

SISTEMA DE SEGUIMIENTO PARA CONCENTRADORES DE FOCO LINEAL *

C.J. Bruno y J.J. Nicolás*

División Energía Solar
Comisión Nacional de Energía Atómica
Avda. del Libertador 8250, 1429 Buenos Aires

RESUMEN

Se describe el sistema de seguimiento del foco desarrollado y construido en la CNEA. Fue diseñado para ser utilizado en un concentrador fijo a espejo facetado pero es aplicable a cualquier concentrador solar de foco lineal con un grado de libertad. Este sistema, actualmente en operación, puede controlar hasta ocho unidades motrices, pudiendo ser expandido a un número mayor. Consta esencialmente de unidades de medición y acondicionamiento de señal en cada receptor, una unidad de muestreo que se encarga de tomar y entregar la información proveniente de los concentradores a una unidad de control y circuitos de excitación para las unidades motrices. Se presenta el diagrama en bloques del sistema, la lógica de operación, detalles constructivos y algunos resultados de su funcionamiento en condiciones de operación.

INTRODUCCION

En general, los concentradores de radiación solar necesitan un adecuado sistema de seguimiento del Sol que permita obtener un foco bien definido que coincida con la posición del receptor a lo largo del día. El sistema desarrollado en la CNEA fue realizado para un concentrador fijo a espejo facetado (1) (CFEF), pero su concepto es aplicable a cualquier concentrador con foco lineal que posea un solo grado de libertad. Es del tipo de la cerrada, es decir que realiza las operaciones de búsqueda y localización del foco a como el mantenimiento de la coincidencia de la posición de aquél con la del receptor mediante sensores ubicados en el receptor e independientemente de la ley de movimiento del foco. Los motivos que llevaron a la elección de este tipo de sistema fueron discutidos en la Ref. 2.

La unidad actualmente en operación en el prototipo de laboratorio de CFEF de la CNEA permite en particular el control de hasta 8 unidades motrices las cuales pueden mover igual número de receptores o secciones de éstos; sin embargo, el sistema de control diseñado puede operar un número mayor de unidades ampliando la unidad de muestreo. En el presente trabajo se describe el diagrama funcional (o en bloques) del sistema de localización y seguimiento del foco, su lógica de operación y los resultados obtenidos en condiciones reales de funcionamiento.

2. DIAGRAMA FUNCIONAL DEL SISTEMA

En la Fig. 1 se muestra el diagrama en bloques del sistema construido que permite operar hasta 8 concentradores. A la izquierda están esquematizados los concentradores con las correspondientes unidades de medición y acondicionamiento de señal. Dichas unidades proveen la información necesaria para la localización del foco y el control de centrado de la posición relativa de éste con respecto al receptor, así como para el control de las posiciones extremas del receptor y de las temperaturas límites de operación. A continuación, se detallan los elementos que componen dichas unidades así como su funcionamiento.

a) Localización y control: la señal está generada por sensores LDR de alta velocidad de respuesta (~1 ms) ubicados a los costados del receptor en las posiciones indicadas en la Fig. 2 para evitar que se vean afectados por la alta temperatura de la zona focal. En el prototipo de laboratorio del CFEF se colocaron tres pares de sensores en distintas posiciones a lo largo del receptor a fin de promediar las señales y corregir anomalías tales como falta de alineación entre los ejes longitudinales del receptor y el foco o deformaciones en la distribución focal debidas a imperfecciones de los espejos. La posición del receptor sólo es corregida cuando ésta difiere

Trabajo parcialmente financiado con subsidio de la SUBCYT.

*) Miembro de la División Fusión Nuclear de la CNEA.

de la del foco en un valor superior a un umbral prefijado. Para el caso del prototipo de concentrador considerado se ha verificado que el valor mínimo del umbral para que no haya oscilaciones es de ~ 1 mm con lo cual, para el concentrador con su eje en dirección N-S, el tiempo transcurrido entre dos ajustes sucesivos es de ~ 10 s.

b) Posiciones extremas: para optimizar el tiempo de localización del foco se limita el desplazamiento angular del receptor a un intervalo que depende de la orientación del concentrador y la época del año. A cada posición angular del receptor le corresponde una tensión generada a través de un resistor variable cuyo cursor gira solidario con el eje de rotación de aquél; las posiciones extremas se determinan comparando estas señales con valores prefijados para cada condición de operación.

c) Temperaturas límites: a fin de evitar sobrecalentamiento del fluido de trabajo o del receptor por encima de las condiciones de diseño, se produce automáticamente un desenfoco parcial del receptor si se supera una temperatura límite de seguridad y un desenfoco total si se alcanza la máxima temperatura admisible. La señal proviene de una termorresistencia que mide la temperatura del fluido de trabajo a la salida del receptor.

El conjunto de señales antes descriptas, provenientes de los diferentes concentradores, ingresan a una unidad que las lee en forma sucesiva y cíclica de forma tal que en cada instante estén conectadas a la unidad de control las señales de entrada (con la información requerida) y de salida (con las órdenes para la unidad motriz) de un solo concentrador. Esta unidad de muestreo consta de 2 conmutadores electrónicos gobernados por un generador de sincronismo que puede ser detenido para la operación manual de un concentrador dado, el cual queda permanentemente conectado a la unidad de control. Dado que las unidades motrices deben ser excitadas como mínimo durante un período completo de la tensión de alterna y teniendo en cuenta que la unidad de control procesa la información proveniente de cada concentrador en tiempos muy inferiores, las decisiones adoptadas por la unidad de control son almacenadas en memorias de la unidad de muestreo para que permanezcan al menos durante un ciclo completo. De esta forma, la unidad de control se comporta como si estuviera operando en forma continua sobre cada concentrador.

Como información adicional para la operación de los concentradores se mide en forma continua la radiación solar directa. La unidad correspondiente posee un nivel ajustable que corresponde al mínimo de radiación solar requerido para la operación de los concentrado-

res y es común para todos los concentradores dado que la cercanía entre los mismos permite suponer que reciben la misma intensidad solar.

La unidad de control es la encargada de procesar toda la información proveniente de las diferentes unidades antes descriptas y tomar las decisiones correspondientes. Está construida con tecnología C-MOS de mediana escala de integración que presenta, entre otras, la característica de bajo consumo (0,1-1 mW) y alta inmunidad al ruido. Sus correspondientes circuitos de seguridad proveen la señal de comando para actuar de acuerdo con la falla detectada en el sistema.

Los circuitos de excitación de las unidades motrices están conectados a través de acoplamientos optoelectrónicos de aislación típica de 3 kV que disminuyen los riesgos personales y protegen a los circuitos de control ante eventuales fallas de aquéllas. Están implementados en base a semiconductores controlados (TRIAC) disparados en el cruce por cero de la tensión alterna de alimentación de la unidad motriz, reduciéndose de esta forma la interferencia por radiofrecuencia que puede alterar los resultados de las mediciones. Estos circuitos contienen, además, memorias que permiten conservar la información sobre el sentido de giro del receptor para que, en caso de ser necesaria la búsqueda del foco por interrupciones, la misma se realice en el mismo sentido de movimiento que traía el receptor antes de la interrupción.

Las unidades motrices son las encargadas de transmitir el movimiento al receptor. En el caso del prototipo de laboratorio de CFEF, está formada por un sistema de reducción 1/475 compuesto por un reductor tipo sinfín (1/50) y dos etapas del tipo piñón y corona de reducción 1/2 y 1/4,75, respectivamente. El motor utilizado es de tipo sincrónico de baja potencia (~ 50 W) y baja velocidad (60 rpm). El mismo es excitado como mínimo durante un período completo de la tensión alterna de línea con lo cual se logra una variación en la posición angular del motor de 0,125 radianes ($7,2^\circ$); esto se traduce en un giro del receptor de 0,26 miliradianes. Con este sistema de reducción y con el umbral de ajuste entre la posición del foco y del receptor de 1 mm, el ciclo de actividad del motor resulta de 80 ms cada 10 s, tiempo transcurrido entre dos ajustes sucesivos de la posición del receptor; con ello, el tiempo efectivo de operación del motor durante 8 horas de operación del concentrador es de ~ 4 minutos y el número de operaciones de 2500-2800.

3. LOGICA DE OPERACION

En la Fig. 3 se da el diagrama de flujo co-

respondiente a la lógica de operación del sistema de localización y seguimiento del foco. El significado de cada una de las abreviaturas utilizadas es el siguiente:

- U.C. = unidad de control;
n = número máximo de concentradores operados por el sistema;
i = número del concentrador que se está comandando;
I.S. = variable que indica si la intensidad solar supera el nivel mínimo requerido para operar los concentradores;
 $L(i)$ = variable que indica si se ha localizado el foco;
 $C^+(i)$ = variable que indica si la distancia entre la posición del foco y la del receptor ha superado el máximo permitido; corrige con movimiento en sentido positivo (los sentidos son definidos arbitrariamente);
 $C^-(i)$ = igual que la variable anterior, corrigiendo con movimiento en sentido negativo;
 $T^+(i)$ = variable que indica cuándo el receptor llega a una posición extrema debiendo entonces moverse en sentido positivo;
 $T^-(i)$ = igual que la variable anterior, indicando que el receptor debe moverse en sentido negativo;
 $Q(i)$ = variable que almacena el sentido de giro del último movimiento del receptor; el estado "1" indica sentido positivo y el estado "0", sentido negativo;
 $B(i)$ = variable que indica que el sistema está en operación de búsqueda del foco de acuerdo con la información de la memoria $Q(i)$;
 $M^+(i)$ = variable que ordena el movimiento del receptor en sentido positivo;
 $M^-(i)$ = igual que la anterior en sentido negativo;
 $T_{ma}(i)$ = variable que controla si el fluido de trabajo alcanza la temperatura máxima admisible;
 $T_{mo}(i)$ = variable que controla si el fluido de trabajo alcanza la temperatura máxima de operación.

Un ciclo en el diagrama de flujo corresponde al tratamiento completo de la información de un concentrador particular en un instante dado. El análisis sucesivo y cíclico de los concentradores se indica en el diagrama por

el incremento del índice i (o su puesta a cero si se analizaron los n concentradores que opera el sistema y se debe comenzar de nuevo el ciclo).

4. COMENTARIOS

El sistema ha sido operado hasta el momento durante un período de aproximadamente 7 meses (en forma discontinua) sin haberse detectado fallas de importancia. Las precauciones adoptadas para proteger a los elementos que se encuentran a la intemperie (sensores LDR, tanto en el receptor cuanto en el detector de intensidad solar, potenciómetro de posición y unidad motriz) de la acumulación de polvo, de la humedad y de los cambios de temperatura resultaron adecuadas ya que no se observó deterioro alguno. La unidad motriz, a pesar de encontrarse sometida a lo largo de las jornadas de operación a un elevado número de arranques y paradas, se comportó en forma satisfactoria.

El sistema se construyó en módulos separados por funciones que permiten una rápida detección y reparación de fallas.

Destacamos que la operación de este sistema ha permitido verificar las hipótesis efectuadas durante el desarrollo del modelo de laboratorio descrito en la Ref. 2.

5. REFERENCIAS

1. R.O. Nicolás, J.A. Moragues, R. Platzeck y W. Scheuer, "Simulación del comportamiento y etapa inicial de la construcción de un concentrador fijo a espejo facetado". Actas de la 3ra. Reunión de Trabajo de la ASADES, Mendoza, pág. 191 (1977).
2. J.J. Nicolás, "Sistema de localización y seguimiento del foco de un concentrador solar". Actas de la 5ta. Reunión de Trabajo de la ASADES, Córdoba, pág. 113 (1979).

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos especialmente a J.A. Moragues y J.C. Durán el haber hecho posible este trabajo a través de su continuo apoyo y aliento, así como también el haber leído el manuscrito con fructífero espíritu crítico, lo que contribuyó indudablemente a clarificar y mejorar su contenido.

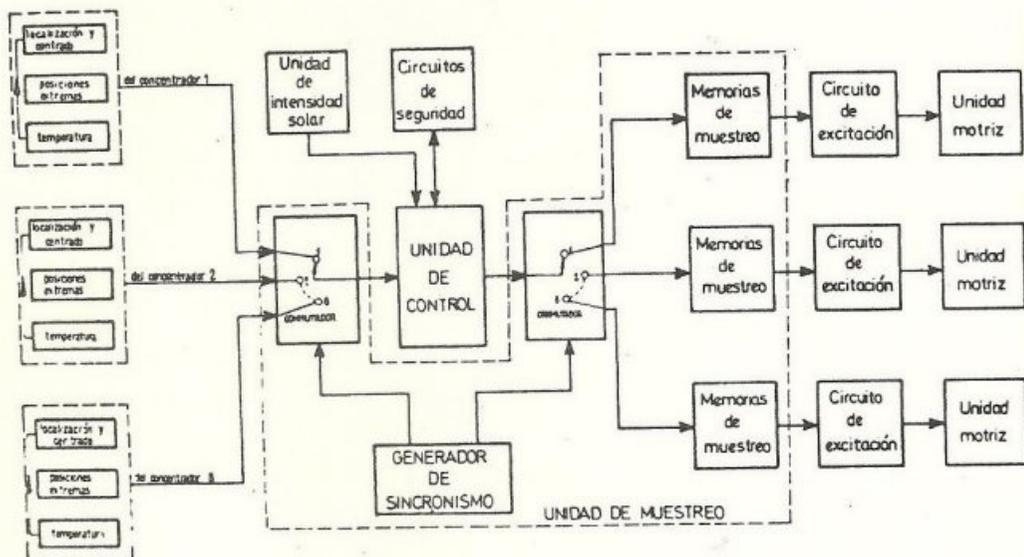


Figura 1: Diagrama en bloques del sistema completo.

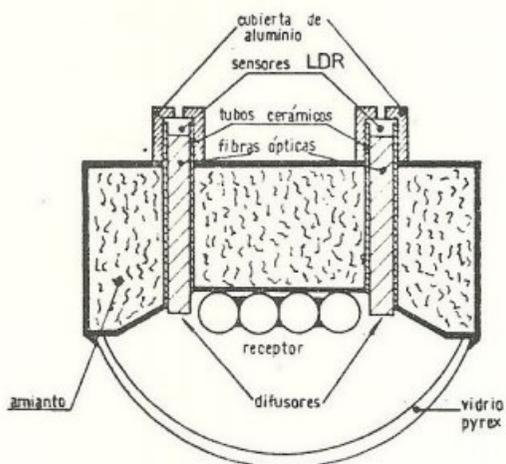


Figura 2: Corte transversal del receptor donde se muestra la ubicación de los sensores LDR.

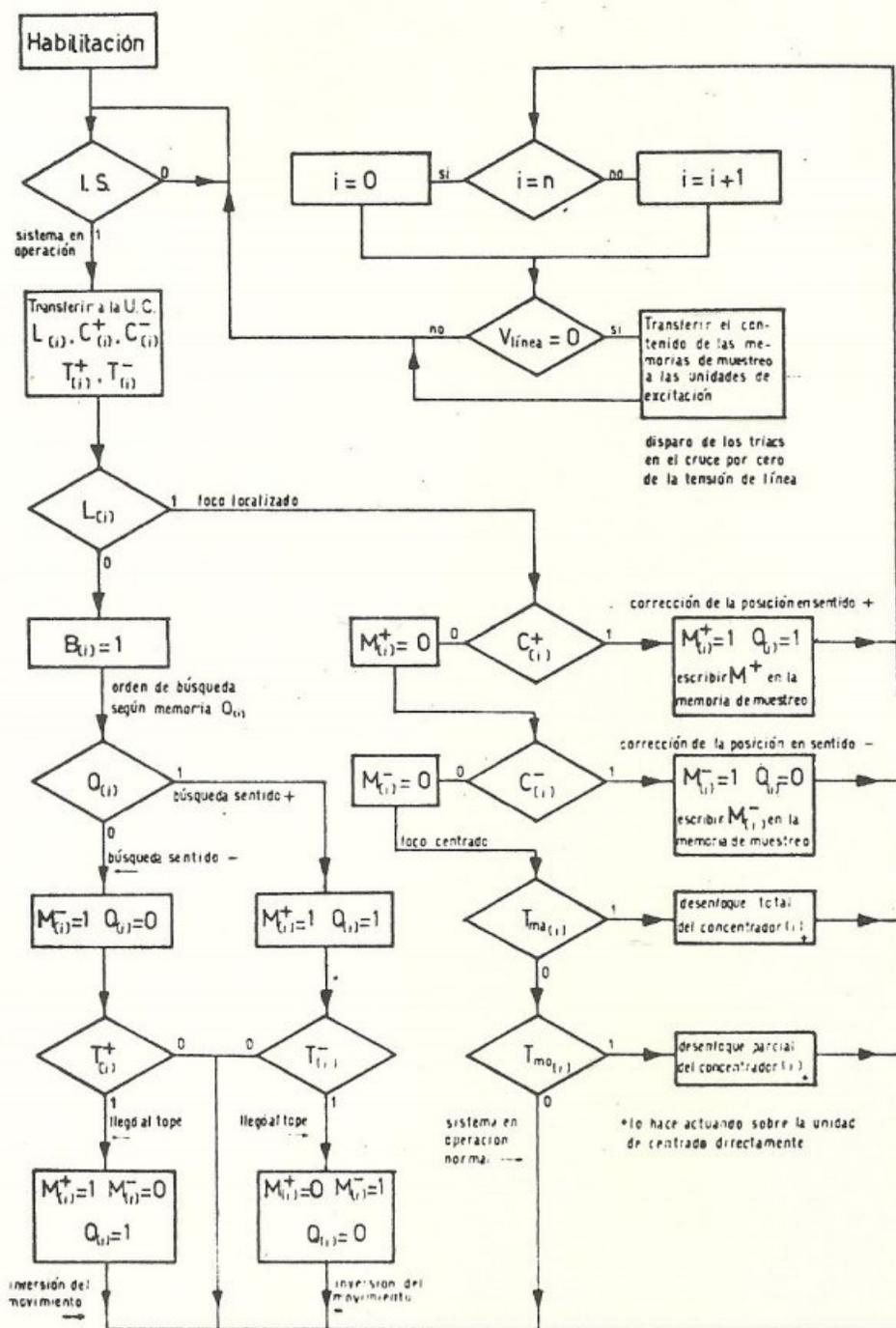


Figura 3: Lógica de operación del sistema.