

CONCENTRADOR FIJO A ESPEJO FACETADO DE LA CNEA

ESTADO DE AVANCE DEL DESARROLLO DE UN PROTOTIPO INDUSTRIAL†

C.N.E.A. Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº	AÑO
1	1981

J.C.Durán, E.Mezzabolta, J.A.Moragues*
 R.O.Nicolás, W.Scheuer y C.Franciulli†

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

RESUMEN

Para seleccionar los parámetros de un prototipo industrial de concentrador fijo a espejo facetado se calculó su eficiencia anual, sin y con segundo concentrador, para diversos valores de: apertura angular; ancho y error en la inclinación de los espejos; temperatura de operación, absorbancia y emitancia del receptor. Se discute su construcción usando como soporte de espejos costillas de hormigón con el escalonado necesario para posicionarlos, fabricadas mediante matrices con precisión tal que el error en la inclinación de los espejos tenga desviación estándar $\leq 5'$. Se discute la precisión alcanzada en la construcción de las costillas usando un sector de matriz con cinco escalones. Se calcula el aumento de las pérdidas debido al espesor del vidrio sobre el espejado.

1. INTRODUCCION

Con el fin de seleccionar valores apropiados para los parámetros de un prototipo industrial de concentrador solar es necesario calcular, para los períodos de interés y distintos juegos de parámetros, la energía neta colectada por el fluido de trabajo y la eficiencia de colección, definida como el cociente entre dicha energía y la energía total incidente sobre el plano de apertura del concentrador. El valor de la eficiencia permite comparar concentradores de un mismo tipo con diferentes áreas de apertura, orientaciones e inclinaciones, como también distintos tipos de concentradores.

En el presente trabajo se aplican las consideraciones anteriores para seleccionar los parámetros de un prototipo industrial de concentrador fijo a espejo facetado (CFEF), teniendo en cuenta diferentes errores en la posición angular de los espejos así como la posibilidad de agregar un segundo concentrador cuyo plano de apertura coincida con el plano receptor del primero. El principio de funcionamiento del CFEF fue descrito en detalle en publicaciones anteriores (1,2), por lo cual sólo incluimos un corte ilustra-

tivo del mismo en el cual se definen los principales parámetros usados (ver Fig. 1).

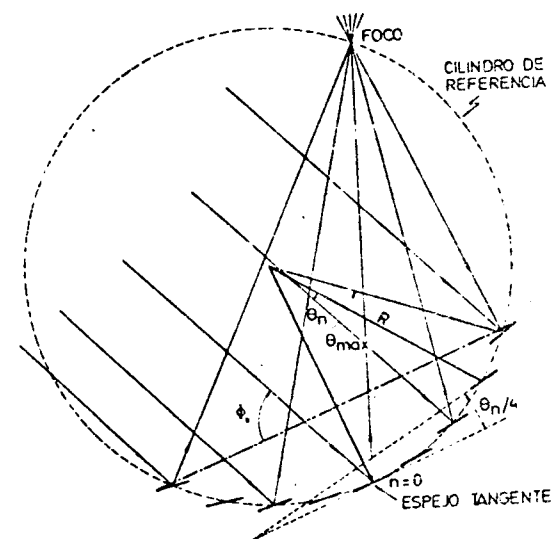


Fig. 1: Sección de un CFEF de radio R. Los rayos incidentes han sido proyectados sobre el plano perpendicular al eje de simetría del cilindro de referencia. Se indican los siguientes parámetros: θ_n posición angular del espejo n con respecto al espejo tangente; ϕ_0 ángulo entre el plano de apertura y el plano que contiene al eje de simetría del cilindro de referencia y al Sol; θ_{max} semiapertura angular del concentrador; $\theta_n/4$ ángulo que forma el plano que contiene al espejo n con el que contiene al espejo tangente.

†) Trabajo parcialmente financiado con subsidio de la SECYT.
 *) Miembro de la Carrera del Investigador del CONICET.
 †) Contratado mediante subsidio de la SECYT.

Para diseñar un CFEF apto para la construcción industrial de un número reducido de centrales con potencias de $\sim 100 \text{ kW}_e$, se decidió encarar la línea seguida por un grupo francés (3), en la cual los espejos se soportan sobre costillas de hormigón armado que poseen el escalonado apropiado para posicionar aquéllos con la precisión requerida. En la Fig. 2 se muestra esquemáticamente un "bloque", constituido por dos costillas de cemento sólidamente unidas, de $\sim 10 \text{ cm}$ de ancho y distanciadas $\sim 80 \text{ cm}$, sobre las cuales se fijarán los espejos de $\sim 1,2 \text{ m}$ de longitud.

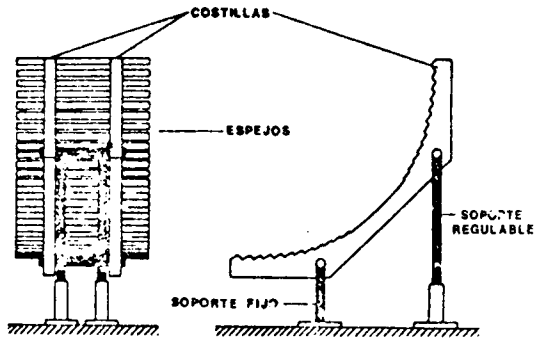


Fig. 2: Vista posterior y perfil de un "bloque" de CFEF.

Cada conjunto de cinco bloques alineados formarán una "sección", la cual tendrá un único receptor. Las secciones se alinearán en conjuntos de longitud tal que las pérdidas en los extremos sean $\leq 5\%$ (relación longitud/radio ~ 25 para orientación E-O (1)) formando un "módulo" (ver Fig. 3).

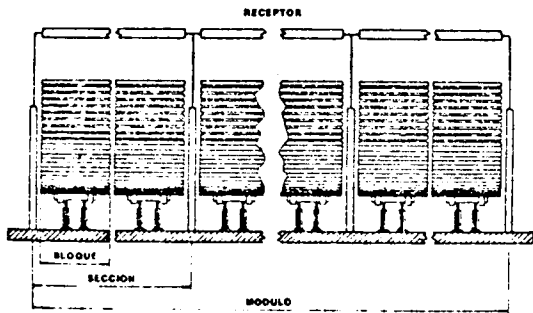


Fig. 3: Vista esquemática de un "módulo" formado por un conjunto de "secciones", cada una constituida por 5 "bloques" y un receptor único.

Como dato ilustrativo, considerando un radio de 2 m , un ángulo de apertura de 120° y

una eficiencia de conversión de energía solar en electricidad del 11% , el módulo propuesto tendría una potencia pico de $\sim 19 \text{ kW}_e$.

El método de construcción de las costillas de cemento debe ser tal que permita la producción en serie, sin trabajado individual de las superficies de apoyo de los espejos. Para ello se propone, siguiendo Ref. 3, vaciar las costillas sobre una matriz con error $< 5'$ en la posición angular de los escalones. En una producción "masiva" de costillas es necesario disponer de varias de estas matrices, las cuales se irán deteriorando con el uso. Por ello, se propone el maquinado de una matriz primaria metálica con precisión mayor que la solicitada, con el escalonado igual al de las costillas de cemento, construyendo a partir de ella, por copiado, matrices secundarias de resina epoxi. Estas, cuando se deterioren, podrán ser reconstruidas usando la misma matriz primaria.

Dado que en el prototipo industrial propuesto los elementos especulares, que serán de vidrio espejado en segunda superficie, se apoyan sobre sólo dos costillas, es conveniente que los mismos tengan suficiente resistencia mecánica, en particular en previsión de granizo, de manera tal que no sea necesario una sustentación adicional. Por este motivo, es importante calcular el aumento de las pérdidas por sombras y apantallamientos para diversos espesores del vidrio.

2. EFICIENCIA ANUAL DE UN CFEF. METODO DE CALCULO

La energía neta absorbida por el fluido de trabajo en un período dado puede obtenerse por integración numérica si se conocen, para diversas épocas del año y horas del día, la energía absorbida por el receptor y las pérdidas térmicas en éste. La primera está dada por el producto entre la radiación solar directa, el factor de concentración medio, la absorbancia del receptor y el área del mismo. La segunda se obtiene como la suma de las pérdidas por radiación, convección y conducción, las que dependen de la temperatura del receptor; en el presente trabajo se considera temperatura de operación constante y se desprecian las pérdidas por convección y conducción (aproximación razonable para temperaturas de operación superiores a 200°C , especialmente si se utiliza un vidrio frontal para disminuir la convección) como también la temperatura equivalente en la expresión de las pérdidas por radiación. El factor de concentración medio puede calcularse para cada día y hora necesarios para realizar la integración utilizando el desarrollo presentado previamente (4). Sin embargo, este método resulta costoso ya que los tiempos de cómputo necesarios para realizar cada integración son elevados; por ejemplo, el cálculo de la eficiencia anual para un CFEF con

93 espejos considerando 6 horas diarias de funcionamiento y utilizando, para realizar la integración, sólo 4 días en el año (equinoccios y solsticios), requiere aproximadamente 5 minutos de unidad central de proceso en una IBM 370.

A fin de reducir los tiempos de cómputo, empleando el desarrollo mencionado anteriormente, se calculó el factor de concentración puntual en función de una coordenada sobre el plano receptor para diversos juegos de parámetros del CFEF y valores equiespaciados de los ángulos ϕ_0 y κ^\dagger que caracterizan la incidencia de la radiación sobre el plano de abertura. Con los valores obtenidos se construyó una tabla para cada juego de parámetros del concentrador, usando 7 valores de ϕ_0 entre 30° y 90° y 6 valores de κ entre 0° y 60° . A partir de las tablas, interpolando sobre los dos ángulos utilizando un algoritmo propuesto por H. Akuma (5), es posible calcular el factor de concentración puntual y su valor medio para cualquier ángulo de incidencia. Con los intervalos de ϕ_0 y κ utilizados en las tablas los errores introducidos por la interpolación resultan despreciables a los efectos prácticos por ser inferiores al 1%. Si bien la construcción de cada tabla involucra tiempos de cómputos elevados (aproximadamente 10 minutos de unidad central de proceso para un CFEF con 93 espejos), la utilización de la misma permite calcular la eficiencia del concentrador para distintos períodos de tiempo y diferentes orientaciones e inclinaciones del plano de abertura empleando tiempo de cómputo de sólo pocos segundos para cada integración. Cabe destacar que el programa construido para el cálculo de la eficiencia se puede aplicar para cualquier concentrador con simetría cilíndrica, siendo necesario en cada caso armar las tablas correspondientes.

La eficiencia se calcula para $34,5^\circ$ de latitud simulando la radiación solar directa a partir de datos meteorológicos (coeficiente de turbidez y cantidad de agua precipitable en la atmósfera) de Buenos Aires utilizando un método propuesto por Dogniaux (6), válido en condiciones de cielo despejado. Para realizar la integral anual se consideraron todos los días del año como de cielo despejado, teniendo en cuenta que los posibles lugares para la instalación de una central solar deben ser de muy alta heliofanía.

A fin de poder determinar valores convenientes para los parámetros de un CFEF, se analizó la variación de la eficiencia anual en función de aquellos. Se adoptó el criterio

$\dagger \kappa$ es el ángulo que forma la radiación solar incidente con un plano perpendicular al eje del cilindro de referencia.

de ángulo constante (5° respecto de la normal al espejo tangente) entre bordes de dos espejos sucesivos (7). En los gráficos siguientes se dan algunos ejemplos de los resultados obtenidos. En la Fig. 4a se observa cómo varía la eficiencia anual del CFEF en función del ancho* del receptor para tres temperaturas de operación.

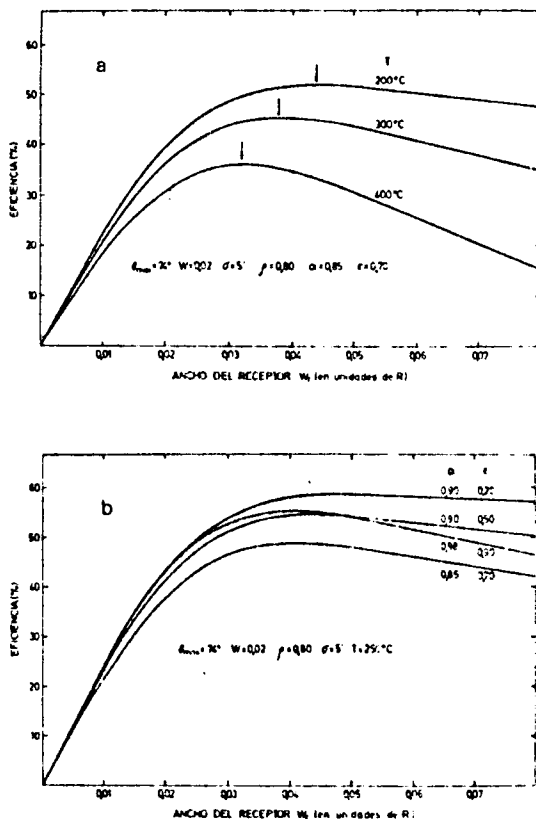


Fig. 4: Eficiencia anual en función del ancho del receptor para CFEF con orientación E=0 e inclinación igual a la latitud ($34,5^\circ$). Los parámetros fijados son: θ_{max} , semiapertura angular del concentrador; w , ρ y σ , ancho, reflectividad y desviación standard de la posición angular de los espejos y α , ϵ y T , absorción, emitancia y temperatura del receptor.

Como era de esperar a medida que aumenta la temperatura, además de disminuir la eficiencia, se reduce el ancho del receptor que hace máxima la eficiencia anual del concentrador. Para apreciar la importancia de la elección correcta de dicho ancho, obsérvese por ejemplo

* Todas las longitudes dadas más adelante (ancho del receptor, ancho y espesor de los espejos) se expresan en unidades del radio del cilindro de referencia.

que si para una temperatura de operación $T=400^{\circ}\text{C}$ se toma el ancho óptimo correspondiente a 200°C ($w_r = 0,044$), la eficiencia se reduciría en aproximadamente 3 % con respecto a la máxima posible para esa temperatura.

En la Fig. 4b se muestra también la eficiencia anual del CFEF en función del ancho del receptor pero para distintas características de la superficie receptora; una pintura negra de alta absorbancia ($\alpha=0,98$ y $\epsilon=0,90$), una superficie selectiva ($\alpha=0,90$ y $\epsilon=0,20$) y dos superficies que pueden corresponder, por ejemplo, a valores equivalentes de α y ϵ para el conjunto receptor-vidrio frontal. De la figura se observa cómo varía el valor óptimo de w_r para distintas características de la superficie receptora; si bien esta elección en general no es crítica, resulta más importante cuanto menos selectiva es la superficie.

En la Fig. 5 se muestran las eficiencias anuales para tres anchos de espejos (0,02, 0,03 y 0,04), tres valores de la desviación standard de la posición angular de los mismos (0', 5' y 10') y dos semiángulos de apertura del concentrador ($\sim 57^{\circ}$ y 72°). Estos últimos son valores promedio dado que, por tratarse de un concentrador facetado, resulta imposible obtener el mismo ángulo de apertura con distintos anchos de espejos. Cada uno de los puntos graficados corresponde al valor de w_r que da la eficiencia máxima para el juego de demás parámetros que lo caracterizan.

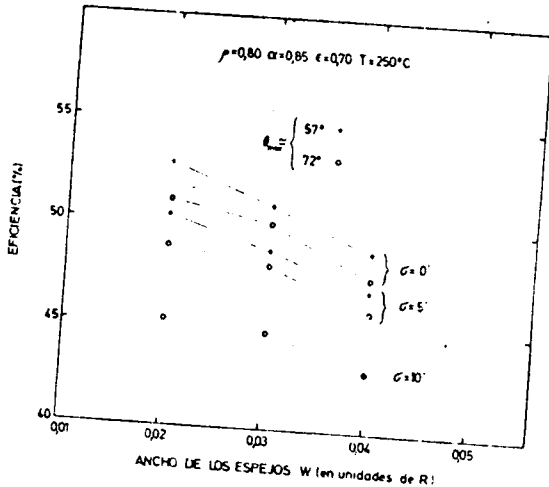


Fig. 5: Eficiencia anual en función del ancho de los espejos para CFEF con orientación E-O e inclinación igual a la latitud. Los parámetros fijados fueron definidos en la Fig. 4.

El aumento de la eficiencia anual de los concentradores al disminuir su apertura angular es el resultado del predominio del primero de los siguientes efectos opuestos: disminución de las pérdidas geométricas en el concentrador y disminución del factor de concentración.

Una posible manera de aumentar la eficiencia térmica de un concentrador solar consiste en agregar un segundo concentrador cuyo plano de apertura esté ubicado en el plano receptor del primero (7). A fin de analizar esta posibilidad, se calculó la eficiencia anual para un CFEF con segundo concentrador del tipo parabólico compuesto (CPC) (8) con ángulo de aceptación igual al semiángulo de apertura del CFEF, de manera tal que todos los rayos que inciden sobre el plano de apertura del CPC lleguen al receptor. Para CFEF con parámetros semejantes a los preseleccionados para el prototipo industrial (ver Secc. 6) a saber: $w=0,02$, $\sigma=5'$, $\rho=0,80$, $\alpha=0,85$, $\epsilon=0,70$, $T=250^{\circ}\text{C}$ y semiángulos de apertura de 74° y 58° , las eficiencias anuales sin segundo concentrador son de, respectivamente, $\sim 49\%$ y $\sim 50\%$; con segundo concentrador las mismas se elevan a $\sim 52\%$ y $\sim 55\%$ si no se consideran pérdidas en el CPC y se reducen a $\sim 46\%$ y $\sim 49\%$ si las pérdidas por reflexión en éste son de 10% . Por lo tanto, desde el punto de vista práctico, en los casos considerados, no se justifica el uso de un segundo concentrador pues para tener un incremento relativamente pequeño en la eficiencia total se requiere el uso de espejos de óptima calidad en el CPC.

En la Secc. 6 se utilizan algunos de los resultados precedentes, junto con los primeros resultados experimentales y estimaciones económicas relacionadas con la fabricación de las costillas de cemento, para seleccionar un posible juego de parámetros para el prototipo industrial de CFEF.

3. PERDIDAS DEBIDAS AL ESPESOR DE VIDRIO SOBRE LA SUPERFICIE ESPEJADA

Las pérdidas geométricas por sombras y apantallamientos en el concentrador incluyendo las ocasionadas por el espesor (e) del vidrio sobre la superficie espejada se pueden calcular utilizando el desarrollo presentado previamente (4), reemplazando los límites de integración (u_{min} y u_{max}) sobre cada espejo por valores obtenidos teniendo en cuenta dicho espesor. Estos límites dependen de los dos ángulos de incidencia ϕ_0 y κ y se obtienen mediante trazado de rayos. Para evaluar la refracción en el vidrio hay que tener en cuenta que el desarrollo mencionado corresponde a un análisis bidimensional en el plano perpendicular al eje del cilindro de referencia y que, en general, la radiación solar incidente no está contenida en dicho plano. En consecuencia, el ángulo de incidencia i y el de refracción r (considerados en el plano mencionado) satisfacen la siguiente relación:

$$\operatorname{tg} i / \operatorname{tgr} = \sqrt{1 + \frac{\eta^2 - 1}{\cos^2 \kappa \cos^2 i}}, \quad (1)$$

donde η es el índice de refracción del vidrio y κ el ángulo que forma la radiación incidente con el plano considerado.

Como ejemplo del método de cálculo a emplear para obtener los límites de integración sobre cada espejo, en la Fig. 6 se muestran los rayos extremos reflejados por la zona útil de un espejo con $\theta_n > 0$. Utilizando la Ec. 1 junto con las coordenadas de los bordes de cada espejo, se obtienen las expresiones de u_{\min} y u_{\max} (medidos con respecto al centro del espejo). En el caso particular de la figura ellas están dadas en las Ecs. 2 y 3. Los valores de u_{\min} y u_{\max} para cualquier espejo y ángulo de incidencia se calculan mediante un trazado de rayos similar al presentado en la Fig. 6.

Reemplazando las expresiones de los límites de integración en el desarrollo ya mencionado de Ref. 4, se calcularon las pérdidas geométricas en el concentrador para cinco

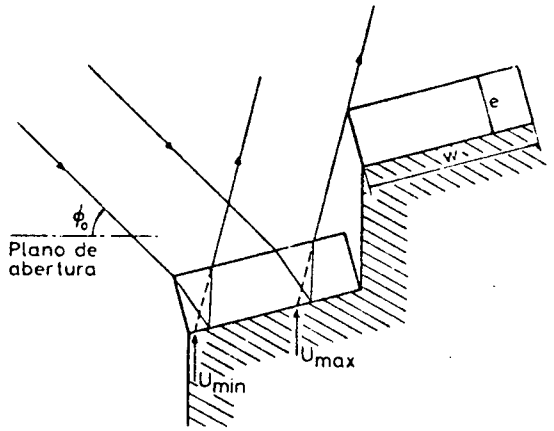


Fig. 6: Proyección en el plano perpendicular al eje del cilindro de referencia de un CFEF de los rayos extremos que definen la zona útil de un espejo, teniendo en cuenta el espesor de vidrio e sobre la superficie espejada. Se indican los límites de integración u_{\min} y u_{\max} que deben ser usados en el desarrollo de Ref. 4.

$$u_{\min} = -w/2 + e \cotg(\phi_0 + \theta_n/4) \left\{ \frac{2}{\left[1 + \frac{\eta^2 - 1}{\cos^2 \kappa \sin^2(\phi_0 + \theta_n/4)} \right]^{1/2}} - 1 \right\} \quad (2)$$

$$u_{\max} = \frac{\cos(\phi_0 + \theta_n/2 - \theta_{n+1}) - w/2 \sin(\phi_0 + \theta_n/2 - \theta_{n+1}/4) - e \cos(\phi_0 + \theta_n/2 - \theta_{n+1}/4)}{\sin(\phi_0 + \theta_n/4)} \quad (3)$$

Tabla I

Pérdidas porcentuales de un CFEF[†] para diversos espesores de vidrio sobre la superficie espejada

(*)	ϕ_0	90	90	67	58	Anual
		κ	0	45	0	
e						
	0	5,5	5,5	17,3	25,0	14,0
	0,001	6,3	6,1	19,6	27,4	15,8
	0,002	7,1	6,8	22,0	29,8	17,6

[†] Se consideran sólo pérdidas geométricas por sombras y apantallamientos entre espejos para un CFEF con orientación E-O, inclinación igual a la latitud ($34,5^\circ$), semiapertura $\theta_{\max} = 74^\circ$ y ancho de espejos $w = 0,02$.

* Los ángulos ϕ_0 y κ , en grados, caracterizan la incidencia de la radiación sobre el plano de apertura. Los pares de valores dados corresponden respectivamente a: mediodía solar y 3 horas respecto del mismo en los equinoccios y mediodía solar y 3 horas respecto del mismo en los solsticios. La última columna de la tabla corresponde a la integral anual de las pérdidas geométricas mencionadas. e es el espesor del vidrio sobre la superficie espejada. Al igual que en el resto del trabajo tanto e como w están dados en unidades de R.

espesores del vidrio (0,001, 0,002, 0,003 y 0,004) y diversos ángulos de incidencia. Asimismo, se calcularon las pérdidas geométricas totales a lo largo del año (para 6 horas diarias de operación), observándose que satisfacen una relación lineal con e . En la Tabla I se dan como ejemplo las pérdidas geométricas porcentuales en un concentrador con $\theta_{\max} = 74^\circ$ y $w = 0,02$ para tres valores de e y cuatro pares de valores de ϕ_0 y κ , como también los resultados anuales. Se observa que un aumento de 0,001 en el espesor del vidrio sobre la superficie espejada trae como consecuencia un incremento del 1,8 % en las pérdidas geométricas.

Los resultados teóricos obtenidos junto con las futuras pruebas de resistencia al granizo de espejos con diversos espesores, permitirán realizar un análisis técnico-económico a fin de definir la utilización de un espejo grueso o de uno delgado con soporte adicional.

4. EVALUACION DE METODO DE CONSTRUCCION DE UN BLOQUE DE CFEF

Para evaluar la factibilidad técnica y el costo del método de construcción del CFEF propuesto en la Introducción, es necesario analizar por separado cada uno de los componentes que forman los diversos pasos del proceso de elaboración del par de costillas soporte de los espejos. En la presente sección se discute la información lograda hasta el momento sobre los posibles métodos de construcción de la matriz primaria, así como las experiencias realizadas tanto para seleccionar el tipo de resina y el método de aplicación para la construcción de las matrices secundarias cuanto para determinar la precisión con que las mismas copian la matriz primaria. Igualmente se presentan los resultados logrados por el INTI en la dosificación del hormigón y las mediciones realizadas para determinar la precisión con que las costillas de dicho material copian las matrices secundarias. Finalmente se discuten estimaciones de costos de las diferentes etapas.

4.1. Matriz primaria

Se plantearon dos alternativas de construcción de la matriz primaria, considerando en ambas que ésta estará constituida por dos costillas sólidamente unidas. En la primera se requiere el uso de una alesadora de gran tamaño que permita maquinar la matriz en dos partes o eventualmente en una. En la segunda se considera el maquinado de las costillas fraccionadas en cinco o más partes, montándolas luego en un soporte adecuado; en este caso se requiere utilizar un método preciso de ubicación de las secciones de costilla. Esta segunda alternativa permite usar máquinas pequeñas de las cuales hay más disponibilidad en plaza. Se tomó contacto con

algunas empresas que disponen de la maquinaria adecuada para la elaboración de la matriz con la precisión requerida a fin de tener una evaluación de su costo de construcción. Los presupuestos presentados por aquéllas indican la conveniencia técnica y económica de la primera alternativa. En la Secc. 5 se discuten los montos estimados para la ingeniería básica y de detalle y la construcción de las matrices primaria y secundaria.

4.2. Matrices secundarias

A fin de determinar la precisión con que la matriz de resina epoxi copia a la matriz primaria y obtener información sobre la técnica de fabricación de la primera, se construyó una matriz metálica de 10 cm de ancho por 25 cm de largo con cinco escalones representativos de los diferentes casos que se presenten en la matriz completa. Con ella se construyeron matrices secundarias usando diferentes resinas epoxi y diversos métodos de aplicación de las mismas. Se contó con el asesoramiento de la casa CIBA-GEIGY y de la empresa AKAPOL para la elección de los materiales, y de esta última para la tecnología de construcción. En la Fig. 7 se muestra una foto del sector de matriz metálica y el de una de las matrices de resina.

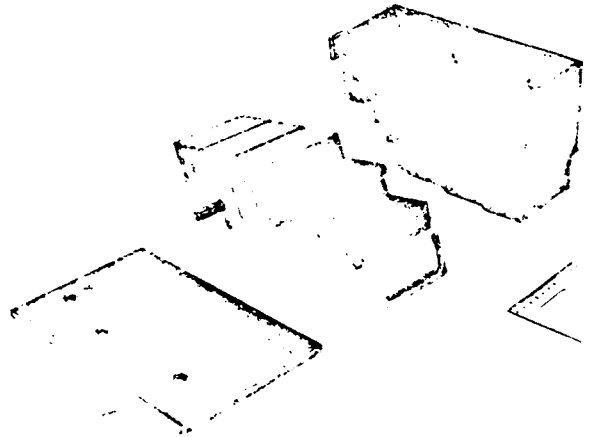


Fig. 7: Sectores de matriz primaria metálica y secundaria de resina epoxi con los correspondientes laterales para el colado de esta última. En la matriz de resina se puede observar, en la parte inferior, el perfil de hierro en forma de U usado como armadura.

Se construyeron tres matrices de resina que difirieron en la composición y espesor de las diferentes capas y en las técnicas de aplicación del material. En ellas se colocaron capas de superficie (o de copiado), de acople cargada con harina cargada con cuarzo muy fina, y de relleno cargada con arena de cuarzo gruesa. En una de las matrices junto con la capa de relleno se colocó, en la parte inferior, una caja

metálica hueca con el fin de ahorrar resina y vincular toda la matriz. En otra se colocó un perfil de hierro en forma de U como armadura, dentro del cual se moldeó la resina; dicha armadura simula el bastidor que soportará las dos costillas y las vinculará rigidamente entre sí.

Las mediciones para la matriz metálica y dos de las matrices de resina se hicieron en una mesa de coordenadas de la División Metrología Mecánica del Departamento de Física del INTI. En la Fig. 8 se muestra el apartamiento angular de los escalones de dos matrices de resina epoxi con respecto a los correspondientes a la matriz primaria, todos normalizados al primer escalón. La denominada matriz II ha copiado, en general, a la matriz primaria dentro de la precisión buscada. La matriz I, en cambio, ha sufrido una mayor deformación llegando, en algunos casos, a valores de apartamiento angular que son casi el doble del máximo que hemos considerado permisible. Es de destacar que en todos los casos medidos la desviación ha sido en un sentido único.

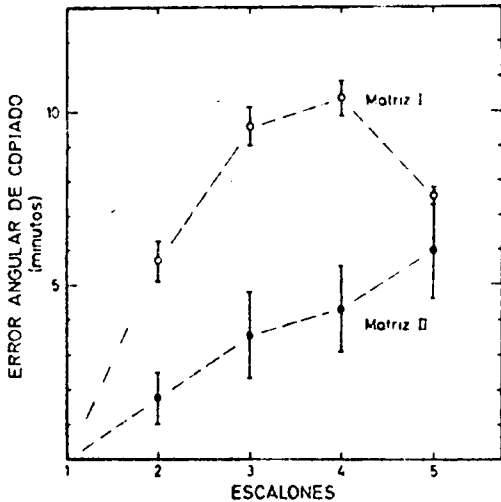


Fig. 8: Apartamiento angular de los escalones de dos matrices de resina epoxi con respecto a los correspondientes a la matriz metálica, tomando como referencia el primer escalón. Para ambas matrices la desviación ha sido en un mismo sentido. La matriz N° 1 no tiene ningún tipo de vínculo metálico interno; la N° II tiene, junto con la capa de relleno, una caja metálica hueca que sirve para ahorrar resina y vincular toda la matriz.

Los resultados preliminares obtenidos muestran que es posible copiar con resina epoxi el sector de matriz primaria con la preci-

sión angular requerida, si bien es todavía necesario determinar si dicha precisión se conserva a través del tiempo. Asimismo, se requiere aún experimentar con matrices de aberturas reales para determinar la precisión de copiado de éstas.

4.3. Costillas de cemento

La División Materiales del Departamento Construcciones del INTI ha realizado un estudio de diferentes dosificaciones de hormigón a fin de seleccionar una que permita copiar con precisión la matriz de resina y mantener la exactitud en la inclinación de los escalones a través del tiempo. Han realizado mediciones de deformaciones sobre probetas confeccionadas con tres formulaciones diferentes y usando la que han encontrado como más adecuada han construido dos pequeñas costillas a partir de las matrices de resina provistas por la CNEA. En la Fig. 9 se muestra una de dichas matrices y la correspondiente costilla de hormigón. Las mismas fueron medidas usando un sistema de comparadores montado en la CNEA el cual es de menor precisión que la mesa de coordenadas donde fueron medidas las matrices primaria y secundaria.



Fig. 9: Sector de matriz secundaria de resina sobre el cual fue colada la sección de costilla de hormigón mostrada.

En la Fig. 10 se muestra el apartamiento angular de los escalones de la costilla de hormigón respecto de la matriz de resina, normalizados al primer escalón. Las mediciones fueron realizadas después que las costillas cumplieron el siguiente proceso: desencofrado a las 48 h de colado el hormigón, fraguado bajo agua durante 120 h y almacenado en envase húmedo durante 96 h. Los resultados obtenidos son muy alentadores ya que la costilla de hormigón ha copiado a la matriz de resina dentro de la precisión buscada.

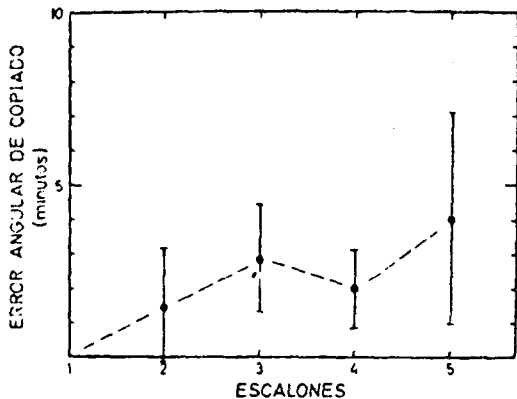


Fig. 10: Apartamiento angular de los escalones de un sector de costilla de hormigón con respecto a los correspondientes a una matriz e resina, tomando como referencia el primer escalón. Todos los escalones han sufrido desviaciones en un mismo sentido.

ESTIMACION DEL COSTO DE CONSTRUCCION DE LAS MATRICES

Tomando como base los presupuestos presentados por las empresas consultadas, los análisis hechos en la División y los trabajos desarrollados en ésta respecto de las matrices de resina, se ha realizado una estimación del costo de construcción, al 15 de junio del corriente año, de las matrices primaria y secundaria. Se ha incluido en el mismo el costo del diseño e ingeniería de detalle del "bloque" y de su respectivo soporte-base del que es necesario conocer éstos para realizar la ingeniería de detalle de la matriz de resina.

En la Tabla II se da el costo de la ingeniería mencionada en el párrafo anterior, el de ingeniería básica y de detalle para la construcción de la matriz primaria metálica, considerando que la misma será maquinada en sus partes según lo descrito en la Secc. 4, el de la ingeniería básica para la construcción del bastidor de la matriz secundaria y sus correspondientes laterales para el colado de la resina epoxi. Asimismo, se da el costo de la construcción de la matriz primaria, incluyendo material y mano de obra, así como el de la construcción del bastidor (material y mano de obra), la resina epoxi y la mano de obra del colado. Como se puede observar, el costo de construcción de la matriz de resina es el de 42 % del costo de construcción de la matriz primaria, pero de inversión hecha en la primera el 55 % es recuperable y puede usarse para la construcción de una nueva matriz cuando aquélla pierde la precisión requerida (la parte recuperable es el 80 % de lo invertido en la cons-

Tabla II

Costos estimados para la construcción de matrices⁺ (Miles de pesos)

DISEÑO E INGENIERIA DE DETALLE DEL BLOQUE Y SOPORTE-BASE	\$ 12.000
INGENIERIA BASICA Y DE DETALLE PARA LA CONSTRUCCION DE: - MATRIZ PRIMARIA METALICA - MATRIZ SECUNDARIA, BASTIDOR PORTA-RESINA Y LATERALES PARA COLADO	\$ 6.250 \$ 6.250
CONSTRUCCION MATRIZ PRIMARIA METALICA	\$ 138.000
CONSTRUCCION MATRIZ SECUNDARIA DE RESINA - BASTIDOR PORTA-RESINA Y LATERALES PARA COLADO - RESINA - MANO DE OBRA DE COLADO	\$ 40.000 \$ 12.000 \$ 6.000
TOTAL MATRICERIA	\$ 220.500

+ AL 15/6/83

6. ELECCION DE PARAMETROS DEL PROTOTIPO INDUSTRIAL

La elección de los parámetros de un prototipo industrial debe hacerse combinando los resultados teóricos con consideraciones técnico-económicas de fabricación, las que dependen fuertemente de la aplicación. En particular, para centrales de generación de electricidad es importante tener en cuenta la potencia a generar así como también la eficiencia de las turbinas en función de la temperatura. Sin embargo, en base a los resultados teóricos y a las primeras experiencias de fabricación, pueden darse algunas consideraciones generales acerca de los parámetros.

- a) Ancho de los espejos: la elección del mismo no involucra, en general, problemas técnicos de fabricación; sólo influye sobre el costo de la matriz primaria (debido al número de horas de maquinado) y el costo del corte y del montaje de los espejos. En consecuencia, se considera como valor razonable $w = 0,02$, que equivale a 4 cm para un concentrador de radio 2 m.
- b) Error en la posición angular de los espejos: de los resultados teóricos se observa que la eficiencia depende en forma importante de este error. Por otra parte, el costo de las matrices depende también fuertemente del mismo. En base a los primeros resultados logrados con las secciones de matrices de epoxi y costillas de cemento, se considera factible lograr errores no mayores de 5'.
- c) Semiapertura angular del concentrador: no presenta en principio problemas técnicos, aunque puede definir el tamaño de la máquina a utilizar para fabricar la matriz primaria. Dado que la eficiencia es mayor para el

miaberturas de 50-60° que para mayores, se seleccionaron las primeras. Sin embargo los valores definitivos deben provenir de consideraciones económicas dado que aberturas menores involucran mayor número de bloques y eventualmente de receptores para una misma potencia.

d) Segundo concentrador: de los resultados teóricos obtenidos se deduce que no se justifica su utilización para temperaturas de alrededor de 250°C o menores.

e) Temperatura de operación: este es el parámetro que más depende de la aplicación que se le va a dar al concentrador. En general, teniendo en cuenta que la eficiencia disminuye considerablemente con la temperatura (por ejemplo de 53 % a 36 % al pasar de 200°C a 400°C), las temperaturas de operación razonables para este tipo de concentrador deben estar comprendidas entre 200°C y 300°C.

Como dato ilustrativo, para un concentrador con orientación E-O, inclinación igual a la latitud, $w=0,02$, $R=2\text{ m}$, $\theta_{\max}=57^\circ$, $\sigma=5'$, $T=250^\circ\text{C}$, $\rho=0,80$, $\alpha=0,85$ y $\epsilon=0,70$, la eficiencia anual correspondiente a 6 horas diarias de uso es de ~50 %. Bajo las consideraciones de cielo despejado durante todo el año, un concentrador con dichas características y una longitud de 50 m aporta anualmente una energía térmica de ~140.000 kWh, lo que equivale a una potencia promedio de ~13 kW_e si se adopta una eficiencia de conversión de energía térmica en eléctrica del 20 %.

7. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Sr. J.M. Kesque su activa participación en las mediciones de apartamiento angular de copiado de las matrices de resina y de la costilla de hormigón, así como al Sr. H. Bajano por el apoyo prestado en dicha tarea. Asimismo agradecemos el apoyo continuo brindado por la Sección Apoyo Técnico del Dpto. de Física de la CNEA.

8. REFERENCIAS

- 1.- R.O. Nicolás, R.P. Platzeck, J.C. Durán, J.A. Moragues y W. Scheuer; "Concentrador cilíndrico fijo a espejo facetado para aprovechamiento de la energía solar", publicación CNEA-NT 35/78 (1978).
- 2.- R.O. Nicolás, J.A. Moragues, R.P. Platzeck y W. Scheuer; "Simulación del comportamiento y etapa inicial de la construcción de un concentrador fijo a espejo facetado", Actas de la 3a. Reunión de Trabajo de la ASADES, pág. 191 (1977).
- 3.- J. Pheline, Commissariat a l'Energie Atomique, Francia (1980). Comunicación privada.
- 4.- J.C. Durán y R.O. Nicolás; "Análisis óptico bidimensional de concentradores cilíndricos no perfectos", Actas de la 6a.

Reunión de Trabajo de la ASADES, pág. 377 (1980).

5.- H. Akima; "Bivariate Interpolation ans Smooth Surface Fitting Based on Local Procedures (E2)", Collected Algorithms from CACM, Algorithm 474.

6.- R. Dogniaux; "Programme de Calcul pour le Prédétermination Précise des Eclairéments Energétiques et Lumineux en Relation avec l'Utilisation de l'Energie Solaire", presentado en el "Colloque International sur l'Electricité Solaire", Toulouse, Francia (1976).

7.- R.O. Nicolás y J.C. Durán; "Concentrador fijo a espejo facetado de la CNEA. Consideraciones teóricas para el diseño de un prototipo industrial", Actas de la 6a. Reunión de Trabajo de la ASADES, pág. 365 (1980).

8.- R. Winston; "principles of Solar Concentrators of a Novel Desing", Solar Energy, 16, 89 (1974).