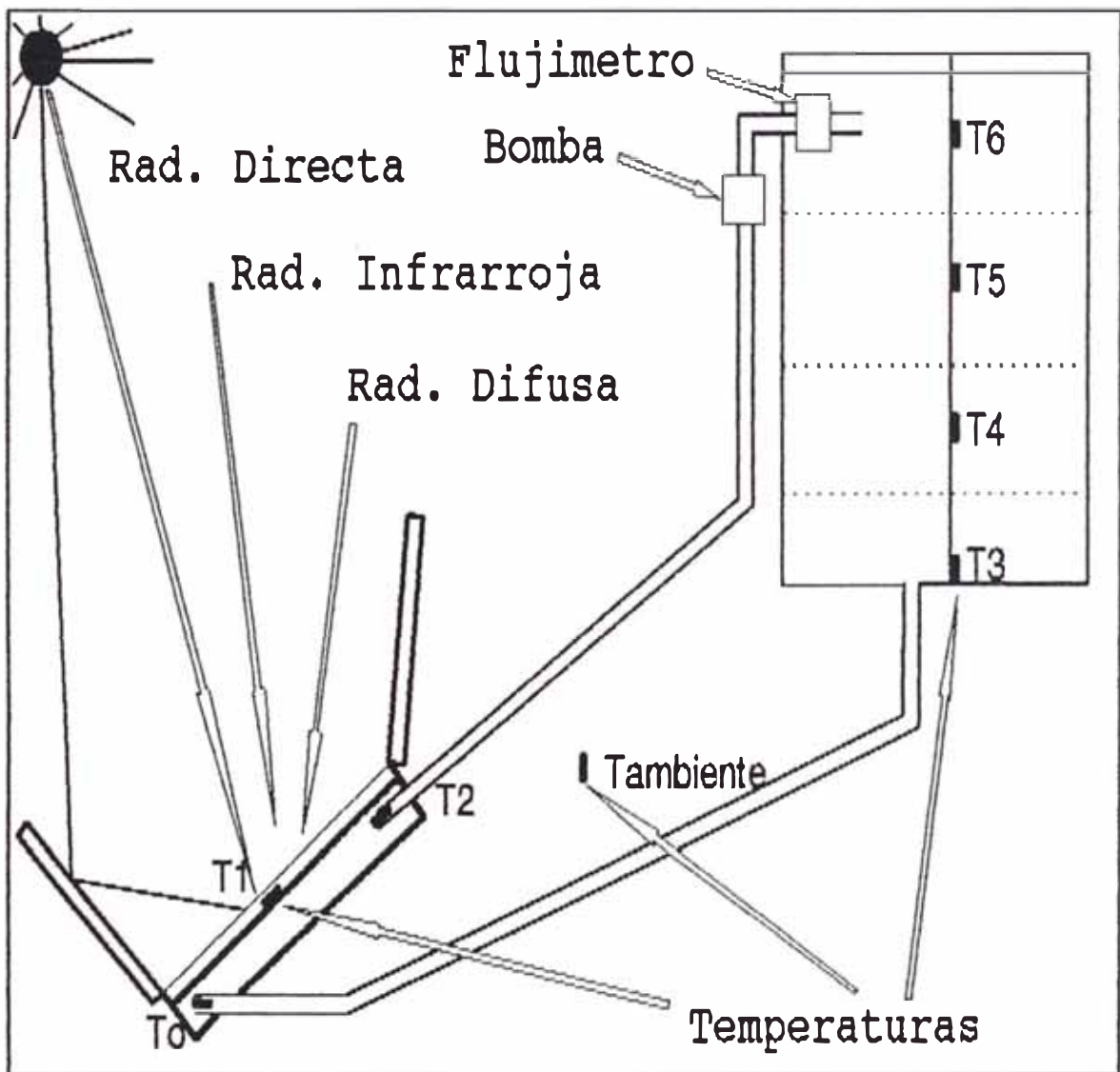


Fig.1.- Representación esquemática de la cocina solar indicando los diversos parámetros físicos a ser medidos. El caudal se controla con la bomba de agua.

2.4.- ENERGIA DISPONIBLE

Antes de intentar aprovechar la energía solar incidente sobre la superficie de la tierra, es conveniente examinar de manera sucinta la naturaleza de la radiación solar, así como las características de esta energía al incidir sobre la superficie de la tierra y posteriormente buscar resultados experimentales.

La radiación solar corresponde aproximadamente a la radiación de un cuerpo negro a una temperatura de 5762 K. Así en el espacio una superficie plana perpendicular a la radiación directa del sol y a la distancia promedio Sol-Tierra ($R_r = 6372$ Km), la cantidad de energía por unidad de área que recibe dicha superficie es de 1353 W/m^2 y se conoce como "*Constante solar o I_{cs}* ". Esta energía se encuentra distribuida espectralmente en un rango de longitudes de onda, de los cuales 95 W/m^2 corresponde al ultravioleta, 640 W/m^2 al visible y 618 W/m^2 al infrarrojo cercano [9].

La energía disponible en este caso es la que trae la *radiación solar*, que es una fuente totalmente variable durante el día, a lo largo del año y el lugar donde está ubicado el sistema. Está influenciado además por la nubosidad y otras condiciones atmosféricas. La energía perdida en el colector y el tanque ocurre mediante procesos de conducción, convección y radiación los cuales dependen además de la temperatura ambiental, la velocidad de viento, humedad, y otros factores meteorológicos.

2.4.1.- INTENSIDAD DE RADIACION DIRECTA

Dado que la distancia del sol a la tierra no es constante, la energía solar que recibe nuestro planeta fuera de

su atmósfera fluctúa alrededor de la constante solar según la ecuación:

$$I_0 = I_{CB} [1 + 0.033 \cos(360 d/364.25)] \dots (2.4.1)$$

d es el tiempo en días a partir del perihelio (4 de Enero). [20]

Sin embargo no toda la radiación solar extraterrestre llega directamente a la tierra, dado que parte de ella sufre una *atenuación* en la atmósfera, debido a fenómenos de *absorción y dispersión*, que ocurren en las moléculas de aire, polvo, O₃, CO₂, Vapor de agua, etc.

Así una parte del fenómeno de atenuación que experimenta la radiación solar a través de la atmósfera, se puede estudiar mediante el concepto de "*masa de aire*" que toma en cuenta la distancia recorrida por la radiación en una atmósfera de aire ideal o promedio, constituido esencialmente por N₂ 78%, O₂ 21%, Ar 0.9%, CO₂ 0.03%, ozono y vapor de agua. Entonces el efecto de la masa de aire es atenuar la radiación directa, por lo que se ha de calcular el "*coeficiente de atenuación*" como:

$$\tau = \frac{I_s}{I_0} = 0.5(e^{-0.65m} + e^{-0.095m}) \dots (2.4.2)$$

Donde I_s es la intensidad de la radiación solar directa en la superficie terrestre e I₀ es la intensidad de la radiación extraterrestre de ese día. Un valor útil resulta de considerar a nivel del mar un cielo despejado y un ángulo cenital igual a cero, entonces m es igual a uno y la tramitancia del aire es $\tau = 0.72$.

Otra parte del fenómeno de atenuación debe considerar la atenuación espectral de la atmósfera y la atenuación que ocurre por la nubosidad y otros elementos atmosféricos propios de la zona.

Esto ultimo nos conduce directamente a la medición experimental de la radiación si deseamos evaluar rigurosamente cual es la cantidad de energía real recibida sobre una determinada superficie.

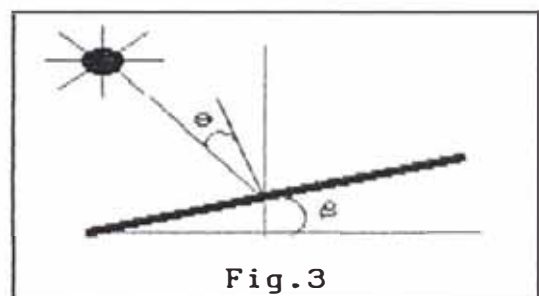
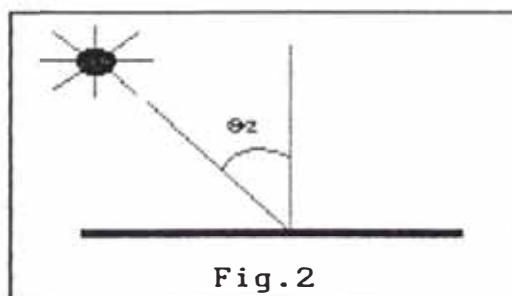
2.4.2.- RADIACION SOBRE UNA SUPERFICIE INCLINADA

Para éste trabajo de tesis la superficie del colector está inclinado hacia el norte un ángulo $\beta = 20^\circ$ y el sol se encuentra en una trayectoria con un ángulo cenital θ_z . ($\theta_z = 3^\circ$ el 3 de Abril. Fig.2 y 3) Entonces para conocer la radiación directa sobre la superficie inclinada a partir de la medición sobre el plano horizontal es suficiente definir el factor de radiación directa instantáneo como:

$$R_s = \frac{I_p}{I_h} = \frac{\tau I_0 \cos \theta}{\tau I_0 \cos \theta_z} = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} \quad \dots (2.4.3)$$

I_p es la radiación directa que incide con un ángulo θ sobre el plano inclinado ($\theta = \theta_z - \beta$ en éste caso).

I_h es la radiación directa sobre un plano horizontal, que se obtiene restando las mediciones instantáneas de la radiación global I_g , menos la radiación difusa I_d .



El modelo desarrollado por Liu y Jordán [9] para calcular la radiación Neta (H_T) sobre una superficie inclinada considera tres partes: (1) La radiación directa del sol, (2) la difusa procedente de la bóveda celeste, y (3) la radiación reflejada por el suelo sobre la

superficie inclinada, es decir:

$$H_T = (I_g - I_d) R_s + I_d R_d + I_g R_\rho \quad \dots (2.4.4)$$

donde R_s , R_d , R_ρ son los factores de conversión para las componentes de radiación directa, difusa y reflejada sobre la superficie inclinada.

El factor R_s ya está definido en la ecuación (2.4.3).

Además, si se supone que la radiación difusa procedente de la bóveda celeste es isotrópica, entonces el cociente de la radiación difusa incidente sobre una superficie inclinada un ángulo β y la radiación difusa incidente sobre una superficie horizontal es igual a:

$$R_d = (1 + \cos \beta) / 2 \quad \dots (2.4.5)$$

notese que el factor R_d es independiente de la posición del sol.

Similarmente, el suelo localizado frente a la superficie inclinada tiene una reflectancia hemisférica uniforme conocido como albedo ρ , por lo que la fracción de ésta que es interceptado por la superficie inclinada es:

$$R_\rho = (1 - \cos \beta) \rho / 2 \quad \dots (2.4.6)$$

El material del piso sobre el cual descanza el colector es de ladrillo, entonces el albedo ρ es igual a 0.15 para este caso.

Finalmente, combinando las ecuaciones anteriores tenemos:

$$H_T = (I_g - I_d) \frac{\cos \theta}{\cos \theta_z} + I_d \frac{1 + \cos \beta}{2} + I_g \frac{1 - \cos \beta}{2} \rho \quad \dots (2.4.7)$$

esta ecuación permite calcular la radiación neta instantánea o la radiación neta promedio que incide sobre un plano inclinado.

2.5.- BALANCE ENERGETICO

Para realizar el balance energético y para calcular la eficiencia del sistema es necesario desarrollar algunos modelos teóricos que permitan acercarnos con un buen grado de aproximación a sus valores reales considerando para estos los parámetros de mayor influencia en el proceso energético.

Mediante la ecuación 2.4.7 y considerando el área del colector, es necesario señalar que sólo se gana o recibe la fracción $H_T A_C$ de la potencia que tiene la radiación neta incidente sobre el plano inclinado paralelo a la cubierta de vidrio del colector. En el diseño, la medida del área de la placa del colector es $A_C = 0.95 \times 1.00 \text{ m}^2$.

Una parte de ésta potencia se pierde por las características propias de las reflexiones múltiples entre la cubierta y la placa de absorción, disminuyendo así en el factor $\langle \tau \alpha \rangle$ de Transmitancia-Absortancia, entonces a la placa del colector solo llega la fracción $H_T A_C \langle \tau \alpha \rangle$ de la radiación neta incidente.

Por otra parte una cantidad de la potencia ganada se almacena en los materiales que constituyen el sistema en forma de energía interna por unidad de tiempo dU/dt y constituye una pequeña pérdida. Sin embargo, las pérdidas más significativas (q_{perdido}) ocurren hacia los alrededores mediante fenómenos de conducción, convección y re-radiación.

La diferencia de la energía ganada menos la energía perdida queda almacenada en el fluido como energía útil, el cual se expresa mediante el término $q_{\text{útil}}$.

Finalmente, el balance instantáneo de la energía por unidad de tiempo (Potencia) puede expresarse entonces analíticamente como:

$$H_T A_C \langle \tau\alpha \rangle = q_{\text{útil}} + q_{\text{perdido}} + \frac{dU}{dt} \quad \dots (2.5.1)$$

La última parte $dU/dt = (mCp)_{\text{eq}} dT/dt$ representa la potencia que se pierde por incremento de la energía interna de los materiales del sistema y estimando un estado de funcionamiento cuasi-estable durante el tiempo promedio señalado (15 minutos) éste toma un valor muy pequeño y usualmente se considera despreciable.

El producto Transmitancia-Absortancia $\langle \tau\alpha \rangle$ se evalúa según:

$$\langle \tau\alpha \rangle = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha) \rho_d} \quad \dots (2.5.2)$$

donde ρ_d es la reflectancia difusa que en este caso se estima en 0.16 para una sola cubierta de vidrio, la Transmitancia del vidrio en el espectro solar es igual a 0.88 y la emitancia o la absortancia de la pintura negra es de 0.90 y está sobre la placa. [9]

Sustituyendo éstos datos en la ecuación anterior se puede calcular el producto Transmitancia-Absortancia como:

$$\langle \tau\alpha \rangle = \frac{0.88 \times 0.90}{1 - (1 - 0.90) 0.16} = 0.8048 = 0.80 \quad \dots (2.5.3)$$

Por otro lado las pérdidas térmicas en el colector solar pueden expresarse mediante la relación:

$$q_{\text{perdido}} = U_L A_C (T_p - T_a) \quad \dots (2.5.4)$$

en donde U_L es el coeficiente total de pérdidas de calor, A_C es el área de la placa del colector, T_p es la

temperatura promedio de la placa de absorción, y T_a es la temperatura ambiente.

La ecuación 2.5.4 tiene una apariencia simple, sin embargo la evaluación numérica del coeficiente total de transferencia de calor U_L requiere de un análisis detallado de las pérdidas de energía interna por conducción, convección y radiación, y su estudio riguroso es muy extenso, por lo que es preferible utilizar otro método calculando primero la energía ganada y el calor útil, para luego por diferencia evaluar el calor perdido. Entonces con este valor y utilizando la ecuación 2.5.4 podemos evaluar el coeficiente total de pérdidas como:

$$U_L = q_{\text{perdido}} / A_C(T_p - T_a) \quad \dots (2.5.5)$$

Para utilizar este método es necesario calcular el valor del calor útil a la salida del colector en términos del flujo medido, sea con circulación natural o con circulación forzada como en éste caso. Así el calor útil a la salida del colector es:

$$q_{\text{útil}} = \frac{dm}{dt} C_p (T_s - T_e) = \frac{dm}{dt} C_p \Delta T \quad \dots (2.5.6)$$

Es conveniente indicar que el caudal dm/dt es igual al producto de la densidad del fluido ($\rho_{\text{agua}} = 1.03 \text{ gr/cm}^3$) por el flujo medido, y que la diferencia de temperaturas que adquiere el líquido desde que entra hasta que sale del colector es $\Delta T = T_s - T_e$.

Considerando además que pueden existir pérdidas desde la salida del colector hasta que el fluido llega al tanque de almacenamiento y en él mismo, entonces el calor útil almacenado en el fluido del tanque, en forma de energía interna, sería menor que a la salida

del colector.

Esto lo podemos verificar considerando las medidas de temperatura en el interior del tanque (T3, T4, T5 y T6 Fig.1 página 8) y sumando las energías internas acumuladas en cada una de las capas del fluido. Para esto se divide la altura total del liquido en cuatro partes ($H = h_3 + h_4 + h_5 + h_6 = 5 + 10 + 10 + 11 = 36$ cm), según las alturas de ubicación respectivas de los sensores de temperatura.

Entonces el calor útil almacenado en el fluido del tanque es:

$$q_{\text{útil}} = \sum m_i C_p \frac{\Delta T_i}{\Delta t} = \rho A C_p \frac{\sum h_i \Delta T_i}{\Delta t} \quad \dots (2.5.7)$$

Así la ecuación 2.5.1 se puede reescribir como:

$$q_{\text{perdido}} = H_T A_c \langle \tau \alpha \rangle - q_{\text{útil}} \quad \dots (2.5.8)$$

Donde q_{perdido} representa las pérdidas en el colector o en todo el sistema dependiendo de como se evalúe el termino $q_{\text{útil}}$. Si $q_{\text{útil}}$ se evalúa mediante la ecuación 2.5.6 entonces se trata de las pérdidas en el colector y si $q_{\text{útil}}$ se halla con la ecuación 2.5.7, entonces q_{perdido} representa el calor perdido en todo el sistema.

2.6.- EFICIENCIA DEL EQUIPO

Para calcular la eficiencia *del colector solar* bajo diversas condiciones fluctuantes, es necesario analizar el sistema como una máquina térmica que recibe un tipo de energía y lo transforma en energía calórica de un fluido.

Este proceso de transformación involucra necesariamente pérdidas de energía que limitan la eficiencia del colector de modo que podemos definir la eficiencia como:

$$\eta = \frac{\text{Energía Util}}{\text{Energía Disponible}} = 1 - \frac{\text{Energía Perdida}}{\text{Energía Disponible}} \dots (2.6.1)$$

Ecuación típica que indica de manera general la eficiencia de una máquina térmica.

La ecuación anterior plantea dos formas de evaluar la eficiencia, uno que es el método utilizado, el cual consiste en evaluar directamente el cociente de la energía útil entre la energía disponible. Y otro que implica evaluar primero el factor U_L para luego calcular la fracción de pérdida que es igual a la energía perdida entre la energía disponible.

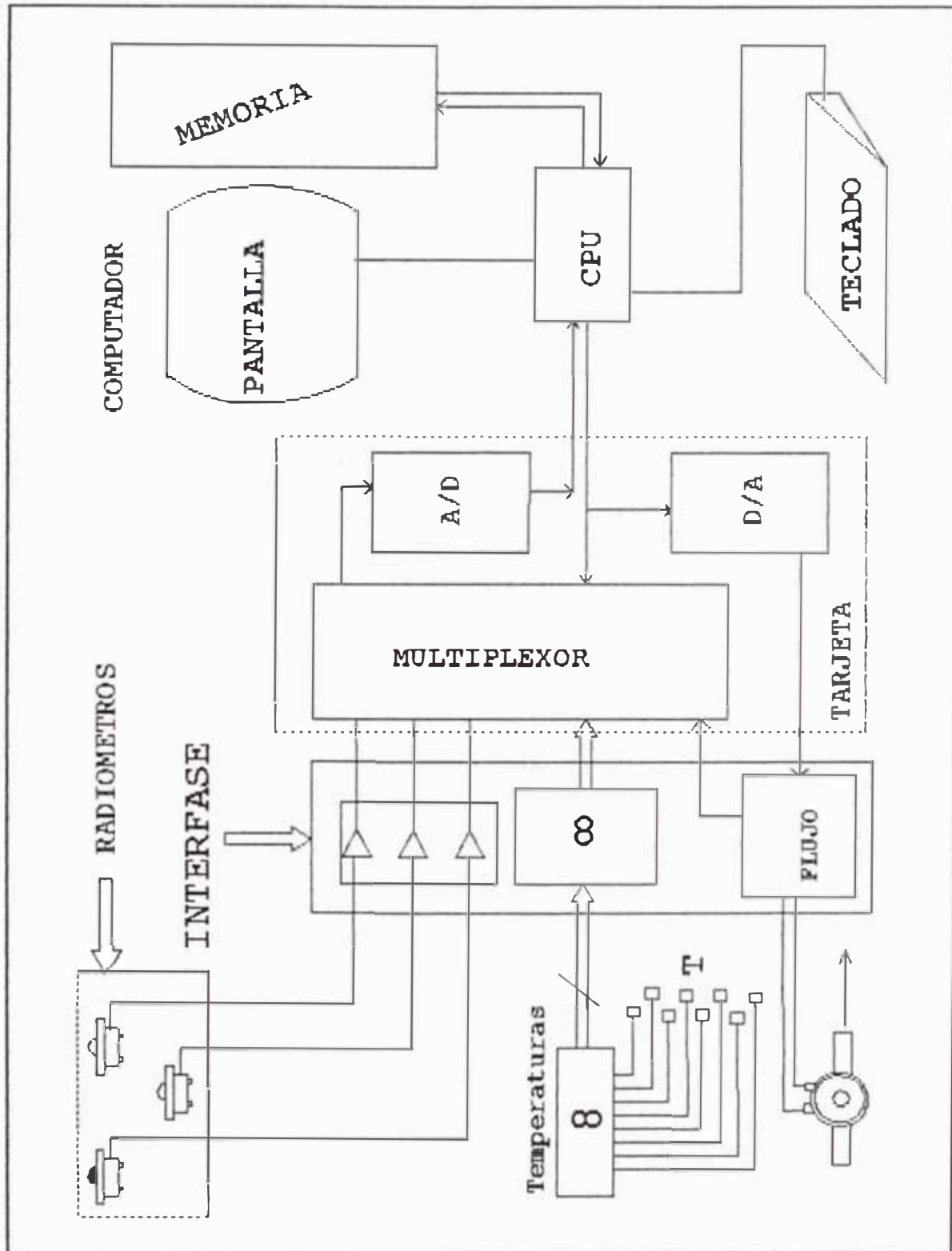
De acuerdo con las ecuaciones planteadas la eficiencia a la salida del colector es:

$$\eta_c = \frac{\frac{dm}{dt} C_p (T_s - T_c)}{H_T A_c} \dots (2.6.2)$$

La eficiencia de todo el sistema debe ser calculada entonces considerando el calor útil ganado como energía interna en el fluido, según la ecuación:

$$\eta = \frac{\rho A C_p \frac{\sum h_i \Delta T_i}{\Delta t}}{H_T A_c} \dots (2.6.3)$$

2.7.- DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA INTERFASE



3.- IMPLEMENTACION DE LA INTERFASE

A continuación describiremos en forma pormenorizada cada una de las etapas de implementación de la interfase, en el orden mostrado por el diagrama de bloques.

3.1.- COMPUTADOR (PRIMERA ETAPA)

3.1.1.- UNIDAD CENTRAL DE PROCESOS (C P U).

Como se indicó en la presentación, el objetivo del presente trabajo es utilizar el ordenador para la medición de parámetros físicos. En tal sentido se consideró suficiente usar un computador modelo XT de bajo costo. A este computador se le asignó la tarea de tomar y almacenar los datos en un disco magnético.

3.1.2.- TARJETA CONTROLADORA

Para tomar datos con el CPU es necesario implementarlo con una tarjeta especializada que permita el ingreso *si-*multáneo de varias señales de voltaje para su lectura.

La tarjeta elegida modelo # 97 61 21 de la compañía alemana CONRAD ELECTRONIC (que se importó), cuenta con un conversor A/D de 12 Bits que utiliza *el método de aproximaciones sucesivas*¹ para el proceso de conversión de una señal analógica en digital, conectado a un multiplexor analógico, el cual deja pasar una de las 16 señales de voltaje en espera de su lectura. El canal deseado es seleccionado siguiendo la lógica del programa.

Se incluye además un conversor de 12 Bits D/A (Digital/Análogo), que permite generar una secuencia de voltajes analógicos de salida bipolar (+8.5 V) controlados

¹ Véase el apéndice II.

por el programa.

Dicha tarjeta, está dotada también de cuatro salidas de voltaje de corriente continua, como posible fuente de alimentación de la interfase externa y son -5V, +5V, -12V, +12V y cuatro pines de tierra.

El tiempo de acceso o respuesta por canal en la tarjeta es de sesenta micro segundos ($60 \mu\text{S}/\text{canal}$). Pero el programa necesita realizar un artificio de lectura considerando que el bus de datos y la memoria del computador son de 8 bits y el dato del conversor A/D es de 12 bits. Para esto almacena los 8 bits menos significativos (8 LSB) en la segunda posición de memoria y los 4 bits más significativos (4 MSB) en la tercera posición de memoria asignada para uso de la tarjeta. Seguidamente se da lectura de estos datos en 2 variables separadas y mediante una suma adecuada se reconstruye o forma el número decimal correspondiente al número binario de 12 bits (Rango: 0 a 4095).

Con una secuencia de 12 bits (ceros y unos) se pueden representar $2^{12} = 4096$ números binarios, de allí que el rango numérico disponible es de 0 a 4095. Este rango numérico es directamente proporcional a la ganancia seleccionada para todos los canales de entrada de la tarjeta de 0 a 5 V.

Así por ejemplo el número 2048 que es igual a $2048 \times 5 / 4095 = 2.5006\text{V}$ corresponde a la mitad del rango elegido y el número 1 es igual a $1 \times 5 / 4095 = 0.001221\text{V} = 1.22\text{mV}$ es decir el bit menos significativo es equivalente a 1.22mV, por lo que el error máximo de cuantificación del conversor A/D será justamente 1.22mV, que a media escala (2.5V), representa el 0.05% de error en la lectura del puerto o canal censado.

Para verificar lo expresado anteriormente se ha realizado diversas pruebas de calibración haciendo ingresar un voltaje conocido por los 16 canales,² variando el voltaje en forma ascendente y descendente, y tomando la lectura correspondiente a través de la tarjeta, lo cual arroja las siguientes curvas de calibración, presentadas en las figuras 4, 5, 6, y 7, y sus respectivas tablas de datos. También a modo de ejemplo, se muestra el resultado de la evaluación del voltaje en un potenciómetro accionado rápida y manualmente. Se programó para su lectura un tiempo de una centésima de segundo entre dato y dato. (Fig.8). Lo que demuestra que es posible realizar el seguimiento de procesos de corta duración.

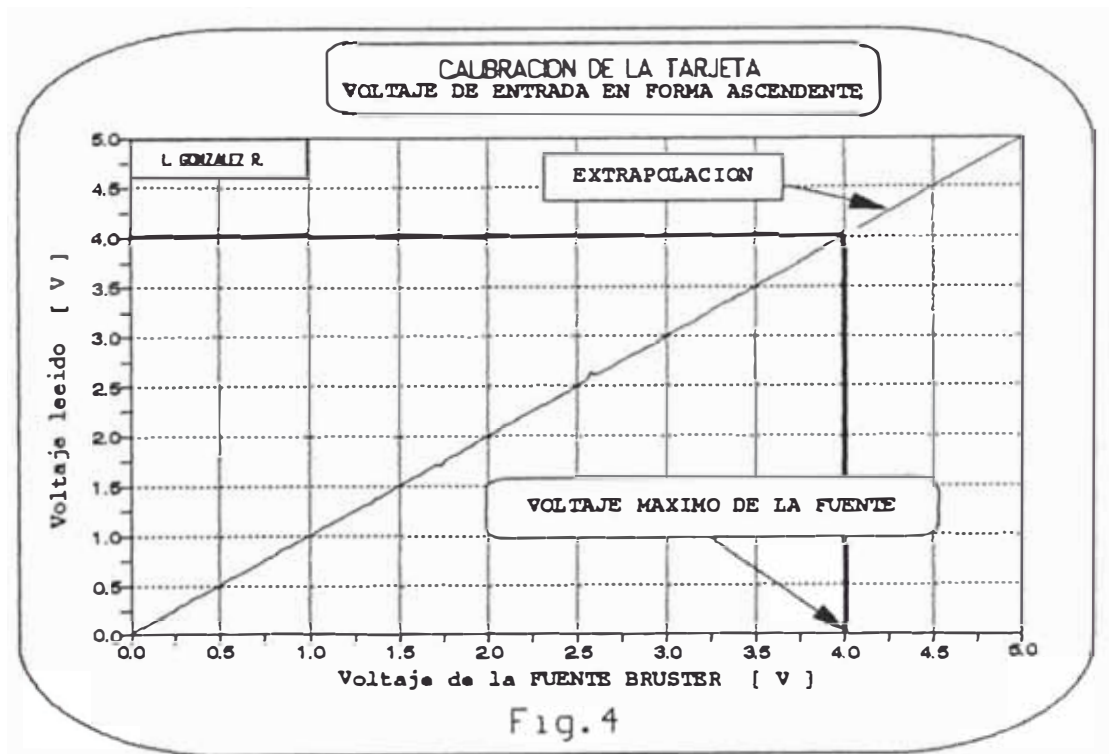
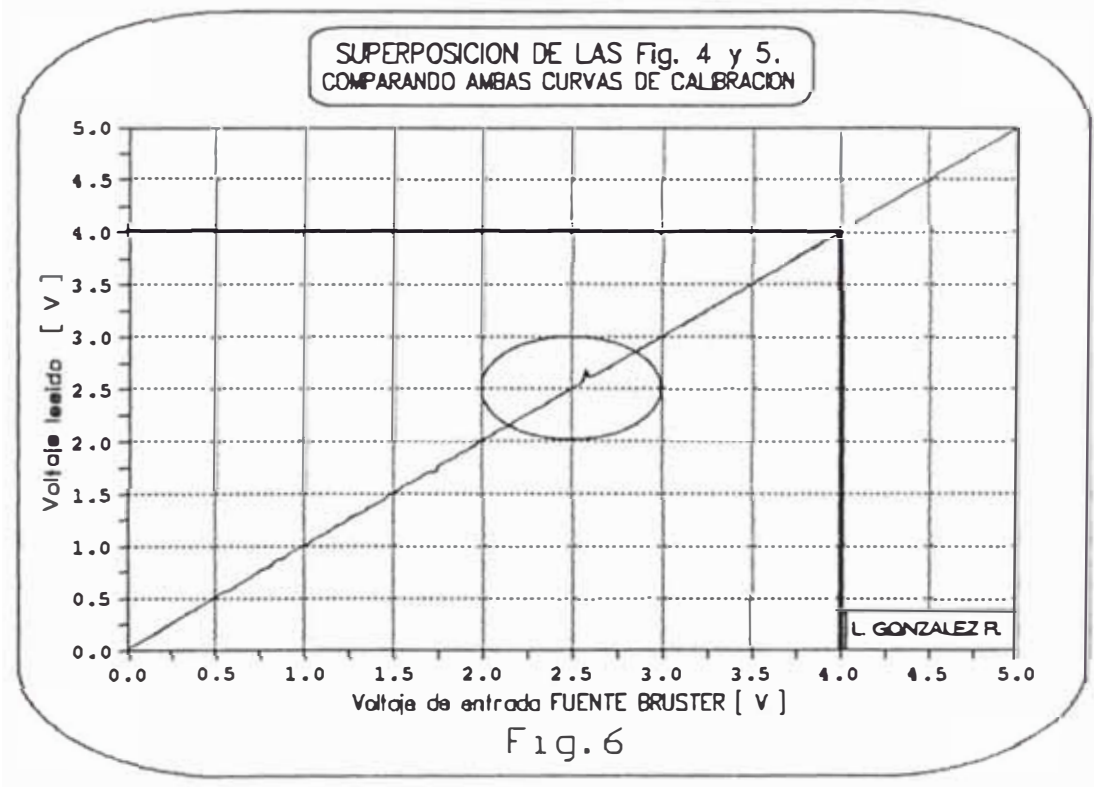
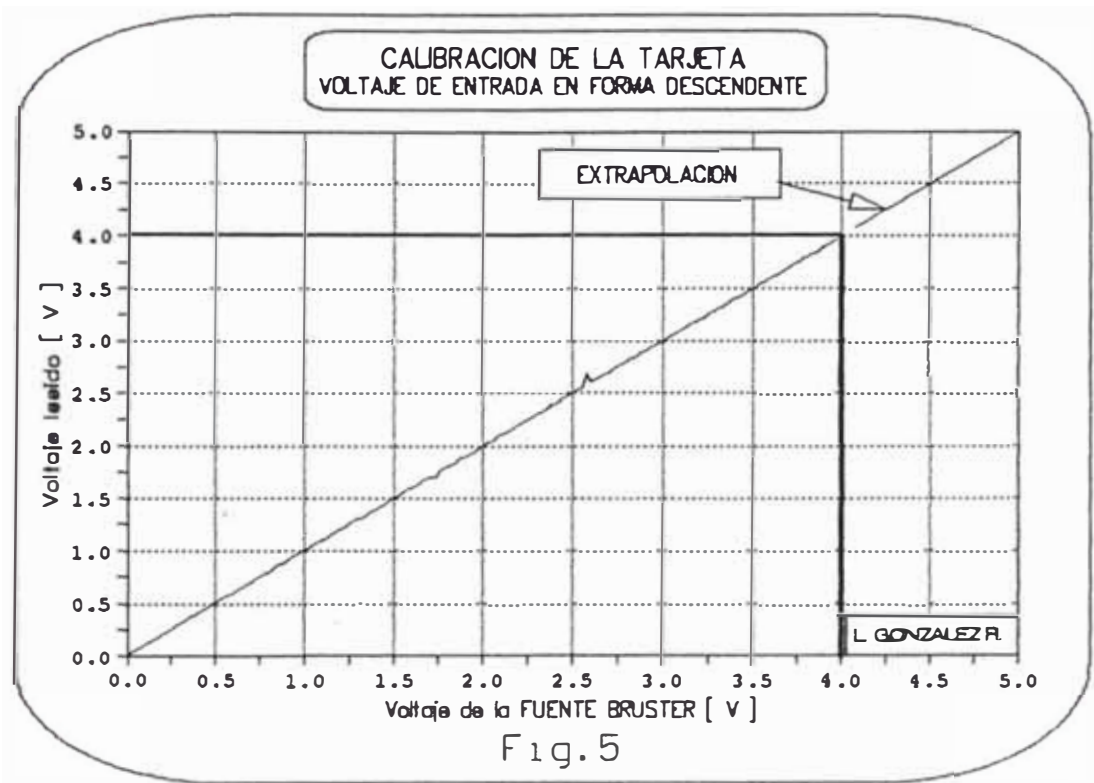


Fig.4

² Fuente de referencia o calibración:
Bruster gernsbach prazizionsomebtechnik.
Kalibrier quelle.
Digistant TYP 6640.
Voltaje máximo 4V.



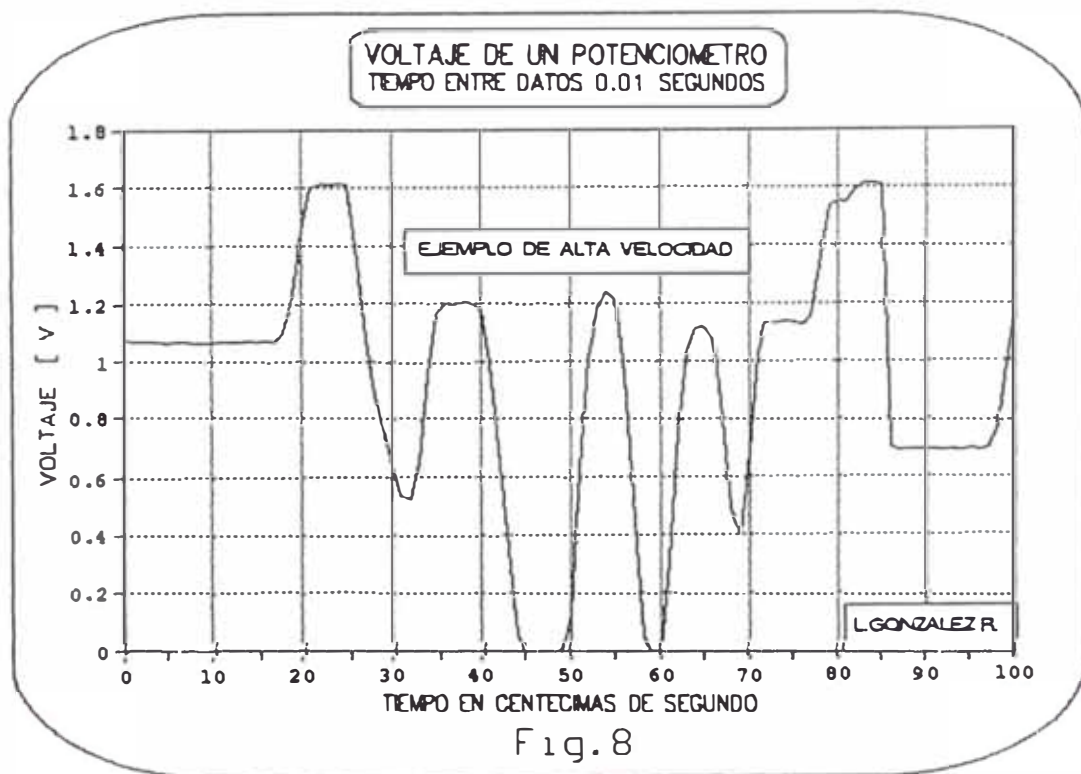
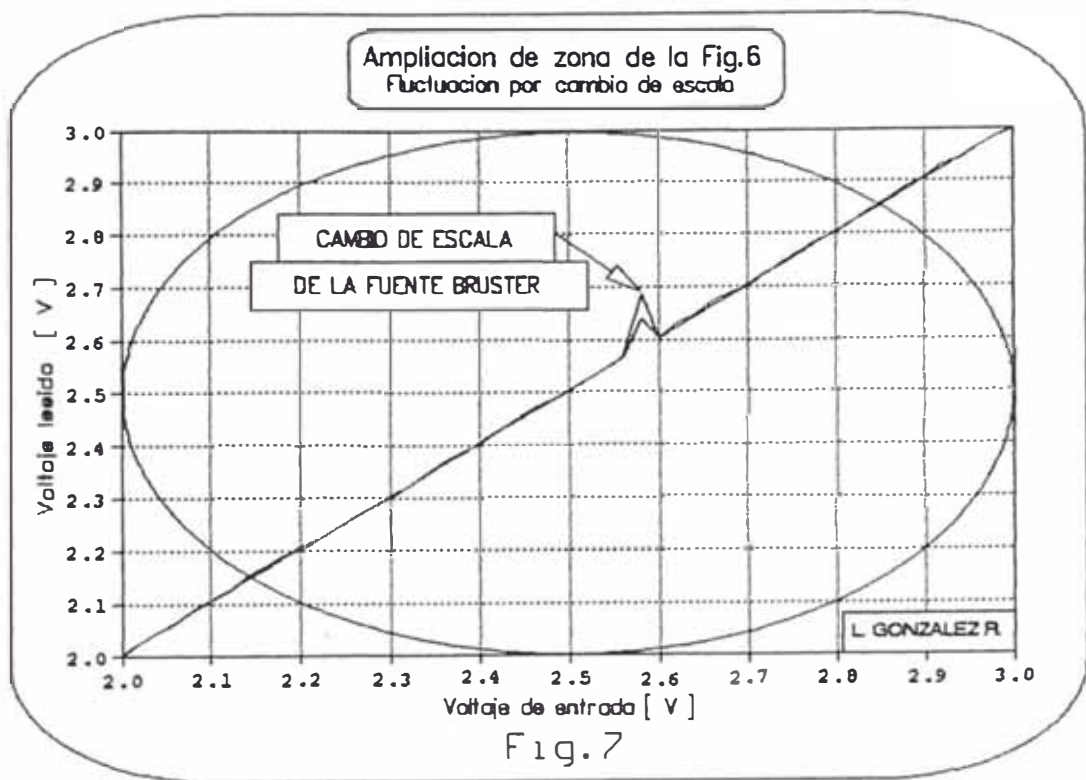


TABLA 4 VOLTAJE DE ENTRADA Y VOLTAJE MEDIDO POR LA TARGETA (Fig. 4 y 5).

Fuente [V]	ASCENDENTE [V]	DESCENDENTE [V]	Fuente [V]	ASCENDENTE [V]	DESCENDENTE [V]	Fuente [V]	ASCENDENTE [V]	DESCENDENTE [V]
0.00	0.007	0.005	1.34	1.344	1.344	2.58	2.584	2.588
0.02	0.028	0.026	1.36	1.364	1.363	2.70	2.705	2.701
0.04	0.046	0.045	1.38	1.384	1.383	2.72	2.726	2.725
0.06	0.066	0.065	1.40	1.405	1.402	2.74	2.744	2.748
0.08	0.087	0.085	1.42	1.424	1.424	2.76	2.764	2.768
0.10	0.106	0.106	1.44	1.444	1.443	2.78	2.785	2.788
0.12	0.126	0.124	1.46	1.465	1.465	2.80	2.804	2.803
0.14	0.146	0.145	1.48	1.483	1.484	2.82	2.824	2.824
0.16	0.167	0.164	1.50	1.505	1.504	2.84	2.844	2.848
0.18	0.185	0.185	1.52	1.525	1.523	2.86	2.863	2.868
0.20	0.207	0.205	1.54	1.545	1.545	2.88	2.883	2.889
0.22	0.226	0.225	1.56	1.564	1.563	2.90	2.904	2.906
0.24	0.246	0.244	1.58	1.585	1.584	2.92	2.923	2.929
0.26	0.265	0.264	1.60	1.603	1.603	2.94	2.944	2.943
0.28	0.286	0.285	1.62	1.626	1.622	2.96	2.963	2.964
0.30	0.308	0.305	1.64	1.644	1.643	2.98	2.983	2.983
0.32	0.327	0.324	1.66	1.665	1.664	3.00	3.003	3.000
0.34	0.346	0.344	1.68	1.685	1.683	3.02	3.023	3.025
0.36	0.365	0.364	1.70	1.704	1.703	3.04	3.043	3.041
0.38	0.386	0.384	1.72	1.704	1.703	3.06	3.062	3.065
0.40	0.406	0.405	1.74	1.704	1.706	3.08	3.082	3.083
0.42	0.425	0.424	1.76	1.765	1.764	3.10	3.102	3.102
0.44	0.446	0.444	1.78	1.785	1.783	3.12	3.124	3.126
0.46	0.466	0.463	1.80	1.804	1.803	3.14	3.143	3.147
0.48	0.486	0.485	1.82	1.825	1.823	3.16	3.162	3.165
0.50	0.506	0.504	1.84	1.845	1.843	3.18	3.185	3.183
0.52	0.525	0.523	1.86	1.865	1.863	3.20	3.202	3.206
0.54	0.547	0.543	1.88	1.883	1.883	3.22	3.222	3.222
0.56	0.566	0.564	1.90	1.904	1.902	3.24	3.243	3.241
0.58	0.587	0.583	1.92	1.925	1.922	3.26	3.263	3.262
0.60	0.608	0.606	1.94	1.945	1.942	3.28	3.282	3.281
0.62	0.626	0.624	1.96	1.965	1.962	3.30	3.303	3.301
0.64	0.646	0.644	1.98	1.984	1.982	3.32	3.323	3.319
0.66	0.666	0.663	2.00	2.005	2.002	3.34	3.342	3.341
0.68	0.686	0.685	2.02	2.024	2.024	3.36	3.362	3.360
0.70	0.707	0.705	2.04	2.044	2.045	3.38	3.383	3.382
0.72	0.726	0.726	2.06	2.064	2.062	3.40	3.404	3.399
0.74	0.746	0.745	2.08	2.085	2.087	3.42	3.422	3.421
0.76	0.768	0.766	2.10	2.104	2.102	3.44	3.443	3.440
0.78	0.786	0.786	2.12	2.125	2.122	3.46	3.463	3.461
0.80	0.806	0.803	2.14	2.144	2.150	3.48	3.483	3.484
0.82	0.826	0.824	2.16	2.165	2.170	3.50	3.502	3.500
0.84	0.847	0.845	2.18	2.186	2.190	3.52	3.523	3.523
0.86	0.866	0.865	2.20	2.207	2.201	3.54	3.541	3.546
0.88	0.886	0.884	2.22	2.224	2.223	3.56	3.563	3.559
0.90	0.906	0.904	2.24	2.243	2.243	3.58	3.582	3.581
0.92	0.926	0.930	2.26	2.263	2.262	3.60	3.602	3.600
0.94	0.945	0.948	2.28	2.284	2.283	3.62	3.622	3.621
0.96	0.965	0.964	2.30	2.305	2.301	3.64	3.642	3.641
0.98	0.985	0.984	2.32	2.323	2.323	3.66	3.662	3.660
1.00	1.004	1.004	2.34	2.345	2.348	3.68	3.681	3.679
1.02	1.026	1.024	2.36	2.364	2.368	3.70	3.702	3.699
1.04	1.045	1.044	2.38	2.385	2.389	3.72	3.722	3.726
1.06	1.065	1.063	2.40	2.405	2.401	3.74	3.742	3.746
1.08	1.085	1.087	2.42	2.426	2.426	3.76	3.762	3.761
1.10	1.104	1.104	2.44	2.445	2.448	3.78	3.781	3.783
1.12	1.124	1.124	2.46	2.464	2.470	3.80	3.802	3.800
1.14	1.144	1.145	2.48	2.484	2.486	3.82	3.821	3.820
1.16	1.164	1.166	2.50	2.504	2.502	3.84	3.842	3.840
1.18	1.185	1.190	2.52	2.524	2.524	3.86	3.861	3.859
1.20	1.205	1.203	2.54	2.545	2.544	3.88	3.882	3.879
1.22	1.225	1.223	2.56	2.564	2.566	3.90	3.901	3.899
1.24	1.246	1.243	2.58	2.584	2.589	3.92	3.923	3.926
1.26	1.264	1.268	2.60	2.605	2.603	3.94	3.942	3.939
1.28	1.283	1.291	2.62	2.624	2.630	3.96	3.963	3.963
1.30	1.305	1.305	2.64	2.644	2.648	3.98	3.980	3.979
1.32	1.325	1.323	2.66	2.665	2.671	4.00	4.001	3.999

DATOS DEL POTENCIOMETRO (Fig.8)

VOLTAJE MEDIDO A LA SALIDA DEL POTENCIOMETRO EN FUNCION DEL TIEMPO
DEMOSTRANDO SU EFICIENCIA PARA ALTAS VELOCIDADES DE LECTURA

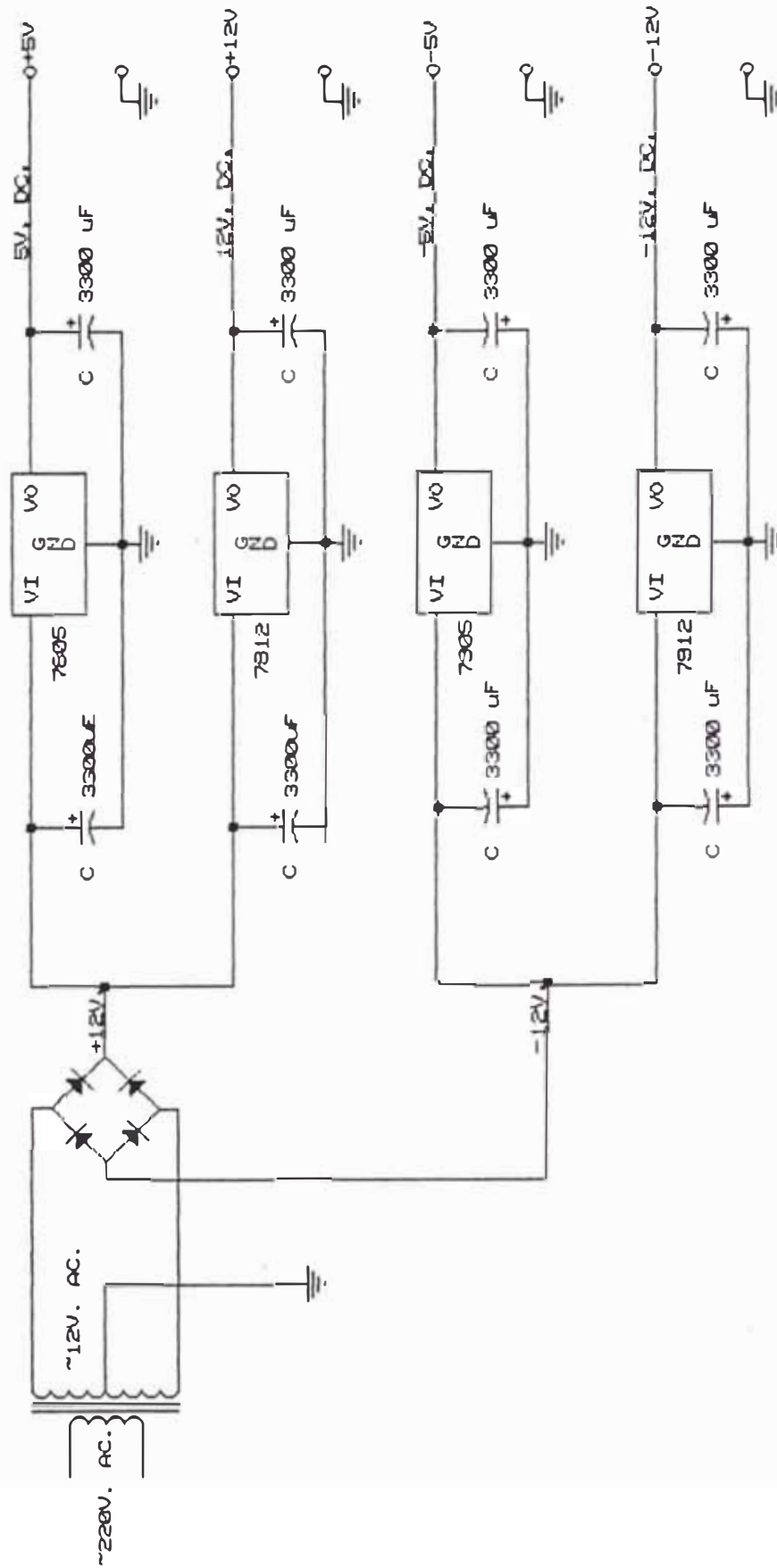
TABLA 8

TIEMPO	MEDICION	TIEMPO	MEDICION	TIEMPO	MEDICION
t [S]	V	t [S]	V	t [S]	V
0.00	1.081	0.34	0.954	0.68	0.490
0.01	1.072	0.35	1.161	0.69	0.402
0.02	1.072	0.36	1.198	0.70	0.685
0.03	1.073	0.37	1.193	0.71	1.024
0.04	1.071	0.38	1.204	0.72	1.129
0.05	1.066	0.39	1.198	0.73	1.131
0.06	1.071	0.40	1.175	0.74	1.136
0.07	1.068	0.41	0.996	0.75	1.134
0.08	1.066	0.42	0.698	0.76	1.126
0.09	1.067	0.43	0.350	0.77	1.155
0.10	1.067	0.44	0.054	0.78	1.327
0.11	1.071	0.45	0.000	0.79	1.535
0.12	1.070	0.46	0.000	0.80	1.549
0.13	1.070	0.47	0.000	0.81	1.546
0.14	1.074	0.48	0.000	0.82	1.589
0.15	1.068	0.49	0.000	0.83	1.614
0.16	1.072	0.50	0.122	0.84	1.615
0.17	1.071	0.51	0.628	0.85	1.608
0.18	1.099	0.52	1.010	0.86	0.703
0.19	1.233	0.53	1.182	0.87	0.692
0.20	1.452	0.54	1.241	0.88	0.696
0.21	1.598	0.55	1.212	0.89	0.694
0.22	1.615	0.56	0.946	0.90	0.694
0.23	1.612	0.57	0.534	0.91	0.694
0.24	1.614	0.58	0.048	0.92	0.690
0.25	1.609	0.59	0.000	0.93	0.695
0.26	1.396	0.60	0.000	0.94	0.690
0.27	1.081	0.61	0.305	0.95	0.700
0.28	0.883	0.62	0.759	0.96	0.690
0.29	0.767	0.63	1.013	0.97	0.698
0.30	0.643	0.64	1.114	0.98	0.770
0.31	0.536	0.65	1.116	0.99	0.987
0.32	0.523	0.66	1.074	1.00	1.608
0.33	0.653	0.67	0.801	1.01	1.615

3.1.3. - Fuente de voltaje

3.1.3. - FUENTE DE VOLTAJE
FUENTE REGULADA PARA LA INTERFASE

VOLTAJES DISPONIBLES = +5V. +12V. -5V. -12V.



LUIS A. GONZALEZ RAMIREZ U.N.I.I.
ize Number
A FUENTE REGULADA (1 Amper.) 1
ate: es of

3.2.- MEDICION DE RADIACION (SEGUNDA ETAPA)

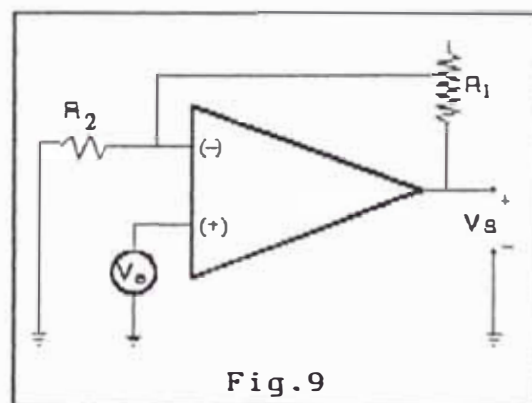
3.2.1.- EQUIPOS PARA MEDIR LA RADIACION

Disponemos en esta etapa de dos radiómetros especializados para medir radiación solar global, y radiación solar difusa, además de un Pirgeómetro para la radiación infrarroja. Estos entregan aproximadamente 5mV como máximo por lo que es necesario amplificar la señal cerca de mil veces para adaptarlo al rango de lectura elegido para la tarjeta. Es decir $\approx 1000 \times 5 \text{ mV} = 5 \text{ V}$.

3.2.1.1- AMPLIFICACION

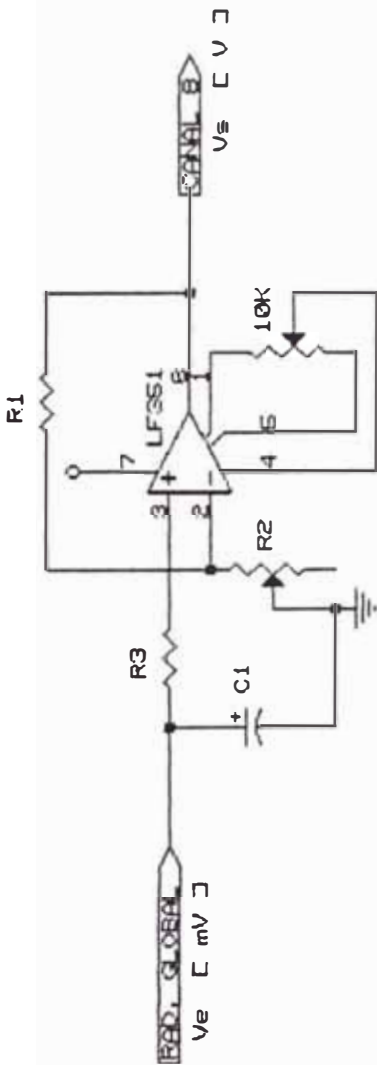
Con dicho fin, se utilizó tres amplificadores operacionales LM351 (NATIONAL), que se caracterizan por tener una configuración de pines idénticos al LM741 standard, emplean el mismo circuito de ajuste de voltaje offset y tienen una alta impedancia de entrada $10^{12} \Omega = 10^6 \text{ M}\Omega$ que permite una alta ganancia en el proceso de amplificación. Sus características principales se da a conocer en el apéndice II.

El plano del circuito utilizado (Figura 10) muestra esencialmente tres amplificadores operacionales **sin inversión**, donde el voltaje de salida es un múltiplo o amplificación del voltaje de entrada ($V_s - A V_e$). El factor de amplificación es $A = 1 + R_1/R_2$.

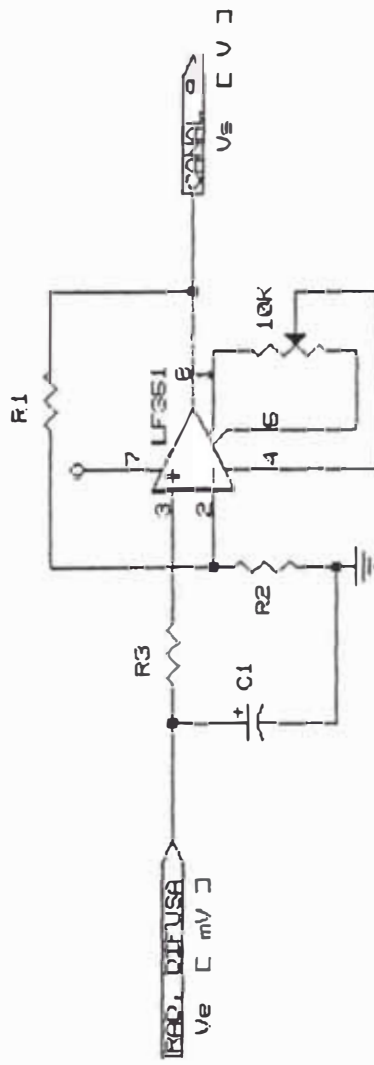


FACTOR DE AMPLIFICACION

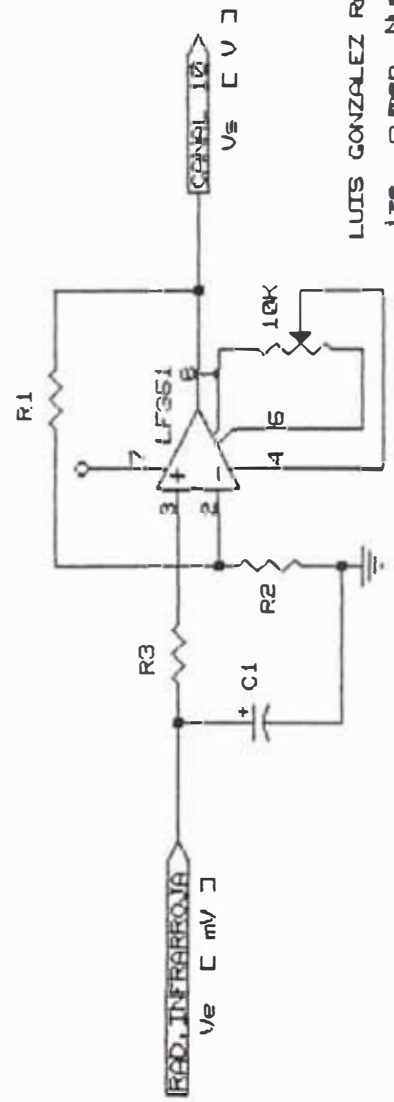
$$A = 700$$



$$A = 700$$



$$A = 1000$$



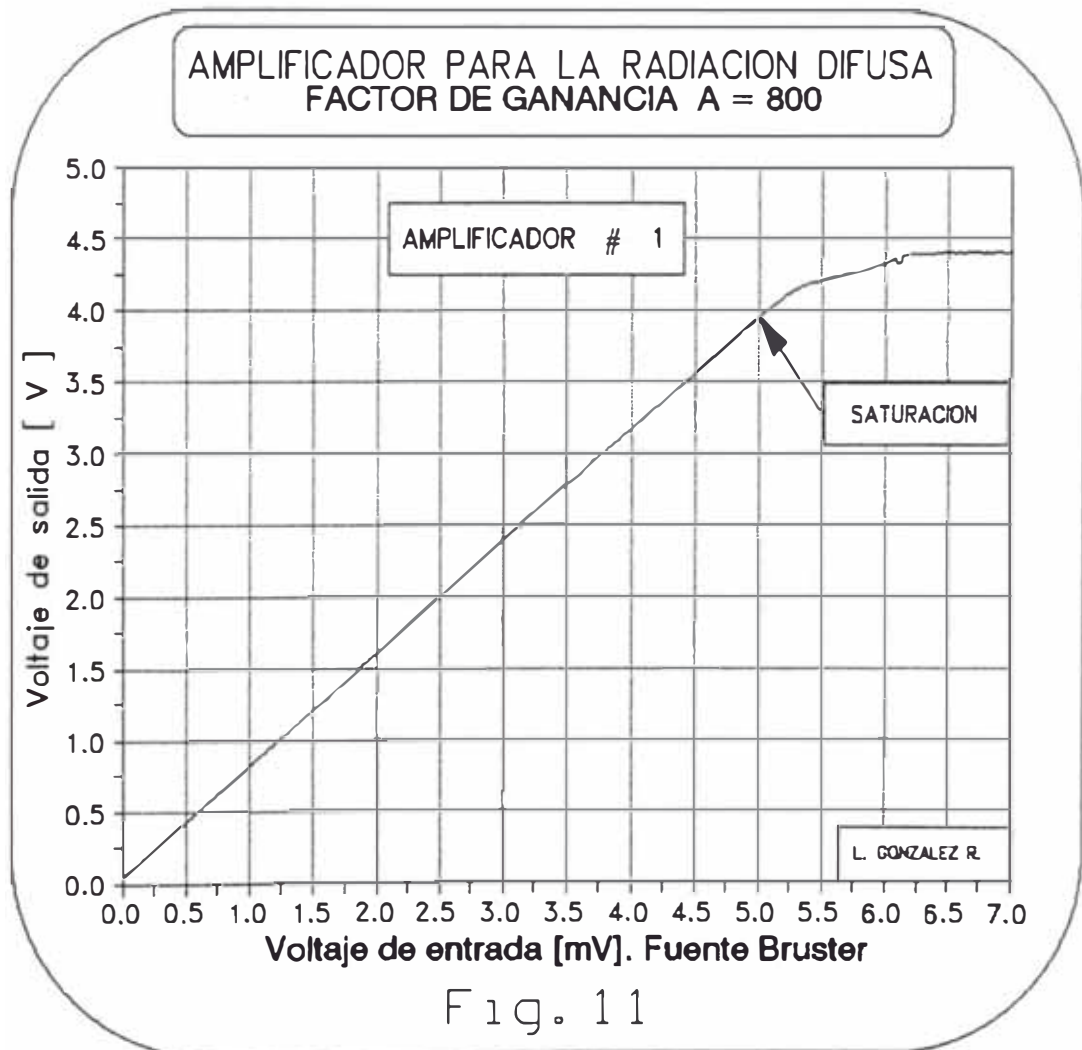
LUIS GONZALEZ RAMIREZ U.N.I.
 size comun Number
 A AMPLIFICADORES PARA LA RADIACION 07
 de of

Fig. 10

Fig. 10

3.2.1.2.- SATURACION

El proceso de amplificación tiene un límite y lo podemos notar en los siguientes gráficos experimentales de calibración (Fig.11, Fig.12, Fig.13 y Fig.14) donde los amplificadores *se saturan* en un voltaje de salida de 4 V y tiene un comportamiento totalmente lineal en el rango de 0 a 4 V. Esto nos indica que el máximo factor de amplificación debe ser de 800 dado que $800 * (5 \text{ mV})_{\text{max}} = (4 \text{ V})_{\text{max}}$.



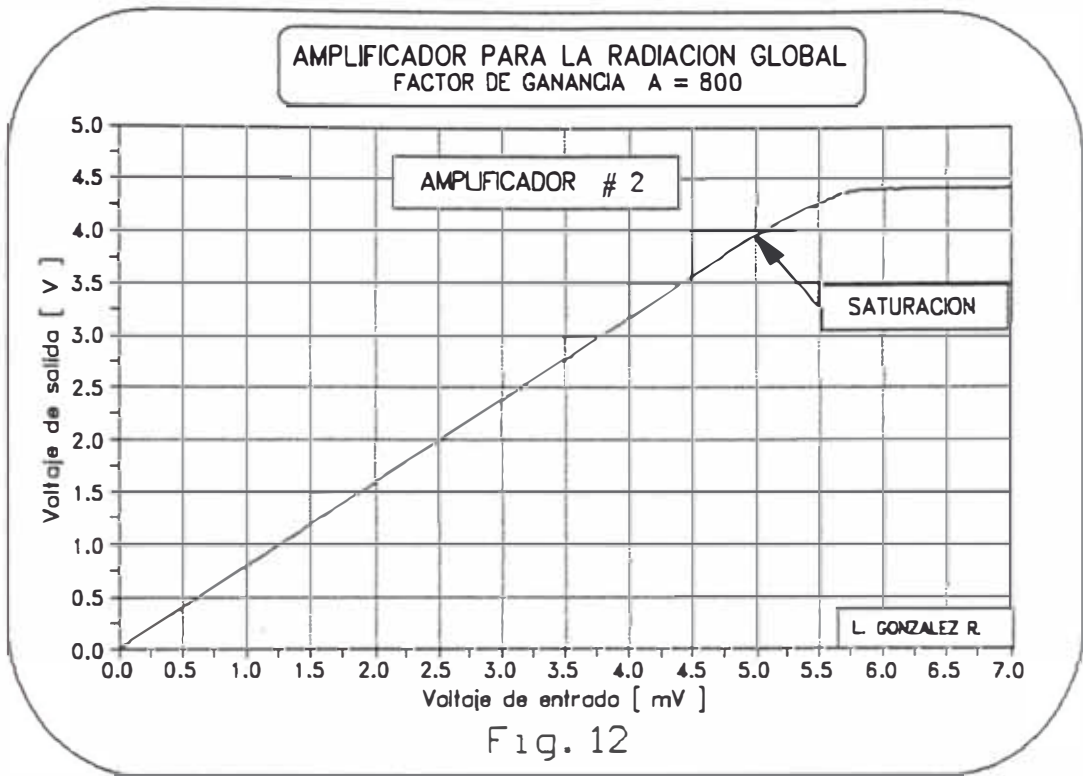


Fig. 12

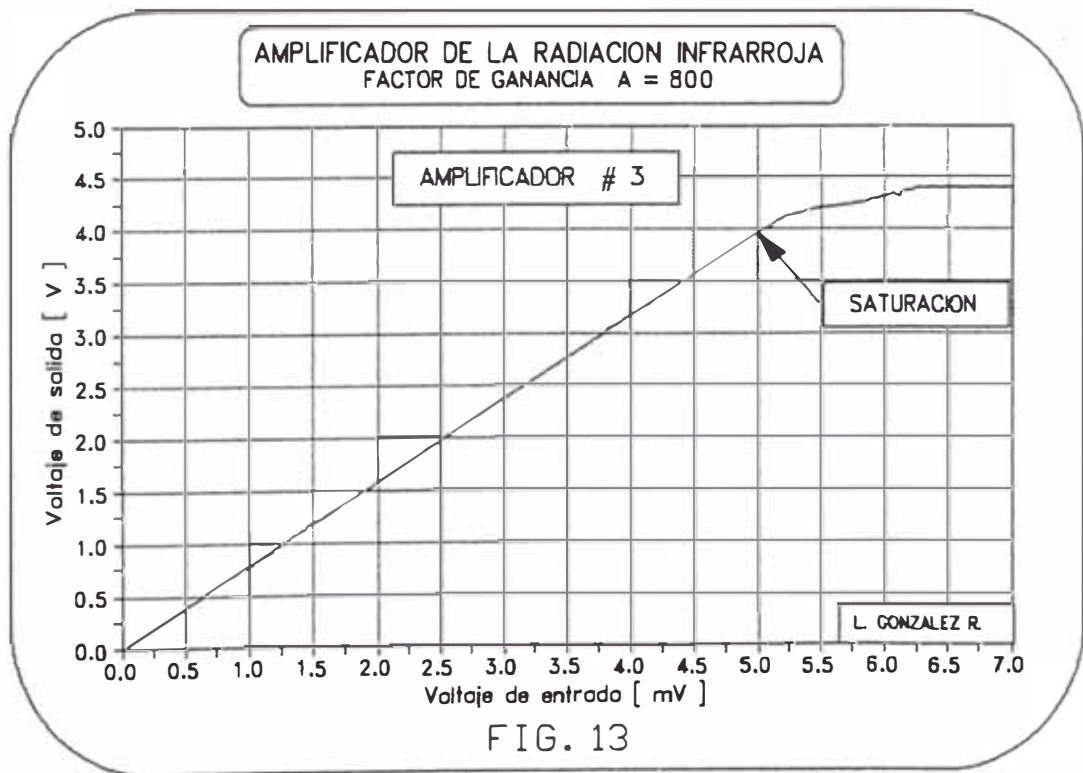


FIG. 13

COMPARACION POR SUPERPOSICION
DE LAS GANANCIAS DE AMPLIFICACION

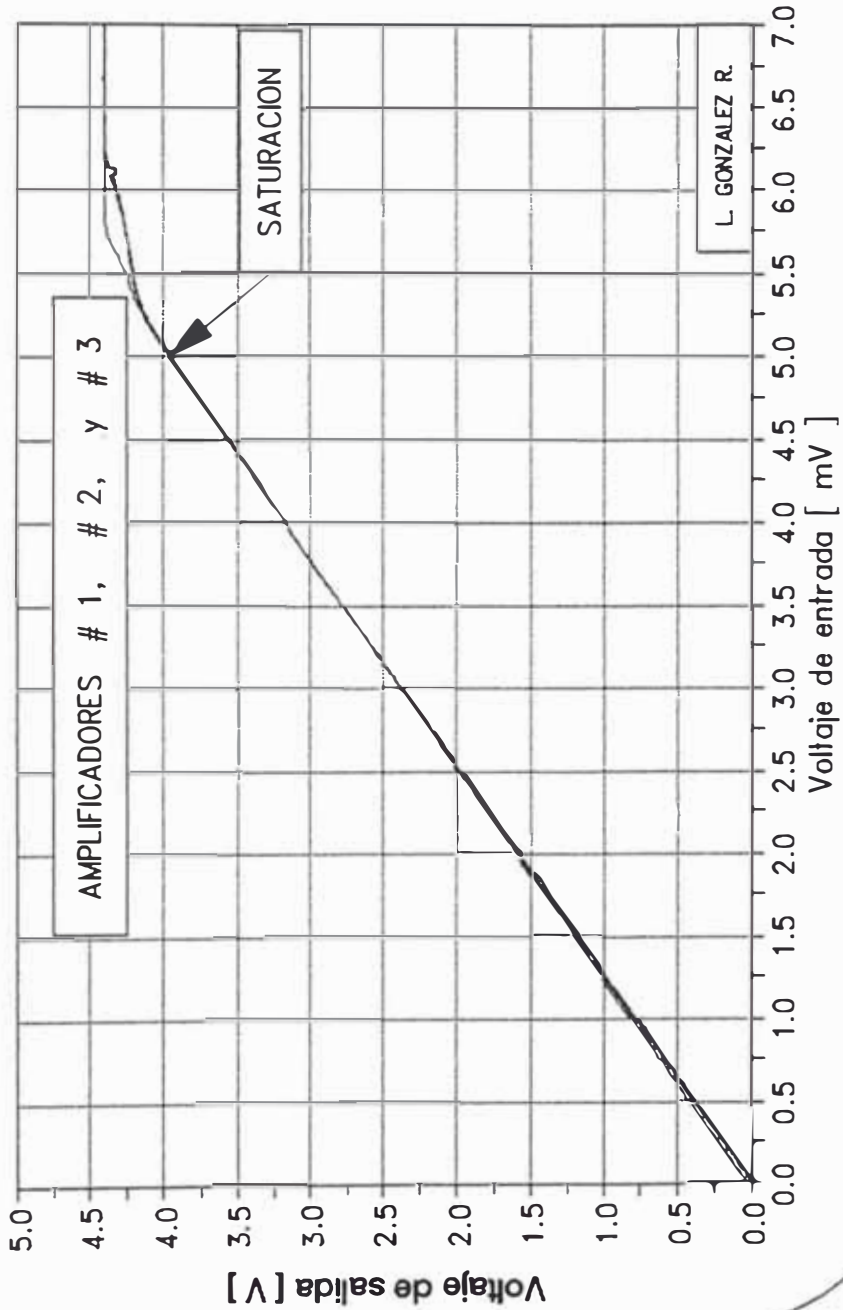


Fig. 14

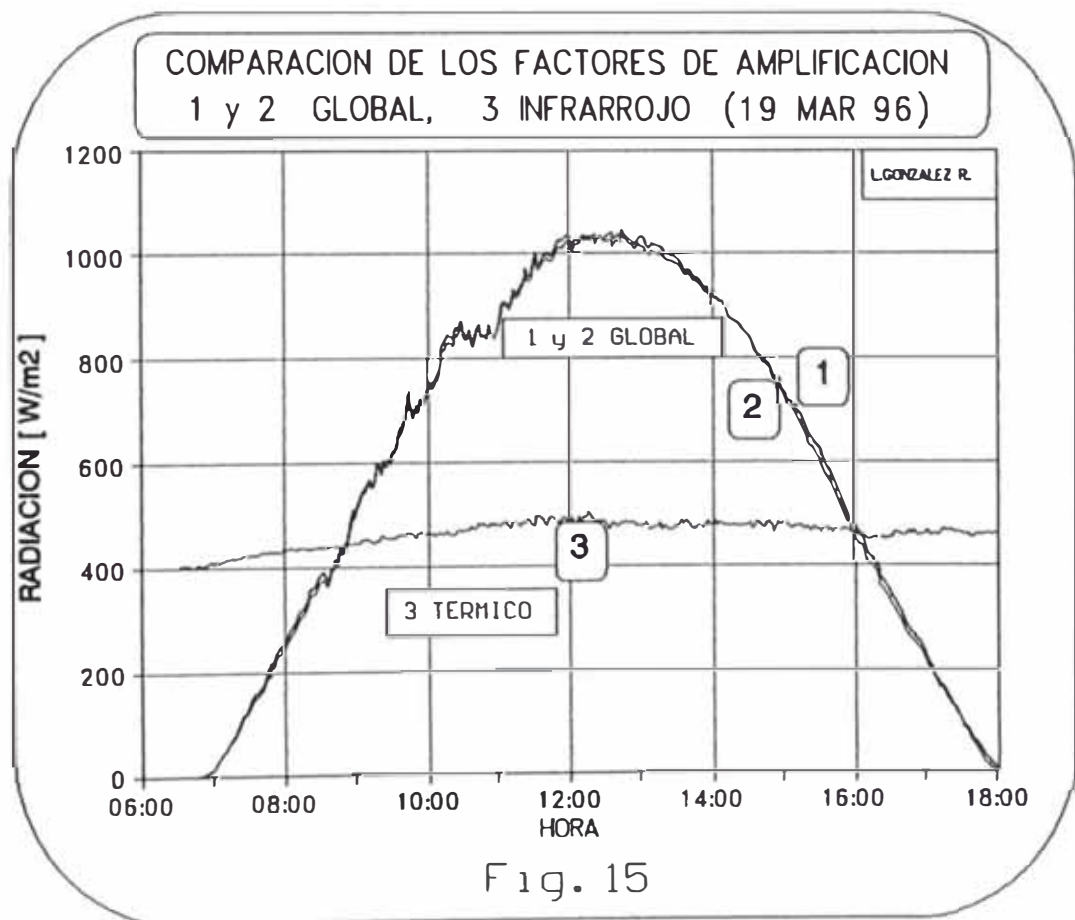
TABLA 11 DATOS CORRESPONDIENTES A LOS AMPLIFICADORES 1, 2 y 3 (FIG. 11, 12, 13 Y 14)

V entrada [mV]	VOLTAJE DE SALDA AMPLIFICADO			V entrada [mV]	VOLTAJE DE SALDA AMPLIFICADO			V entrada [mV]	VOLTAJE DE SALDA AMPLIFICADO		
	Amp. #1 [V]	Amp. #2 [V]	Amp. #3 [V]		Amp. #1 [V]	Amp. #2 [V]	Amp. #3 [V]		Amp. #1 [V]	Amp. #2 [V]	Amp. #3 [V]
0.00	0.032	0.000	0.001	1.16	0.946	0.921	0.903	2.32	1.851	1.841	1.828
0.02	0.046	0.016	0.005	1.18	0.960	0.936	0.921	2.34	1.869	1.857	1.844
0.04	0.063	0.032	0.018	1.20	0.975	0.952	0.939	2.36	1.885	1.873	1.862
0.06	0.082	0.048	0.031	1.22	0.991	0.968	0.953	2.38	1.899	1.889	1.879
0.08	0.099	0.063	0.052	1.24	1.004	0.984	0.968	2.40	1.914	1.904	1.893
0.10	0.110	0.079	0.066	1.26	1.024	1.000	0.985	2.42	1.929	1.920	1.909
0.12	0.129	0.095	0.078	1.28	1.038	1.016	1.003	2.44	1.947	1.936	1.925
0.14	0.142	0.111	0.096	1.30	1.056	1.032	1.014	2.46	1.960	1.952	1.942
0.16	0.158	0.127	0.110	1.32	1.070	1.047	1.033	2.48	1.975	1.968	1.954
0.18	0.175	0.143	0.128	1.34	1.086	1.063	1.049	2.50	1.993	1.984	1.971
0.20	0.190	0.159	0.144	1.36	1.101	1.079	1.066	2.52	2.008	2.000	1.987
0.22	0.204	0.175	0.158	1.38	1.118	1.095	1.079	2.54	2.025	2.016	2.004
0.24	0.220	0.190	0.177	1.40	1.130	1.111	1.096	2.56	2.041	2.031	2.018
0.26	0.235	0.206	0.191	1.42	1.144	1.127	1.116	2.58	2.056	2.047	2.034
0.28	0.252	0.222	0.208	1.44	1.162	1.143	1.128	2.60	2.068	2.063	2.052
0.30	0.269	0.238	0.223	1.46	1.175	1.159	1.145	2.62	2.088	2.079	2.069
0.32	0.287	0.254	0.239	1.48	1.196	1.174	1.159	2.64	2.103	2.095	2.085
0.34	0.303	0.270	0.256	1.50	1.207	1.190	1.174	2.66	2.119	2.111	2.101
0.36	0.319	0.286	0.271	1.52	1.224	1.206	1.191	2.68	2.134	2.127	2.117
0.38	0.333	0.302	0.288	1.54	1.239	1.222	1.202	2.70	2.151	2.143	2.131
0.40	0.346	0.317	0.305	1.56	1.255	1.238	1.222	2.72	2.167	2.158	2.146
0.42	0.363	0.333	0.319	1.58	1.276	1.254	1.237	2.74	2.181	2.174	2.167
0.44	0.380	0.349	0.334	1.60	1.285	1.270	1.255	2.76	2.197	2.190	2.183
0.46	0.394	0.365	0.348	1.62	1.304	1.286	1.269	2.78	2.213	2.206	2.197
0.48	0.411	0.381	0.368	1.64	1.319	1.301	1.285	2.80	2.230	2.222	2.213
0.50	0.425	0.397	0.382	1.66	1.334	1.317	1.303	2.82	2.244	2.238	2.228
0.52	0.442	0.413	0.397	1.68	1.352	1.333	1.318	2.84	2.261	2.254	2.246
0.54	0.456	0.429	0.414	1.70	1.368	1.349	1.336	2.86	2.276	2.270	2.260
0.56	0.473	0.444	0.431	1.72	1.381	1.365	1.352	2.88	2.292	2.285	2.276
0.58	0.489	0.460	0.445	1.74	1.397	1.381	1.368	2.90	2.307	2.301	2.293
0.60	0.504	0.476	0.461	1.76	1.410	1.397	1.383	2.92	2.326	2.317	2.310
0.62	0.515	0.492	0.477	1.78	1.426	1.413	1.395	2.94	2.340	2.333	2.327
0.64	0.534	0.508	0.497	1.80	1.444	1.428	1.410	2.96	2.355	2.349	2.341
0.66	0.553	0.524	0.507	1.82	1.459	1.444	1.424	2.98	2.373	2.365	2.356
0.68	0.568	0.540	0.524	1.84	1.477	1.460	1.442	3.00	2.387	2.381	2.374
0.70	0.581	0.555	0.540	1.86	1.489	1.476	1.460	3.02	2.401	2.396	2.391
0.72	0.597	0.571	0.554	1.88	1.509	1.492	1.478	3.04	2.417	2.412	2.410
0.74	0.613	0.587	0.573	1.90	1.523	1.508	1.494	3.06	2.432	2.428	2.423
0.76	0.631	0.603	0.585	1.92	1.538	1.524	1.511	3.08	2.450	2.444	2.438
0.78	0.646	0.619	0.601	1.94	1.552	1.539	1.526	3.10	2.463	2.460	2.455
0.80	0.663	0.635	0.619	1.96	1.566	1.555	1.540	3.12	2.478	2.476	2.470
0.82	0.678	0.651	0.637	1.98	1.587	1.571	1.555	3.14	2.494	2.492	2.485
0.84	0.694	0.667	0.654	2.00	1.599	1.587	1.573	3.16	2.512	2.508	2.502
0.86	0.710	0.682	0.665	2.02	1.614	1.603	1.591	3.18	2.526	2.523	2.520
0.88	0.726	0.698	0.684	2.04	1.630	1.619	1.606	3.20	2.545	2.539	2.534
0.90	0.737	0.714	0.694	2.06	1.651	1.635	1.621	3.22	2.558	2.555	2.550
0.92	0.753	0.730	0.715	2.08	1.662	1.651	1.635	3.24	2.574	2.571	2.569
0.94	0.769	0.746	0.726	2.10	1.677	1.666	1.652	3.26	2.588	2.587	2.584
0.96	0.784	0.762	0.748	2.12	1.695	1.682	1.669	3.28	2.605	2.603	2.601
0.98	0.797	0.778	0.756	2.14	1.714	1.698	1.691	3.30	2.618	2.619	2.612
1.00	0.820	0.794	0.776	2.16	1.728	1.714	1.701	3.32	2.637	2.635	2.629
1.02	0.834	0.809	0.792	2.18	1.742	1.730	1.718	3.34	2.649	2.650	2.647
1.04	0.851	0.825	0.808	2.20	1.758	1.746	1.731	3.36	2.666	2.666	2.663
1.06	0.865	0.841	0.823	2.22	1.773	1.762	1.750	3.38	2.683	2.682	2.677
1.08	0.879	0.857	0.839	2.24	1.787	1.778	1.766	3.40	2.699	2.698	2.694
1.10	0.896	0.873	0.853	2.26	1.804	1.793	1.783	3.42	2.717	2.714	2.711
1.12	0.911	0.889	0.874	2.28	1.820	1.809	1.797	3.44	2.730	2.730	2.726
1.14	0.929	0.905	0.888	2.30	1.834	1.825	1.819	3.46	2.745	2.746	2.742

TABLA 12 CONTINUACIÓN DE LOS DATOS CORRESPONDIENTES A LOS AMPLIFICADORES 1, 2 y 3 (FIG. 11, 12, 13 y 14)

V entrada mV	VOLTAJE DE SALDA AMPLIFICADO			V entrada mV	VOLTAJE DE SALDA AMPLIFICADO			V entrada mV	VOLTAJE DE SALDA AMPLIFICADO		
	Amp. #1 V	Amp. #2 V	Amp. #3 V		Amp. #1 V	Amp. #2 V	Amp. #3 V		Amp. #1 V	Amp. #2 V	Amp. #3 V
3.48	2.763	2.762	2.756	4.66	3.682	3.698	3.691	5.84	4.277	4.395	4.268
3.50	2.779	2.777	2.772	4.68	3.694	3.714	3.707	5.86	4.282	4.394	4.273
3.52	2.791	2.793	2.791	4.70	3.710	3.730	3.722	5.86	4.286	4.397	4.280
3.54	2.808	2.809	2.805	4.72	3.727	3.746	3.741	5.90	4.293	4.396	4.287
3.56	2.824	2.825	2.819	4.74	3.744	3.761	3.754	5.92	4.298	4.396	4.290
3.58	2.839	2.841	2.836	4.76	3.757	3.777	3.770	5.94	4.303	4.396	4.293
3.60	2.858	2.857	2.851	4.78	3.777	3.793	3.784	5.96	4.315	4.399	4.301
3.62	2.867	2.873	2.868	4.80	3.795	3.809	3.802	5.98	4.322	4.403	4.308
3.64	2.885	2.888	2.884	4.82	3.808	3.825	3.819	6.00	4.328	4.400	4.315
3.66	2.901	2.904	2.900	4.84	3.824	3.841	3.833	6.02	4.338	4.399	4.321
3.68	2.915	2.920	2.917	4.86	3.837	3.857	3.850	6.04	4.345	4.404	4.332
3.70	2.940	2.936	2.932	4.88	3.853	3.872	3.866	6.06	4.353	4.402	4.338
3.72	2.948	2.952	2.949	4.90	3.874	3.888	3.879	6.08	4.362	4.400	4.347
3.74	2.969	2.988	2.962	4.92	3.882	3.904	3.896	6.10	4.327	4.400	4.313
3.76	2.979	2.984	2.979	4.94	3.902	3.920	3.913	6.12	4.336	4.399	4.322
3.78	2.999	3.000	2.995	4.96	3.915	3.936	3.929	6.14	4.383	4.401	4.375
3.80	3.010	3.015	3.016	4.98	3.934	3.952	3.943	6.16	4.389	4.403	4.379
3.82	3.028	3.031	3.032	5.00	3.948	3.968	3.960	6.18	4.391	4.403	4.384
3.84	3.041	3.047	3.043	5.02	3.963	3.955	3.975	6.20	4.391	4.402	4.389
3.86	3.059	3.063	3.060	5.04	3.978	3.976	3.991	6.22	4.395	4.403	4.391
3.88	3.073	3.079	3.074	5.06	3.993	4.004	4.004	6.24	4.396	4.403	4.392
3.90	3.087	3.095	3.091	5.08	4.007	4.012	4.021	6.26	4.397	4.404	4.405
3.92	3.110	3.111	3.109	5.10	4.025	4.021	4.035	6.28	4.399	4.404	4.395
3.94	3.118	3.127	3.123	5.12	4.037	4.043	4.048	6.30	4.401	4.406	4.396
3.96	3.136	3.142	3.138	5.14	4.052	4.052	4.061	6.32	4.399	4.403	4.395
3.98	3.150	3.158	3.155	5.16	4.066	4.061	4.078	6.34	4.397	4.402	4.395
4.00	3.166	3.174	3.169	5.18	4.081	4.081	4.092	6.36	4.399	4.403	4.401
4.02	3.189	3.190	3.187	5.20	4.094	4.093	4.103	6.38	4.400	4.402	4.409
4.04	3.198	3.206	3.204	5.22	4.107	4.120	4.118	6.40	4.400	4.402	4.406
4.06	3.215	3.222	3.219	5.24	4.115	4.123	4.126	6.42	4.401	4.406	4.397
4.08	3.231	3.238	3.236	5.26	4.131	4.142	4.134	6.44	4.400	4.404	4.401
4.10	3.248	3.254	3.251	5.28	4.136	4.152	4.143	6.46	4.402	4.402	4.402
4.12	3.261	3.269	3.265	5.30	4.147	4.164	4.151	6.48	4.401	4.408	4.402
4.14	3.277	3.285	3.280	5.32	4.155	4.177	4.159	6.50	4.403	4.403	4.402
4.16	3.297	3.301	3.299	5.34	4.166	4.184	4.164	6.52	4.403	4.402	4.400
4.18	3.311	3.317	3.313	5.36	4.174	4.195	4.171	6.54	4.402	4.402	4.406
4.20	3.325	3.333	3.330	5.38	4.176	4.204	4.177	6.56	4.399	4.402	4.405
4.22	3.338	3.349	3.345	5.40	4.185	4.213	4.181	6.58	4.403	4.405	4.405
4.24	3.355	3.365	3.357	5.42	4.187	4.224	4.187	6.60	4.402	4.406	4.399
4.26	3.371	3.380	3.378	5.44	4.196	4.230	4.193	6.62	4.399	4.405	4.404
4.28	3.387	3.396	3.390	5.46	4.199	4.235	4.197	6.64	4.403	4.403	4.399
4.30	3.405	3.412	3.407	5.48	4.202	4.242	4.203	6.66	4.403	4.402	4.408
4.32	3.416	3.428	3.420	5.50	4.209	4.250	4.206	6.68	4.401	4.405	4.417
4.34	3.434	3.444	3.438	5.52	4.209	4.264	4.210	6.70	4.403	4.404	4.399
4.36	3.449	3.460	3.456	5.54	4.215	4.276	4.214	6.72	4.403	4.403	4.406
4.38	3.466	3.476	3.470	5.56	4.220	4.285	4.218	6.74	4.401	4.404	4.411
4.40	3.479	3.492	3.485	5.58	4.226	4.293	4.223	6.76	4.402	4.404	4.402
4.42	3.494	3.507	3.500	5.60	4.231	4.305	4.224	6.78	4.400	4.403	4.401
4.44	3.510	3.523	3.514	5.62	4.234	4.319	4.228	6.80	4.401	4.402	4.400
4.46	3.525	3.539	3.531	5.64	4.235	4.334	4.231	6.82	4.401	4.402	4.404
4.48	3.540	3.555	3.547	5.66	4.240	4.343	4.236	6.84	4.400	4.403	4.402
4.50	3.557	3.571	3.566	5.68	4.246	4.357	4.240	6.86	4.404	4.401	4.402
4.52	3.571	3.587	3.582	5.70	4.250	4.363	4.241	6.88	4.402	4.402	4.407
4.54	3.587	3.803	3.595	5.72	4.250	4.372	4.248	6.90	4.404	4.402	4.400
4.56	3.603	3.619	3.611	5.74	4.254	4.386	4.250	6.92	4.402	4.403	4.400
4.58	3.619	3.634	3.629	5.76	4.258	4.386	4.254	6.94	4.404	4.404	4.401
4.60	3.635	3.650	3.643	5.78	4.261	4.388	4.256	6.96	4.400	4.402	4.401
4.62	3.651	3.666	3.659	5.80	4.267	4.392	4.263	6.98	4.401	4.402	4.400
4.64	3.667	3.682	3.671	5.82	4.272	4.393	4.266	7.00	4.402	4.403	4.401

Finalmente, para evitar que los amplificadores trabajen cerca del límite de saturación, se tomó un factor de amplificación igual a 700 y luego a través del programa, este voltaje amplificado se convirtió a la escala de intensidades correspondientes en W/m^2 , considerando la sensibilidad de cada instrumento. El resultado final de calibración incluido los piranómetros en el circuito, se muestra en las figuras 15 y 16 donde dos piranómetros miden simultánea y comparativamente la radiación solar global, y el tercero radiación infrarroja térmica. En la figura 17 se gráfica a modo de ejemplo la radiación infrarroja y la radiación solar global y difusa de un día seminublado.



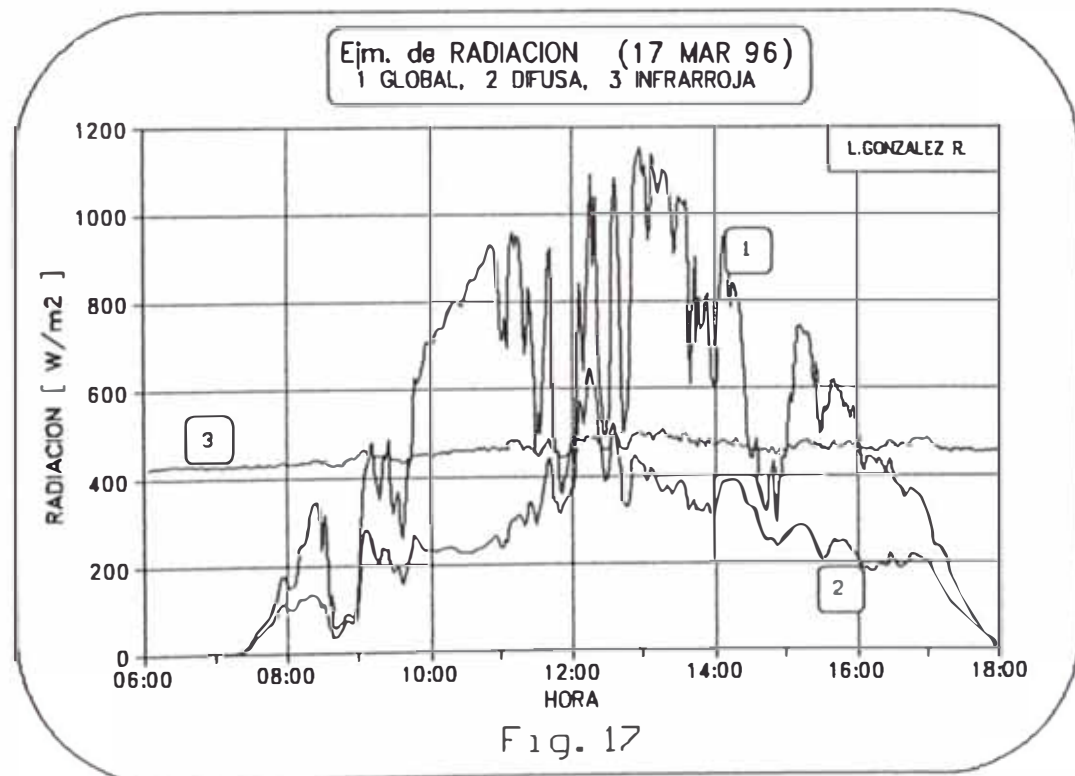
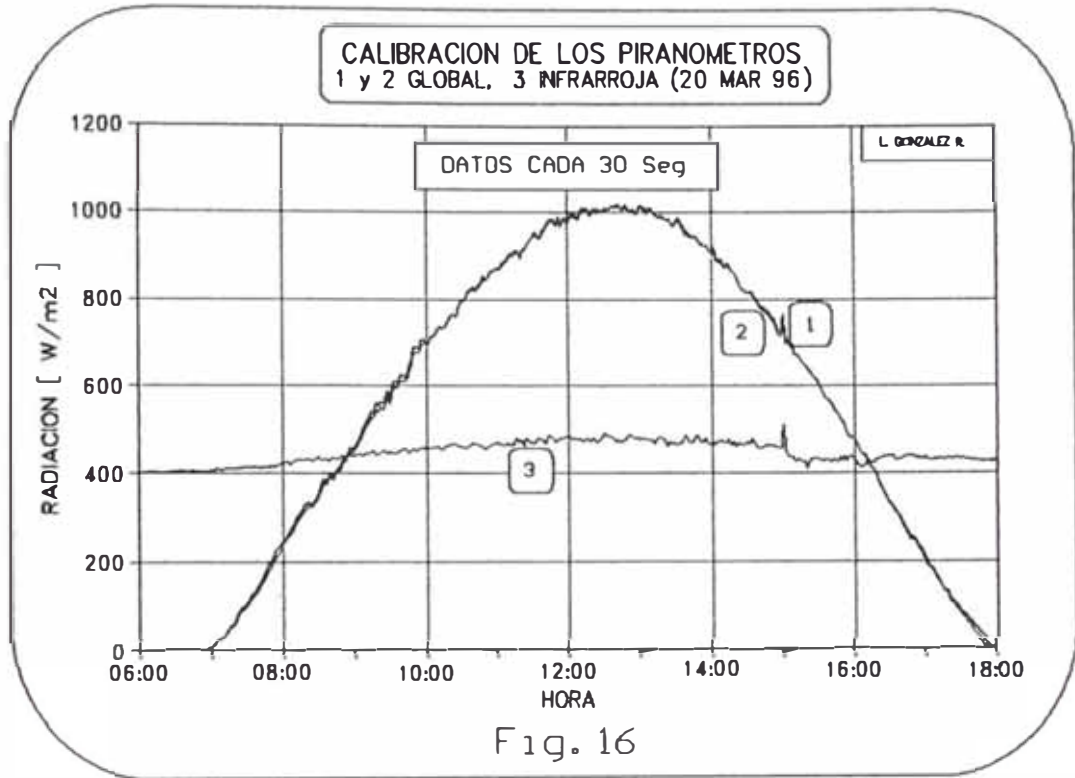


TABLA 15 DATOS DE LA RADIACION del 19 DE MARZO (FIG.15)											
CALIBRACION DE LOS PIRANOMETROS EN W/m ²											
HORA	GLOB.1	GLOB.2	T N R	HORA	GLOB.1	GLOB.2	T N R	HORA	GLOB.1	GLOB.2	T N R
	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]		[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]		[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
06:31	0	0	401	10:27	853	841	468	14:23	867	868	475
06:35	0	0	402	10:31	854	845	470	14:27	853	855	477
06:39	0	0	403	10:35	841	834	469	14:31	842	845	480
06:43	0	0	401	10:39	828	822	470	14:35	827	829	477
06:47	0	0	404	10:43	857	852	481	14:39	806	809	482
06:51	0	1	403	10:47	840	840	480	14:43	793	798	473
06:55	3	5	406	10:51	839	838	473	14:47	785	793	478
06:59	10	10	410	10:55	844	845	479	14:51	765	772	476
07:03	22	24	410	10:59	856	852	479	14:55	755	762	472
07:07	37	39	407	11:03	904	897	481	14:59	736	744	476
07:11	53	51	412	11:07	907	901	485	15:03	719	728	476
07:15	66	66	415	11:11	915	908	470	15:07	708	719	472
07:19	84	82	416	11:15	923	916	482	15:11	691	703	474
07:23	103	98	418	11:19	941	933	481	15:15	680	694	475
07:27	122	117	422	11:23	971	960	482	15:19	659	674	473
07:31	140	133	424	11:27	984	953	483	15:23	632	648	488
07:35	158	149	424	11:31	1002	992	474	15:27	619	637	469
07:39	165	157	425	11:35	981	973	495	15:31	607	627	466
07:43	178	170	428	11:39	997	987	482	15:35	583	601	472
07:47	201	190	429	11:43	997	986	488	15:39	568	585	465
07:51	216	206	427	11:47	1010	997	490	15:43	547	564	459
07:55	235	225	429	11:51	1027	1015	480	15:47	527	544	466
07:59	250	239	433	11:55	1028	1014	493	15:51	506	523	470
08:03	273	260	434	11:59	1031	1022	495	15:55	485	501	467
08:07	290	278	434	12:03	1014	1005	480	15:59	463	480	460
08:11	311	298	433	12:07	1024	1018	492	16:03	446	464	458
08:15	319	308	435	12:11	1035	1029	491	16:07	439	457	452
08:19	334	322	434	12:15	1031	1026	495	16:11	412	431	452
08:23	359	345	434	12:19	1031	1026	496	16:15	397	414	451
08:27	376	362	436	12:23	1022	1019	488	16:19	380	397	454
08:31	388	373	435	12:27	1031	1027	489	16:23	355	375	455
08:35	374	362	435	12:31	1035	1024	479	16:27	341	358	453
08:39	394	393	439	12:35	1041	1029	481	16:31	325	342	452
08:43	412	407	440	12:39	1032	1022	474	16:35	306	322	463
08:47	437	430	440	12:43	1032	1023	481	16:39	292	308	458
08:51	437	430	445	12:47	1038	1029	484	16:43	273	288	456
08:55	490	478	444	12:51	1027	1019	484	16:47	258	272	459
08:59	505	493	445	12:55	1020	1012	475	16:51	251	262	462
09:03	534	528	445	12:59	1026	1020	476	16:55	237	250	458
09:07	550	543	449	13:03	1032	1015	475	16:59	219	227	462
09:11	565	557	451	13:07	1013	998	470	17:03	200	207	457
09:15	563	559	445	13:11	1020	1004	475	17:07	180	186	458
09:19	595	590	448	13:15	1012	997	481	17:11	164	172	458
09:23	604	597	458	13:19	1011	998	477	17:15	153	158	469
09:27	606	598	455	13:23	999	987	470	17:19	139	144	466
09:31	621	614	455	13:27	996	984	470	17:23	123	127	464
09:35	636	628	460	13:31	993	982	473	17:27	108	109	464
09:39	664	655	462	13:35	980	971	484	17:31	92	89	461
09:43	702	690	459	13:39	966	958	486	17:35	78	72	460
09:47	710	700	461	13:43	963	958	472	17:39	63	55	456
09:51	711	700	452	13:47	955	949	469	17:43	50	40	459
09:55	722	713	465	13:51	944	936	475	17:47	36	26	458
09:59	727	719	461	13:55	928	924	486	17:51	24	13	462
10:03	755	746	460	13:59	923	918	476	17:55	14	5	457
10:07	758	748	458	14:03	914	912	477	17:59	9	2	461
10:11	780	770	464	14:07	911	909	481	18:03	4	0	460
10:15	827	814	463	14:11	902	902	479	18:07	0	0	456
10:19	845	829	460	14:15	876	876	479	18:11	0	0	453
10:23	836	824	460	14:19	871	872	478	18:15	0	0	449

TABLA 16 DATOS DE LA RADIACION del 20 DE MARZO (FIG.16)

CALIBRACION DE LOS PIRANOMETROS EN W/m ²											
HORA	GLOB.1	GLOB.2	TNR	HORA	GLOB.1	GLOB.2	TNR	HORA	GLOB.1	GLOB.2	TNR
	[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]		[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]		[W/m ²]	[W/m ²]	[W/m ²]
06:00	0	0	404	09:56	703	690	458	13:52	928	928	470
06:04	0	0	403	10:00	702	701	460	13:56	925	923	469
06:08	0	0	404	10:04	716	714	457	14:00	911	910	470
06:12	0	0	404	10:08	722	719	480	14:04	899	891	473
06:16	0	0	404	10:12	736	734	453	14:08	893	886	474
06:20	0	0	402	10:16	735	733	460	14:12	879	873	470
06:24	0	0	404	10:20	757	753	463	14:16	871	868	463
06:28	0	0	405	10:24	764	766	468	14:20	857	857	462
06:32	0	0	405	10:28	784	784	460	14:24	831	832	469
06:36	0	0	408	10:32	798	796	458	14:28	820	822	466
06:40	0	0	403	10:36	819	814	460	14:32	815	817	467
06:44	0	0	406	10:40	829	825	470	14:36	803	807	470
06:48	0	0	404	10:44	832	827	466	14:40	785	789	456
06:52	0	0	405	10:48	852	848	459	14:44	775	780	459
06:56	1	2	405	10:52	850	847	461	14:48	783	770	463
07:00	8	8	406	10:56	863	861	467	14:52	750	758	463
07:04	17	15	409	11:00	873	870	471	14:56	721	729	459
07:08	27	26	410	11:04	882	877	463	15:00	752	766	510
07:12	37	34	412	11:08	892	888	471	15:04	703	708	442
07:16	52	47	412	11:12	906	902	469	15:08	687	685	438
07:20	69	64	412	11:16	912	906	479	15:12	672	672	431
07:24	92	85	413	11:20	896	896	476	15:16	657	657	426
07:28	100	94	415	11:24	910	911	479	15:20	642	645	412
07:32	117	110	414	11:28	936	937	470	15:24	627	628	432
07:36	131	124	416	11:32	953	947	469	15:28	613	616	436
07:40	151	140	416	11:36	943	939	477	15:32	592	593	429
07:44	172	159	415	11:40	960	955	469	15:36	572	573	431
07:48	194	179	414	11:44	979	973	486	15:40	562	560	424
07:52	216	200	415	11:48	981	973	472	15:44	546	544	432
07:56	232	217	419	11:52	990	981	479	15:48	523	522	436
08:00	247	239	424	11:56	986	980	481	15:52	505	504	439
08:04	263	257	425	12:00	983	978	484	15:56	481	479	439
08:08	281	270	426	12:04	997	990	479	16:00	478	478	435
08:12	302	290	430	12:08	990	983	475	16:04	456	456	422
08:16	321	309	430	12:12	1010	1005	473	16:08	444	442	418
08:20	331	322	431	12:16	1009	1002	477	16:12	424	422	420
08:24	331	324	427	12:20	1002	997	481	16:16	407	408	424
08:28	345	339	435	12:24	1005	1000	471	16:20	384	382	433
08:32	376	365	429	12:28	1004	1000	485	16:24	363	361	437
08:36	381	373	433	12:32	1008	1006	484	16:28	336	334	442
08:40	401	393	430	12:36	1013	1011	480	16:32	323	321	442
08:44	407	400	433	12:40	1012	1010	472	16:36	307	304	431
08:48	415	408	438	12:44	1008	1006	470	16:40	291	285	435
08:52	434	425	437	12:48	1017	1011	475	16:44	265	259	443
08:56	457	450	441	12:52	1004	1000	488	16:48	255	248	439
09:00	462	453	440	12:56	999	997	480	16:52	245	238	434
09:04	483	474	444	13:00	1014	1011	475	16:56	224	218	434
09:08	511	498	442	13:04	1007	1002	476	17:00	204	195	437
09:12	528	515	445	13:08	1011	1006	474	17:04	187	184	431
09:16	539	526	448	13:12	999	996	469	17:08	168	164	434
09:20	552	536	444	13:16	990	988	483	17:12	146	144	434
09:24	562	547	451	13:20	988	987	477	17:16	134	131	431
09:28	587	574	445	13:24	985	984	473	17:20	117	109	434
09:32	607	593	446	13:28	972	968	471	17:24	103	96	436
09:36	609	598	446	13:32	987	980	469	17:28	89	83	433
09:40	627	613	452	13:36	972	985	477	17:32	79	70	434
09:44	628	617	450	13:40	955	950	475	17:36	66	57	432
09:48	659	647	452	13:44	946	941	472	17:40	53	41	431
09:52	690	674	448	13:48	941	937	486	17:44	40	27	428

3.2.1.3.- PIRANOMETROS

Se describirán brevemente los distintos instrumentos disponibles para la medición de la radiación neta existente. Radiación neta que está constituida por la proveniente directamente del sol, la emitida y dispersada por la atmósfera, y la emitida y reflejada por la superficie terrestre. Que según su longitud de onda los podemos clasificar en radiación de onda corta y de onda larga.

La radiación *solar* es considerada como radiación de onda corta dado que el rango de longitudes de onda de intensidad significativa está comprendida entre 0.2 y 5 μm fuera de la atmósfera (extraterrestre), pero en la práctica se considera entre 0.3 y 3 μm en la superficie terrestre.

Cuando esta radiación de onda corta incide sobre una superficie horizontal es conocido como radiación global, y está formada por la componente directa de la luz solar y la componente difusa, que es la luz dispersada en la atmósfera y que aparentemente proviene de la bóveda celeste. Si el plano está inclinado de modo que la componente directa incide sobre la superficie en forma perpendicular se conoce como radiación total.

La radiación de onda larga (*Térmica*) está compuesta por la componente de emisión hacia abajo, de los gases de la atmósfera (especialmente vapor de agua y dióxido de carbono) y la componente emitida y reflejada en la superficie terrestre. Las longitudes de onda correspondientes están entre 3 y 100 μm idealmente, en la práctica se registra entre 4 y 50 μm .

Los laboratorios KIPP & ZONEW y EPPLEY cuentan con instrumentos especializados para medir por separado cada una

de estas componentes de la radiación existente. Nosotros en la Universidad Nacional de Ingeniería, disponemos de tres piranómetros para medir respectivamente radiación global o total, radiación difusa y radiación infrarroja.

RADIOMETRO DE PRECISION KIPP & ZONEW
Modelo PSP

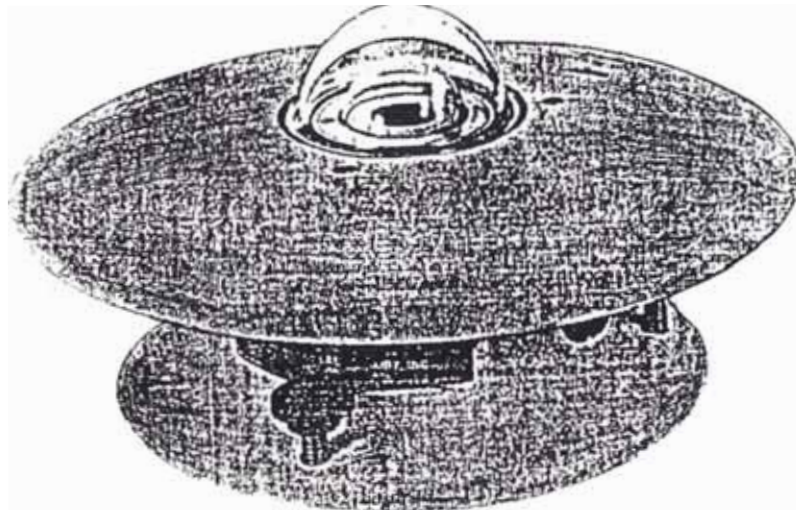


Fig. 18.A

PIRGEOMETRO DE PRECISION EPPLEY
Modelo PIR

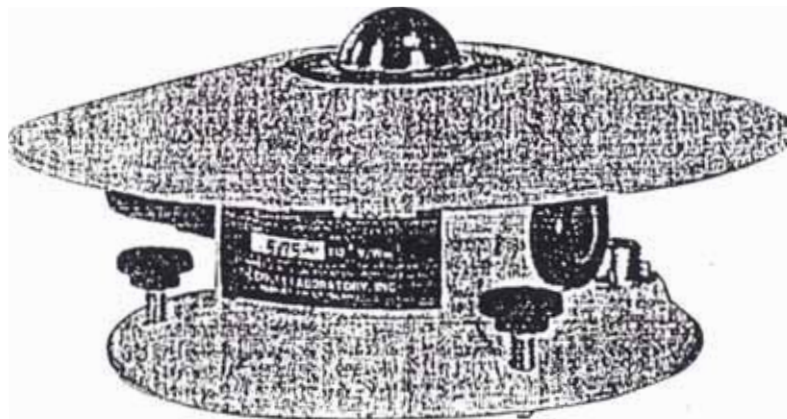


Fig. 18.B

3.2.2.- MEDIDA DE LA RADIACION SOLAR

El piranómetro espectral modelo PSP está diseñado para medir radiación global en todo el espectro solar o en una banda definida de longitudes de onda (medición espectral mediante filtros hemisféricos). La sensibilidad de uno de los radiómetros que se utilizó para medir la radiación global, es de 4.92×10^{-6} [V/W.m⁻²].

Estos piranómetros también son apropiados para la medición de la radiación solar reflejada; o con la incorporación de un anillo opaco se puede apantallar la radiación directa del sol y medir así solamente la radiación difusa. En éste caso la sensibilidad del radiómetro utilizado para medir la radiación difusa es de 5.27×10^{-6} [V / W.m⁻²].

Sus receptores están cubiertos con laca negra Parsons (de absorción no selectiva según la longitud de onda), y está dotado de un par de hemisferios concéntricos removibles de vidrio óptico pulido transparente a longitudes de onda en el rango 0.285 μm a 2.80 μm. Cuenta además con un conjunto adecuado de filtros hemisféricos de diferentes longitudes de onda.

Si observamos nuevamente las figuras 15 y 16, notaremos que en el radiómetro destinado a medir radiación difusa se ha retirado el anillo que produce la sombra, con el fin de comparar y calibrar ambos radiómetros con el mismo factor de ganancia.

En la figura 17 se compara la radiación global, la difusa y la infrarroja. Notese cómo la nubosidad incrementa la radiación difusa y disminuye la radiación directa.

3.2.3.- MEDIDA DE LA RADIACION TERMICA

Todo Pirgeómetro (radiómetro de onda larga), inherentemente mide el intercambio de radiación entre una superficie horizontal oscurecida (detector) y el objetivo observado (esto es la bóveda celeste, la tierra, etc.).

En el caso del instrumento utilizado, éste cuenta con un circuito unido a un termistor que le permite eliminar automáticamente por diferenciación la radiación emitida por el propio instrumento tanto hacia arriba como hacia abajo del detector. El voltaje generado por el termistor (según su temperatura) está linealizado y como voltaje opuesto resta la ganancia adquirida por el detector, proveniente de la emisión del propio instrumento.

Cuenta además con una cubierta hemisférica, en cuya superficie interior se ha depositado un filtro que elimina la onda corta y en su superficie exterior tiene un revestimiento protector para climas adversos.

El compuesto exhibe una aguda transmisión entre 3 y 4 μm y es completamente transparente entre 5 y 50 μm . Además las pruebas demuestran que este cobertor hemisférico no exhibe una transmisión significativa de luz solar, los efectos de absorción y re-emisión son mínimos. Así la señal de salida entregada por el piranómetro es representativo del flujo neto de radiación infrarroja sobre la superficie del receptor. La sensibilidad del radiómetro modelo PIR (Pirgeómetro) utilizado para medir la radiación térmica de acuerdo con el certificado de garantía del fabricante del 10 de Marzo de 1980 es de $4.08 \times 10^{-6} [\text{V} / \text{W} \cdot \text{m}^{-2}]$.

3.3.- MEDICION DE TEMPERATURA (TERCERA ETAPA)

3.3.1.- TRANSDUCTORES PARA LA MEDICION DE TEMPERATURA

Las series LM135, LM235 y LM335 de NATIONAL SEMICONDUCTOR son sensores de precisión para medir temperaturas. Se comercializa como circuitos integrados de fácil calibración mediante un circuito de compensación OFFSET.

El LM335 tiene una ruptura de voltaje zener directamente proporcional a la temperatura con una resolución de 10 mV/K, y a diferencia de otros sensores (como por ejemplo el termistor) tiene una salida totalmente lineal en todo el rango de trabajo de -40 C a 100 C, lo que facilita su utilización al no requerir circuitos adicionales para el control de la linealidad del voltaje de salida. El LM235 trabaja entre -40C y 125C y el LM135 entre -50 C y 150 C.

Sus características más resaltantes son:

El voltaje de salida está directamente calibrado en Kelvin (10 mV/K).

Es suficiente un punto de calibración.

La precisión de fabricación es de 1 K.

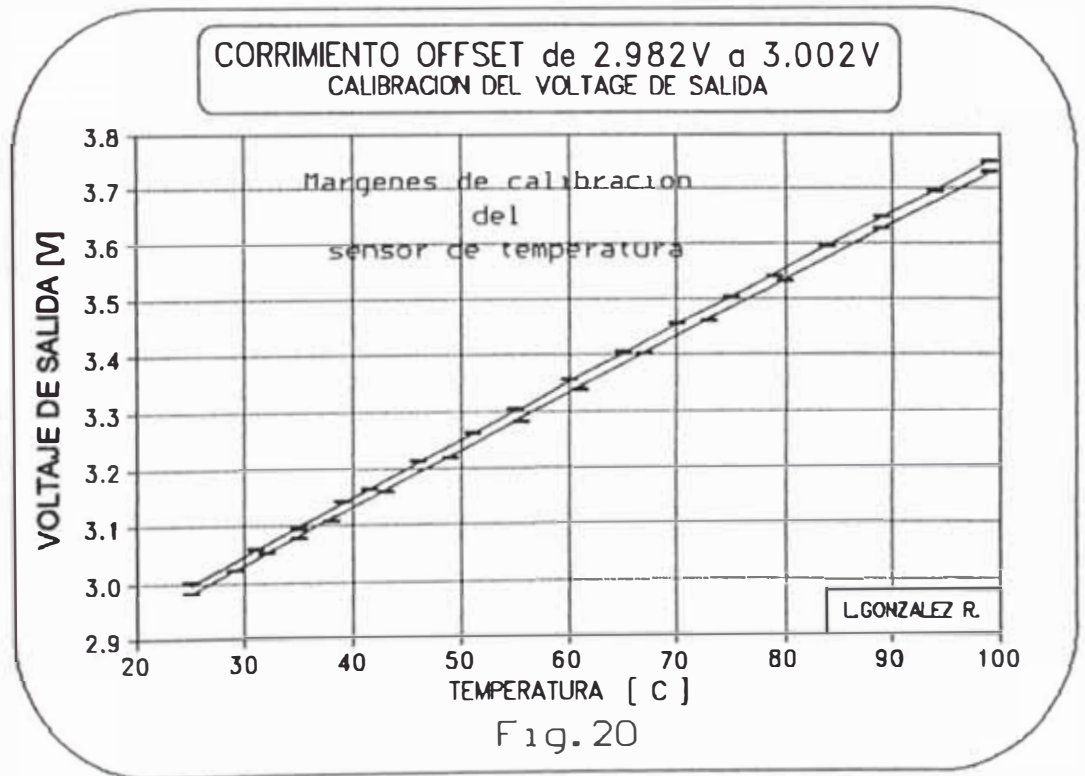
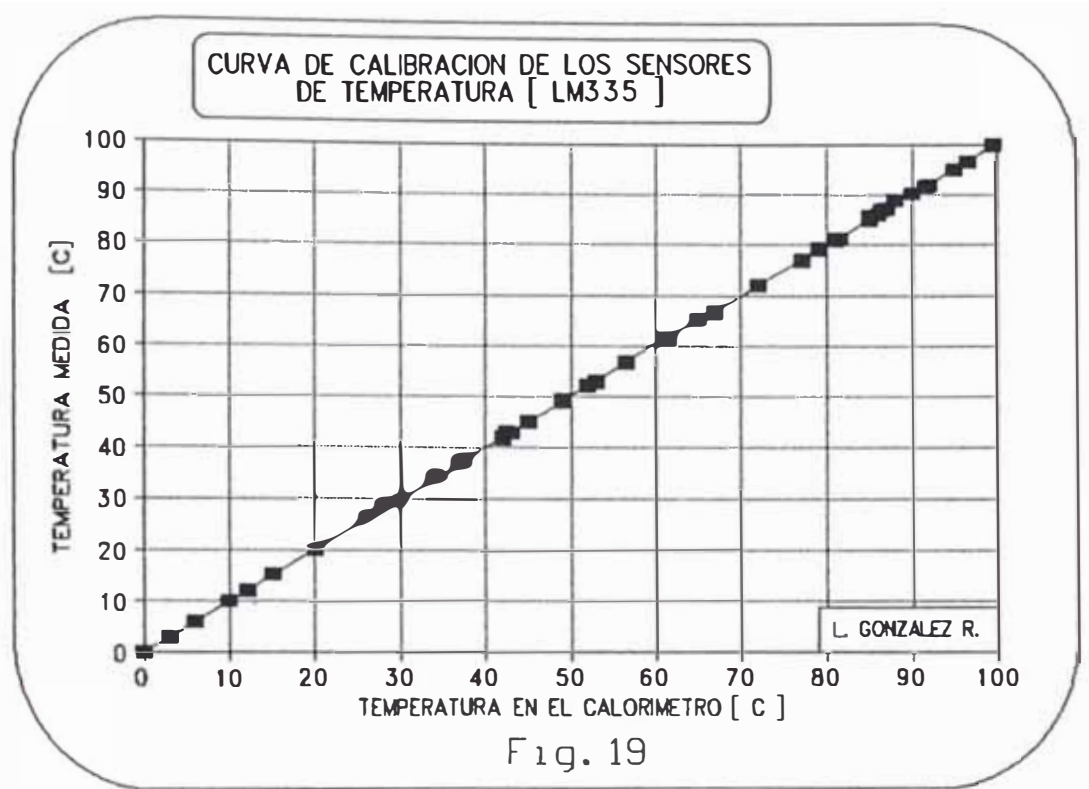
Opera en un rango amplio de temperaturas.

Su tiempo de respuesta es de 1 Segundo.

Es de bajo costo (\approx \$ 2) y se encuentra disponible comercialmente.

3.3.2.- EXPERIMENTO DE CALIBRACION DE LOS TRANSDUCTORES

El experimento se llevó a cabo sumergiendo los ocho sensores al interior de un recipiente térmico dotado de un calentador de inmersión, un termómetro de 0.5 C de precisión, y utilizando un programa adaptado con este fin específico el cual espera que se presione la barra espaciadora para proceder a tomar los datos (Fig.19).



CALIBRACION DE LOS SENSORES DE TEMPERATURA LM335

LAS TEMPERATURAS MEDIDAS POR EL COMPUTADOR (CPU) CORRESPONDEN A UN PROMEDIO DE 200 LECTURAS POR DATO (FIG 19)								TABLA 19
CALORIMET	CPU	REGRECIION	CALORIMET	CPU	REGRECIION	CALORIMET	CPU	REGRECIION
T	T	y=mx+b	T	T	y=mx+b	T	T	y=mx+b
[C]	[C]	[C]	[C]	[C]	[C]	[C]	[C]	[C]
0.0	0.0	-0.1	42.5	42.9	43.0	77.0	76.9	77.0
3.0	3.0	3.0	43.0	42.8	42.8	77.0	77.0	77.1
6.0	6.0	6.0	45.0	44.9	44.9	77.0	77.3	77.4
10.0	10.0	10.0	45.0	44.9	45.0	79.0	79.0	79.1
12.0	12.0	12.0	45.0	44.9	45.0	79.0	79.4	79.5
15.0	15.0	15.0	45.0	45.0	45.1	81.0	80.9	81.0
20.0	20.0	20.0	49.0	48.9	49.0	81.0	81.2	81.3
26.0	26.0	26.0	49.0	48.9	49.0	81.5	81.3	81.4
26.0	26.0	26.0	49.0	49.2	49.2	81.5	81.4	81.5
26.0	26.1	26.1	49.0	49.3	49.3	85.0	85.0	85.1
26.0	26.3	26.3	52.0	51.9	51.9	85.0	85.1	85.3
26.5	26.5	26.5	52.0	52.1	52.1	85.0	85.7	85.9
26.5	26.6	26.6	53.0	52.7	52.8	86.0	86.1	86.2
28.0	28.1	28.1	53.0	53.0	53.0	86.5	86.8	86.9
28.0	28.2	28.2	53.0	53.0	53.0	86.5	86.9	87.0
28.0	28.8	28.8	56.5	56.6	56.7	87.0	87.0	87.2
30.0	29.5	29.5	56.5	56.7	56.7	87.0	87.1	87.2
34.0	34.0	34.0	56.5	56.8	56.8	88.0	88.8	89.0
34.0	34.4	34.5	56.5	56.8	56.9	88.0	88.8	89.0
34.5	34.0	34.0	61.0	61.3	61.4	90.0	90.1	90.3
37.0	36.8	36.8	61.0	61.4	61.4	90.0	90.2	90.4
37.0	36.9	37.0	61.5	61.5	61.6	91.5	91.4	91.6
37.5	37.5	37.5	61.5	61.6	61.7	91.5	91.5	91.6
37.5	37.5	37.5	65.0	65.1	65.2	91.5	91.7	91.8
37.5	37.8	37.8	65.0	65.3	65.3	92.0	91.7	91.9
42.0	41.6	41.6	67.0	66.6	66.7	95.0	95.1	95.3
42.0	41.8	41.9	67.0	66.7	66.8	96.5	96.4	96.6
42.0	41.8	41.9	67.0	66.9	67.0	96.5	96.5	96.6
42.0	41.9	42.0	72.0	71.9	72.0	99.5	99.6	99.7
42.0	42.0	42.0	72.0	72.1	72.2	99.5	99.9	100.0
42.5	42.8	42.8	72.0	72.2	72.3	99.5	99.9	100.0

El comportamiento de este transductor (temperatura a voltaje) se mostró en las figuras 19 y 20, donde cada dato es el resultado de un promedio de 200 lecturas efectuadas por el computador, para cada uno de los ocho canales destinados a la medición de la temperatura.

El corrimiento "OFFSET" (Fig.20) producido por el potenciómetro de 10KΩ (Fig.21), permite calibrar el sensor en un punto de temperatura. Esta calibración es necesario para compensar el corrimiento del voltaje de salida producido por la longitud del cable utilizado.

La tabla de datos correspondientes es:

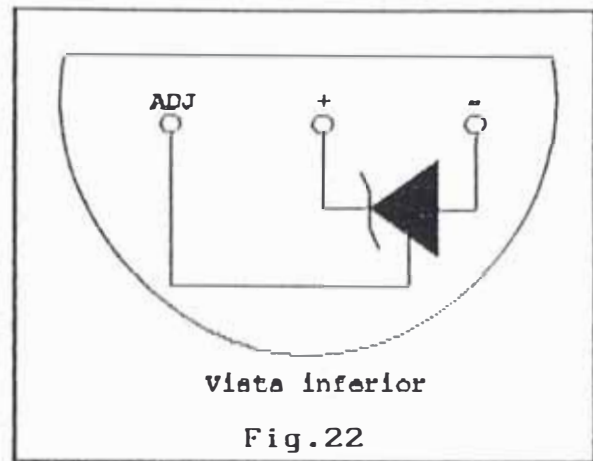
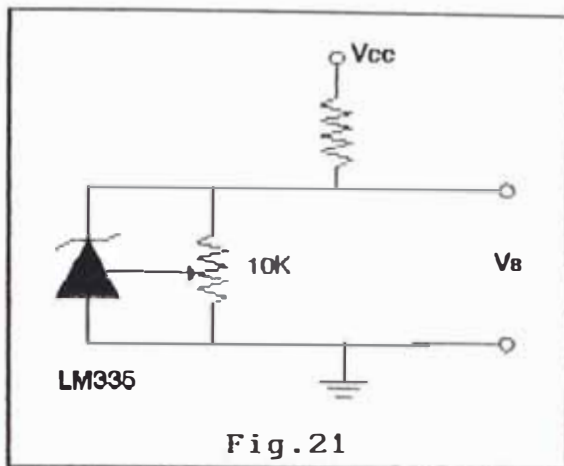
CORRIMIENTO OFFSET LM335

Fig.20

Datos Originales				Regresion lineal		
T1 [C]	V1 [V]	T2 [C]	V2 [V]	T [C]	V1 [V]	V2 [V]
25.0	3.002	25.0	2.982	25.0	2.998	2.982
31.0	3.061	29.0	3.024	31.0	3.059	3.041
35.0	3.096	32.0	3.053	35.0	3.100	3.081
39.0	3.143	35.0	3.078	39.0	3.140	3.121
41.5	3.166	38.0	3.111	41.5	3.165	3.146
46.0	3.213	43.0	3.161	46.0	3.211	3.191
51.0	3.263	49.0	3.220	51.0	3.262	3.242
55.0	3.306	55.5	3.285	55.0	3.302	3.282
60.0	3.356	61.0	3.340	60.0	3.353	3.332
65.0	3.406	67.0	3.402	65.0	3.404	3.383
70.0	3.456	73.0	3.462	70.0	3.454	3.433
75.0	3.504	80.0	3.532	75.0	3.505	3.483
79.0	3.541	99.0	3.730	79.0	3.546	3.524
84.0	3.595			84.0	3.596	3.574
89.0	3.650			89.0	3.647	3.624
94.0	3.695			94.0	3.698	3.675
99.0	3.750			99.0	3.748	3.725

TABLA 20

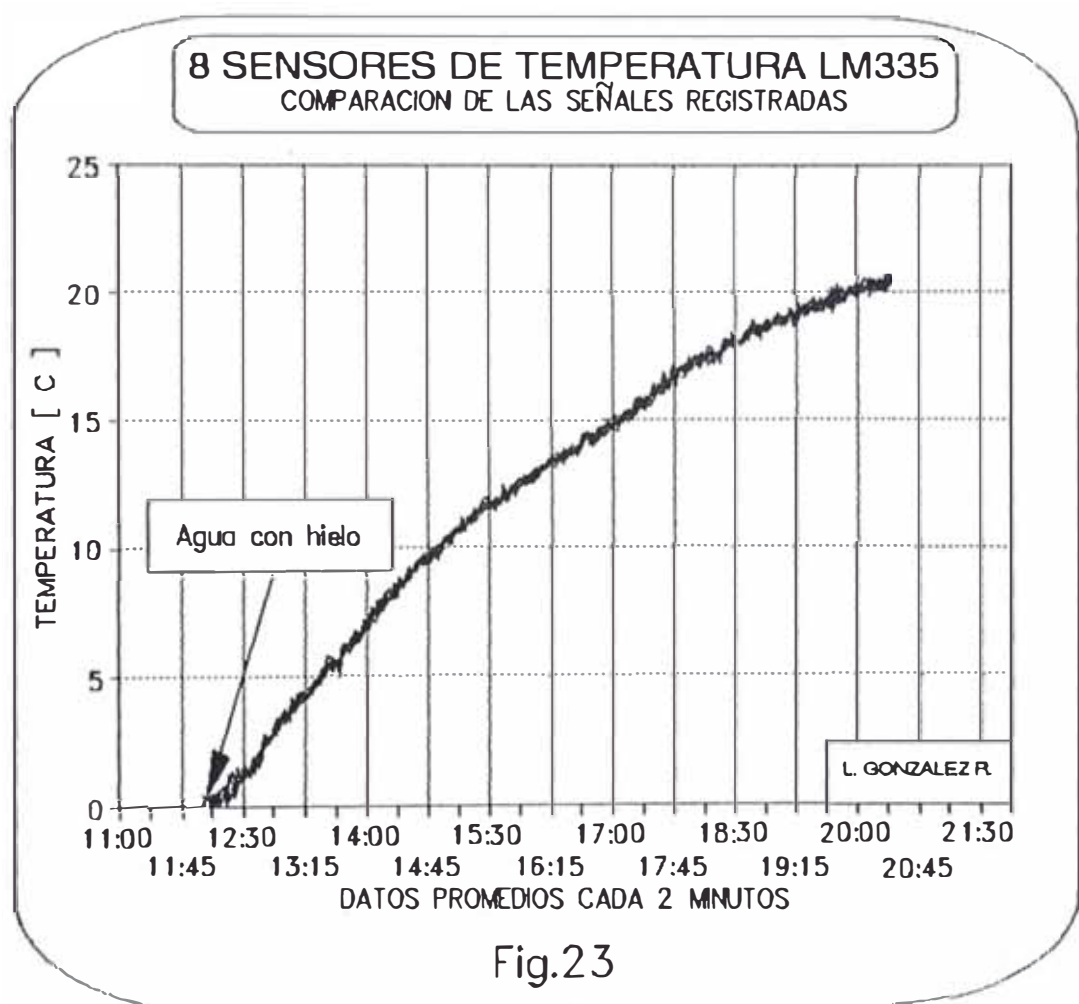
3.3.3.- DIAGRAMA DE CONECCION DEL LM335



3.3.4.- OSCILACIONES TERMICAS

Existen dos fuentes de oscilaciones térmicas en el proceso de medida. Una verdadera y otro que podría ampliar el margen de error de cada medida. Este obstáculo producido por las fluctuaciones de temperatura que ingresan o salen del sensor a través del cable como un flujo de calor por conducción, se puede minimizar **tomando un** número suficientemente grande de datos y promediándolos en el instante de su lectura. Así las oscilaciones térmicas verdaderas son las únicas registradas. No se debe dejar de considerar que estamos frente a un fenómeno físico oscilante donde al interior del líquido existen cambios de su energía interna por conducción y convección.

Se muestra gráficamente en la figura 23 un ejemplo de medida de temperaturas en el interior del recipiente térmico, utilizando simultáneamente los diferentes sensores. En este ejemplo se deja que evolucione en forma natural la temperatura de una mezcla de agua con hielo. La superposición de los datos muestra claramente la calibración de los sensores y las oscilaciones térmicas.



COMPARACION DE LAS SEÑALES DE LOS 8 SENSORES DE TEMPERATURA

Fig.23

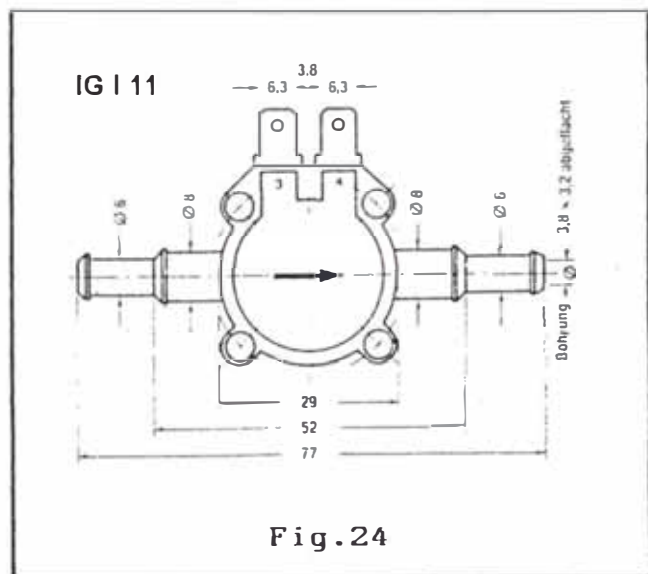
TABLA 23 HORA	TEM0 [°C]	TEM1 [°C]	TEM2 [°C]	TEM3 [°C]	TEM4 [°C]	TEM5 [°C]	TEM6 [°C]	TEM7 [°C]
12:00	-0.13	0.45	-0.13	-0.27	-0.74	-0.17	-0.16	0.16
12:08	-0.02	0.47	-0.01	0.28	-0.21	0.23	0.12	0.23
12:16	0.43	0.75	0.42	0.50	0.44	0.78	0.55	0.59
12:24	1.02	0.83	0.73	0.62	0.35	0.92	0.74	0.93
12:32	1.35	1.43	1.17	1.25	1.08	1.40	1.28	1.39
12:40	1.74	1.81	1.71	1.54	1.53	1.62	1.66	1.77
12:48	2.39	2.31	2.61	2.50	2.40	2.50	2.45	2.35
12:56	3.01	3.38	3.45	3.26	3.12	3.15	3.23	3.20
13:04	3.61	3.60	3.52	3.23	3.83	3.77	3.59	3.60
13:12	4.24	3.93	4.34	4.25	4.14	4.33	4.20	4.08
13:20	4.59	4.38	4.24	4.48	4.69	4.26	4.44	4.49
13:36	5.40	5.61	5.14	5.55	5.75	5.65	5.52	5.50
13:44	6.28	6.28	5.84	6.07	6.01	5.92	6.07	6.28
13:52	6.45	6.26	6.72	6.62	6.84	6.33	6.54	6.36
14:08	7.37	7.81	7.50	7.96	7.66	7.40	7.62	7.59
14:16	7.94	8.10	8.47	7.98	7.96	7.99	8.07	8.02
14:24	8.74	8.54	8.60	8.67	8.89	8.44	8.65	8.64
14:40	9.40	9.42	9.65	9.31	9.59	9.44	9.47	9.41
14:48	9.74	9.52	9.95	9.56	9.87	9.72	9.73	9.63
14:56	9.98	10.08	10.23	10.03	10.26	10.15	10.12	10.03
15:12	10.77	10.67	10.66	10.74	10.73	10.59	10.69	10.72
15:20	11.23	10.98	11.36	11.37	11.50	11.20	11.27	11.11
15:28	11.78	11.51	11.65	11.65	11.96	11.55	11.68	11.64
15:44	12.02	11.82	12.03	12.07	12.07	11.76	11.96	11.92
15:52	12.42	12.32	12.68	12.36	12.63	12.35	12.46	12.37
16:00	12.66	12.54	12.56	12.89	12.65	12.53	12.64	12.60
16:16	13.41	13.64	13.43	13.48	13.20	13.17	13.39	13.52
16:24	13.85	13.19	13.44	13.59	13.59	13.40	13.51	13.52
16:32	13.65	13.74	13.81	13.77	13.73	13.66	13.73	13.70
16:48	14.06	14.42	14.13	14.38	14.24	14.05	14.21	14.24
16:56	14.47	14.78	14.79	14.70	14.90	14.95	14.76	14.62
17:04	14.95	15.13	14.77	14.52	14.79	14.96	14.85	15.04
17:12	15.17	15.26	15.38	15.25	14.94	14.89	15.15	15.22
17:28	15.49	15.70	15.94	15.92	15.85	15.91	15.80	15.60
17:36	16.18	15.91	16.10	16.13	15.97	16.19	16.08	16.04
17:44	16.62	16.66	17.00	16.74	16.62	17.07	16.78	16.64
17:52	16.89	16.78	17.09	16.83	17.18	16.67	16.91	16.83
18:00	17.36	17.44	17.15	17.51	17.41	17.38	17.37	17.40
18:08	17.36	17.36	17.42	17.45	17.24	17.53	17.39	17.36
18:16	17.54	17.37	17.56	17.61	17.47	17.53	17.51	17.45
18:24	18.05	17.86	17.92	18.12	17.73	17.87	17.93	17.95
18:32	18.14	18.18	18.09	18.09	17.93	17.98	18.06	18.16
18:40	18.09	18.30	18.37	18.26	18.40	18.54	18.32	18.19
18:56	18.49	18.71	18.63	18.73	18.67	18.63	18.64	18.60
19:04	18.95	18.69	18.81	18.76	18.60	19.07	18.81	18.82
19:12	18.81	18.81	18.91	19.06	18.60	19.18	18.90	18.81
19:20	19.09	19.21	19.40	19.00	19.20	19.48	19.23	19.15
19:28	19.20	19.23	19.72	19.37	19.57	19.23	19.39	19.22
19:36	19.72	19.42	19.57	19.38	19.50	19.59	19.53	19.57
19:44	20.25	19.56	20.15	19.83	19.49	19.65	19.82	19.91
19:52	19.87	19.96	19.97	20.04	19.84	20.09	19.96	19.91
20:00	20.16	20.02	19.98	19.95	19.85	20.00	19.99	20.09

3.4.- MEDICION DE FLUJO DE AGUA (CUARTA ETAPA)

3.4.1.- CARACTERISTICAS DEL FLUJIMETRO

El Flujímetro es un instrumento destinado a medir el flujo de sustancias en estado liquido. Como por ejemplo Acetona, Etanol, Benzol, Cloroformo, Agua, Bencina, Metanol, Petróleo, Aceites, etc. etc.

Este Flujímetro tipo IG modelo I11, está diseñado para medir el flujo de sustancias químicas desde 2.5 a 200 lt/Hr, con una presión máxima de 10 bar a 22°C. El rango de temperaturas de trabajo es de -40C a 120C.



En su interior cuenta con una turbina unida a un pequeño dinamo de inducción, el cual genera una diferencia de potencial sinusoidal de frecuencia variable que es directamente proporcional al flujo o caudal del liquido que pasa por el instrumento.

Así podríamos medir directamente el flujo en la pantalla de un osciloscopio cuando él es casi constante. Pero en éste caso se trata de medir flujos que permanentemente están variando y que por lo tanto su medición debe realizarse en forma instantánea para conocer como son estas oscilaciones. Esto hace necesario construir una interfase que adecue la señal de frecuencia variable a un voltaje directamente proporcional y medible en el rango seleccionado para la tarjeta (0 a 5V).

3.4.2.- INTERFASE PARA EL FLUJIMETRO

En ésta cuarta etapa, primero se procedió a pasar la señal sinusoidal del Flujímetro por dos amplificadores operacionales cuyos factores de amplificación son superiores a 1000, con lo cual se consigue llegar rápidamente al voltaje de saturación del segundo amplificador y así en la salida de éste se genera una onda cuadrada con la misma frecuencia de la señal emitida.

Luego se hace pasar esta onda cuadrada por una compuerta lógica NAND (74LS00) el cual permite por un lado subir el voltaje del nivel de saturación del amplificador (4V), al nivel lógico "1" digital (5V). Así ésta compuerta funciona como un buffer. Por otro lado permite también que se pueda interrumpir el paso del tren de pulsos, alimentando la segunda entrada de la compuerta con el nivel lógico "cero". (En adelante nos referiremos a esta compuerta como el *puerto de control*).

Hasta aquí podemos dejar pasar el tren de pulsos durante un tiempo controlado por el usuario, programando un "uno" lógico en el puerto de control durante dicho tiempo y luego se interrumpe mediante un "cero" lógico. Por ejemplo si el tiempo utilizado es de 1 segundo, entonces tenemos en la salida la frecuencia o número de pulsos por segundo.

Además podemos hacer pasar la señal por un contador binario de ocho bits, el que determinará y estabilizará la señal correspondiente al número de pulsos contados en el sistema binario.

Notese a continuación los detalles, en el plano de este circuito. (Fig.25).

Seguidamente, mientras dure el tiempo de interrupción, se pasa este número por un conversor Digital/Análogo de ocho bits, el que finalmente se conecta a un ultimo amplificador con lo cual se obtiene un voltaje analógico de salida, directamente proporcional al número binario detenido en la salida del contador.

Un "uno" lógico en el *puerto de control*, permite que el tren de pulsos pase al contador de 8 bits y debemos tener cuidado de que el tiempo de duración del "uno" lógico no sea muy grande por que el número de pulsos puede rebasar la capacidad del contador que es de 256 pulsos como máximo para el tiempo elegido. Además no puede ser muy pequeña, para evitar un posible porcentaje alto de error.

Por otro lado un "cero" lógico en el puerto de control lo podemos identificar como el tiempo de lectura o espera "STOP" durante el cual ocurre la conversión Digital/Análoga y la lectura del voltaje correspondiente por el programa.

Nos falta entonces únicamente "*resetear*" el contador antes de proceder a tomar una nueva lectura del flujo existente. Para esto recurrimos a la salida Digital Analógica (D/A) de la tarjeta. Por el cual podemos enviar una señal de voltaje continuo durante un cierto tiempo y controlando su tiempo de exposición podemos generar cambios de nivel de cero a cinco voltios en una secuencia equivalente a pulsos de "0" y "1" lógicos.

Así podemos activar otro contador (74LS93) utilizando el flanco de subida de dichos pulsos, el cual generara un conjunto de estados que podemos aprovechar para las funciones de inicializar el contador "RESET", paso del tren de pulsos por el puerto de control "COUNT" y

definir el tiempo de lectura correspondiente "STOP". Entonces es suficiente utilizar las dos primeras salidas del contador y aprovechar los estados 00, 01 y 10 para estas tres funciones.

En la siguiente tabla se muestra los estados posibles del contador, y en el plano podemos notar que el LED encendido indica un "uno" lógico en el pin-A1 y los contadores se encuentran en estado de espera ("STOP").

A2	A1	$\overline{A1}$	CL1	CL2	COUNT	READ
0	0	1	1	1	1 COUNT	X
0	1	0	0	0	0 STOP	0 READ
1	0	1	0	0	X RESET	X RESET

Luego, el siguiente pulso activa el contador en el estado 10, ("1" en el pin-A2) con lo cual instantáneamente se "resetean" los contadores, por eso es necesario imponer un pequeño retardo en la señal de "Auto-RESET" pasando a ésta por dos compuertas lógicas NAND que aseguren el retardo y además la total puesta en cero de los contadores principales.

La operación o pulso anterior es suficiente entonces para pasar del estado de espera ("STOP") al estado de cuenta, utilizando algunos nanosegundos para la operación de "Auto-RESET".

El estado 00 ("COUNT"), deja pasar el tren de pulsos por el puerto de control mediante un "uno" lógico logrado negando la salida del pin-A1, este "uno" se mantiene durante el tiempo elegido por el usuario (1 segundo) y a su término se envía otro pulso para pasar al estado de espera "STOP". En este estado se procede a tomar la lectura del dato o conteo correspondiente.

Este circuito logrado permite no solo convertir la frecuencia de una señal sinusoidal a voltaje Analógico equivalente, sino que además cuenta con un control de puerto, que le permite adaptar el sistema a un tren de pulsos de alta frecuencia o a otro de muy baja frecuencia.

3.4.3.- CURVA DE CALIBRACION DEL FLUJIMETRO

En la Fig.26 se muestra uno de los resultados preliminares obtenidos durante el proceso de calibración del Fluji- metro, donde podemos notar como la evolución experi- mental es la que señala cuales son los ajustes neces- rios que se deben realizar. Es decir cambiar resisten- cias, condensadores, variar o ajustar potenciómetros, tomar medidas, etc. hasta lograr finalmente el resul- tado deseado. (Ver la Fig.28).

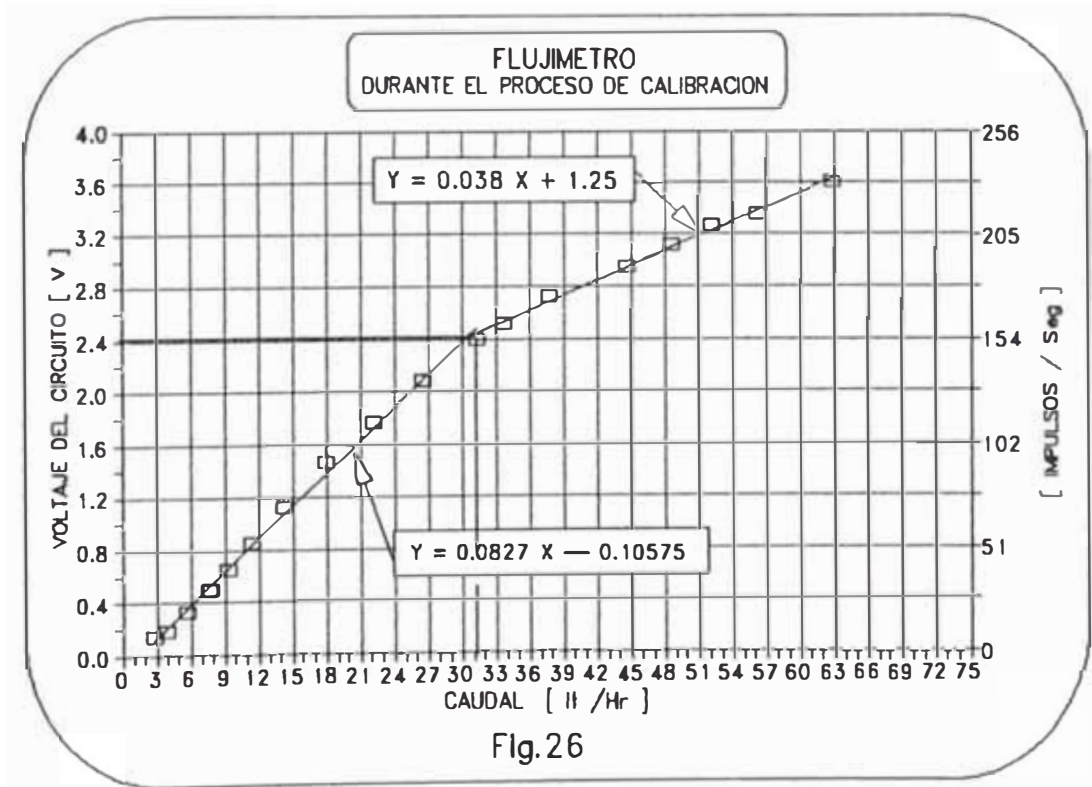


Fig.26

Antes de conectar la señal del Flujímetro, a la interfase diseñada se requiere verificar su funcionamiento experimentalmente con el fin de comprobar la linealidad de trabajo del conversor D/A de 8 bits frente a los números binarios generados en el contador. Para este efecto el contador es incrementado mediante una secuencia de 2 pulsos por vez en el rango de 0 a 256 y se toma la lectura de cada dato mediante un programa auxiliar.

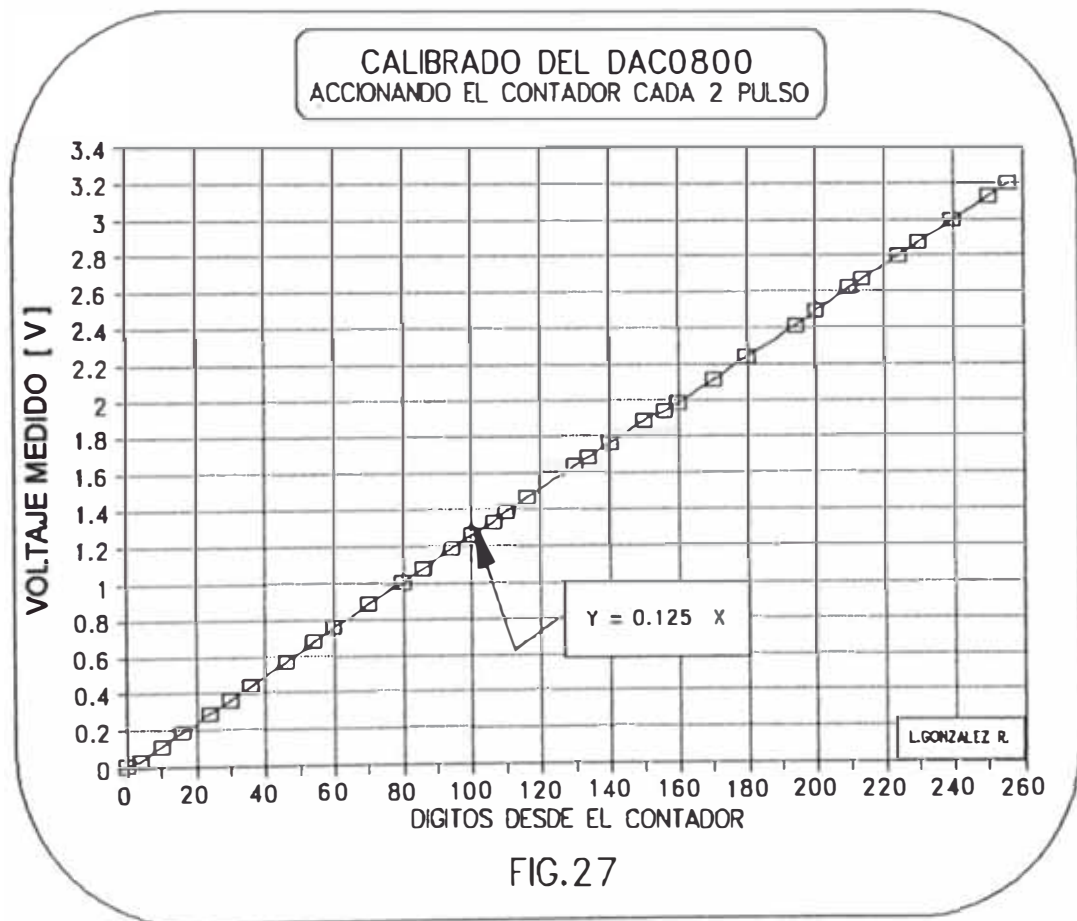


FIG.27

La figura 27 anterior demuestra el correcto funcionamiento del circuito de la interfase diseñada, y los datos experimentales correspondientes se dan en la siguiente tabla. Entonces, para completar esta etapa solo falta conectar y calibrar el Flujímetro.

RESPUESTA DEL DAC0800
 FRENTE AL NUMERO GENERADO EN EL CONTADOR
 Fig.27

DATOS CADA 2 DIGITOS							
CONTADOR	DAC08	CONTADOR	DAC08	CONTADOR	DAC08	CONTADOR	DAC08
#	[V]	#	[V]	#	[V]	#	[V]
0	0.00	66	0.83	132	1.66	198	2.46
2	0.02	68	0.85	134	1.68	200	2.49
4	0.03	70	0.88	136	1.71	202	2.51
6	0.06	72	0.90	138	1.73	204	2.54
8	0.08	74	0.93	140	1.76	206	2.56
10	0.11	76	0.95	142	1.78	208	2.59
12	0.13	78	0.98	144	1.81	210	2.62
14	0.16	80	1.00	146	1.83	212	2.64
16	0.19	82	1.03	148	1.86	214	2.67
18	0.21	84	1.06	150	1.89	216	2.69
20	0.24	86	1.08	152	1.91	218	2.72
22	0.26	88	1.11	154	1.93	220	2.74
24	0.29	90	1.13	156	1.93	222	2.77
26	0.31	92	1.16	158	1.96	224	2.80
28	0.34	94	1.18	160	1.99	226	2.82
30	0.36	96	1.21	162	2.01	228	2.84
32	0.39	98	1.23	164	2.04	230	2.87
34	0.41	100	1.26	166	2.06	232	2.89
36	0.44	102	1.28	168	2.09	234	2.92
38	0.47	104	1.31	170	2.11	236	2.94
40	0.49	106	1.33	172	2.13	238	2.97
42	0.51	108	1.36	174	2.17	240	3.00
44	0.54	110	1.38	176	2.19	242	3.02
46	0.57	112	1.41	178	2.21	244	3.05
48	0.59	114	1.43	180	2.24	246	3.08
50	0.62	116	1.46	182	2.26	248	3.10
52	0.64	118	1.49	184	2.29	250	3.12
54	0.68	120	1.51	186	2.31	252	3.15
56	0.71	122	1.53	188	2.34	254	3.17
58	0.73	124	1.56	190	2.36	256	3.20
60	0.76	126	1.59	192	2.39		
62	0.78	128	1.61	194	2.41		
64	0.80	130	1.63	196	2.44		

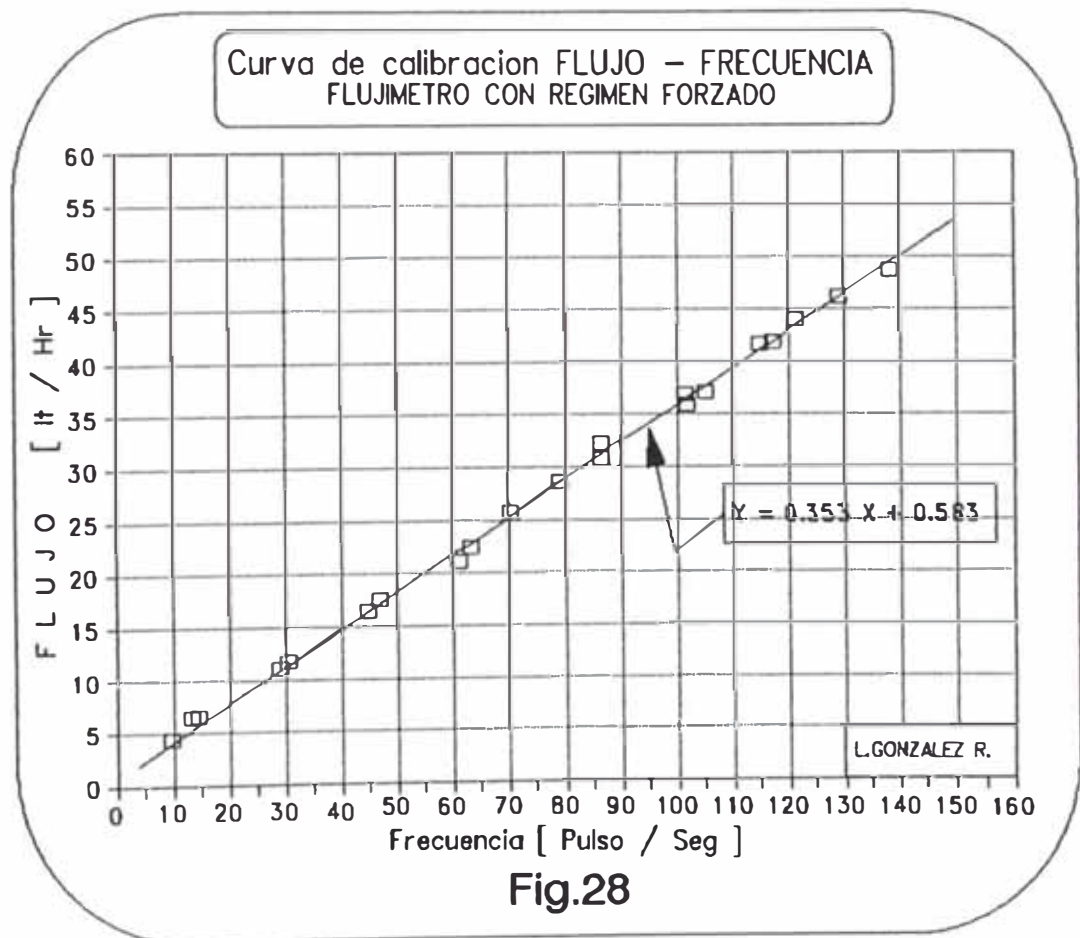
=====

TABLA 27

Una vez conectado el Flujímetro se procedió a su calibración, el resultado lineal logrado se muestra en el siguiente gráfico (Fig.28). En el eje-Y se ubica el flujo en lt/Hr y en el eje-X la frecuencia o número de pulsos por segundo generados en el Flujímetro.

El experimento de calibración consistió en el llenado de un recipiente de 2 litros, midiéndose el tiempo total y con el programa, el voltaje generado en el circuito.

Para lograr esto se utilizó además una pequeña bomba de agua que trabaja eléctricamente y que permite asegurar un caudal casi constante durante el proceso de toma de datos.



La siguiente tabla de datos correspondientes contiene:

- El tiempo total medido y necesario para llenar un recipiente de 2050 ml.
- El voltaje por segundo generado en la interfase del Flujimetro durante el proceso de llenado y promediados luego por un programa auxiliar.
- Los cálculos realizados para encontrar la frecuencia y el flujo promedio.
- Y el ajuste por mínimos cuadrados.

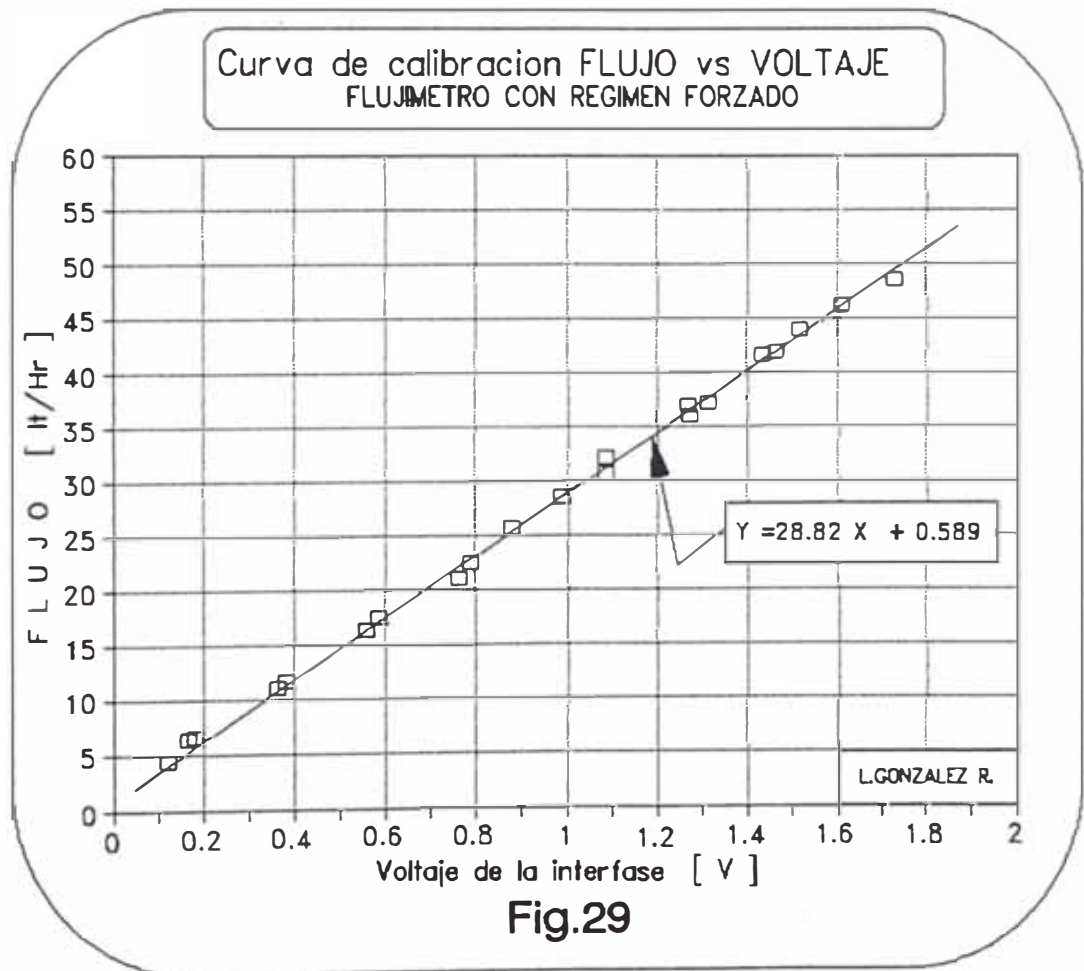
CALIBRACION DE LA INTERFACE DEL FLUJIMETRO

VOLTAJE	FRECUENCIA	FLUJO		2.050 lt	TABLA 28
Medido	Calculada	Regresion	Calculado	Tiempo	16FEB96
Promedio	eje X	Y=mX+b	eje Y	Total	Nº
[V/S]	Pulso/Seg	[lt/Hr]	[lt/Hr]	[Seg]	Archivo
		0.583			
0.050	4.00	1.995			
0.124	9.89	4.075	4.47	1650	21
0.167	13.32	5.286	6.47	1140	1
0.182	14.54	5.717	6.65	1110	20
0.364	29.12	10.862	11.13	663	19
0.382	30.55	11.366	11.71	630	2
0.558	44.63	16.336	16.40	450	18
0.587	46.93	17.149	17.57	420	3
0.762	60.97	22.105	21.09	350	4
0.787	62.96	22.807	22.57	327	17
0.880	70.38	25.425	25.71	287	5
0.989	79.16	28.525	28.60	258	16
1.086	86.84	31.237	30.75	240	6
1.086	86.91	31.260	32.09	230	15
1.269	101.51	36.415	36.90	200	14
1.272	101.74	36.496	36.00	205	7
1.313	105.04	37.662	37.09	199	8
1.436	114.89	41.138	41.69	177	13
1.464	117.13	41.928	41.93	176	9
1.518	121.45	43.452	43.93	168	12
1.613	129.07	46.142	46.12	160	10
1.727	138.19	49.361	48.55	152	11
1.870	149.60	53.390			
Regression Output:					Promedio
Constant (eje Y)			0.0000	1.1665	0.5833
Pendiente (m)			0.3591	0.3469	0.3530

Flujímetro

L U I S A . G O N Z A L E Z R A N I A E T

La figura 28 anterior indica fundamentalmente el comportamiento del Flujímetro en forma independiente, es decir si se conoce la frecuencia de la señal sinusoidal que emite entonces podemos encontrar el caudal que está pasando por él. Pero cuando se instala el Flujímetro al circuito, dicha interfase convierte la frecuencia de la señal a un voltaje directamente proporcional a éste, entonces surge la necesidad de tener un gráfico de calibración del flujo en función del voltaje de salida del circuito lo que se muestra a continuación en la figura 29.



3.5.- PROGRAMA DE COMPUTACION (QUINTA ETAPA)

Al desarrollar el programa, se ha tratado de que sea adaptable a computadores modelo XT y AT, que sea fácil de modificar, y que sea modular, es decir que cada subprograma pueda utilizarse como un modulo independientemente.

Consta de un "menú" del cual se puede escoger las siguientes alternativas: (1) Tomar datos, (2) Graficar, (3) Procesar datos, (4) Inicializar, y (5) Finalizar.

3.5.1.- TOMA DE DATOS

Para el proceso de toma de datos, se ha considerado un total de 12 archivos, uno por cada canal o parámetro físico de los cuales 3 son de radiación , 8 están destinados a los datos de temperatura y uno para la medida del flujo de agua.

Los nombres de los archivos constan de dos partes. Los cuatro primeros dígitos identifican el parámetro físico y el canal (ejm. TEM1, TEM2, FLUJ, etc.). La segunda parte con otros cuatro dígitos son reservados para una clave o nombre genérico común a todos los canales.

Los datos se almacenan como números reales en el modo o tipo "SINGLE" compatibles con aquellos que se manejan en las hojas electrónicas. Este modo "SINGLE" utiliza 4 BYTES de memoria por cada dato.

Al elegir del "menú" la primera alternativa (letra "T"), se ingresa al modulo de toma de datos en el cual se solicita: (1) La clave genérica o complemento del nombre de los archivos correspondientes a cada canal. (2) El número total de datos a tomar, máximo 7000. (3) El tiempo en segundos entre dato y dato. (4) El número

de datos a promediar en cada lectura. (5) El tiempo en milésimas de segundo destinado a la duración del pulso del "puerto de control" y (6) Confirmación mediante la tecla "S" para proceder.

Luego en tanto dure el período de toma de datos se muestra en la pantalla el valor de los últimos datos censados en cada canal, La hora de inicio, el número de datos pedidos, el número de datos tomados, el tiempo que falta, la hora actual, el nombre genérico o clave de los archivos y el tiempo entre dato y dato. También se indica que el proceso se puede interrumpir mediante la "tecla de escape" <ESC>.

Se considera 7000 datos como máximo, únicamente por las limitaciones que ofrece la capacidad de memoria del computador XT al intentar leer los datos y almacenarlos en un vector para su posterior presentación en el modo gráfico. Además debe tomarse en cuenta que son 12 canales por 7000 datos y por 4 BYTES de memoria cada uno, o sea 336000 BYTES que llenan prácticamente todo el disco en mas de dos días si el tiempo entre dato y dato es de 30 Seg.

3.5.2.- GRAFICAR

El "subprograma" o "procedimiento" para graficar ofrece la posibilidad de escoger dos archivos o canales de datos. Tiene una presentación que simula una pantalla de un osciloscopio cuyas escalas se adaptan automáticamente en función del valor máximo de los datos censados.

Cuenta Además con alternativas que permiten ampliar o reducir la escala del eje vertical, y avanzar o retroceder en la presentación del eje horizontal.

Este modulo gráfico se utiliza frecuentemente en el proceso de selección o tratamiento de datos.

3.5.3.- PROCESAR DATOS

Este "menú" agrupa al conjunto de programas auxiliares alternativos, los que permiten: (1) promediar o integrar, (2) juntar la información o datos que se encuentran en archivos separados, (3) descartar o separar datos, (4) convertir un archivo de datos simples en otro de pares ordenados XY, (5) ver los datos iniciales de un archivo, y (6) convertir un archivo de pares ordenados XY, en otro de datos simples.

Así los archivos de pares ordenados XY se pueden pasar a una hoja electrónica desde el cual se pueden imprimir los gráficos y las tablas de datos.

3.5.4.- INICIALIZAR y FINALIZAR

Estas dos alternativas son comandos directos, el primero permite mandar un pulso al puerto de control del Flujiómetro con la finalidad de inicializar o "receptar" el contador y pasar al estado de espera "STOP". La segunda alternativa permite salir o concluir la ejecución del programa.

3.5.5.- DESARROLLO DEL PROGRAMA EMPLEADO

El PASCAL V6, es el lenguaje de programación utilizado para el desarrollo del programa. Es completamente compatible con modelos XT y AT, y está totalmente accesible en el apendice I.

4.- MEDICIONES Y GRAFICOS

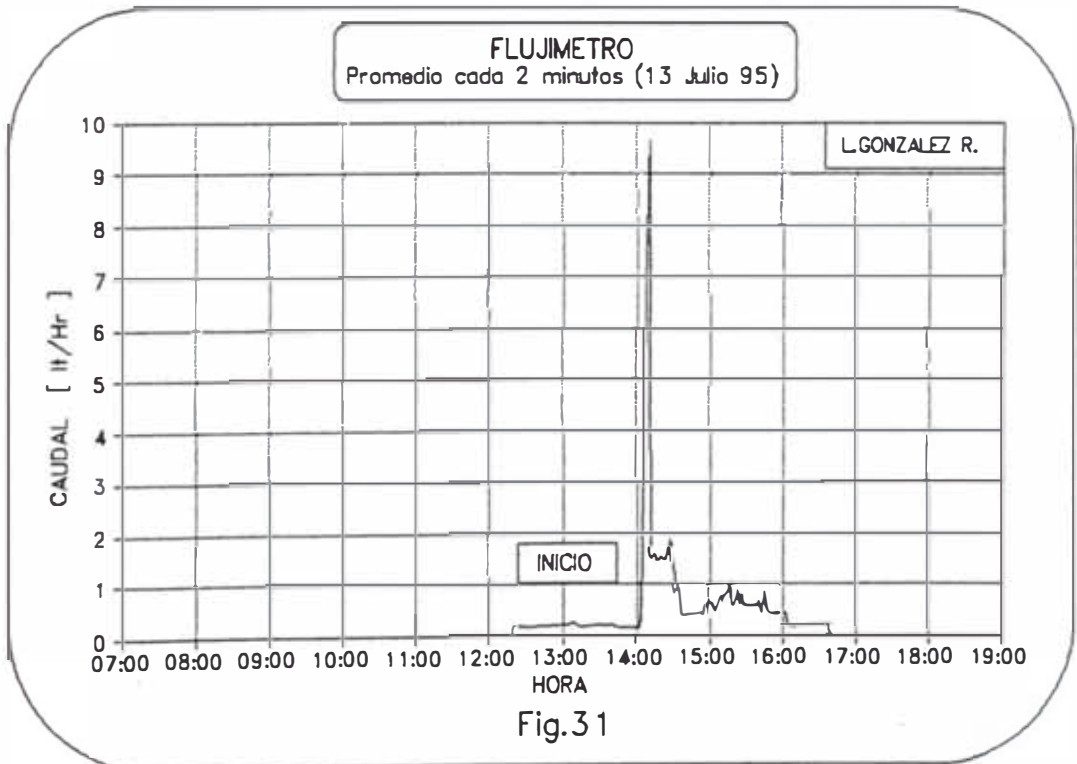
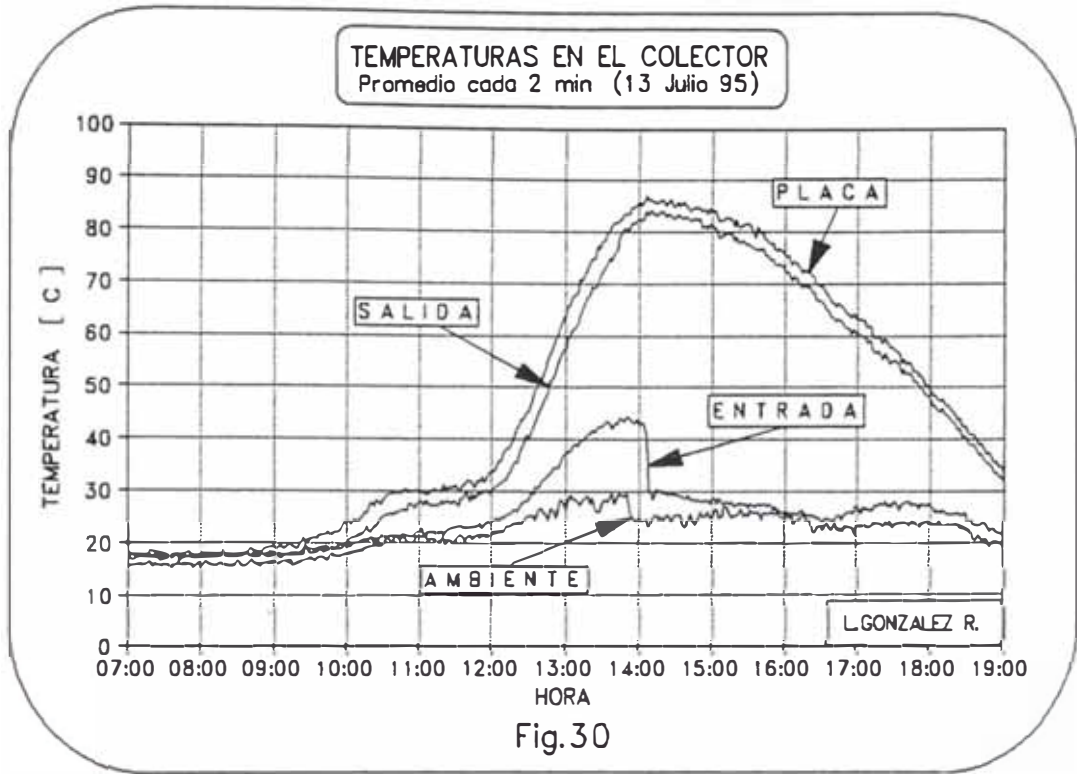
Las mediciones realizadas con el objeto de calibrar las diferentes partes de la interfase no se dan a conocer y fueron descartados por que estos ya cumplieron su objetivo de optimizar el sistema. Por este motivo solo se muestran tres grupos principales de datos y sus gráficos respectivos.

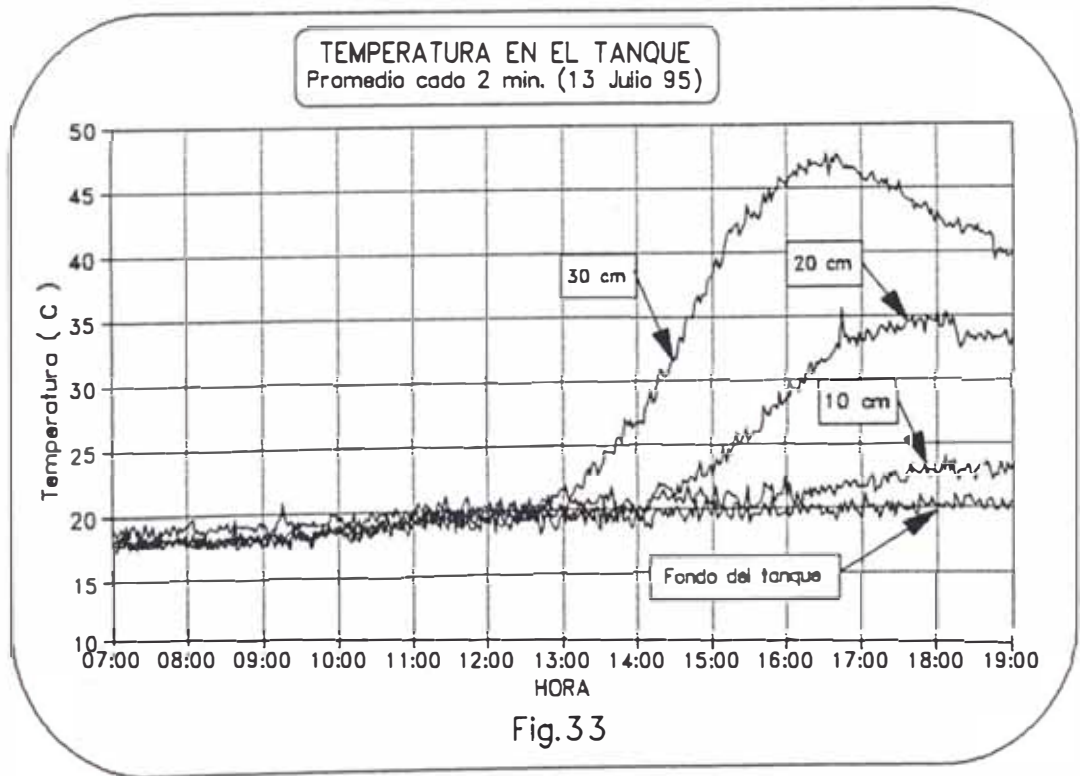
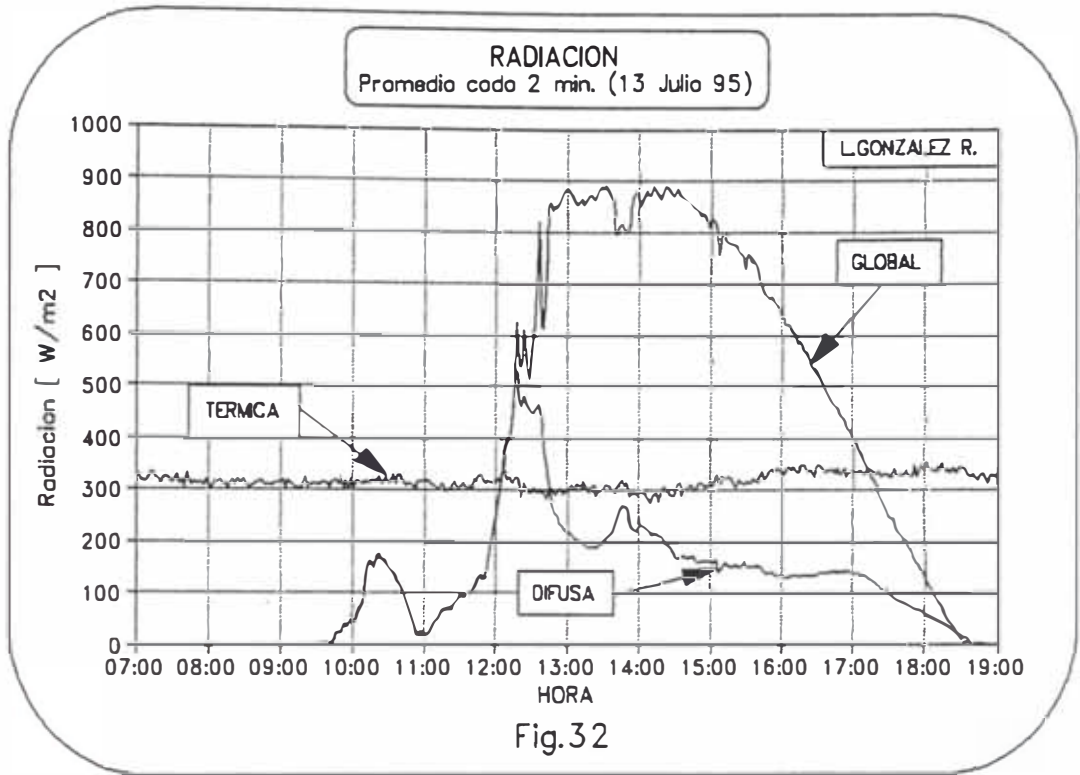
4.1.- PRIMERAS MEDICIONES

Para calcular la radiación neta incidente sobre el plano inclinado del colector y la eficiencia del sistema se tomaron los primeros datos en forma multiplexada el 13 de Julio de 1995 (últimos días de cielo despejado). Los resultados de las mediciones realizadas se muestran en las figuras 30, 31, 32 y 33. En estos gráficos claramente se puede notar que la temperatura máxima alcanzada en la placa del colector está próxima a los 90 °C y que se inicia el flujo por convección natural justamente a esta temperatura.

Además, del gráfico de temperaturas en el tanque (Fig.33) se observa que en la última capa del fondo la temperatura prácticamente no sufre ninguna variación. Esto indica que la acumulación de energía como calor útil de esta capa es cero.

Este resultado claramente establece que es necesario incrementar la diferencia de presiones entre la entrada y la salida del colector para que exista un flujo que permita transportar la energía ganada en el colector. Esto ocurre por que el Flujímetro instalado para medir el caudal está ofreciendo mucha resistencia a la convección natural y fue entonces necesario añadir una pequeña bomba de agua que permita mantener un caudal forzado razonablemente constante.





4.2.- MEDICIONES FINALES

Instalado el impulsor de agua y manteniendo entonces un flujo forzado, se tomaron los datos finales de radiación, temperatura y flujo el 3 de Abril de 1996 en intervalos de 30 segundos entre dato y dato, con un resultado aproximado de 1700 datos por cada canal o parámetro físico.

Esta inmensa información detallada no es posible pasar a una hoja electrónica con un computador convencional, por lo que fue necesario promediarlos cada 2 minutos y se encontró la siguiente información experimental mostrada en las figuras 34, 35, 36 y 37.

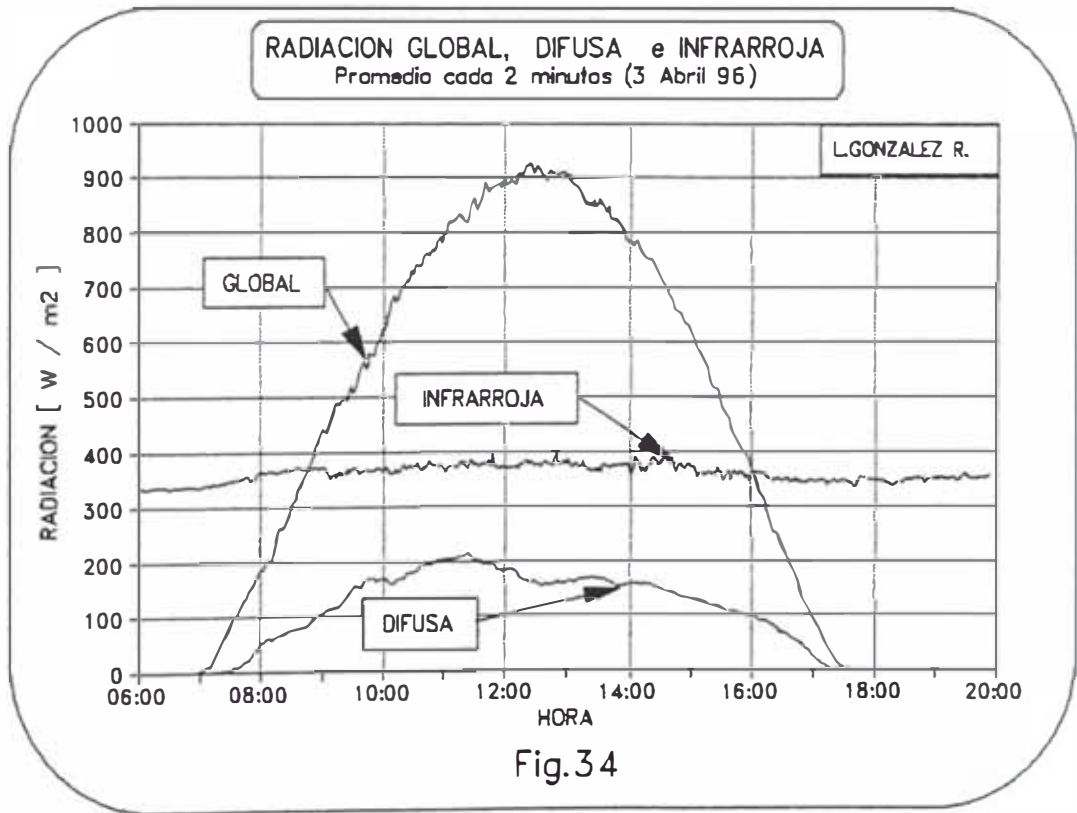
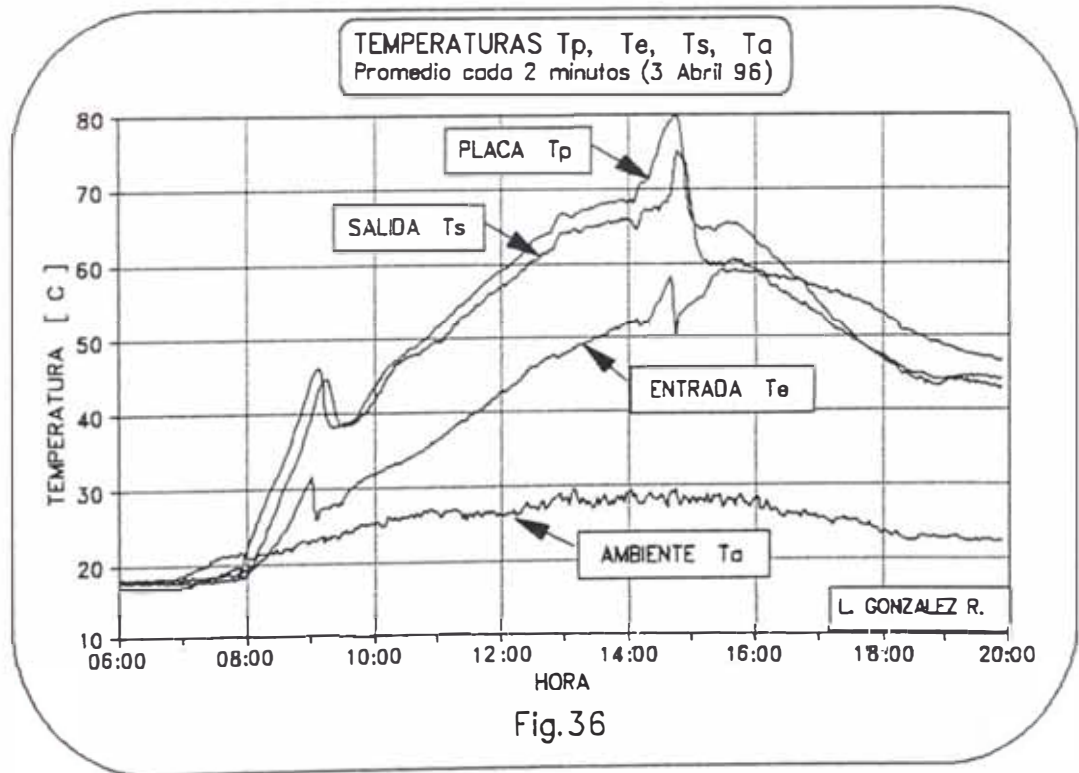
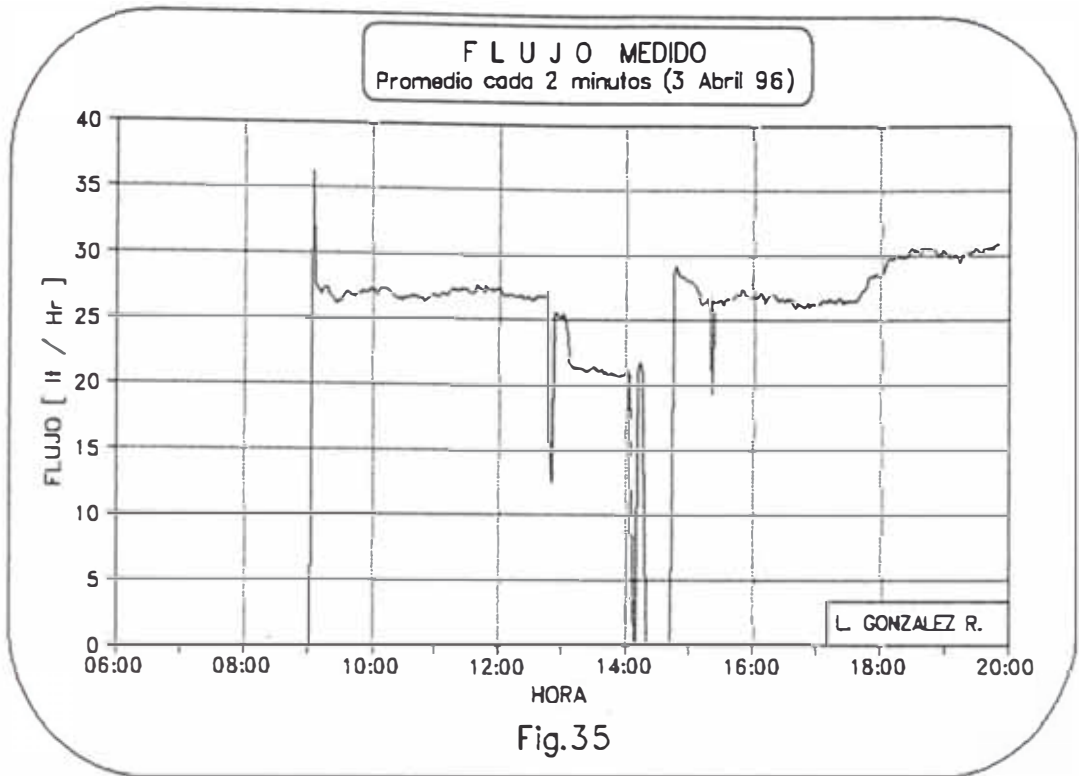
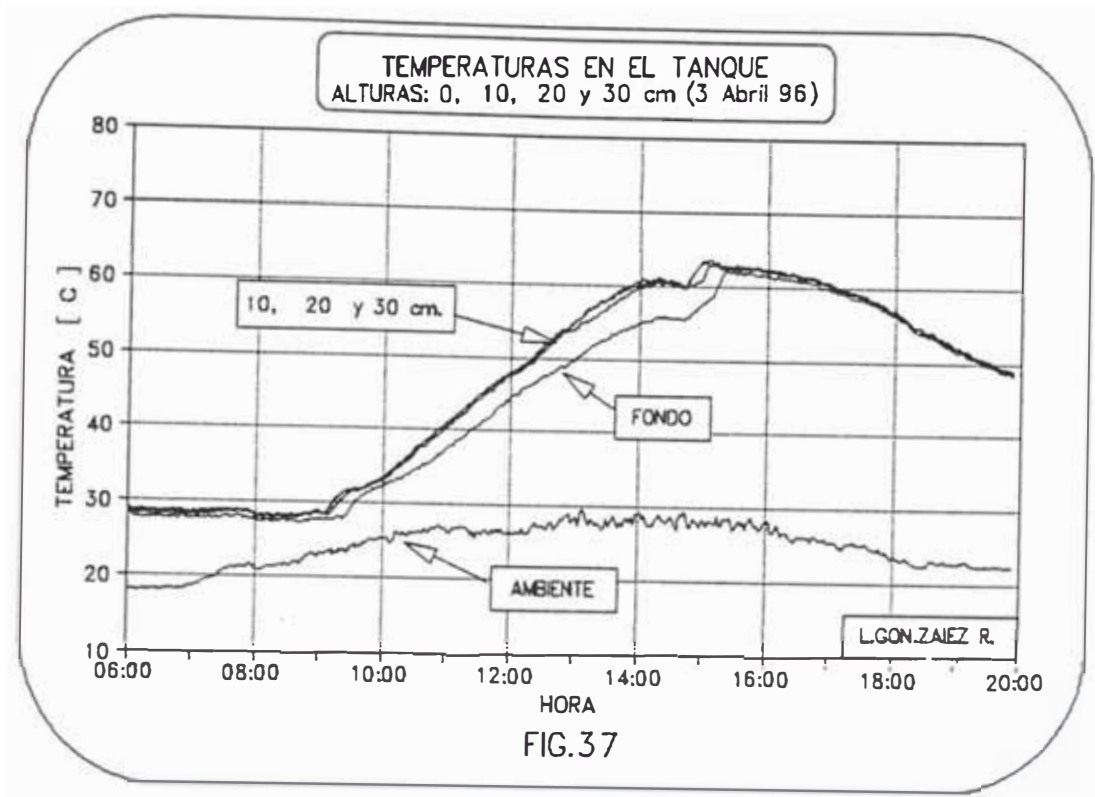


Fig.34





Los datos promediados cada 2 minutos y graficados en las figuras 34, 35, 36 y 37 anteriores, contienen cerca de 420 datos por canal lo cual constituye un número grande de datos para intentar imprimirse, esto hace necesario realizar un nuevo promedio en un intervalo que permita disminuir el número de datos y a la vez que no se pierda la información instantánea. Así se encontró adecuado el intervalo de 15 minutos para realizar dichos promedios, con lo cual se obtienen las siguientes tablas de datos y sus gráficos correspondientes. (Fig. 38, 39, 40 y 41).

4.3.- MEDICIONES ADICIONALES

Con el fin de mostrar que es posible realizar mediciones durante un tiempo muy grande y para analizar todo el proceso durante varios días en forma continuada, se tomaron mas datos y los resultados se muestran gráficamente en las figuras 42, ... 49.

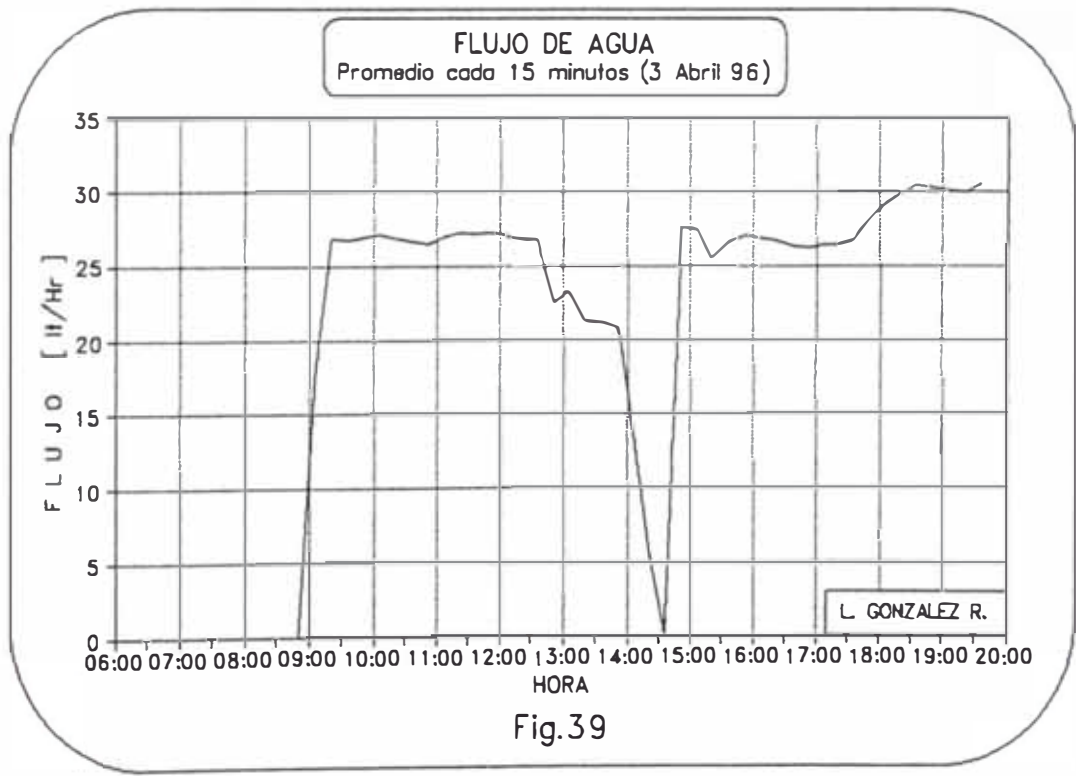
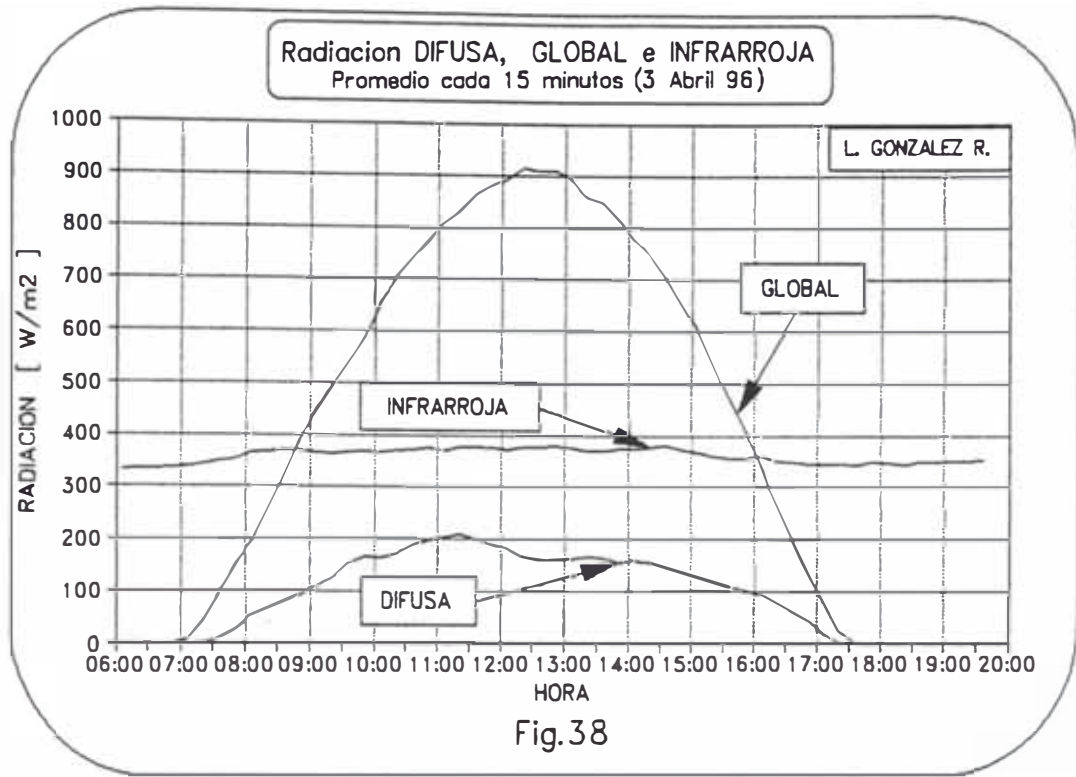
DATOS FINALES
 PROMEDIADOS CADA 15 MINUTOS (3 ABRIL 96)

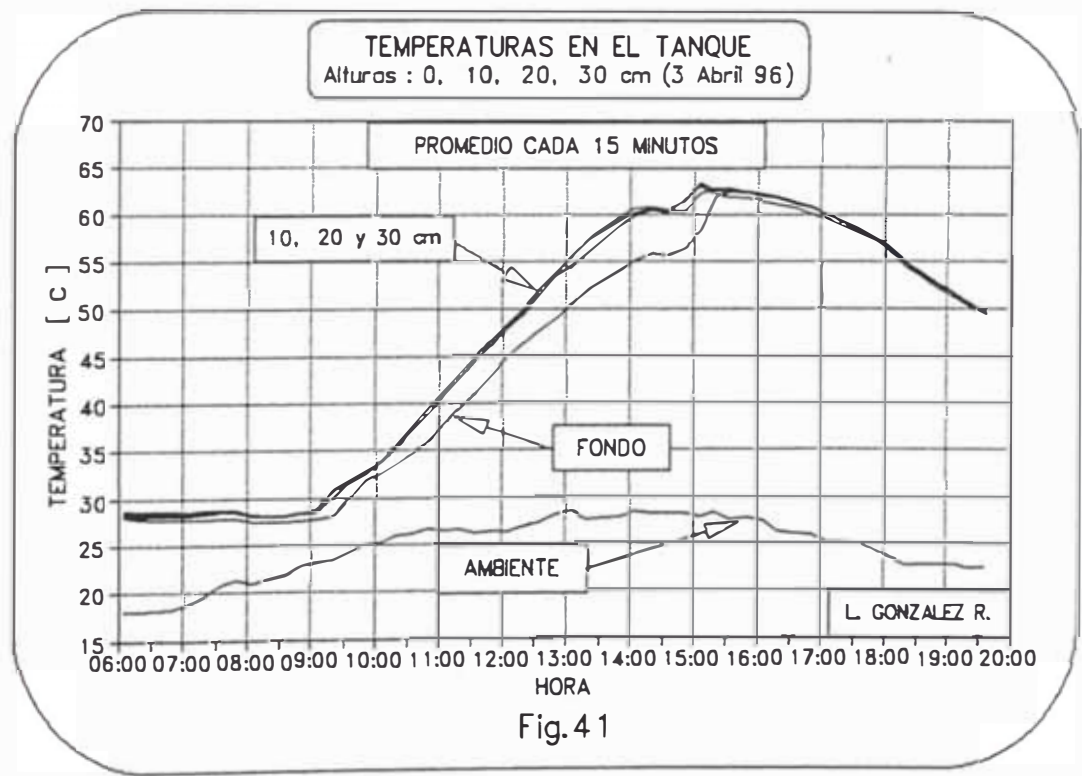
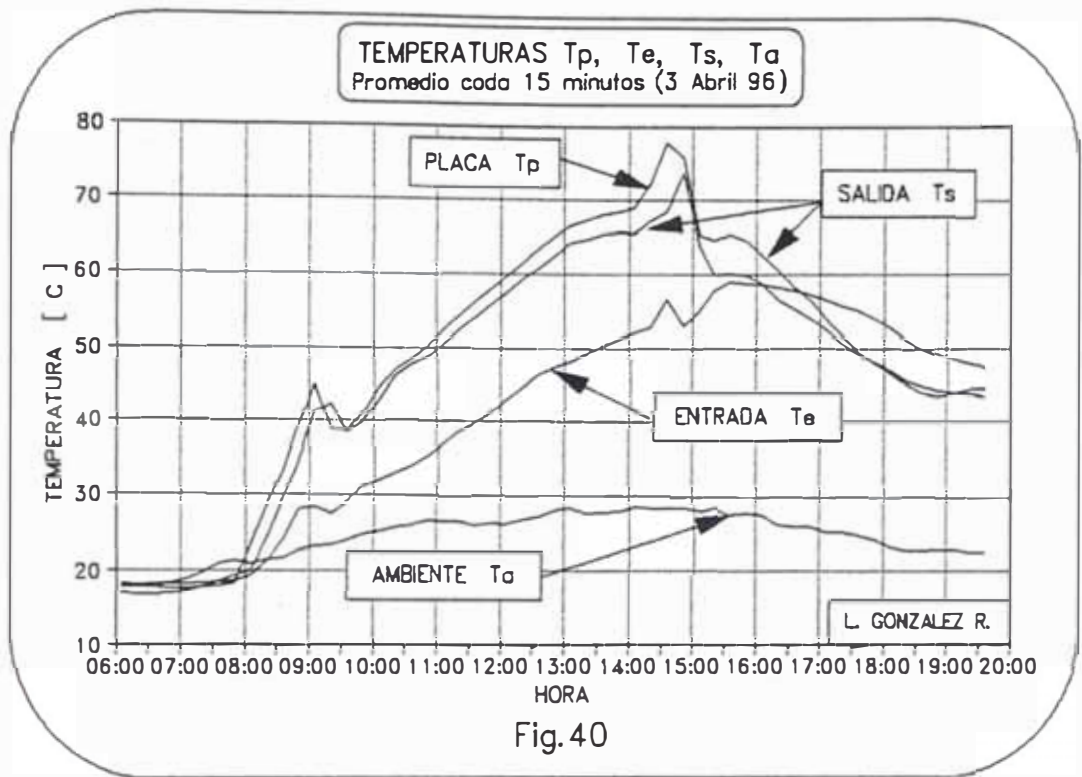
Fig. 38 y 39

TABLA 38 15min HORA	R A D I A C I O N			FLUJO	Temperatura
	DIFUSA [W/m ²]	GLOBAL [W/m ²]	INFRARROJA [W/m ²]	dm/dt [lt/Hr]	ambiente TEM7
06:05	0.00	0.00	333.83	22.59	18.03
06:20	0.00	0.00	335.65	22.60	18.09
06:35	0.00	0.00	335.21	22.58	18.18
06:50	0.00	0.00	337.07	22.57	18.26
07:05	0.00	5.12	338.84	22.54	18.85
07:20	0.61	42.66	342.97	22.55	19.74
07:35	6.14	96.18	349.57	22.56	20.90
07:50	25.33	146.56	353.39	0.00	21.32
08:05	53.04	192.56	364.48	0.00	20.94
08:20	65.72	251.66	365.60	0.00	21.42
08:35	77.01	319.19	369.42	0.00	21.75
08:50	90.67	385.37	370.20	0.00	22.68
09:05	108.67	446.37	363.54	17.54	23.21
ENERGIA GANADA DURANTE 5 HORAS					
09:20	124.67	494.09	361.84	26.84	23.40
09:35	152.51	536.45	367.27	26.70	24.13
09:50	166.75	581.99	368.05	26.95	24.98
10:05	164.57	651.49	365.88	27.15	25.19
10:20	171.57	699.90	370.64	26.86	25.92
10:35	187.94	739.51	371.37	26.64	26.19
10:50	197.98	773.24	375.78	26.54	26.69
11:05	203.69	809.14	370.79	26.91	26.54
11:20	209.93	828.41	377.73	27.26	26.57
11:35	198.92	863.95	378.76	27.22	26.17
11:50	189.05	883.32	375.68	27.30	26.40
12:05	182.78	893.67	371.77	27.03	26.28
12:20	165.41	914.30	378.89	26.74	26.83
12:35	157.19	909.23	377.71	26.71	27.24
12:50	159.41	908.23	380.79	22.55	28.10
13:05	162.89	895.15	376.29	23.31	28.48
13:20	166.91	859.46	370.50	21.28	27.62
13:35	163.93	847.65	370.26	21.22	27.84
13:50	154.51	813.80	375.19	20.83	27.97
14:05	157.73	779.42	374.85	14.00	28.44
14:20	154.36	749.41	377.47	5.66	28.25
14:35	144.11	704.81	381.63	0.10	28.25
14:50	135.75	650.77	373.17	27.54	28.27
15:05	126.69	599.85	365.98	27.41	27.91
15:20	118.56	534.64	361.41	25.49	28.31
15:35	109.03	471.60	357.05	26.56	27.58
15:50	101.22	407.13	357.51	27.06	27.84

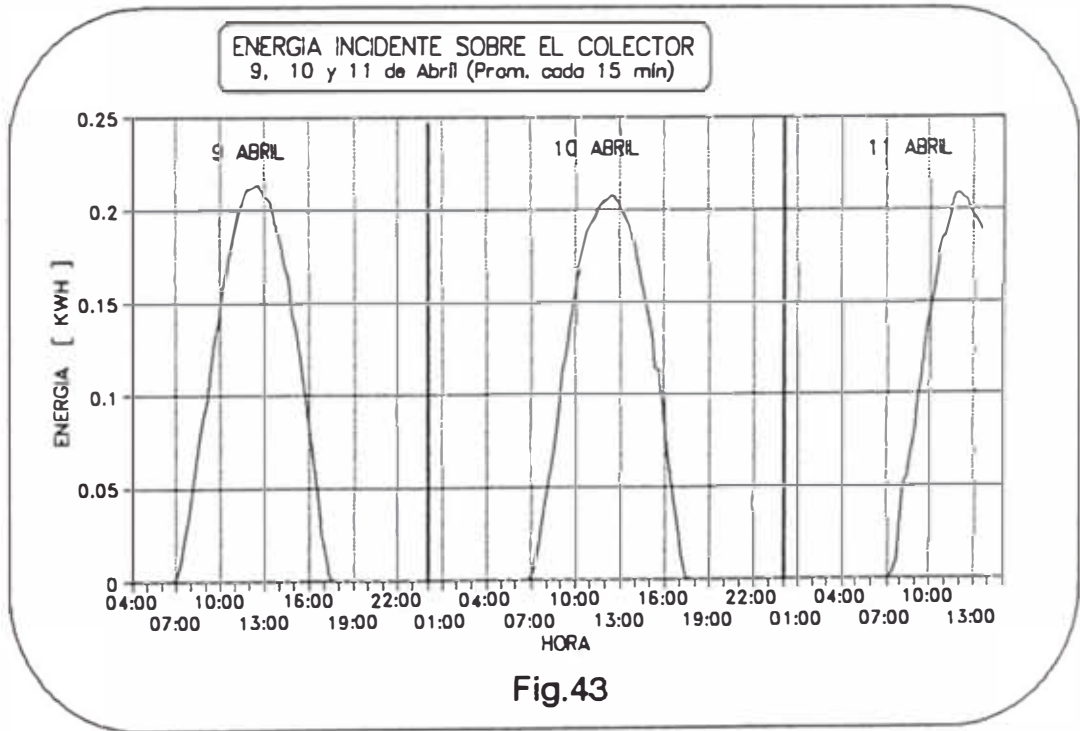
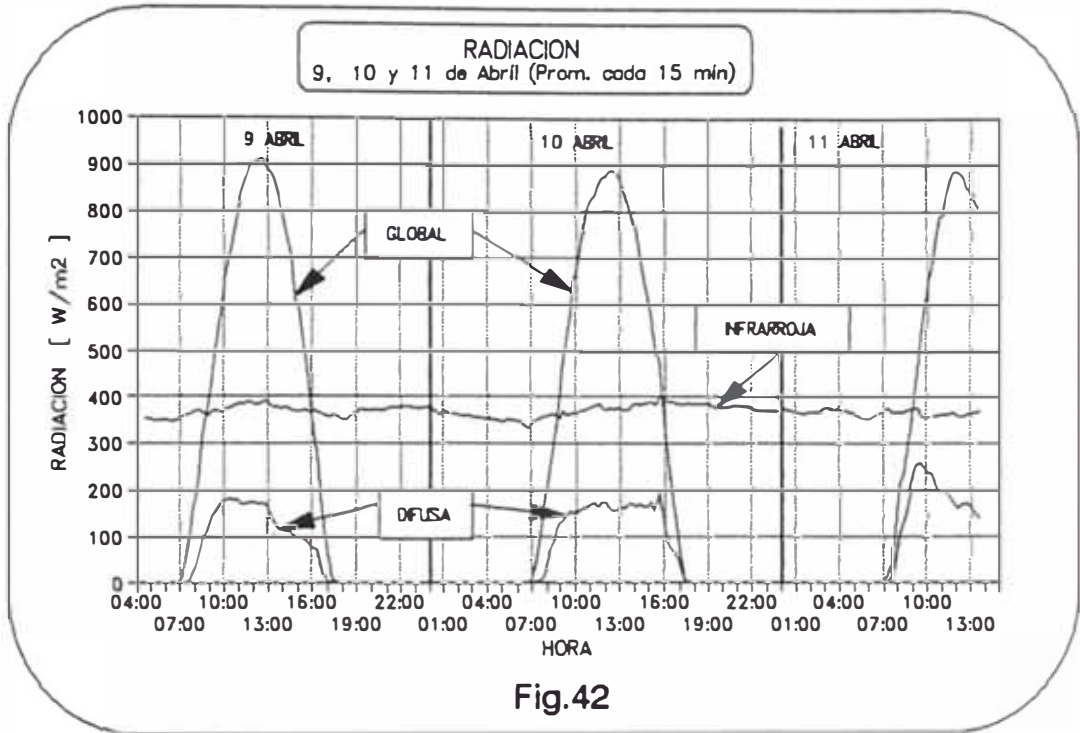
DATOS FINALES
TEMPERATURAS EN EL TANQUE Y EL COLECTOR [C]
Promediados cada 15 minutos (3 Abril 96)
Fig. 40 y 41

TABLA 40 15min HORA	Temperaturas en el colector [C]			Temperaturas en el Tanque [C]			
	Tentrada TEM0	Tplaca TEM1	Tsalida TEM2	Tfondo TEM3	T_10cm TEM4	T_20cm TEM5	T_30cm TEM6
06:05	18.14	17.76	16.92	28.05	28.75	28.63	28.30
06:20	18.03	17.71	16.80	27.88	28.72	28.48	28.16
06:35	18.05	17.74	16.87	27.86	28.64	28.40	28.13
06:50	18.16	17.61	16.93	27.83	28.66	28.42	28.09
07:05	18.20	17.61	17.21	27.81	28.57	28.38	28.15
07:20	18.26	17.71	17.84	27.82	28.74	28.57	28.30
07:35	18.51	17.84	18.61	27.96	28.80	28.75	28.55
07:50	18.61	18.33	19.29	27.93	28.72	28.70	28.59
08:05	19.24	23.59	20.03	27.49	28.14	28.19	27.97
08:20	21.29	28.78	24.37	27.51	28.13	28.13	28.01
08:35	24.13	33.43	29.66	27.46	28.01	28.16	28.13
08:50	28.27	39.47	34.67	27.58	28.36	28.45	28.39
09:05	28.51	44.95	41.44	27.81	28.44	28.67	28.90
ENERGIA GANADA (5 HORAS)							
09:20	27.62	39.10	42.53	27.97	30.06	30.74	30.93
09:35	29.20	38.79	38.51	30.00	31.59	31.69	31.79
09:50	31.20	41.16	39.93	31.66	32.44	32.52	32.63
10:05	32.26	44.58	42.88	32.66	33.73	33.85	33.99
10:20	33.20	46.95	46.10	33.62	35.35	35.71	35.80
10:35	34.07	48.49	47.63	34.87	37.33	37.73	37.85
10:50	35.38	50.14	48.70	36.17	39.04	39.58	39.64
11:05	36.90	52.15	50.05	37.95	40.99	41.47	41.37
11:20	38.51	54.15	52.28	39.62	42.84	43.28	43.28
11:35	39.82	56.00	53.98	41.21	44.70	45.20	45.15
11:50	41.33	57.98	55.85	43.20	46.40	46.91	46.82
12:05	42.95	59.52	57.39	44.96	47.93	48.32	48.26
12:20	44.62	61.41	59.11	46.41	49.40	49.96	49.82
12:35	46.32	63.33	60.68	47.73	51.38	52.11	51.85
12:50	47.38	65.10	62.45	48.95	53.37	53.88	53.65
13:05	48.19	66.48	64.32	50.39	54.53	55.64	55.51
13:20	49.25	67.26	64.66	52.05	55.86	57.33	57.24
13:35	50.18	67.91	65.29	53.22	57.44	58.66	58.43
13:50	51.27	68.43	65.69	54.21	58.88	59.92	59.57
14:05	51.95	69.00	65.45	55.13	59.92	60.64	60.27
14:20	52.77	72.25	67.24	55.77	60.44	60.81	60.51
14:35	56.61	77.87	68.34	55.66	60.30	60.41	60.08
14:50	53.02	75.77	73.72	56.40	60.35	61.46	61.49
15:05	55.05	65.23	63.70	58.39	62.32	63.34	63.06
15:20	57.83	64.64	60.00	61.87	62.67	62.63	62.22
15:35	58.95	65.39	60.11	62.51	62.66	62.47	61.86
15:50	58.77	64.58	59.89	62.45	62.43	62.37	61.72





Resultados gráficos de las mediciones adicionales de los día 9, 10 y 11 de Abril.



Notese que el comportamiento del sistema es repetitivo y similar a los obtenidos el día 3 de Abril.

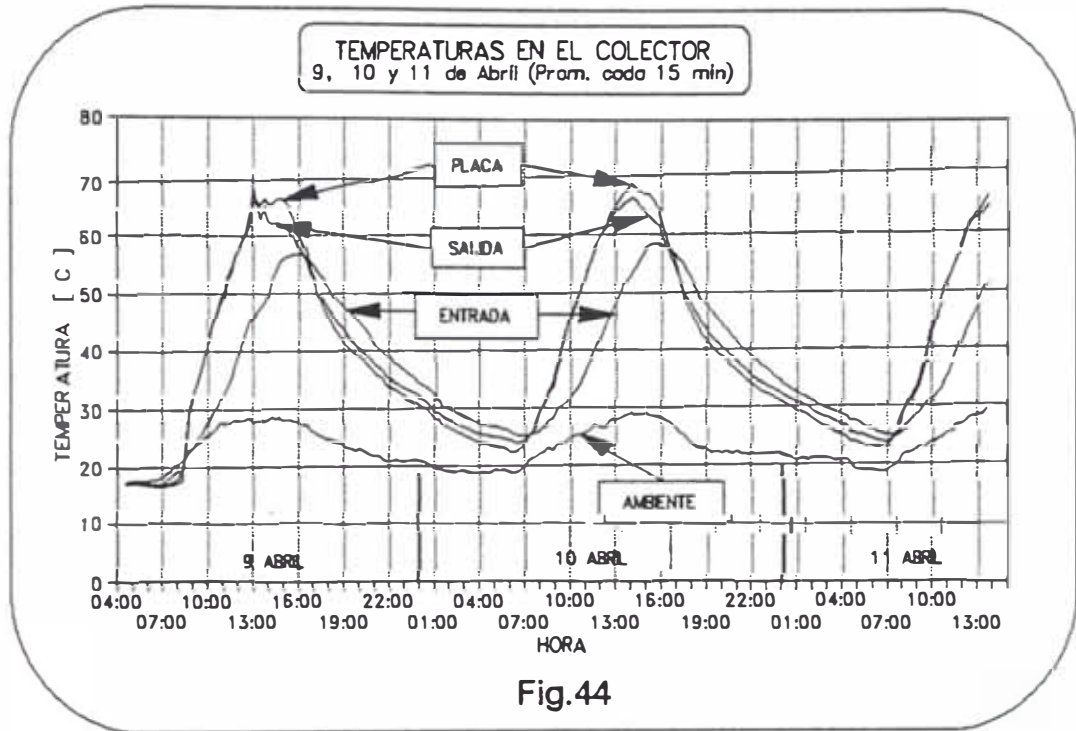


Fig.44

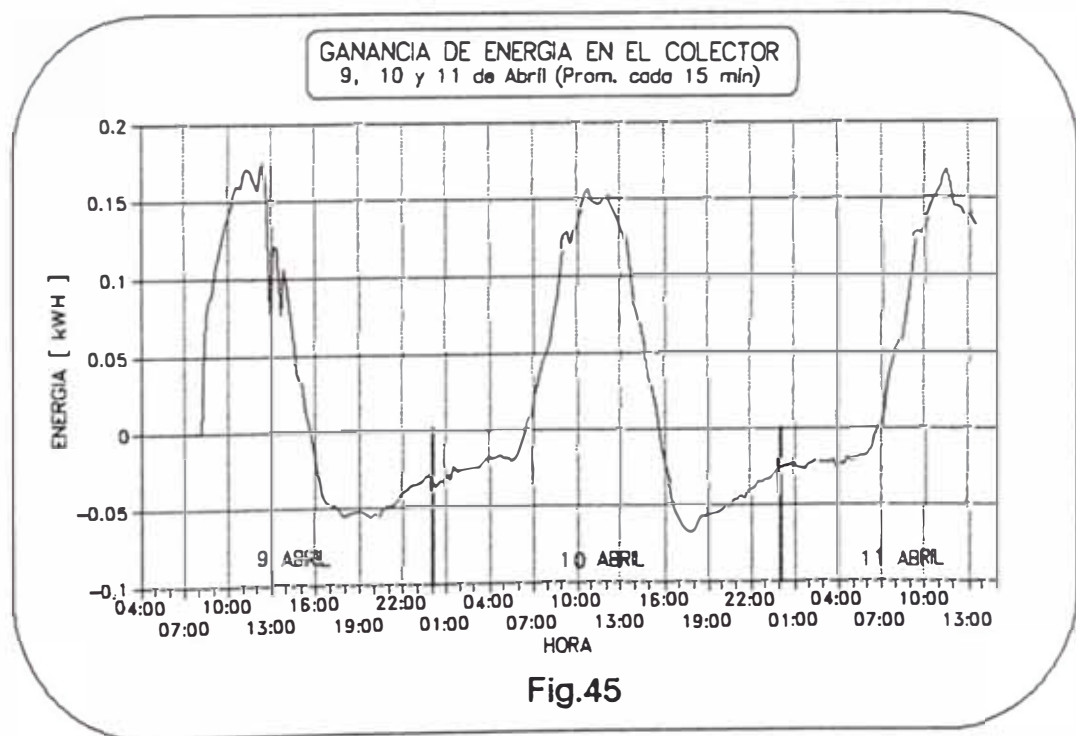
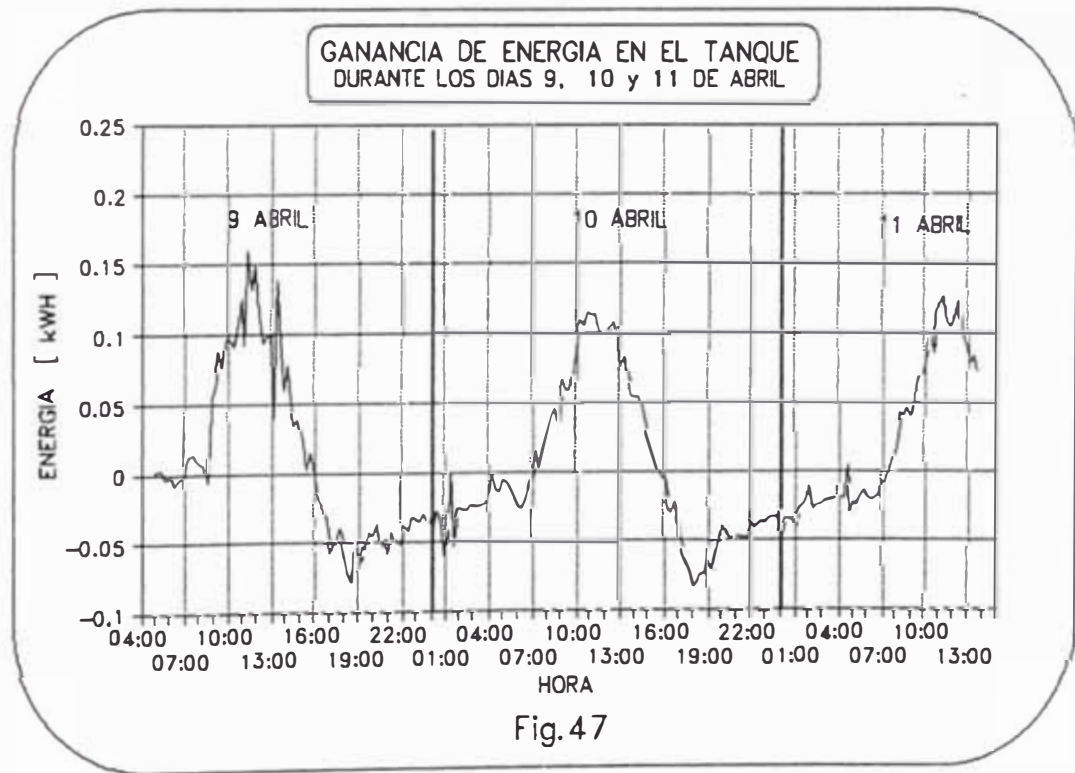
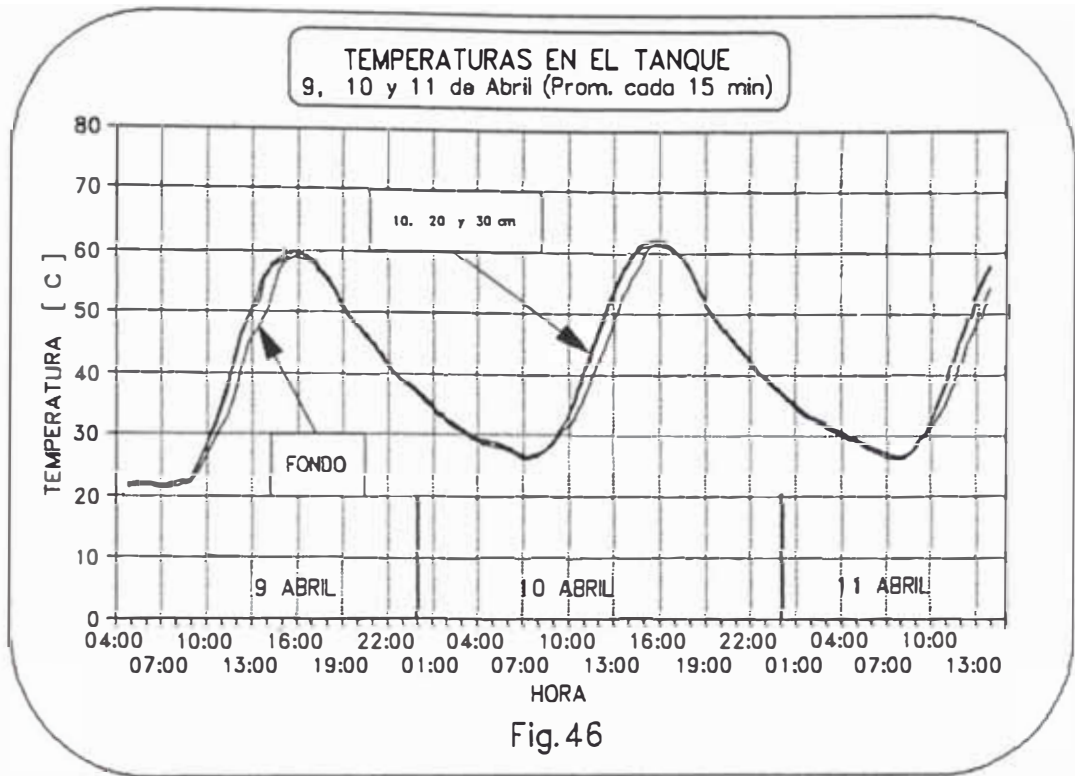


Fig.45



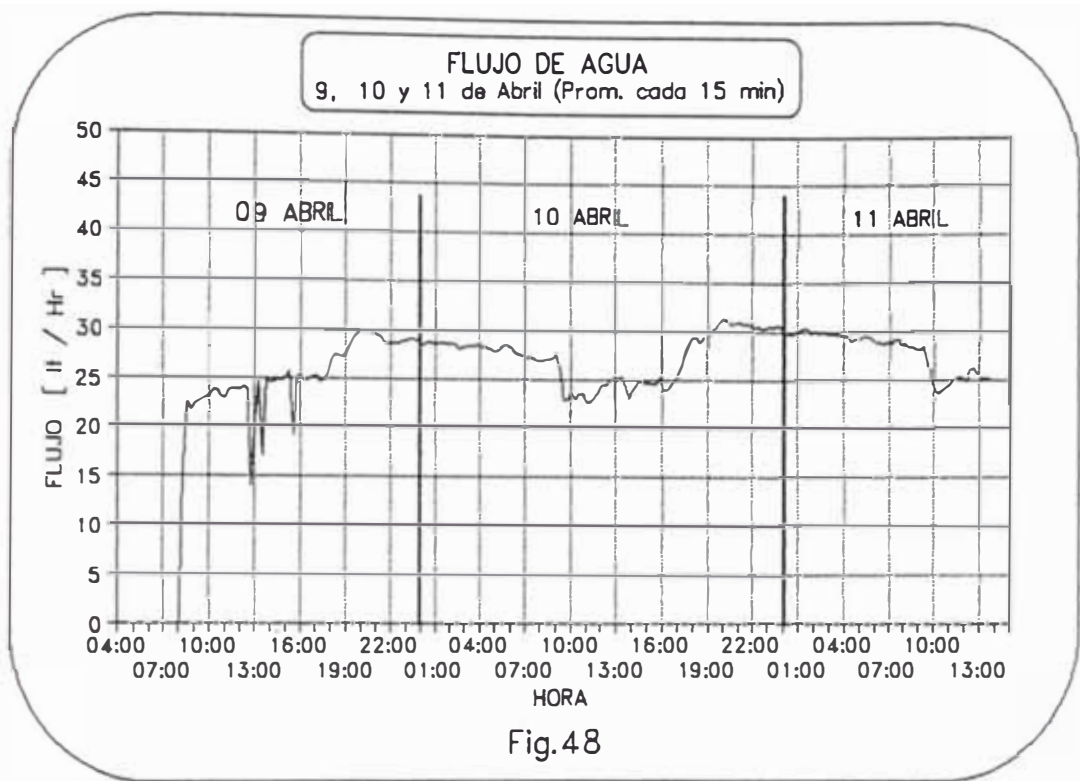


Fig.48

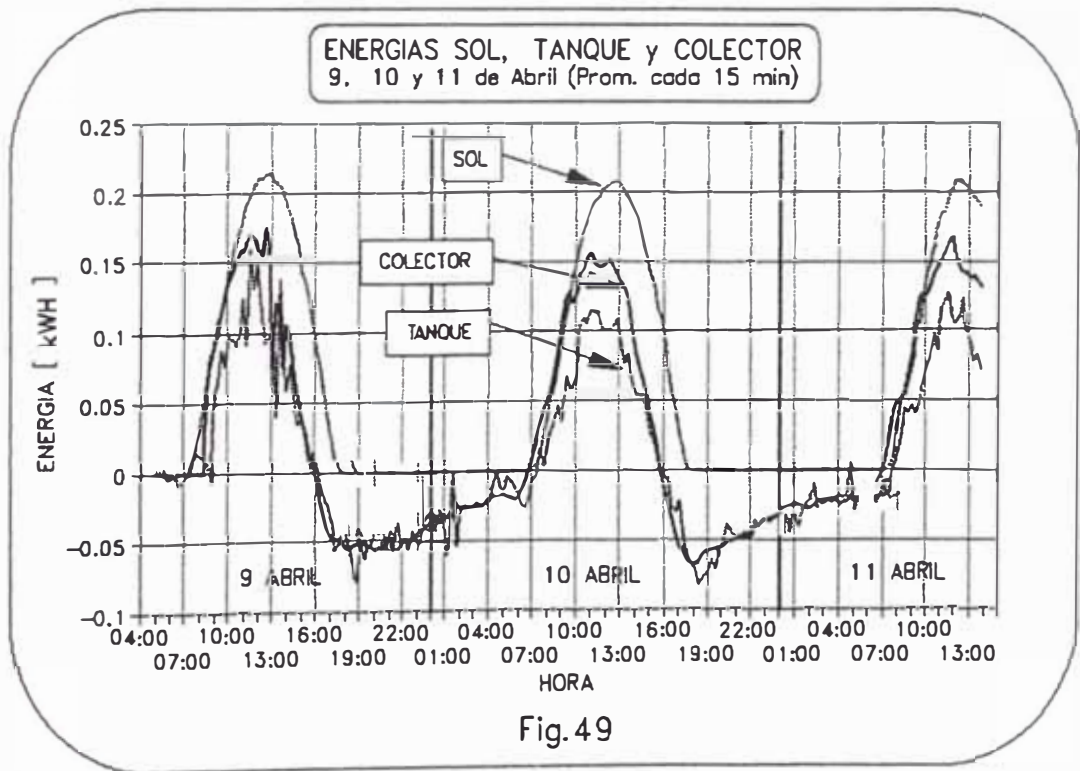


Fig.49

5.- CALCULO ENERGETICO

Para las evaluaciones energéticas se tomó en cuenta únicamente el tiempo de 5 horas durante el cual el sistema gana y acumula energía en el fluido del tanque.

5.1.- CALCULO DE LA ENERGIA INCIDENTE

Con los datos del 3 de Abril promediados cada 15 minutos se calculó la radiación neta H_T [W/m^2] incidente sobre el plano del colector, ecuacion (2.4.7). Seguidamente se calculó la potencia sobre el área del colector $H_T A_C$ en watts [W] y finalmente la energía incidente durante el cuarto de hora correspondiente $H_T A_C dt$. Los promedios de radiación y la energía total se dan al final de la tabla 41.

TABLA 41 5 Hr	D A T O S (3 ABRIL 96)			AREA DE LA PLACA: $A_c = 0.95 m^2$		
	Sobre el Horizonte			Sobre el plano del Colector		
HORA	GLOBAL	DIFUSA	INFRA.	RADIACION	POTENCIA	ENERGIA
Cada 15min	Medido [W/m ²]	Medido [W/m ²]	Medido [W/m ²]	H _T [W/m ²]	H _T .A _C [kW]	H _T .A _C .dt [kWh]
09:20	494	125	362	493	0.468	0.117
09:35	536	153	367	534	0.508	0.127
09:50	582	167	368	580	0.551	0.138
10:05	651	165	366	649	0.617	0.154
10:20	700	172	371	698	0.663	0.166
10:35	740	188	371	737	0.700	0.175
10:50	773	198	376	771	0.732	0.183
11:05	809	204	371	807	0.766	0.192
11:20	828	210	378	826	0.785	0.196
11:35	864	199	379	862	0.819	0.205
11:50	883	189	376	882	0.838	0.209
12:05	894	183	372	892	0.848	0.212
12:20	914	165	379	913	0.868	0.217
12:35	909	157	378	909	0.863	0.216
12:50	908	159	381	908	0.862	0.216
13:05	895	163	376	894	0.850	0.212
13:20	859	167	370	858	0.815	0.204
13:35	848	164	370	847	0.804	0.201
13:50	814	155	375	813	0.772	0.193
14:05	779	158	375	778	0.739	0.185
Promedio	784	172	373	782	0.743	0.186
				Total =>		3.72

La energía total incidente el 3/4/96 sobre el plano del colector durante 5 horas (9:05 a 14:05) fue de 3.72 kWh.

5.2.- ENERGIA GANADA A LA SALIDA DEL COLECTOR

De acuerdo con el método expuesto en el capítulo 2 se procedió a calcular el calor útil y la energía ganada por el fluido a la salida del colector, utilizando con dicho fin la ecuación (2.5.6) en términos del flujo medido. (Tabla 42).

$$Q_{\text{útil}} = \frac{dm}{dt} C_p (T_s - T_e) = \frac{dm}{dt} C_p \Delta T \quad \dots (2.5.6)$$

POTENCIA y ENERGIA GANADA A LA SALIDA DEL COLECTOR
3 ABRIL 96

TABLA 42	Temperaturas en el Colector				Cp = 4.1862 [W/gr.°C]		
HORA	Entrada	Placa	Salida	DT	FLUJO	POTENCIA	ENERGIA
PROMEDIO 15min	Te TEM0	Tp TEM1	Ts TEM2	Ts-Te [°C]	V'=dV/dt [lt/Hr]	q útil [kW]	(q útil)dt [kWh]
09:20	27.6	39.1	42.5	15.3	26.8	0.491	0.123
09:35	29.2	38.8	38.5	16.9	26.7	0.540	0.135
09:50	31.2	41.2	39.9	16.4	26.9	0.530	0.133
10:05	32.3	44.6	42.9	16.4	27.2	0.535	0.134
10:20	33.2	47.0	46.1	16.9	26.9	0.542	0.136
10:35	34.1	48.5	47.6	18.2	26.6	0.581	0.145
10:50	35.4	50.1	48.7	18.6	26.5	0.591	0.148
11:05	36.9	52.2	50.1	18.9	26.9	0.611	0.153
11:20	38.5	54.1	52.3	18.9	27.3	0.616	0.154
11:35	39.8	56.0	54.0	19.3	27.2	0.629	0.157
11:50	41.3	58.0	55.9	19.3	27.3	0.632	0.158
12:05	42.9	59.5	57.4	19.5	27.0	0.631	0.158
12:20	44.6	61.4	59.1	19.7	26.7	0.631	0.158
12:35	46.3	63.3	60.7	18.3	26.7	0.587	0.147
12:50	47.4	65.1	62.4	17.9	22.5	0.484	0.121
13:05	48.2	66.5	64.3	17.5	23.3	0.489	0.122
13:20	49.3	67.3	64.7	16.2	21.3	0.413	0.103
13:35	50.2	67.9	65.3	17.1	21.2	0.433	0.108
13:50	51.3	68.4	65.7	17.1	20.8	0.426	0.106
14:05	51.9	69.0	65.4	21.8	14.0	0.365	0.091
Promedio>	40.6	55.9	54.2	18.0	25.0	0.538	0.134
						Totd =>	2.69

La energía total entregada el 3/4/96 al agua a la salida del colector fue de 2.69 kWh.

5.3.- ENERGIA ACUMULADA EN EL FLUIDO DEL TANQUE

La potencia y la energía útil acumulado en el fluido del tanque (energía ganada por el sistema) se calculó mediante la ecuación (2.5.7) el cual toma en cuenta la energía térmica interna ganada por cada una de las 4 capas de agua en el interior del tanque. (Tabla 43).

$$q_{util} = \sum m_i C_p \frac{\Delta T_i}{\Delta t_i} = \rho A C_p \frac{\sum h_i \Delta T_i}{\Delta t_i} \dots (2.5.7)$$

POTENCIA y ENERGIA UTIL GANADO POR EL SISTEMA
EN EL FLUIDO DEL TANQUE (3 ABRIL)

TABLA 43	Temperaturas en el Tanque [°C]				A=0.38 x 0.38 m²	Σ EN EL TANQUE	
HORA	Altura total del liquido: H = 36cm				SUMA	POTENCIA	ENERGIA
MARCA DE CLASE	Tfondo TEM3	T_10cm TEM4	T_20cm TEM5	T_30cm TEM6	Σ h DT [cm°C]	q útil [kW]	(q útil)dt [kWh]
09:20	27.8	28.4	28.7	28.9			
09:35	28.0	30.1	30.7	30.9	59.93	0.416	0.104
09:50	30.0	31.6	31.7	31.8	44.44	0.308	0.077
10:05	31.7	32.4	32.5	32.6	34.30	0.238	0.059
10:20	32.7	33.7	33.8	34.0	46.22	0.321	0.080
10:35	33.6	35.3	35.7	35.8	59.39	0.412	0.103
10:50	34.9	37.3	37.7	37.8	68.89	0.478	0.119
11:05	36.2	39.0	39.6	39.6	61.80	0.429	0.107
11:20	38.0	41.0	41.5	41.4	66.33	0.460	0.115
11:35	39.6	42.8	43.3	43.3	65.93	0.457	0.114
11:50	41.2	44.7	45.2	45.1	66.27	0.460	0.115
12:05	43.2	46.4	46.9	46.8	62.57	0.434	0.109
12:20	45.0	47.9	48.3	48.3	53.97	0.374	0.094
12:35	46.4	49.4	50.0	49.8	55.41	0.384	0.096
12:50	47.7	51.4	52.1	51.8	70.25	0.487	0.122
13:05	49.0	53.4	53.9	53.7	63.53	0.441	0.110
13:20	50.4	54.5	55.6	55.5	56.88	0.395	0.099
13:35	52.1	55.9	57.3	57.2	57.55	0.399	0.100
13:50	53.2	57.4	58.7	58.4	47.96	0.333	0.083
14:05	54.2	58.9	59.9	59.6	44.45	0.308	0.077
14:05	55.1	59.9	60.6	60.3	30.04	0.208	0.052
Promedios	42.1	45.2	45.8	45.7	55.81	0.387	0.097
						Total =>	1.94

La energía útil total acumulado el 3/4/96 en el fluido del tanque durante las 5 horas consideradas fue de 1.94 kWh

AMPLIACION DE LA TABLA 43
POTENCIA y ENERGIA UTIL, ACUMULADO EN EL FLUIDO DEL TANQUE

TABLA 44		Temperaturas en el Tanque: TEM3, TEM4, TEM5 y TEM6 [°C]										Area base = 0.38 x 0.38 m²		Σ EN EL TANQUE		
HORA	Altura total del liquido: H = h3 + h4 + h5 + h6 = 5 + 10 + 10 + 11 = 36cm	T-10c		T-20c		T-30c		Tf-Ti		h5=10		h6=11		SUMA	POTENCIA	ENERGIA
MARCA DE CLASE	Tf-Ti	h3=5	h4=10	h5=10	h6=11	TEM3	TEM4	TEM5	TEM6	DT3	DT4	DT5	DT6	Σ h DT [cm °C]	q útil [kW]	(q útil)dt [kWh]
09:05	27.8	28.4	28.7	28.7	28.9	28.4	30.1	30.7	30.9	2.0	2.1	2.0	2.0	59.93	0.416	0.104
09:20	28.0	0.2	0.8	1.6	16.1	30.1	30.7	30.7	30.9	2.0	2.1	2.0	2.0	59.93	0.416	0.104
09:35	30.0	2.0	10.2	1.5	15.3	31.6	31.7	31.7	31.8	0.9	1.0	0.9	0.9	44.44	0.308	0.077
09:50	31.7	1.7	8.3	0.8	8.5	32.4	32.5	32.5	32.6	0.8	0.8	0.8	0.8	34.30	0.238	0.059
10:05	32.7	1.0	5.0	1.3	12.9	33.7	33.8	33.8	34.0	1.4	1.3	1.4	1.4	46.22	0.321	0.080
10:20	33.6	1.0	4.8	1.6	16.2	35.3	35.7	35.7	35.8	1.8	1.9	1.8	1.8	59.39	0.412	0.103
10:35	34.9	1.2	6.2	2.0	19.9	37.3	37.7	37.7	37.8	2.1	2.0	2.1	2.1	68.89	0.478	0.119
10:50	36.2	1.3	6.5	1.7	17.1	39.0	39.6	39.6	39.6	1.9	1.9	1.8	1.8	61.80	0.429	0.107
11:05	38.0	1.8	8.9	1.9	19.5	41.0	41.5	41.5	41.4	1.7	1.9	1.7	1.7	66.33	0.460	0.115
11:20	39.6	1.7	8.3	1.8	18.5	42.8	43.3	43.3	43.3	1.9	1.8	1.9	1.9	65.93	0.457	0.114
11:35	41.2	1.6	8.0	1.9	18.6	44.7	45.2	45.2	45.1	1.9	1.9	1.9	1.9	66.27	0.460	0.115
11:50	43.2	2.0	10.0	1.7	17.1	46.4	46.9	46.9	46.8	1.7	1.7	1.7	1.7	62.57	0.434	0.109
12:05	45.0	1.8	8.8	1.5	15.3	47.9	48.3	48.3	48.3	1.4	1.4	1.4	1.4	53.97	0.374	0.094
12:20	46.4	1.4	7.2	1.5	14.6	49.4	50.0	50.0	49.8	1.6	1.6	1.6	1.6	55.41	0.384	0.096
12:35	47.7	1.3	6.6	2.0	19.8	51.4	52.1	52.1	51.8	2.0	2.1	2.0	2.0	70.25	0.487	0.122
12:50	49.0	1.2	6.1	2.0	19.9	53.4	53.9	53.9	53.7	1.8	1.8	1.8	1.8	63.53	0.441	0.110
13:05	50.4	1.4	7.2	1.2	11.6	54.5	55.6	55.6	55.5	1.9	1.8	1.9	1.9	56.88	0.395	0.099
13:20	52.1	1.7	8.3	1.3	13.3	55.9	57.3	57.3	57.2	1.7	1.7	1.7	1.7	57.55	0.399	0.100
13:35	53.2	1.2	5.8	1.6	15.8	57.4	58.7	58.7	58.4	1.2	1.3	1.2	1.2	47.96	0.333	0.083
13:50	54.2	1.0	4.9	1.4	14.4	58.9	59.9	59.9	59.6	1.1	1.3	1.1	1.1	44.45	0.308	0.077
14:05	55.1	0.9	4.6	1.0	10.4	59.9	60.6	60.6	60.3	0.7	0.7	0.7	0.7	30.04	0.208	0.052
Promedio	42.1	1.4	6.8	1.6	15.7	45.2	45.8	45.8	45.7	1.6	1.6	1.6	1.6	55.81	0.387	0.097
Total =>															1.94	

3 ABRIL 96

Acumulado en el agua del Tanque

6.- BALANCE y EFICIENCIA DEL SISTEMA

Considerando las dos últimas columnas de las tablas 41, 42 y 43 se puede finalmente juntar la información en una nueva tabla, el cual contiene la energía incidente, la energía ganada a la salida del colector y la energía acumulada en el fluido del tanque, además contiene las potencias respectivas, sus promedios y las energías totales.

SINTESIS DE LOS CALCULOS ANTERIORES (3 ABRIL)

Potencia y Energía, incidente y ganadas en el Colector y el Fluido del Tanque

TABLA 45	POTENCIA GANADA			ENERGIA GANADA		
	HORA	Sol	Colector	FluidoTanque	Incidente	Colector
MARCA DE	Ht.Ac	q útil	q útil	Ht.A dt	mCpDT	mCpDT
CLASE	[kW]	[kW]	[kW]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
09:20	0.468	0.491	0.416	0.117	0.123	0.104
09:35	0.508	0.540	0.308	0.127	0.135	0.077
09:50	0.551	0.530	0.238	0.138	0.133	0.059
10:05	0.617	0.535	0.321	0.154	0.134	0.080
10:20	0.663	0.542	0.412	0.166	0.136	0.103
10:35	0.700	0.581	0.478	0.175	0.145	0.119
10:50	0.732	0.591	0.429	0.183	0.148	0.107
11:05	0.766	0.611	0.460	0.192	0.153	0.115
11:20	0.785	0.616	0.457	0.196	0.154	0.114
11:35	0.819	0.629	0.460	0.205	0.157	0.115
11:50	0.838	0.632	0.434	0.209	0.158	0.109
12:05	0.848	0.631	0.374	0.212	0.158	0.094
12:20	0.868	0.631	0.384	0.217	0.158	0.096
12:35	0.863	0.587	0.487	0.216	0.147	0.122
12:50	0.862	0.484	0.441	0.216	0.121	0.110
13:05	0.850	0.489	0.395	0.212	0.122	0.099
13:20	0.815	0.413	0.399	0.204	0.103	0.100
13:35	0.804	0.433	0.333	0.201	0.108	0.083
13:50	0.772	0.426	0.308	0.193	0.106	0.077
14:05	0.739	0.365	0.208	0.185	0.092	0.052
Promedios	0.743	0.538	0.387	0.186	0.134	0.097
5 Hr	T O T A L E S =>			3.72	2.69	1.94
				Sol	Colector	Tanque

6.1.- BALANCE

Con los datos anteriores y utilizando la ecuación (2.5.8) es posible realizar el balance energético final en forma instantanea y como balance total para el periodo de 5 horas. Estos cálculos permiten ademas establecer las pérdidas en el colector, las pérdidas de todo el sistema y las pérdidas en el tanque.

$$Q_{perdido} = H_T \bar{A}_C \langle \tau \alpha \rangle - Q_{util} \quad \dots (2.5.8)$$

GANANCIAS y PERDIDAS DE POTENCIA

El BALANCE se realiza en terminos de las potencias según la formula 2.5.8 el cual permite calcular las pérdidas instantaneas de potencia de todo el sistema, en la placa, en el vidrio y en el tanque. Se repite estos cálculos en terminos Energeticos en la tabla 47.

TABLA 46	GANANCIAS				PERDIDAS			
	POTENCIA		q útil		q perdido			
	HORA	Placa	Colector	FluidoTanque	Vidrio	Colector	Sistema	TanqueTubo
MARCA DE	P1	P2=0.8P1	P3	P4	P1-P2	P1-P3	P1-P4	Sist-Colec
CLASE	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
09:20	0.468	0.374	0.491	0.416	0.094	-0.023	0.052	0.075
09:35	0.508	0.406	0.540	0.308	0.102	-0.033	0.199	0.232
09:50	0.551	0.440	0.530	0.238	0.110	0.020	0.313	0.292
10:05	0.617	0.494	0.535	0.321	0.123	0.082	0.296	0.214
10:20	0.663	0.530	0.542	0.412	0.133	0.121	0.251	0.130
10:35	0.700	0.560	0.581	0.478	0.140	0.119	0.222	0.103
10:50	0.732	0.586	0.591	0.429	0.146	0.141	0.303	0.163
11:05	0.766	0.613	0.611	0.460	0.153	0.156	0.306	0.151
11:20	0.785	0.628	0.616	0.457	0.157	0.168	0.327	0.159
11:35	0.819	0.655	0.629	0.460	0.164	0.190	0.359	0.169
11:50	0.838	0.670	0.632	0.434	0.168	0.205	0.403	0.198
12:05	0.848	0.678	0.631	0.374	0.170	0.216	0.473	0.257
12:20	0.868	0.694	0.631	0.384	0.174	0.237	0.483	0.247
12:35	0.863	0.691	0.587	0.487	0.173	0.276	0.376	0.099
12:50	0.862	0.690	0.484	0.441	0.172	0.378	0.421	0.043
13:05	0.850	0.680	0.489	0.395	0.170	0.361	0.455	0.094
13:20	0.815	0.652	0.413	0.399	0.163	0.403	0.416	0.013
13:35	0.804	0.643	0.433	0.333	0.161	0.371	0.471	0.101
13:50	0.772	0.618	0.426	0.308	0.154	0.346	0.464	0.118
14:05	0.739	0.591	0.365	0.208	0.148	0.374	0.531	0.157
Promedios	0.743	0.595	0.538	0.387	0.149	0.205	0.356	0.151
5 Hr	Incidente	Placa	Colector	FluidoTanque	Vidrio	Colector	Sistema	TanqueTubo

$\langle \tau \alpha \rangle = 0.80$

6.2.- EFICIENCIA

Para el cálculo de la eficiencia del sistema es suficiente dividir la energía acumulada en el tanque entre la energía incidente ecuación (2.6.2) y para calcular la eficiencia del colector se divide la energía ganada a la salida de él entre la energía incidente ecuación (2.6.3). Los resultados instantáneos y totales se da en la tabla 47 y la evolución en el tiempo se puede apreciar en los gráficos siguientes.

$$\eta = \frac{\frac{dm}{dt} C_p (T_s - T_o)}{H_T A_c}$$

(2.6.2)

$$\eta = \frac{\rho A C_p \frac{\sum h_i \Delta T_i}{\Delta t}}{H_T A_c}$$

(2.6.3)

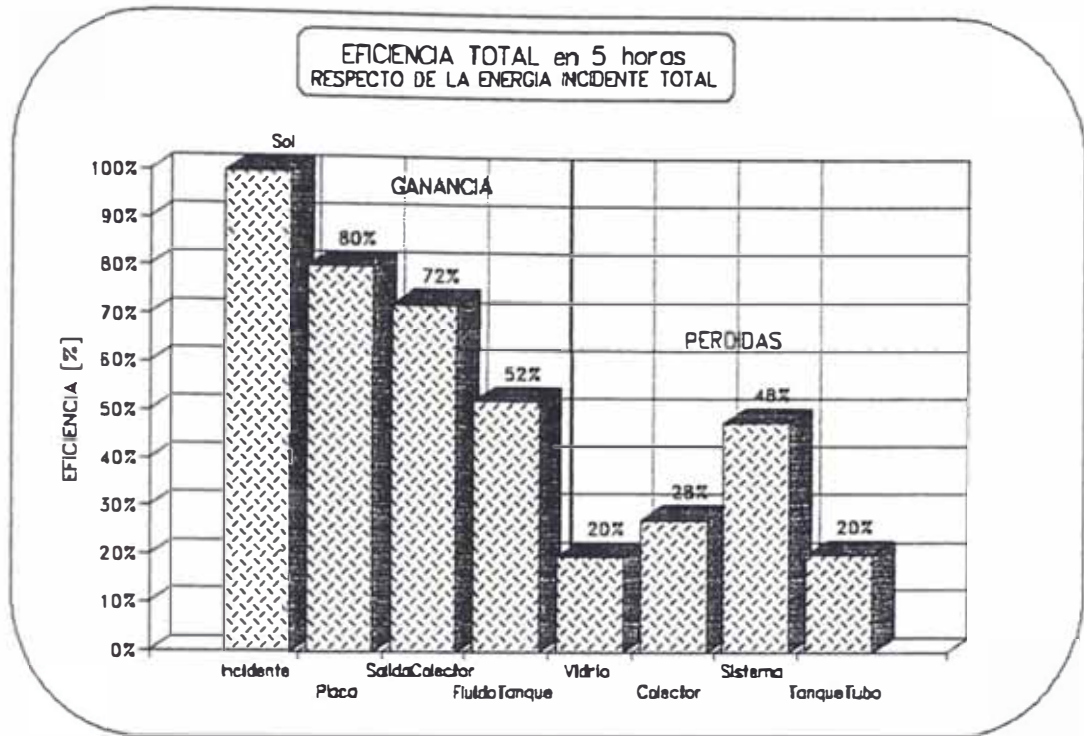
GANANCIAS y PERDIDAS DE ENERGIA
CALCULO DE LA EFICIENCIA DEL SISTEMA Y DEL COLECTOR

TABLA 47	GANANCIAS				PERDIDAS			
	ENERGIA		ENERGIA ÚTIL		ENERGIAS perdidos			
	Sol	Placo	SolidoColec	FluidoTanque	Vidrio	Colector	Sistema	Tanque
MARCA DE	E1	E2=0.8E	E3	E4	E1-E2	E1-E3	E1-E4	Sist-Cole
CLASE	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
09:20	0.117	0.094	0.123	0.104	0.023	-0.006	0.013	0.019
09:35	0.127	0.102	0.135	0.077	0.025	-0.008	0.050	0.058
09:50	0.138	0.110	0.133	0.059	0.028	0.005	0.078	0.073
10:05	0.154	0.123	0.134	0.080	0.031	0.021	0.074	0.053
10:20	0.166	0.133	0.136	0.103	0.033	0.030	0.063	0.033
10:35	0.175	0.140	0.145	0.119	0.035	0.030	0.056	0.026
10:50	0.183	0.146	0.148	0.107	0.037	0.035	0.076	0.041
11:05	0.192	0.153	0.153	0.115	0.038	0.039	0.077	0.038
11:20	0.196	0.157	0.154	0.114	0.039	0.042	0.082	0.040
11:35	0.205	0.164	0.157	0.115	0.041	0.047	0.090	0.042
11:50	0.209	0.168	0.158	0.109	0.042	0.051	0.101	0.050
12:05	0.212	0.170	0.158	0.094	0.042	0.054	0.118	0.064
12:20	0.217	0.174	0.158	0.096	0.043	0.059	0.121	0.062
12:35	0.216	0.173	0.147	0.122	0.043	0.069	0.094	0.025
12:50	0.216	0.172	0.121	0.110	0.043	0.095	0.105	0.011
13:05	0.212	0.170	0.122	0.099	0.042	0.090	0.114	0.024
13:20	0.204	0.163	0.103	0.100	0.041	0.101	0.104	0.003
13:35	0.201	0.161	0.108	0.083	0.040	0.093	0.118	0.025
13:50	0.193	0.154	0.106	0.077	0.039	0.087	0.116	0.029
14:05	0.185	0.148	0.091	0.052	0.037	0.094	0.133	0.039
PROMEDIO	0.186	0.149	0.134	0.097	0.037	0.051	0.089	0.038
TOTAL =>	3.72	2.97	2.69	1.94	0.74	1.03	1.78	0.75
EFICIENCIA	100%	80%	72%	52%	20%	28%	48%	20%
5 Hr	Incidente	Placo	S. Colector	FluidoTanque	Vidrio	Colector	Sistema	Tanque

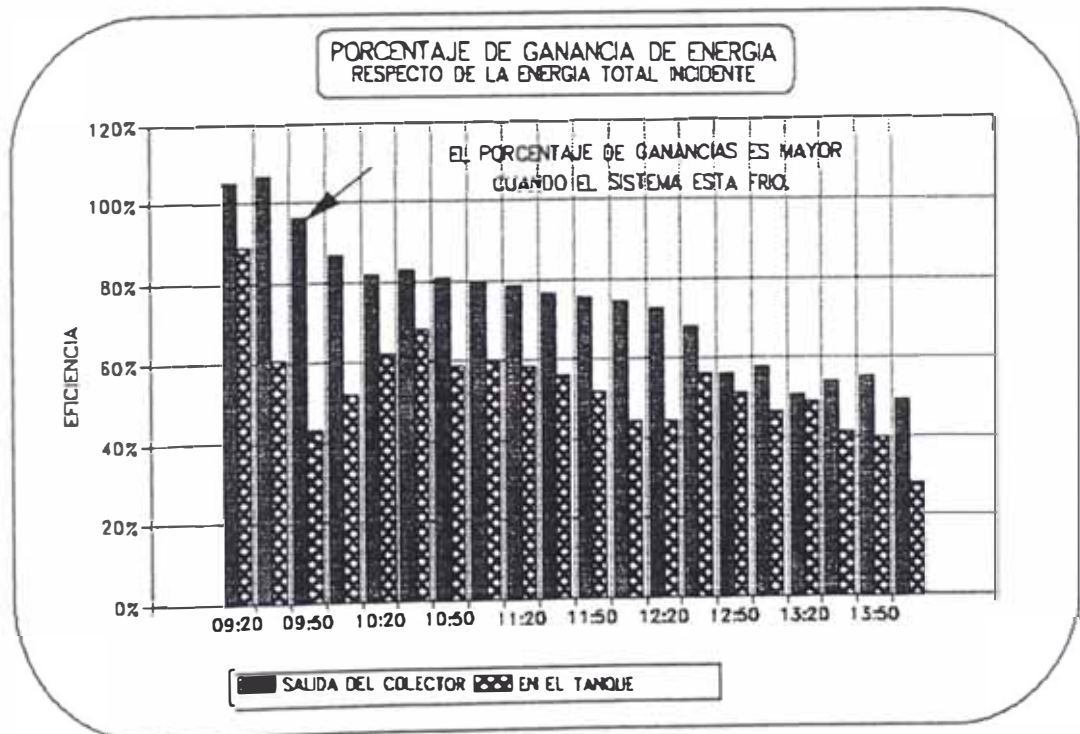
Balance energético

L U S A . S O N I A L E Z R A M R E I

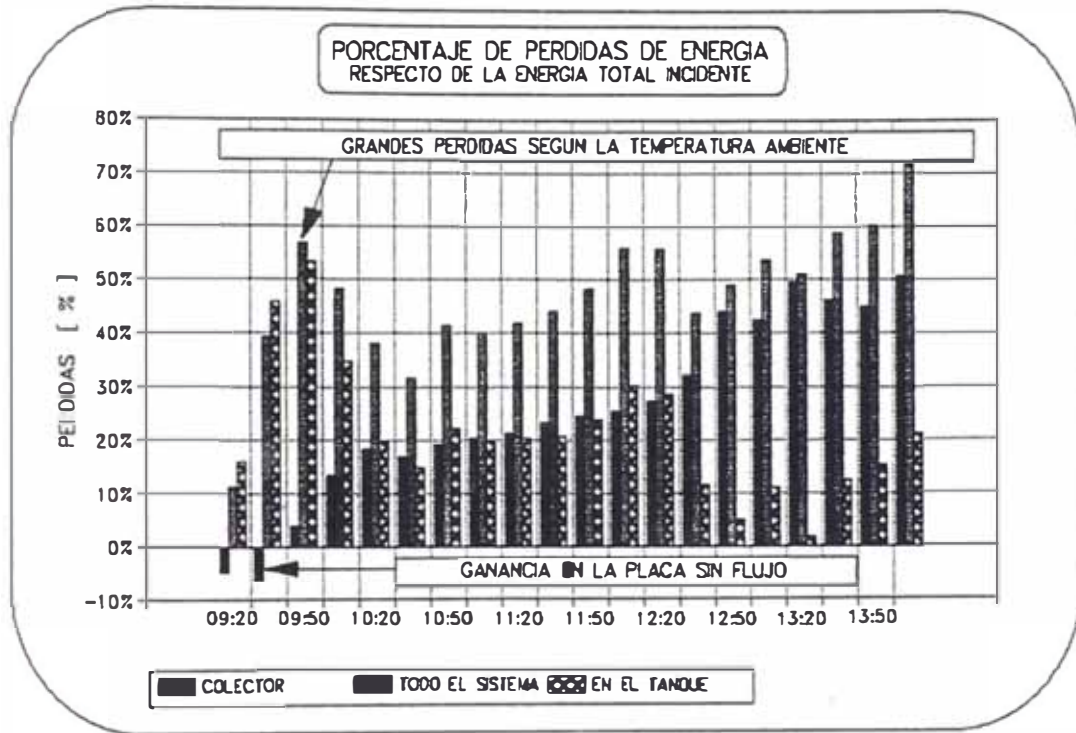
La energía total incidente durante las 5 horas representa la energía disponible (100%)



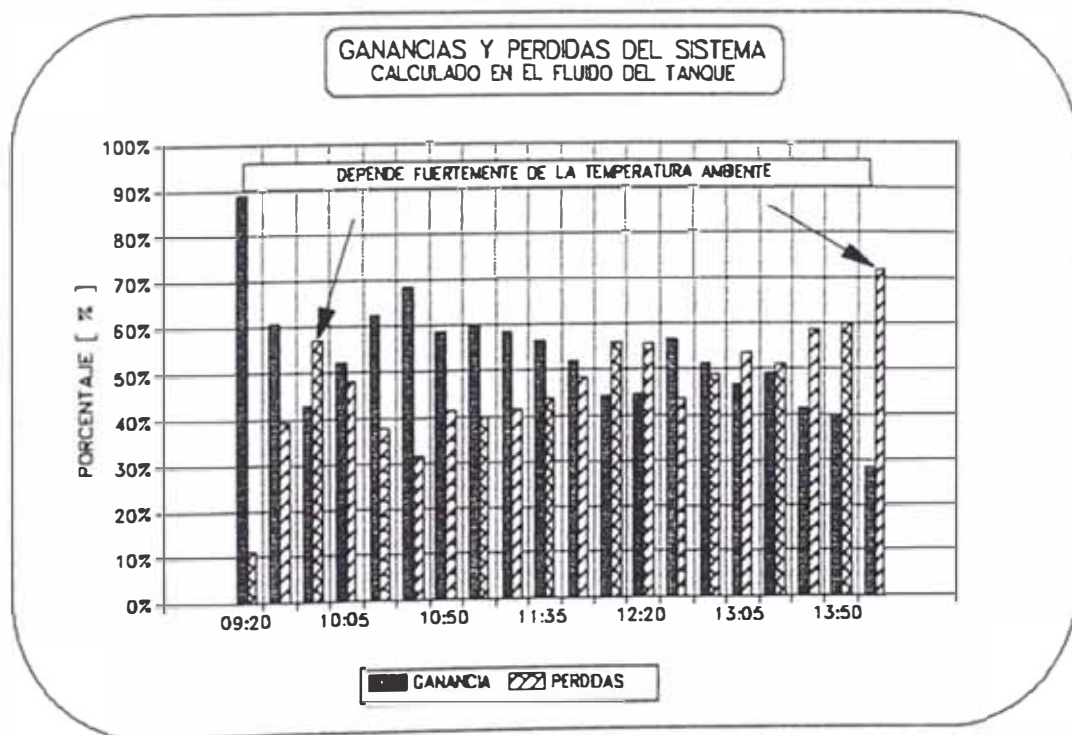
Al inicio ya existia energía acumulada en la placa cuando la bomba de agua empezó a funcionar.



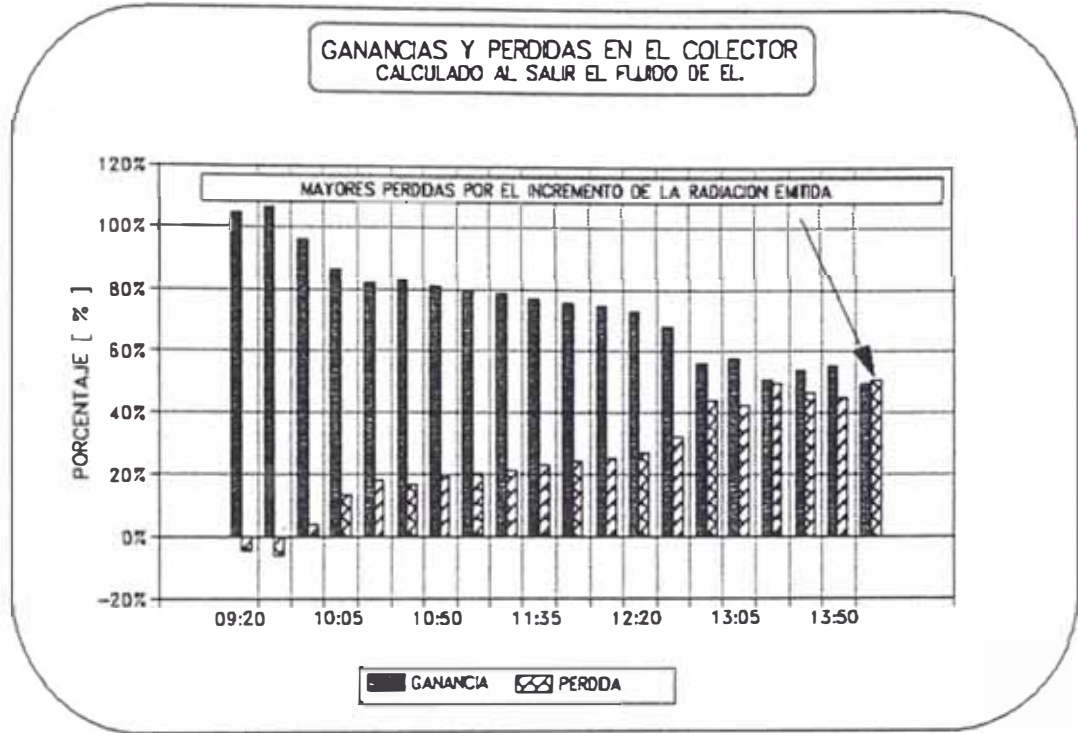
Al final las pérdidas se incrementan por estar a mayor temperatura y por que disminuye la radiación incidente.



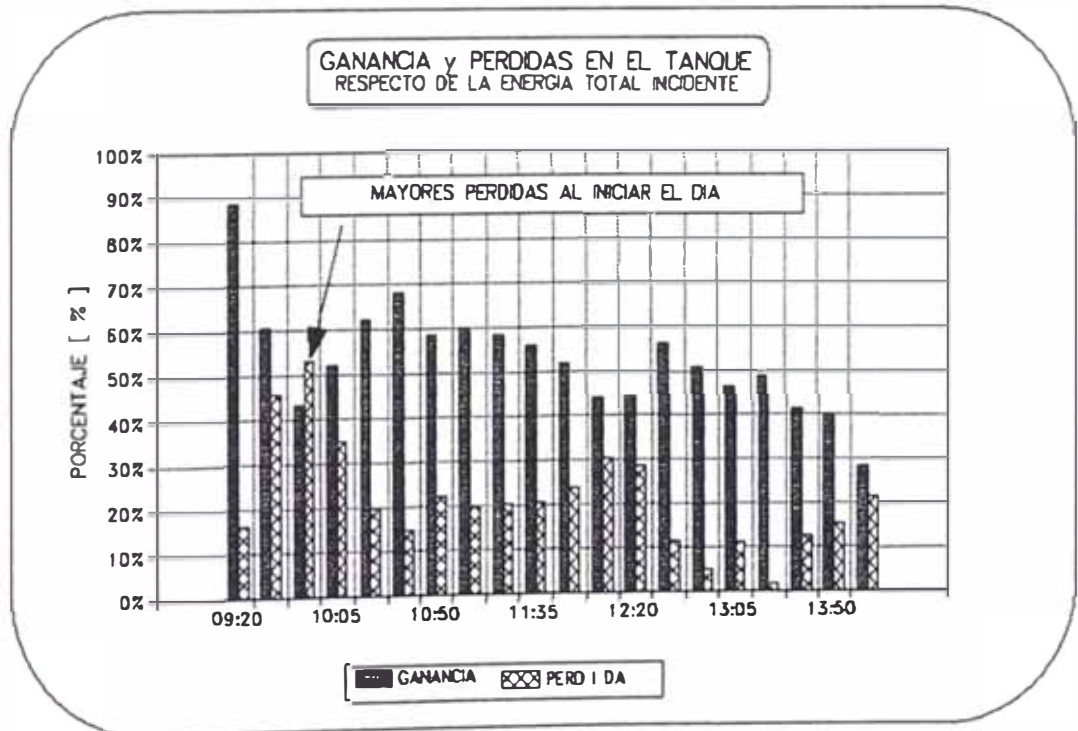
El fluido del tanque gana energia rápidamente pero luego las pérdidas se incrementan. Falta un mejor aislamiento.



A mayor temperatura del fluido menor ganancia y mayores pérdidas por re-radiación de la placa del colector.



La ganancia en el fluido depende de su diferencia de temperatura con el ambiente y de la fuerte radiación solar.



7.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos en la implementación de cada una de las etapas se puede establecer las siguientes conclusiones:

- 1.- Es adecuado y suficiente (por su eficiencia y bajo costo), la utilización de un computador modelo XT para este tipo de aplicaciones, donde se requiere que el CPU se encargue de la lectura del conjunto de datos durante largos periodos y con un error mínimo.
- 2.- El conversor A/D de 12 Bits permite medir la mas mínima fluctuación de la señal censada y con una alta velocidad de respuesta como se demuestra en los resultados experimentales de las figuras 4 y 5.
- 3.- La respuesta de amplificación de los operacionales LM351 es totalmente lineal en un amplio rango de trabajo excepto cerca del limite de saturación (Fig. 11, 12, y 13). Sin embargo cuando se instalan en un circuito es necesario contar con un buen "pozo de tierra" para evitar las oscilaciones del voltaje de la línea de referencia (tierra), que puede ser del mismo orden de magnitud de la señal a ser amplificada (mV).
- 4.- El aislamiento eléctrico de los sensores de temperatura LM335 permite su utilización sin ningún inconveniente al interior del liquido, además su sensibilidad es aceptable y las oscilaciones térmicas se promedian adecuadamente mediante el programa de computo como lo demuestra implícitamente los cálculos realizados.
- 5.- El método de "Auto_reset" diseñado y utilizado en la interfase del Flujímetro dio un excelente resultado toda vez que mediante una sola señal de pulso fue y es

Conclusiones

L U I S A . G O N Z A L E Z R A N I A E Z

posible "resetear" el contador e iniciar un nuevo proceso de medida de la frecuencia del Flujiómetro.

- 6.- La programación mediante módulos ha permitido una gran flexibilidad en el tratamiento de datos, además cada subprograma o módulo se puede utilizar independientemente para otras aplicaciones como por ejemplo el módulo de gráficos.
- 7.- Basados en los datos del 13 de Julio (Fig. 30 y 31, página 65) se concluyó que era necesario utilizar una bomba de agua para mantener un flujo forzado adecuado, que permita transportar la energía ganada en la placa y poder así evaluar la eficiencia del sistema.
- 8.- Las Conclusiones anteriores demuestran que se ha cumplido con cada uno de los objetivos específicos de cada etapa de la interfase.
- 9.- Por otro lado, el tiempo de 30 segundos entre dato y dato, ha permitido un seguimiento detallado y casi continuo del proceso de transferencia de energía. Esta abundante cantidad de datos de la evolución del sistema en función del tiempo permite sacar promedios a intervalos adecuados (15 min.) y los valores así obtenidos reflejan con gran precisión los cambios físicos que están ocurriendo.
- 10.- La evaluación del flujo ha permitido utilizar un método más directo para evaluar la energía útil y a partir de él fue posible calcular las pérdidas ya sea en el colector, en todo el sistema, en el tanque o en el vidrio, por intervalos y como totales.
- 11.- Fue posible determinar la eficiencia del sistema en forma instantánea y como promedio del día debido a que se seleccionó adecuadamente los parámetros físicos a

Conclusiones

L U I S A . G O N Z A L E Z R A N I R E Z

ser medidos, como son el flujo, la radiación y la distribución de temperaturas en el sistema.

- 12.- Podemos notar que existen aproximadamente cinco horas de ganancia de energía y que luego el colector trabaja como refrigerante al ser mayor la energía emitida que la energía recibida.
- 13.-El coeficiente $\langle \tau \alpha \rangle$ es igual a 0.80, esto indica que el 20% de la energía incidente sobre el colector se pierde por las múltiples reflexiones entre la placa y la cubierta de vidrio, por lo tanto la energía recibida por la placa en las cinco horas de ese día es de solo 2.97 [kWh]
- 14.- El 80% de la energía incidente llega a la placa (primer gráfico de barras), siendo el 72% transferido al fluido en el colector y llega a acumularse en el agua del tanque solo 52% como energía térmica ganada por todo el sistema.
- 15.- El porcentaje total de pérdidas de todo el sistema alcanza así el 48%, de los cuales 28% se pierde en el colector y 20% se pierde en el tubo y el tanque.
- 16.- Descontando el 20% de pérdidas debido al coeficiente $\langle \tau \alpha \rangle$ del vidrio queda solo 8% de pérdidas de los 28% del colector. Este 8% se pierde por las paredes laterales y principalmente por re-radiación al incrementarse la temperatura de la placa y del fluido como lo demuestra el gráfico de barras del colector (Pág.87).
- 17.- Una parte del 20% que se pierde en el tubo y el tanque se podría recuperar mejorando el aislamiento de los tubos y agregando una caja de madera para el exterior del tanque.

Conclusiones

L U I S A . G O N Z A L E Z R A M I R E Z

- 18.- Se puede notar claramente que el sistema evoluciona en función del tiempo. Así, por ejemplo el porcentaje de ganancia de energía es mayor por las mañanas y luego disminuye paulatinamente a pesar del incremento de la radiación solar al medio día (segundo gráfico de barras Pág.85). Esto indica que la capacidad específica del fluido disminuye con el incremento de la temperatura.
- 19.- Finalmente la energía total incidente sobre el colector durante las 5 horas elegidas fue de 3.72 [kWh], de los cuales 2.97 [kWh] llegan a la placa del colector, 2.69 [kWh] son transferidos al fluido y solamente es almacenado en el agua del tanque 1.94 [kWh] por lo que la eficiencia de todo el sistema es de 52%.
- 20.- Por último se concluye que se ha cumplido con los objetivos generales de control y evaluación de los parámetros físicos que intervienen en el modelo diseñado de la cocina solar.

7.2.- RECOMENDACIONES

- 1.- Para mejorar la ganancia de energía o eficiencia del sistema es recomendable realizar un mejor aislamiento en los tubos y de la parte externa del tanque, y así evitar las pérdidas actualmente existentes.
- 2.- Probar el sistema con otro tipo de fluido como por ejemplo aceite y otras alturas del tanque.
- 3.- Probar y mejorar el pulido de las superficies de los reflectores de modo que se incremente fuertemente la reflexión en estas superficies y analizar la eficiencia para diversos ángulos de reflexión.
- 4.- Tomar datos en diversas estaciones del año.

REFERENCIAS

- [1] ANGÚLO, JOSE M. - Microprocesadores - *Editorial Paraninfo, España, 1983.*
- [2] AGNIHOTRI & GUPTA - Solar Selective Surface - *Wiley & Sons, 1981.*
- [3] DESIGN ENGINEERS - The TTL Data Book - *Texas Instruments, Copyright 1976.*
- [4] DUFFIE, JOHN & BECKMAN, WILLIAM - Solar Energy Laboratory- *University of Wisconsin, 1974.*
- [5] DUFFIE, JOHN & BECKMAN, WILLIAM - Solar Engineering Termal Processes - *Wiley interscience, Wiley & Sons.*
- [6] DUNTEMANN, JEFF - La Biblia del Turbo Pascal - Ediciones Anaya Multimedia, 1992.
- [7] FARRINGTON, DANIELS - Uso directo de la Energía Solar - *Ediciones H. Blume Rosario, Madrid, 1975.*
- [8] ISERMANN R. Digital Control System - *Springer & Verlag, 1984.*
- [9] MANRIQUE, JOSE - Energía Solar, Fundamentos y Aplicaciones Fototérmicas - *Ed. Harla, México, 1984.*
- [10] MAYNARD KONG - Lenguaje de Programación PASCAL - *Pontificia Universidad Catolica, Fondo editorial, 1986.*
- [11] MEINEL, ADEN & MEINEL MARJORIE - Applied Solar Energy, an introduction - *Addison Wesley, 1979.*
- [12] MUNDO ELECTRONICO - Transductores y Medidores Electrónicos - *Ed. Marcombo S.A. España, 1983.*
- [13] McVEIGH, J.C. - Sun Power, an Introduction to the Applications of Solar Energy - *Pergamon press, 1979.*

Bibliografía

L U I S A . G O N Z A L E Z R A N I E R I

- [14] O'BRIEN, STEPHEN - Turbo Pascal 6 - *McGraw Hill, Ed. Interamericana de España, 1991.*
- [15] O'CONNOR, THOMAS - Thermal Radiation For Hot Surfaces Measured - *Thesis, Master of Science, U. Arizona, 1982.*
- [16] OGATA K. Ingenieria de Control Moderno - *Prentice Hall, 1984.*
- [17] ROOS, ARNE Determination of Total Hemispherical Emittance of Absorber Surfaces - *Teknikum, 1983.*
- [18] SKOOG, DUGLAS & LEARY, JAMES - Análisis Instrumental - *McGraw Hill, cuarta edición, 1994.*
- [19] TAUB HERBERT & SCHILLING DONALD Digital Integrated Electronics - *McGraw Hill, 1977.*
- [20] VALERA, ANIBAL - Energía Solar, Teoria & Practica - Ed. Ciencias, UNI, 1990.
- [21] VIGIL, OSVALDO - Energía Solar - *Editciones Científico Tecnico, La Habana, 1985.*
- [22] WEBSTER J. Interfacing Sensors to the IBM.PC *Prentice Hall, 1988.*
- [23] WIEDER - An Introduction To Solar Energy For Scientists And Engineers - *Wiley & Sons, 1981.*