

**Sistema de control y adquisición de datos para la operación de un banco de ensayos de concentradores de radiación solar**

Carlos Tesone, Héctor Bajano +, Laura Dawidowski\*  
División Energía Solar - CNEA  
Av del Libertador 8250, (1429) - Buenos Aires

**Resumen:**

Dentro del programa de desarrollo de sistemas solares para el calentamiento de fluidos a temperaturas intermedias (150-300 °C), en marcha en la División Energía Solar de la CNEA, se ha instalado un banco de ensayos de concentradores de radiación solar. El mismo es operado con dos líneas de concentradores cilíndrico parabólicos de foco lineal de aproximadamente 40 m<sup>2</sup> de superficie reflectante cada uno.

Se prevé la realización de ensayos comparativos de ambas líneas bajo diversas condiciones de operación: a caudal del fluido constante y a temperatura del fluido de entrada o salida del receptor constante.

Para instrumentar estos ensayos se desarrolló un programa de control y adquisición de datos. El mismo realiza las siguientes tareas: control automático del proceso; verificación de las condiciones mínimas de operación; detección, evaluación y corrección de los inconvenientes; almacenamiento de los datos obtenidos en disco para su posterior evaluación; información visual permanente de las variables del sistema.

El programa ha sido desarrollado de manera modular, lo que hace posible su utilización en una instalación industrial, en la que solo se debería tener en cuenta un factor de escala para su adaptación, conservando la estructura desarrollada. Dado que este programa fue concebido para la operación de un banco de ensayos de concentradores de radiación solar, permite su utilización con otros tipos de concentradores de radiación solar (paraboloide de revolución, filo a espejo facetado, etc.).

**Introducción:**

En la División Energía Solar de la CNEA se ha instalado un banco de ensayos de concentradores de radiación solar, consta de un circuito térmico y de un sistema de control y adquisición de datos, que es operado con dos líneas de concentradores cilíndrico parabólicos de foco lineal: una diseñada y construida en la Argentina, y otra por ENDESA (Empresa Nacional de Electricidad S.A. - España) de aproximadamente 45 m<sup>2</sup> de superficie reflectante cada una. Esta última provista en el marco del "Acuerdo Especial de Cooperación para el Desarrollo de la Tecnología de Concentradores de Radiación Solar", suscripto entre CNEA y ENDESA.

Se prevé la realización de ensayos comparativos entre ambas líneas de concentradores, para lo cual se desarrolló un programa para control y adquisición de datos que permitiera la:

.....  
+ Miembro de la Carrera de Personal de Apoyo del CONICET.  
\* Becaria de C.I.C.

operación del banco de ensayos; la realización de los ensayos previstos (caudal del fluido constante y a temperatura de entrada o salida del receptor constante); y el almacenamiento de las lecturas de las variables del sistema (caudales, presiones, temperaturas, eficiencias; etc.) en disco para su posterior análisis.

Este programa fue diseñado para ser fácilmente adaptable en una instalación industrial y permitir la operación de diferentes tipos de concentradores.

#### Descripción del circuito térmico:

Las líneas de concentradores cilíndrico parabólicos se encuentran instaladas en el banco de ensayos (ver ref 1), y se hallan conectadas en paralelo entre sí y estas en serie con un circuito térmico. Este consta de una bomba centrífuga para la circulación del fluido a través de la instalación; un tanque calefactor-accumulador necesario para llegar a la temperatura mínima de operación de las líneas y para mantener constante la temperatura de entrada a las mismas, un filtro de fluido; un tanque de expansión para permitir la dilatación del fluido debido al aumento de la temperatura; un tanque recolector de purgas; y un sistema de enfriamiento compuesto por un intercambiador fluido agua y una torre de enfriamiento para refrigerar el agua que circula por el intercambiador.

#### Sistema de control y adquisición de datos:

Para el sistema de control y adquisición de datos se ha desarrollado un programa en lenguaje "Basic" para una computadora del tipo "PC XT" con una plaqueta de comunicaciones "IEEE 488", una impresora de 80 columnas, y una unidad de adquisición de datos y control, con 10 canales de entradas analógicas y 20 digitales, 16 actuadores, y 2 salidas analógicas.

Dicho programa satisface los siguientes requerimientos:

#### a) Control automático del proceso

Puede operar ambas líneas de concentradores y el banco de ensayos en forma automática y manejar las probables situaciones durante las experiencias en las que se debe mantener constante: el caudal o la temperatura de entrada o de salida de los receptores.

Al inicio de su ejecución pide al operador seleccionar la línea de concentradores, que puede ser la ENDESA, la argentina, o ambas en paralelo, y el tipo de ensayo. Una vez aprobado esto se ingresan los parámetros del ensayo (caudal de las líneas, temperaturas de entrada o salida de los receptores).

Al comienzo de la operación del banco de ensayos, el sistema acciona 2 válvulas motorizadas que posicionan el circuito en "by pass" para el precalentamiento del fluido, luego por medio de contactores pone en funcionamiento la bomba de circulación de la torre de enfriamiento de agua que refrigera la bomba de circulación del fluido y el agua del intercambiador fluido agua, luego enciende la bomba de circulación del fluido y conecta las

resistencias del tanque calefactor acumulador. Cuando la temperatura del fluido llega a 100 °C se está en condiciones de bombear a las líneas de concentradores.

El programa dispone de un sistema de interrupciones conectado a las teclas de función de la computadora que permite al operador seleccionar una secuencia de operaciones predeterminadas, por ejemplo: habilitar la circulación de fluido a través de los receptores, enfocar las líneas, etc..

Por medio de válvulas motorizadas se regula, según la precisión requerida en cada ensayo, el caudal de fluido que es bombeado a las líneas.

Además controla una válvula de tres vías que juntamente con las de "by pass" determinan el circuito óptimo de circulación del fluido según el caudal de operación requerido.

Una vez realizada esta operación comienza el ensayo seleccionado. Para ensayos a caudal constante la unidad de control y adquisición de datos por medio de uno de sus canales lee el caudal que circula por los receptores y el programa actúa sobre las salidas analógicas que manejan las válvulas reguladoras de caudal, haciendo esto en forma proporcional hasta que el caudal se encuentra dentro de los límites permitidos ( $\pm 0.1\%$  del caudal de ensayo) y luego lo verifica para mantenerlo constante, y de ser necesario realiza la corrección.

En el caso de ensayo de temperatura de entrada al receptor constante, el programa estabiliza el caudal para asegurar la estabilidad de la temperatura a la entrada de los receptores, lo cual es suficiente una vez que se llega al estado estacionario. Pequeñas variaciones de temperatura debidas a factores meteorológicos son absorbidos por el tanque calefactor acumulador.

Si se selecciona el ensayo de temperatura de salida del receptor constante, el programa actuará sobre las válvulas reguladoras de caudal para estabilizar las temperaturas. En este tipo de ensayo los requerimientos de estabilidad no son tan estrechos. Se realiza simulando un probable consumo industrial; en nuestro caso, esto es realizado por el intercambiador fluido-agua.

b) Verificación de las condiciones mínimas de operación, detección, evaluación y corrección de inconvenientes.

Durante la operación del banco de pruebas, cada aproximadamente 30 segundos, el programa ejecuta la rutina de seguridad. Esta realiza una verificación completa del funcionamiento de la instalación y condiciones mínimas de ensayo, las cuales fueron predefinidas (ej: temperaturas, presiones, máximas o mínimas).

El programa lee las variables del sistema (ver fig.1) y realiza las siguientes verificaciones:

Si la presión del tanque de expansión o de purga, es excesiva acciona una válvula solenoide el tiempo necesario para llevarla al valor predefinido; si fuese insuficiente, visualiza en pantalla e imprime una advertencia, donde indica las acciones a tomar.

El programa, por intermedio de dicha rutina protege la instalación apagando todo el

sistema es:

Los valores de las diferencias de presiones entre las entradas y salidas de: la bomba de circulación o del filtro de fluido o del tanque calefactor acumulador o del receptor argentino, superan sus respectivos límites (Indicaría la existencia de graves inconvenientes).

La temperatura del tanque calefactor acumulador o a la entrada de la bomba de circulación supera la máxima.

Las temperaturas de salida de los receptores supera las máximas, desenfoca los concentradores, y si esto aún persiste, apaga todo el sistema.

La bomba de fluido no está refrigerada.

Si la velocidad del viento excede los límites de operación segura, guarda las líneas.

Si el caudal que circula por los receptores es inferior al mínimo, desenfoca las líneas.

La rutina de seguridad además de tomar el control de las posibles situaciones, presenta en pantalla un mensaje que indica el desperfecto y desaparece cuando el mismo se soluciona; este mensaje también es impreso junto con la hora en que ocurre.

c) Almacenamiento de los datos obtenidos en disco para su posterior evaluación.

El programa periódicamente archiva la hora, el coseno de Kappa (1), la hora solar, las temperaturas de entrada y salida del receptor ENDESA, las temperaturas de entrada, tramo central y salida del receptor argentino, temperatura ambiente, radiación global y directa, velocidad del viento, caudal de fluido que circula por los concentradores, y las eficiencias de conversión de la energía solar en térmica de ambas líneas.

Estos archivos de datos están diseñados de forma tal que puedan ser procesados por programas tales como Dbase III plus, Lotus, Staigraphics, Energraphics y otros para ser analizados y graficados (fig.3).

d) Calorímetro de flujo.

Está previsto que el sistema controle la operación del calorímetro de flujo (ver ref.2) y archive las mediciones obtenidas junto con el resto de las variables.

e) Información visual permanente de las variables del sistema.

El programa genera un gráfico en pantalla (fig.1) donde se visualiza claramente las variables del ensayo, las que se actualizan cada 30 segundos aproximadamente. Estas pueden imprimirse cuando uno lo desea presionando una de las teclas de función (fig.3).

(1) Kappa es el ángulo formado por el rayo proveniente del centro del sol y el plano perpendicular a la línea focal del concentrador.

#### CONCLUSIONES:

El sistema de control y adquisición de datos a través del programa desarrollado ha respondido correctamente a los requerimientos.

Durante el periodo de ensayo se ha podido comprobar la versatilidad y eficiencia del programa para controlar en forma automática la operación de los ensayos: los ensayos, por sí, ensayo a caudal constante (ver fig.3), donde el programa corrige la posición de las válvulas reguladoras de caudal hasta que este se encuentra dentro de los valores requeridos.

Perspectivas futuras: considerando que el programa que hemos desarrollado fue concebido de manera modular, es fácilmente adaptable a una instalación industrial en la que soamente se debería tener en cuenta un factor de escala, conservando la estructura desarrollada.

#### AGRADECIMIENTOS:

Los autores quieren expresar su agradecimiento a las siguientes personas:

A Carlos Franciulli, Enrique Mezzabotta y Ruben Nicolás, quienes con su apoyo y asesoramiento profesional han hecho posible la realización de este trabajo.

A los integrantes de la Sección Conversión Fototérmica que prestaron su valiosa colaboración en la puesta a punto y verificación del funcionamiento del programa.

#### Referencias:

1 Banco de ensayo de concentradores de radiación solar (ASADES 88) C.D.Franciulli, E.Mezzabotta, H.Bajano, J.M.Kesque, L.M.Merino, J.H.Farias, C.Tesone, A.Vicente, R.Wenz, J.A.Moraguz, R.Nicolás.

2 Calorímetro de flujo para ensayo de concentradores solares (ASADES 88) E.Mezzabotta, G.Pensa, J.C.Vignolo.

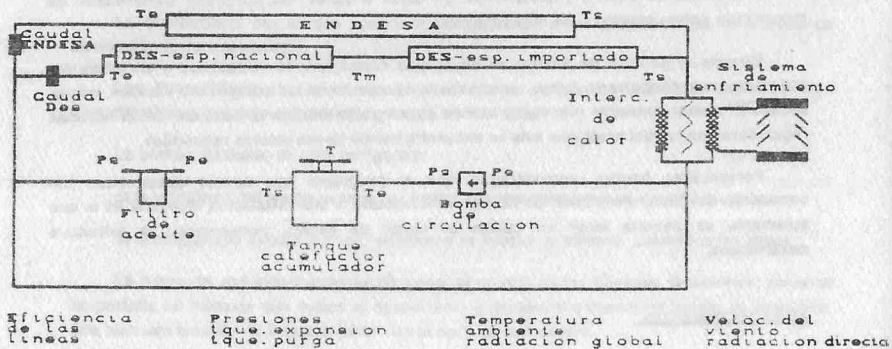


Fig. 1 - DIAGRAMA DE VARIABLES DEL SISTEMA

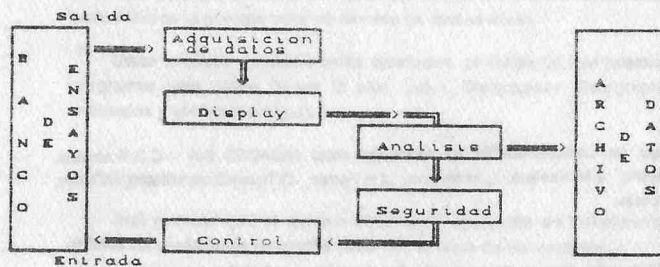


Fig. 2 - ESQUEMA DE CONTROL Y ADQUISICION DE DATOS

PROGRAMA DE CONTROL: LINEAS DES - GESA

20 de setiembre de 1988

Hora: 10:09:10

LISTADO DE VARIABLES DE CAMPO

ENSAYO SELECCIONADO: Linea DES

Caudal constante

Opera sin M.CP

CAUDAL DES: 15 l/m CAUDAL GESA: 0 l/m T. ENSAYO: 150 C

TEMPERATURAS

PRESTIONES

TR1-	Entrada DES	1 89.68	PE1	Entrada DES	1 2.748
TR2-	Trafo central DES	71.780	PE2-	SAIDA DES	1 2.628
TR3-	Salida DES	1 77.830	PE7-	Entrada expansi.	1 1.158
TRE1-	Entrada GESA	1 21.461	PE4-	Tanque de expansi.	1 0.318
TRE2-	Salida GESA	1 23.891	PE5-	Tanque de purga	1 0.348
TR4-	Salida bomba	1 76.201	PE7-	Entrada bomba	1 0.238
TR5-	Entrada filtro	1 79.741	PE8-	Salida bomba	1 2.108
TRamb-	Ambiente	1 20.180	PE9-	Entrada filtro	1 3.758
			PE10-	Salida filtro	1 4.598

VARIABLES

ALGUNOS NIVELES

G1-	Caudal GESA	1 0.141/m	Giro DES	1
G2-	Caudal DES	1 14.021/m	Giro DES	1
S0-	Solarimetro global	1805.99W	Giro DES	1
S0-	Solarimetro direc.	1585.74W	Giro GESA	1
ME1-	Nivel tque. expansi.	35.67%	Giro GESA	1
			Carg. baterias GESA	1
			Bomb. de aceite	10N
			Torre enfriamiento	10N
			Calefactor	10N
Vu-	Veloc. del viento	1 1.59m/seg	VAC1-	Valv. retorno (op.) ABIERTA
			VAC2-	Valv. reg. by-pass ABIERTA
			VTUM-	Valvula 3 vias POS. A
			VS01-	Valvula solenoides
			VS02-	Valvula solenoides
			VVA1-	Valvula regul. CERRADA
			VVA2-	Valvula regul. ABIERTA

Fig. 4 - LISTADO DE VARIABLES DEL SISTEMA

# REGULACION DE CAUDALES

16-08-88

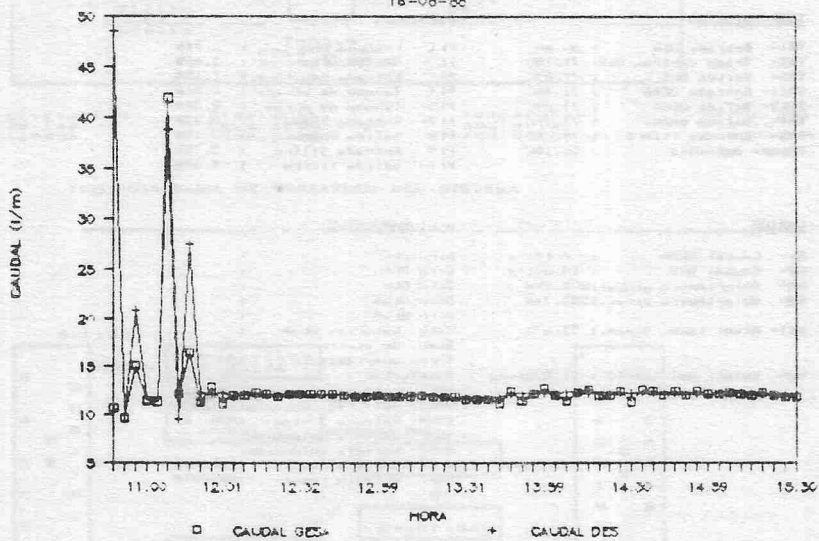


Fig. 3 - GRAFICO DE REGULACION DE CAUDALES