

MEMORIA DESCRIPTIVA

Un concentrador solar con espejo cilíndrico-parabólico para calentar líquidos puede prescindir de un sistema motórico de seguimiento, si el absorbedor se construye innovativamente como panel no-cilíndrico, de manera que la radiación se enfoque sobre la superficie absorbente a lo largo del día.

Ya se han desarrollado concentradores solares consistentes en un espejo de forma cilíndrica-parabólica en que la luz se concentra en una zona lineal cerca del punto focal de la parábola. Como el ángulo del sol con el horizonte cambia a lo largo del día, estos espejos requerían de un servomecanismo con algún motor de seguimiento para mantenerse enfocados en el concentrador de tubo cilíndrico.

Se plantea una simple solución a este problema en donde el absorbedor presenta una configuración aproximadamente elíptica-cilíndrica casi plana, emplazado a lo largo del eje central de la parábola, de manera que la radiación caiga sobre esta superficie en las horas relevantes de luz solar. De esta manera el espejo puede quedarse fijo incluso por meses, solo necesitando cambiar manualmente el ángulo para adaptarlo a la inclinación del sol con los cambios estacionales. Se logra así incrementar la energía del agua en un estanque en unas 2750 Kcal/m² y mas en un día de verano.

El espejo cilíndrico-parabólico puede consistir en una simple plancha de aluminio encurvada, emplazada en un marco recto-parabólico y recubierta por una lámina autoadhesiva que produce el efecto de espejo. A lo largo del eje de la parábola se emplaza el concentrador de sección casi plana elíptica. El ángulo del sol puede así tener una variación de unos $\pm 15^\circ$, que es lo necesario para mantener la radiación reflejada cayendo sobre el absorbedor en las aproximadamente 7 horas de radiación relevante diarias. El absorbedor puede ser una cavidad de cobre pintada de negro de manera de absorber el máximo de radiación. Por el absorbedor fluye un líquido como agua, que por convección (efecto sifón) circula hacia un estanque aislado térmicamente para ser posteriormente utilizado. Para reforzar la convección y así evitar que suba mucho la temperatura en el absorbedor (que radia como T⁴), es útil agregar una pequeña bomba para acelerar la convección. Esta bomba puede ser a su vez impulsada por una célula solar fotoeléctrica lo que a su vez sirve de servomecanismo para la convección.

Para comprender mejor la invención, se la describirá en base a una modalidad preferida, la que se ilustra en los dibujos, la que tiene solamente un carácter ilustrativo, no limitándose el alcance de la invención ni a la dimensiones ni a la cantidad de elementos ilustrados ni a los medios de sujeción.

La Figura 1: es una sección transversal del espejo parabólico 1 como concentrador para demostrar como la luz solar se refleja y cae sobre el absorbedor 2 para un rango de inclinaciones (a, b y c). Para un ángulo β de 45° , la base del espejo mide 4 veces la distancia focal F y la dimensión del espejo $L = 2,2956 * F$. El rango angular α lo tomamos de 15° .

La Figura 2: es un esquema en perspectiva del espejo parabólico 1 con el absorbedor 2, el estanque 3 y una vara guía 4 que fija el ángulo del espejo hacia el sol en las distintas estaciones del año.

La Figura 3: muestra el modelo del absorbedor de sección elíptica con que se han hecho las primeras mediciones.



La Figura 4: muestra un modelo del absorbedor con el fin de mejorar la absorción de la radiación, minimizando la superficie para evitar pérdidas por radiación como también evitando ángulos que reflejen la luz en vez de absorberla, además de tener una zona plana inferior para no perder parte de la luz refleja a ángulos mayores.

La Figura 5: muestra un modelo del absorbedor con forma de huso con el fin de mejorar la absorción de la radiación evitando ángulos agudos que reflejen la luz en vez de absorberla.

La Figura 6: muestra un modelo del absorbedor con forma de huso y con una zona inferior plana.

Descripción detallada de la invención

El nuevo absorbedor, centrado en la línea focal del espejo parabólico, puede ser alcanzado por la radiación solar dentro de una variación angular de unos 30° , como se puede apreciar en la Fig. 1.

Si el sol está paralelo al eje de la parábola, la luz reflejada caerá sobre una línea que une el punto de reflexión con la línea focal del espejo (que también está en el centro del absorbedor). Si el sol se desplaza a lo largo de un día en su inclinación con respecto al horizonte en una latitud como la de Santiago de Chile, el ángulo fluctúa en verano entre un mínimo (con radiación relevante) de unos 45° a las 10 y a las 17 horas a un máximo de unos 75° , es decir fluctúa unos 30° en total. En invierno la fluctuación es menor, entre unos 20° y unos 30° al cenit solar, es decir en total de solo 10° . En primavera y otoño, la fluctuación en el día es de unos 20° .

Es decir, con la variación angular total de unos 30° , se puede mantener el absorbedor enfocado durante cualquier día. Para mantenerlo enfocado en el transcurso del año, debe ser suficiente cambiar el ángulo del eje de la parábola con el horizonte cada 2 meses, lo que se puede regular con la vara guía 4 en la Fig. 2.

Evidentemente, el espejo debe estar orientado hacia el norte solar de manera de recibir la radiación lo mas verticalmente posible. En el cenit, la luz llega en el plano vertical del norte solar mientras que en la mañana o en la tarde llega en un ángulo con respecto a este plano, pero sin embargo se refleja con esta componente lateral y cae sin problemas en el absorbedor. Si el espejo con el absorbedor es suficientemente largo horizontalmente, se pierde muy poca radiación a los costados del absorbedor cuando el sol cae muy lateral.

Estos concentradores de espejo parabólico tienen la ventaja sobre calentadores con planos absorbentes, que pierden mucho menos de la radiación al medio ambiente por la menor superficie. Esto es importante para ganar energía no solo en verano sino que en las estaciones medias en que la temperatura ambiente puede ser baja. Incluso en invierno debiera funcionar este sistema, eso sí, se necesita luz solar directa y este sistema no es apropiado para días nublados con radiación difusa. En zonas del mundo como el norte y centro de Chile, en que hay mas del 80% de los días del año despejados, este sistema es muy eficiente.

El concentrador contiene un líquido como agua que circula por convección hacia un estanque aislado. La convección hace circular el líquido hacia la entrada superior en el estanque y el líquido es extraído por el efecto sifón térmico de la base del estanque como se ve en la Fig. 2. Ya que la convección no genera suficiente flujo para transportar suficiente líquido caliente del absorbedor al estanque, por lo que la temperatura subiría mucho en el absorbedor (que radia de acuerdo a la ley de Stefan-Boltzmann, subiendo como T^4), se puede agregar una pequeña bomba de agua de 4 Watt en la salida al fondo del estanque, impulsada por una célula fotoeléctrica (de unos $20 \times 15 \text{ cm}^2$).



Este flujo es suficiente para mantener la temperatura en el absorbedor a un nivel razonable y poder transportar el calor al estanque. Esta bomba "solar" tiene la ventaja que se auto-regula con la radiación, de manera de fluir mas cuando aumenta o parar si cesa la radiación.

Los primeros resultados, con un sistema que se construyó en Santiago de Chile en Julio del 2008, con un espejo de superficie efectiva al sol de $0,8 \text{ m}^2$ ($1,08 \times 0,74$). Ya en Agosto-Septiembre se logró aumentar la temperatura de un estanque de agua con 100 litros en unos $18^\circ \pm 3^\circ \text{ C}$ en días de sol (por ejemplo de 17° en la mañana a 35° en la tarde). Ahora en Enero del 2009 se están obteniendo $22^\circ \pm 2^\circ \text{ C}$ (por ejemplo de 25° en la mañana a 47° en la tarde). Es decir, si se normalizan los resultados en base a un espejo que tenga $1,0 \text{ m}^2$ de superficie efectiva al sol, se están obteniendo cerca de 2250 Kcal de energía en estaciones medias y 2750 Kcal en verano por m^2 y día de exposición.

Hay varios aspectos en que todavía se pueden optimizar nuestro sistema:

- La pintura del absorbedor todavía no es óptima, ya que se ha probado con pinturas negro obscuras pero algo brillantes o bien opacas pero algo grisáceas. Comercialmente parece difícil encontrar color negro oscuro y opacas para absorber el máximo de radiación.

- El aislamiento del estanque utilizado no es bueno ya que en reposo (sin conectar el espejo), de un día al próximo pierde unos 20° C . Lógicamente para el uso normal como calentador de agua se deben usar estanques apropiados.

- La forma del perfil del absorbedor puede ser mejorada para poder captar mas radiación a ángulos agudos con respecto a la superficie del absorbedor, es decir cuando la luz se refleja de abajo prácticamente paralela al eje de la parábola. Para que no se refleje tanto se pueden usar modelos alternativos a los de la Fig. 3 (con las que se hicieron las mediciones), como en las Figuras 4, 5 y 6. En la Fig. 4, el ángulo menos agudo a la radiación se consigue achicando el eje mayor de la elipse y agregando abajo una zona plana (o muy delgada con líquido) conductora para no perder la radiación que llega ortogonalmente. En la Fig. 5 mostramos un absorbedor con forma de huso en que la radiación en ángulos agudos proveniente del espejo de abajo sería absorbida eficientemente, eso sí, esta superficie presenta una superficie algo mayor que la en Fig. 3, es decir puede radiar térmicamente algo mas, de manera que se debe analizar el grosor óptimo para ganar eficiencia en el colector. Finalmente, Fig. 6 muestra una superficie que es combinación de las dos anteriores.

- El grosor del absorbedor, que determina la cantidad de agua que contiene y el diámetro de los tubos que lo conectan al estanque, pueden ser optimizados para lograr el máximo de convección natural y minimizar la pérdida por radiación. Se piensa que la proporción entre el eje mayor y menor en el absorbedor debiera estar en un rango entre 20:1 a 4:1. Si se construye mas angosto puede perder el flujo laminar en la circulación del agua. Por otro lado, si el absorbedor se hace demasiado ancho, crece la superficie en contacto con el medio ambiente, perdiendo mucha energía por radiación fuera del peso del absorbedor que subiría demasiado

- En la superficie superior del absorbedor, en que no absorbe mucha radiación reflejada pero sí pierde calor, se puede cubrir con alguna pintura, barniz o material que sea mal conductor térmico para minimizar la pérdida calórica.

- El absorbedor puede tener a lo largo de su superficie algunos pliegues logitudinales de poca altura (menos de un centímetro debiera bastar) que puedan absorber la radiación que se haya reflejado en la superficie del absorbedor. Estos pliegues tendrían el aspecto adicional positivo de frenar la circulación de aire alrededor del absorbedor, lo que disminuiría la pérdida de calor al medio ambiente. Por otro lado, tendría la desventaja de aumentar la superficie del absorbedor radiante.



REIVINDICACIONES

1. Un concentrador solar con espejo cilíndrico-parabólico para calentar un líquido puede prescindir de un sistema motórico de seguimiento del sol, al estar **CARACTERIZADO** porque posee un absorbedor con una configuración de sección circunscrita por una elíptica cuyo eje mayor es mucho mas largo que el eje menor, en proporción en un rango entre 20:1 a 4:1, y de manera que pueda absorber la radiación reflejada proveniente de unos $\pm 15^\circ$ con respecto al eje de la parábola del espejo.
2. Un concentrador solar con espejo cilíndrico-parabólico, de acuerdo a la reivindicación 1, **CARACTERIZADO** porque el absorbedor primeramente elíptico tiene una zona mas ancha en la zona inferior mas cercana al espejo, de manera que la radiación en ángulos agudos al eje del espejo parabólico se absorban y no sean reflejados en el absorbedor.
3. Un concentrador solar con espejo cilíndrico-parabólico, de acuerdo a la reivindicación 1 ó 2, **CARACTERIZADO** porque el absorbedor tiene una zona casi plana con muy poco o nada de líquido, de manera de poder extender la zona en que la radiación incide sobre el absorbedor en ángulos mas ortogonales sin aumentar demasiado el peso del líquido en el absorbedor y la superficie de este.
4. Un concentrador solar con espejo cilíndrico-parabólico, de acuerdo a la reivindicación 1, 2 ó 3, **CARACTERIZADO** porque el absorbedor tiene la superficie con algunos pliegues logitudinales de poca altura que puedan absorber la radiación que se haya reflejado en la superficie del absorbedor.



Fig. 1

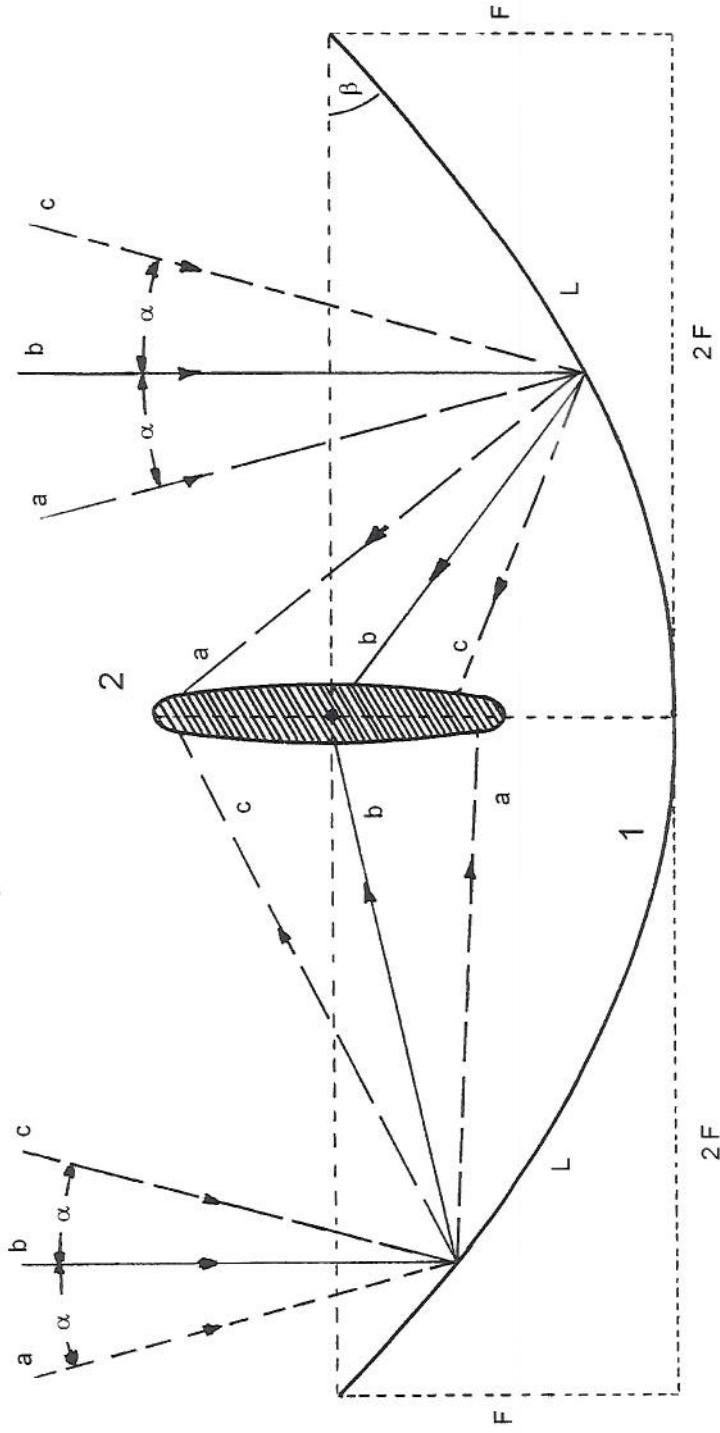


Fig. 2

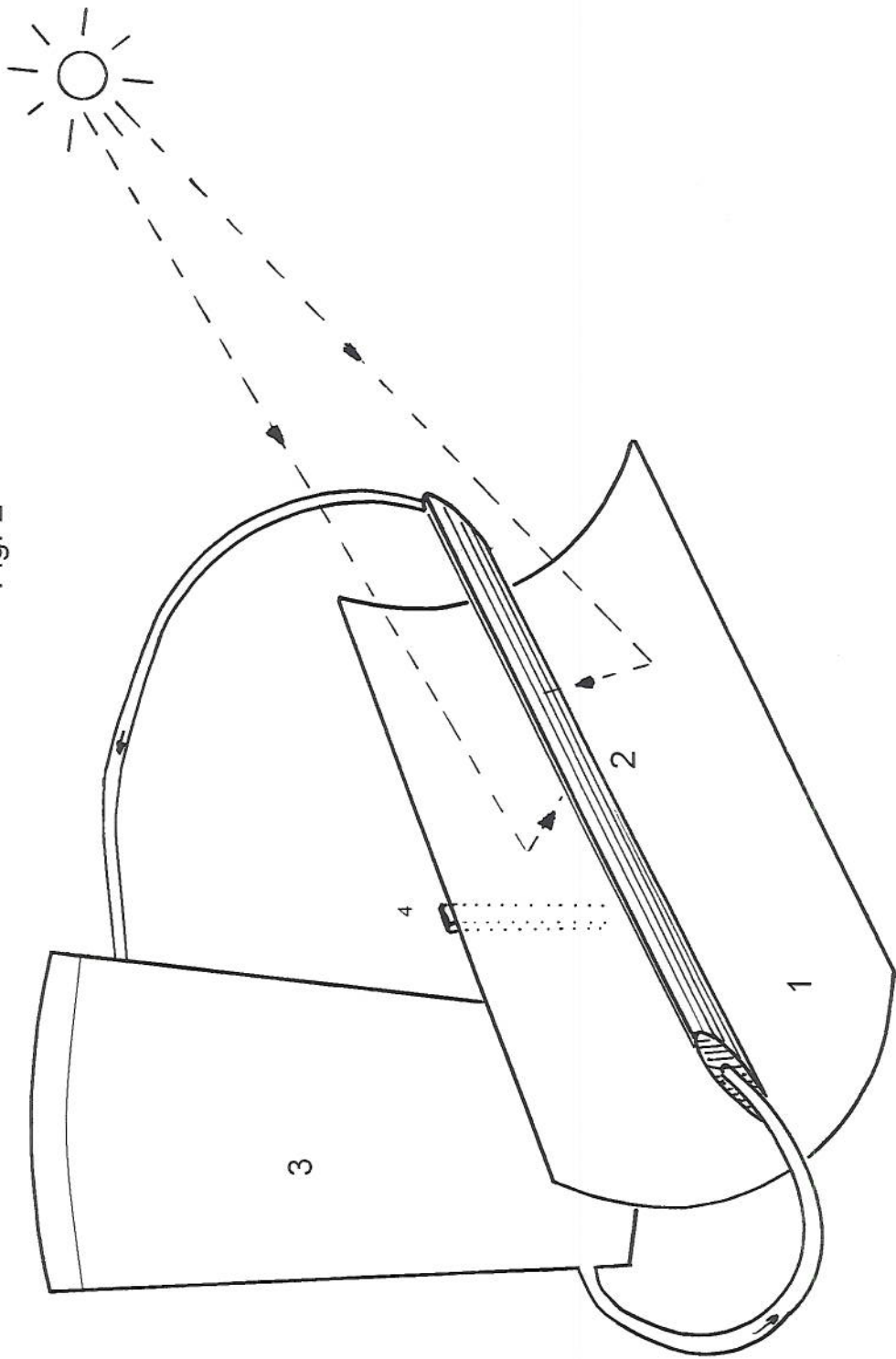


Figura No 2
272-08



Fig. 3

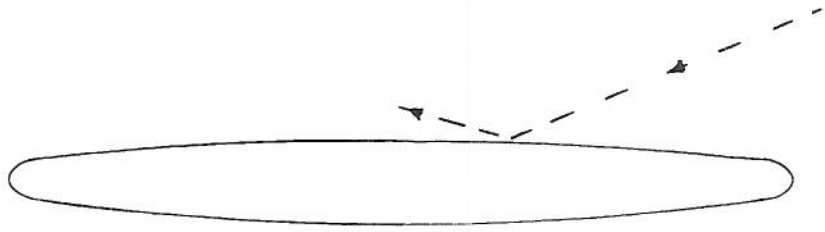


Fig. 4

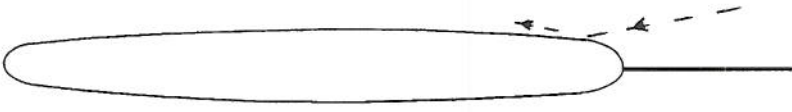


Fig. 5

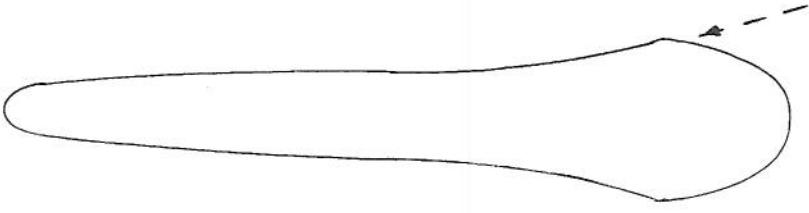


Fig. 6

