

Los problemas climáticos originados por los **altos niveles de contaminación producidos por la industria**, han llevado a la búsqueda de soluciones eficientes, que reemplacen a los actuales procesos contaminantes.



Diseño de un colector parabólico solar para la generación de vapor

Design of a Parabolic Collector Solar for Generating Steam

RESUMEN

El uso de la energía solar es una realidad. Las investigaciones al respecto abarcan una serie de tecnologías para el mejor aprovechamiento de este vital recurso. Pero en el Perú su empleo es poco frecuente en proporción a lo que se utiliza en otros países. En la región Arequipa, la radiación equivalente alcanza de 1.100 a 1.200 watts por metro cuadrado que en comparación con otras ciudades es alta. El objetivo de esta investigación fue la generación de vapor con energía solar, para ser utilizado en el proceso de planchado de prendas en alpaca. Para ello, se empleó un sistema de generación de temperatura media entre 90 °C y 130 °C, mediante un tubo de vidrio al vacío como principal concentrador, se aumentó el área con un colector parabólico y un sistema de seguimiento solar para mejorar su eficiencia. Previo a su construcción, el sistema fue diseñado de tal modo que cumpliera con los requerimientos deseados. Luego se procedió a crear un prototipo cuya estructura fue modificada, hasta obtener el flujo de vapor deseado (0,7kg/min) a 110 °C, también se obtuvo una constante adimensional promedio de 38,25 para el área solar proyectada. Finalmente, se procedió a hacer el cálculo estructural del colector, teniendo en cuenta la carga por viento.

ABSTRACT

The use of solar energy is a reality. The research on the subject covers a great variety of technologies to make better use of this vital resource. But even in Peru the application of these technologies is not so important as in other countries. In Arequipa, the equivalent radiation reaches 1.100 to 1.200 watts per square meter that is higher than in other cities of the region. The goal of this study was the use of solar energy to generate steam for ironing garments in alpaca. A system generating a mean temperature between 90 °C and 130 °C was used, using a vacuum glass tube as focus, and increasing the area with a parabolic collector and a solar tracking system to improve efficiency. First, a system, which meets the desired requirements, was designed. Then, a prototype was built whose structure was modified to reach the target steam flow (0,7kg/min) at 110 °C, an average dimensionless constant of 38.25 to the sun projected area was also obtained. Finally, we proceeded to make the structural calculation of the collector, taking into account the wind load.



Palabras Clave

Energía solar, concentrador cilindro parabólico, tubo de vidrio evacuado tipo U, generación de vapor, concentración solar.

Key words

Solar energy, parabolic trough concentrators, glass evacuated tube U pipe, steam generation, solar concentration.

INTRODUCCIÓN

Los problemas climáticos originados por los altos niveles de contaminación producidos por la industria, han llevado a la búsqueda de soluciones eficientes, que reemplacen a los actuales procesos contaminantes. Estas se ven reflejadas en la implementación de centrales de generación eléctrica que funcionan con energías renovables como la solar, eólica, geotérmica, etc. En el Perú, la utilización de la radiación solar ofrece una alternativa limpia, eficiente y fácil de adaptar en diversos procesos productivos de la industria. En ese contexto, es parte de un largo proceso, concientizar a las personas, que el uso de las energías renovables no solo tiene un impacto ambiental positivo, sino que al utilizar eficientemente dichos recursos, se pueden generar ganancias en el sector energético e industrial.

En nuestra región, la generación de vapor para usos industriales está basada en calderas diesel o a carbón, las cuales producen contaminación. Así, en la industria textil se emplea vapor para el planchado y vaporizado de prendas. Este proyecto plantea una alternativa para la generación de vapor sin contaminación ni utilización de combustibles fósiles. El proyecto se basó en diseñar un concentrador solar que fuera estructuralmente estable, cuando era sometido a cargas de viento (wind load); y que en su diseño final encaje perfectamente con las planchas comerciales de aluminio anodizado y acero inoxidable (1,2 m x 2,4 m); estas planchas comerciales, son de costo bajo y generan alta reflectividad de rayos solares (casi como un espejo), y que al reflejarse en el foco de la parábola, produzca el vapor necesario para el funcionamiento de una plancha a vapor comercial (0,7 kg/min).

FUNDAMENTOS

El colector utiliza la forma geométrica de una parábola, de tal modo que todos los rayos inciden en el foco de la misma. Así, se aprovecha un área mucho más grande donde se reflejarían los rayos solares, para que la tubería ubicada en el foco reciba la mayor cantidad de radiación, para alcanzar una temperatura máxima de hasta 400 °C.

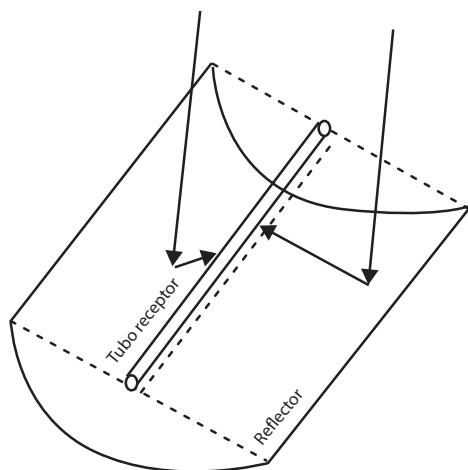


Figura 1: Esquema del colector.
Fuente: Análisis de colector parabólico. Pinedo, A. (2012) p. 2.

Para la mejor comprensión de los modelos matemáticos mostrados se presenta el esquema de una parábola.

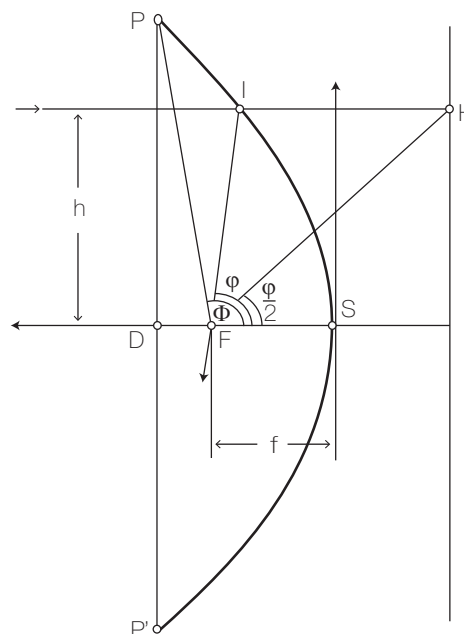


Figura 2: Esquema de una parábola.
Fuente: Análisis de colector parabólico. Pinedo, A. (2012) p. 3.

La siguiente ecuación, con origen en el sistema de coordenadas, describe una parábola en función de su foco (F).

$$(X) = \frac{X^2}{4F}$$



Figura 3: Forma de una parábola.
Fuente: Elaboración propia.

En donde S es la longitud de media parábola, **a** es 0, **b** es la longitud máxima en el eje x (**Xmax**), y $f'(x)$ es la derivada de la función parábola.

$$S = \int_a^b \sqrt{1 + (f'(x))^2} dx$$

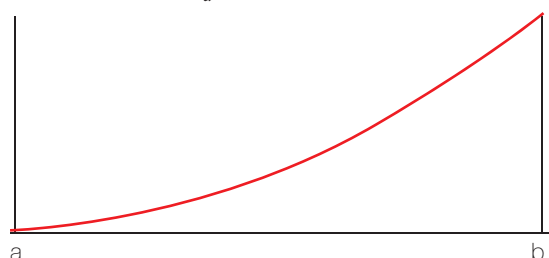


Figura 4: Forma de la mitad de una parábola.
Fuente: Elaboración propia.

Cálculo del ángulo de apertura α y de la distancia ρ en función del foco (**F**), **Xmax** e **Ymax**.

$$\text{Tg} \frac{\alpha}{2} = X_{\text{max}} / (F - Y_{\text{max}})$$

$$\rho = \sqrt{W + (F - Y_{\text{max}})^2}$$

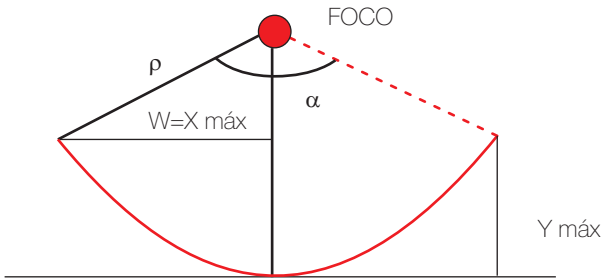


Figura 5: Forma de una parábola en la que se indica la posición del foco.
Fuente: Elaboración propia.

Para obtener el diámetro del tubo receptor, hay que considerar que el Sol no es una fuente luminosa puntual. Visto desde la superficie de la Tierra, el disco solar corresponde al área proyectada para un ángulo de apertura de 32°, como lo indica la Figura 6. Por tanto, la radiación solar directa sobre la superficie terrestre no está formada por rayos perfectamente paralelos entre sí, sino que se distribuyen sobre un cono, de direcciones de ángulo sólido igual a 16° alrededor de la línea, que une el punto de observación con el centro del disco solar. Así, no todos los rayos de este cono alcanzarán un receptor de mayor diámetro.

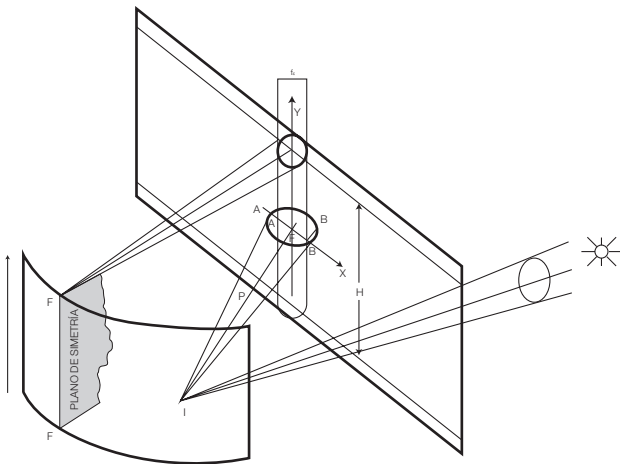


Figura 6: Proyección del disco solar sobre el tubo absorbedor.
Fuente: Diseño de colector parabólico. Paredes, C. (2012) p. 43.

El valor de diámetro mínimo que debe tener el tubo receptor depende principalmente de ρ , y se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$\phi_{\text{min}} = \frac{2\rho \cdot \text{tg}(16)}{\cos(\frac{\alpha}{2})}$$

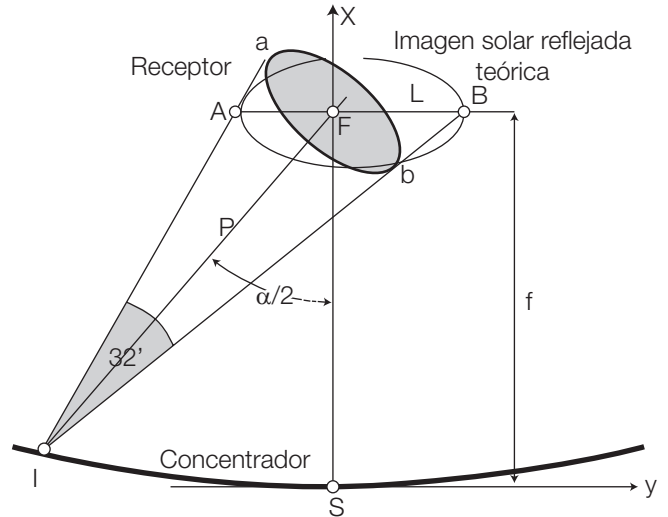


Figura 7: Proyección del disco solar reflejado sobre el tubo absorbedor.
Fuente: Diseño de colector. Paredes, C. (2012) p. 43.

El valor del diámetro real se obtuvo por la ecuación:

$$\phi_{\text{real}} = \frac{X_{\text{max}} \cdot \text{Sen}(0.267 + \frac{1.15}{2})}{\text{Sen}(\frac{\alpha}{2})}$$

Y el cálculo de la cantidad de soles acumulados en el tubo absorbedor se da a través de la expresión:

$$C_{\text{max}} = \frac{L \cdot 2 \cdot X_{\text{max}}}{\phi_{\text{min}} \cdot L}$$

Donde L es la longitud del tubo.

METODOLOGÍA

DETERMINACIÓN NUMÉRICA Y DISEÑO DEL COLECTOR PARABÓLICO

En la determinación de los valores numéricos para el posterior diseño, se utilizó el software Engineering Equation Solver (EES) en su versión académica comercial bajo licencia Tecsup, área de Mecánica.

El cálculo generó 12 ecuaciones, 13 variables y 1 variable de integración.

Primero se obtuvo el valor de X máx (Figura 5), para el valor de la superficie curva (S) (Figura 4).

Entonces colocamos el modelo matemático deducido, para poder obtener los resultados de diseño.

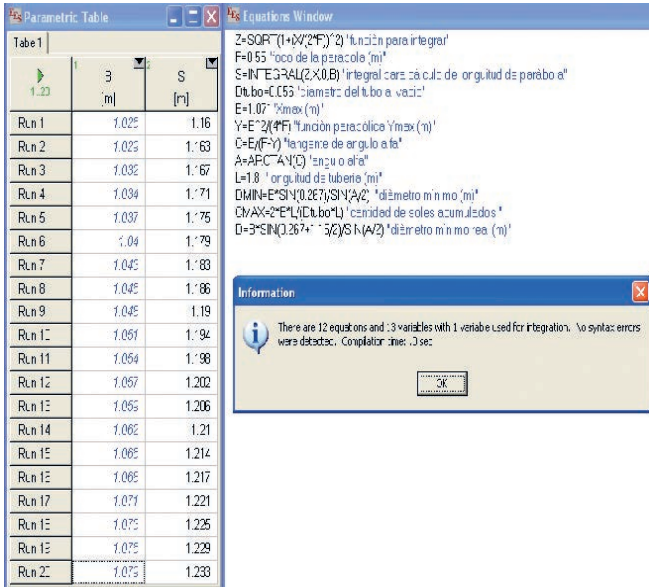


Figura 8: Cálculo de parámetros de integración con el software EES.
Fuente: Elaboración propia.

El dato de entrada para la solución del problema fue el foco de la parábola (F), planeado para medir 0,55 m. En función de ese valor se calculó la longitud de media parábola (S) que fue igual a 1,221 m de longitud, que es igual a la longitud de una plancha comercial de acero inox, que es el objetivo principal del cálculo, para poder acoplar fácilmente la plancha comercial a la estructura, también se obtuvo el valor Xmax igual a 1,071 m, que es el límite máximo de integración (B).

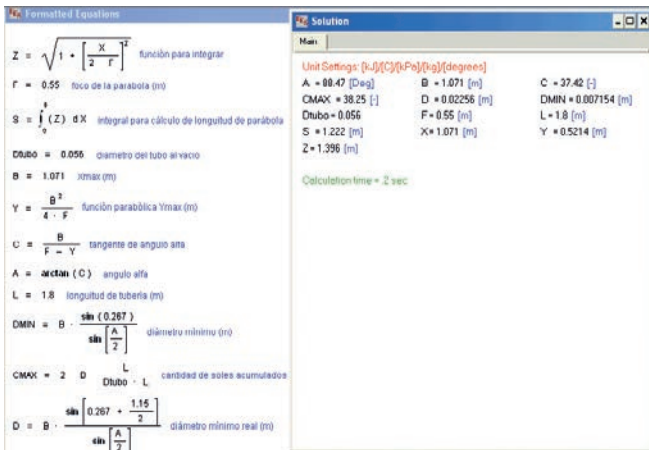


Figura 9: Resultados geométricos del colector.
Fuente: Elaboración propia.

Para un foco de 0,55 metros, los resultados del modelo matemático fueron :

- B= 1,071 m (Xmax de la parábola)
- A= 88,47° (ángulo alfa)
- L= 1,8 m (longitud del tubo)
- DMIN= 0,72 cm (diámetro mínimo del tubo)
- D= 2,256 cm (diámetro real del tubo)
- CMAX= 38,25 (constante adimensional de área solar proyectada)

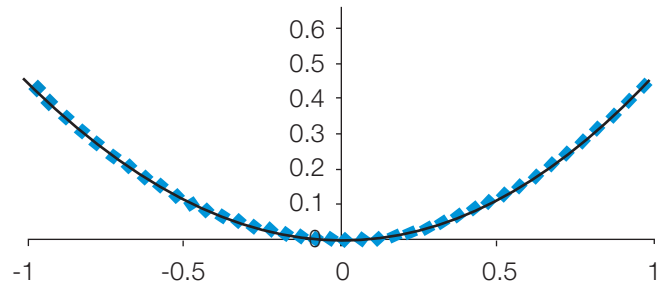


Figura 10: Perfil de parábola a desarrollar.
Fuente: Elaboración propia.

Cabe resaltar que la longitud del tubo al vacío es estándar (1,8 m), y de tipo U con tubería de cobre interior para evitar rupturas por el aumento de presión y el cambio de fase (líquido a vapor), pues por un extremo de la tubería ingresa agua líquida y por el otro sale vapor. El diámetro comercial del absorbedor (tubo al vacío) es de 5,6 cm, que es mayor al diámetro real calculado de 2,256 cm, por lo cual no existe pérdida de proyección de rayos solares en el tubo al vacío (Figura 6).



Figura 11: Esquema de un tubo al vacío con tubería de cobre en forma de U.
Fuente: Diseño en instalación de un sistema de calentamiento. Martínez, I. (2011) p. 21.

DISEÑO DEL CONCENTRADOR SOLAR CILINDRO PARABÓLICO

Con los datos obtenidos del cálculo parabólico y diámetro de tubería se procedió a diseñar el colector parabólico. Para el diseño del concentrador solar cilindro parabólico se realizaron varios bosquejos, los cuales fueron pasados a 3D en el programa SolidWork 2012 (versión educativa bajo la licencia de Tecsup).

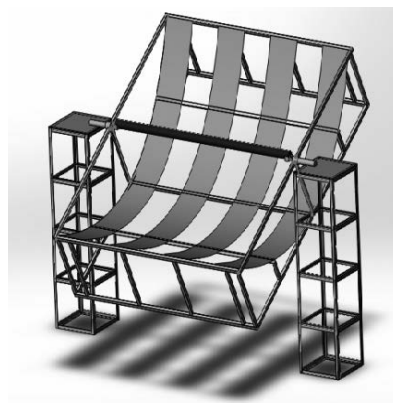


Figura 12: Estructura y montaje de colector parabólico.
Fuente: Elaboración propia.

RESULTADOS

Se logró determinar las características dimensionales a través de un software de cálculo simple, el cual facilitó la resolución de algunas complejidades de cálculo.

Se estableció que el diámetro real de recepción es menor que el diámetro nominal del tubo al vacío utilizado, por lo que no existen pérdidas de rayos de sol reflejados.

Se consiguió construir un prototipo que cumpliera con las exigencias necesarias, para poder operar en las condiciones de trabajo pre-establecidas.

Se determinó, a partir del diámetro del receptor y del foco, las dimensiones de la parábola, teniendo en cuenta que estas deben coincidir con las dimensiones comerciales, de la plancha de acero inox y del tubo al vacío.

Se construyó un prototipo de aluminio para disminuir el peso de la estructura, pero las partes que soportaban grandes cargas eran soldadas y la soldadura de aluminio no cumplía con las exigencias deseadas, pues en las pruebas presentó pequeñas grietas. Ello obligó a rediseñar el prototipo para aligerar su peso y mejorar su estabilidad.

CONCLUSIONES

El uso de energías renovables tiene gran variedad de aplicaciones. Por ello es necesaria la investigación en este campo para obtener nuevos conocimientos, con el fin de desarrollar una industria sustentable y más amigable con el ambiente.

Es posible aumentar la cantidad de radiación incidente en un tubo colector, con el uso de superficies parabólicas que tengan una alta calidad de superficie, lisas y con rugosidad cero, mediante el empleo de materiales como acero inox y aluminio.

Se pueden utilizar mejores materiales, sistemas geométricos, nuevas tecnologías para mejorar los sistemas de absorción de radiación solar y generar vapor de manera eficiente y gratuita.

La cantidad de vapor obtenida es proporcional al área reflejada de rayos solares y a la radiación de la localidad.

El empleo de tubos al vacío aumenta la absorción de radiación y la concentración de energía solar, debido a que aumentan la transferencia de calor por radiación y evitan la pérdida de calor por conducción.

REFERENCIAS

- [1] Duffie, J. (2006). *Solar Engineering of Thermal Processes*. New Jersey: John Wiley and Sons.
- [2] Echevarría, C (2011). *Diseño de un colector cilindro parabólico compuesto con aplicación para el calentamiento de agua* (Tesis de grado). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- [3] Gómez, V, Santos, I., Ortega, N., & García, O. (2012). Optimización experimental de un concentrador parabólico compuesto para aplicaciones de mediana temperatura. *XIX Simposio Peruano de Energía Solar* (pp. 1-8). Puno, Perú. Recuperado de <http://www.perusolar.org/wp-content/uploads/2013/01/13.pdf>
- [4] Martínez, I. (2011). *Diseño e instalación de un sistema de calentamiento solar de agua, para el sector rural* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- [5] Paredes, C. García, A., & Domaniczky, J. (2012). *Diseño de captador solar cilíndrico parabólico para aplicaciones rurales en Paraguay* (Proyecto de titulación) Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas, Asunción, Paraguay.
- [6] Pinedo, A., & Asmat, D. (2012). *Análisis teórico experimental de un colector parabólico automatizado con espejos reflectantes* (Tesis de grado). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.

ACERCA DEL AUTOR

César Vera Vásquez

MSc. en Termociencias por la Pontificia Universidad Católica do Rio de Janeiro-Brasil. Actualmente se desempeña como docente investigador en el área de energías renovables.

 cesar.vera.eng@gmail.com