



Diseño conceptual de un receptor solar para generar vapor de agua en concentradores parabólicos de disco

Conceptual design of a solar receiver to generate water vapor in dish parabolic concentrators

Carlos Sixto Martínez Carrera¹ / Wuilber Clemente De La Cruz¹



0000-0003-4365-9262 / 0000-0002-2634-7737

Autor correspondiente: csmartinez@uncp.edu.pe

wclemente@uncp.edu.pe

Cómo citar:

Martínez Carrera, C. S. & Clemente De La Cruz, W. (2021). *Diseño conceptual de un receptor solar para generar vapor de agua en concentradores parabólicos de disco*. *Prospectiva Universitaria*, revista de la UNCP. 18(1), 71-78. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2021.18.1419>

Resumen

La generación de energía masiva requiere gestionar grandes cantidades de vapor de agua, debido a que se tiene que introducir calor que permita elevar la temperatura por encima de los 1000 °C para generar vapor sobrecalentado capaz de mover generadores de electricidad; por ejemplo; la tecnología de los concentradores parabólicos de disco. En ese sentido, todavía no está lo suficientemente madura, pero es prometedora, debido a que los estudios han mostrado que el sistema de colector con disco parabólico es más eficiente, estable, predecible y confiable que otros sistemas, porque concentra la energía solar en un receptor que asimila y luego ofrece la posibilidad de almacenarla para posteriormente seguir utilizándola en más o menos 7 horas, lo que no se puede decir de otros sistemas no previstos para el almacenamiento de energía o con depósitos de energía altamente contaminantes, como es la energía fotovoltaica. Se ha propuesto el receptor solar junto con su sistema de almacenamiento, porque es donde se gestiona toda la energía concentrada y donde se determina la eficiencia de todo el sistema, es un proceso crítico; el objetivo, ha sido desarrollar conceptualmente una propuesta óptima tomando en cuenta materiales, condiciones y configuraciones que han sido estudiadas; concluyendo que son ventajosos. Todo esto, hecho mediante la metodología del diseño VDI 2221, ha ayudado a ordenar el proceso y conseguir los datos apropiados. Se ha obtenido el diseño de un sistema conceptual más óptimo de acuerdo a las informaciones más recientes, consiguiendo la mejor eficiencia, la configuración más óptima y no perdiendo de vista la duración del sistema, evitando el estrés térmico y evitar, en lo posible, materiales con alto índice de huella de carbono.

Palabras Clave: receptor solar, concentrador parabólico de disco, generador de vapor, almacenador de calor, diseño conceptual

Abstract

Massive energy generation requires the management of large amounts of water vapor, because heat has to be introduced that allows the temperature to be raised above 1000 °C to generate superheated steam capable of moving generators to produce electricity; for example, The technology of Disk Parabolic Concentrators. In this sense, is not yet mature enough, but it is promising, because studies have shown that the parabolic disk collector system is more efficient, stable, predictable and reliable than other systems, because it concentrates solar energy in a receiver that it assimilates and then offers the possibility of storing it for then continue to use it in about 7 hours, which cannot be said about other systems not foreseen for energy storage or with highly polluting energy deposits such as photovoltaic energy. In this work, the solar receiver is proposed together with its storage system, because all the concentrated energy is managed there and where the efficiency of the entire system is determined, it is a critical process. The objective of this work has been to develop conceptually an optimal proposal taking into account materials, conditions and configurations that have been studied and in which it has finally been concluded that they are advantageous. All this, has been done through the VDI 2221 design methodology that has helped to order the process and get the appropriate data. The design of a more optimal conceptual system has been obtained according to the most recent information, achieving the best efficiency, the most optimal configuration and not losing sight of the duration of the system, avoiding thermal and hand stress to avoid materials with a high carbon footprint, as much as possible.

Keywords: solar receiver, parabolic disk concentrator, steam generator, heat storage, conceptual design

¹Docentes de la Fac. de Ingeniería Mecánica

Introducción

El objetivo de este artículo es proponer un sistema receptor de calor eficiente y que, finalmente, pueda captar todo el calor disponible, aunque lo use después. Lograr hacer el diseño conceptual con las opciones de los portadores de funciones que se propongan.

Usando la radiación solar, las concentraciones más altas de radiación son ventajosas porque reducen las pérdidas térmicas, pues las aberturas del receptor son más pequeñas, pero existe un límite para la concentración de energía, y sobre esto los factores tecnológicos y prácticos lo limitan aún más. También, por la segunda ley de la termodinámica, se deduce que no se puede alcanzar temperaturas más altas que las del sol (Lovegrove & Stein, 2020).

Las turbinas más eficientes, actualmente funcionan con alrededor de 700°C en su entrada de vapor; los concentradores Fresnel ofrecen 400 °C con aceite térmico HFT hasta 500°C, si utiliza otros fluidos alternativos de tecnología de punta. Los sistemas de torre y disco parabólico alcanzan las temperaturas necesarias, teniendo como límite el estrés térmico de los materiales, llegando a tener turbinas que funcionan en condiciones supercríticas con máxima eficiencia. De allí la importancia de las altas temperaturas, pero aún no son muy maduras comercialmente (Lovegrove & Stein, 2020).

Si se propone trabajar con temperaturas de alrededor de los 1000 °C, los materiales estructurales deben de ser capaces de conducir el calor eficientemente, el fluido caloportador debe de resistir altas temperaturas, sin degradarse, y el almacenador de calor debe de ser capaz de contener la mayor cantidad de calor en espacios más pequeños. La configuración también juega un papel importante, pues el calor atrapado no debe perderse en el trayecto y debe de ser almacenado con las menores pérdidas posibles (Fang et al., 2021).

Los colectores solares de disco usan espejos parabólicos monitoreados constantemente en la dirección del sol cuyos rayos se concentran en el receptor, que es una unidad de conversión de energía (PCU). Tiene alta eficiencia óptica, relaciones de concentración y, también, alta eficiencia en conversión de energía. Actualmente, los colectores de disco se usan más con los motores Stirling produciendo electricidad directa, pero pueden aplicarse en toda gama de procesos térmicos, con los que se podría generar varios megavatios si de producir electricidad se trata. El tamaño del foco depende de la precisión de la forma del concentrador, propiedades de superficie y distancia focal, con relaciones de concentración geométricas de entre 1500 y 4000, con diámetros de concentrador que varían desde 1 hasta los 25 metros (Lovegrove & Stein, 2020). Los platos parabólicos aprovechan la característica geométrica de la parábola de manera tridimensional, enfocando los rayos en un foco, pudiendo calentar a más de 1000 °C en los sistemas CST (energía solar tér-

mica de concentración) y son las que mejor convierten la energía solar en calor, porque se enfocan directamente al sol y porque evitan el efecto de pérdida coseno.

Boerema et al. (2013) concluyen que el diseño de los receptores es fundamental, que soportan temperaturas altas y no uniformes, produciéndose ciclos térmicos exigentes, detalles que pueden tener gran impacto en la vida útil y que por tal motivo, los materiales que soporten tales exigencias son limitados.

Lovegrove & Stein (2020) afirman que las pérdidas en los receptores cuando están en régimen estable, son la diferencia entre la energía neta que va hacia el receptor de radiación solar concentrada y la energía entregada por transferencia de calor al fluido caloportador. Las pérdidas son debido a reflejos no deseados, emisiones radiativas, procesos convectivos y procesos conductores. La eficiencia energética es la relación entre la energía útil que se entrega al líquido caloportador y la energía de entrada entregada por el disco parabólico.

Lai & Locatelli (2021) estudiaron el almacenamiento a gran escala que formaría parte del sistema de almacenamiento de energía integrado de generación (GIES) el cual sería un paso previo a la generación de electricidad y aún no está madura, pero hay múltiples oportunidades financieras. El factor clave es el costo del generador o el costo de capital de almacenamiento, dependiendo si se aplica GIES (0.05-0.12 E/kWh) o no GIES (0.07-0.11 E/kWh). En Monte Carlo, para un generador de 100 MW con un almacenamiento de 100 MWh, La tasa interna de rendimiento (TIR) es 2-22 % para GIES y de 5-14 % para no GIES.

Los paneles fotovoltaicos ganaron supremacía en su aplicación tecnológica debido principalmente al abaratamiento de sus costos que están por debajo de los 500 US\$/kW, con costos totales de instalación menores a los 1000 US\$/kW, alcanzando a producir unos 100 GW/año con instalaciones sumadas en el 2019 que llegan a los 500GW, el gran problema está en su almacenamiento y es allí donde adquiere importancia los concentradores solares, que ofrecen sistemas de almacenamiento más ecológicos, más económicos y aprovechables (Lovegrove & Stein, 2020 y; Dutta, 2017).

Pero, aunque por ahora los sistemas no compiten en la aplicación de generación eléctrica por su falta de desarrollo tecnológico, se puede aprovechar y muy eficientemente en cualquier proceso que involucre altas temperaturas.

Ávila (2011) apunta que uno de los principales objetivos de la investigación en tecnología solar es minimizar las pérdidas de calor. Hasta ahora, de acuerdo a varios estudios, los receptores volumétricos son mejores que los receptores de tubo por su funcionalidad y su configuración geométrica, que ayuda a aprovechar mejor la energía calorífica.

Fang et al. (2021) estudian las características térmicas y el estrés en un receptor de cavidad (sistema torre de energía solar SPT) de la cual se obtiene vapor sobrecalentado. Se absorbe la energía de radiación solar incidente, este va a un fluido de transferencia que luego se usa o se almacena. El receptor sufre irradiación solar concentrada de alto flujo y no uniforme con sobrecalentamientos locales, muchas gradientes de temperaturas que degradan y fatigan el material que eventualmente llega a la fractura. Esa fatiga, si no es estudiada debidamente, hace el sistema inestable, con la consiguiente inseguridad.

Materiales a aplicarse en diseños de recepción y almacenamiento de altas temperaturas

La configuración y los materiales de un sistema eficiente debe de cumplir los siguientes criterios:

El material que recibe el calor debe de ser altamente conductor térmico para llevar el calor eficientemente hacia el fluido caloportador, en los materiales que conducen el fluido es elegido en material altamente aislante, de muy baja conductividad térmica. El fluido caloportador debe de tener alta capacidad térmica de absorción de calor con baja degradación, capaz de llevar el fluido hasta el depósito sin dificultad. El material de almacenamiento debe de almacenar la mayor cantidad de energía sin pérdida ostensible de características volumétricas que hagan el almacenador de calor estable y de configuración segura. También, la geometría que escojamos para cada elemento y la geometría de la configuración total de elementos es muy importante en la influencia de la eficiencia del sistema.

Chen et al. (2020) refieren que se usa una capa porosa sobre el colector calculando el espesor, la conductividad térmica y la permeabilidad, con todo ello se eleva, significativamente, el rendimiento térmico del receptor solar.

Ávila (2011) menciona que actualmente se hacen plantas de generación eléctrica conectadas a la red, con sistema de receptor central elevado en una torre, con campos de helióstatos extensos. También refiere que, el receptor volumétrico es el más eficiente. Uno de los principales objetivos de la investigación en tecnología solar es minimizar las pérdidas de calor. Hasta ahora, los receptores volumétricos son mejores que los receptores de tubo por su funcionalidad y su configuración geométrica. El volumétrico es un material poroso que absorbe la radiación dentro del volumen de la estructura y transfiere el calor a un fluido que pasa por la estructura, finalmente esta se convierte en energía térmica o potencial químico.

Propiedades del cobre

La tubería de cobre es el material idóneo para ser usado en el aprovechamiento de la energía solar, por su alta transferencia de calor (0.092 cal/gr °C a 20° C) (Productos Nacobre).

Para sistemas colectores solares, se recomienda usar tubos blandos tipo L, donde los serpentines se forman localmente o se prefabrican, y de tipo M donde se usen rectas acopladas con accesorios (Pro cobre).

Tabla 1

Propiedades físicas del cobre.

Propiedades	Unidad
Densidad (g/cm ³)	8.94
Temperatura de fusión (°C)	1.083
Coefficiente de dilatación térmica lineal (25 a 100 °C)	16,8 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica (W/mK)	364
Calor específico a 20 °C (J/kg)	385
Calor latente de fusión (kJ/kg)	205
Límite de fluencia (MPa)	221 a 379
Límite de ruptura (MPa)	60 a 345
Módulo de elasticidad normal (Young) (MPa)	12,2 · 10 ⁴
Módulo de elasticidad tangencial (Cu recocido) (MPa)	4,6 · 10 ⁴
Elongación en 50 mm (blando a extra duro) (%)	45 - 8
Conductividad eléctrica (m/ohm mm ²)	41 a 52
Temperatura de laminación perforante (Piercing) (°C)	815 a 870

Fuente: Tubos de cobre. p. 13

Aceite térmico

El aceite térmico, es un fluido caloportador de transferencia térmica que es utilizado para llevar calor de un lugar a otro, previamente debe ser calentado por cualquier método determinado para eso, este puede usar un quemador, resistencia, etc.

En el mercado existen una variedad de marcas de aceites térmicos, los aceites térmicos tienen un punto de ebullición alto, su uso práctico se encuentra en la fase líquida a temperaturas que oscilan de 200 °C a 300 °C e incluso hasta una temperatura de 400 °C. (Recalde & Turriago, 2017).

La vida útil del aceite térmico está comprendida entre 2 a 5 años, los aceites térmicos que soportan una alta temperatura son los que tienen una mayor vida útil en condiciones normales. Los aceites térmicos tienden a degradarse con el tiempo y uso, al degradarse pierden sus características originales. Se recomienda un estricto control para determinar la calidad del aceite térmico, este control se lo realiza sacando una muestra del aceite que se encuentra en circulación constante y con la muestra se determina el grado de pureza (Powermaster, 2009).

Tabla 2*Temperatura máxima recomendada por fabricantes de aceites térmicos.*

Propiedades	Unidad
Densidad (g/cm ³)	8.94
Temperatura de fusión (°C)	1.083
Coefficiente de dilatación térmica lineal (25 a 100 °C)	16,8 x 10 ⁻⁶
Conductividad térmica (W/mK)	364
Calor específico a 20 °C (J/kg)	385
Calor latente de fusión (kJ/kg)	205
Límite de fluencia (MPa)	221 a 379
Límite de ruptura (MPa)	60 a 345
Módulo de elasticidad normal (Young) (MPa)	12,2 · 104
Módulo de elasticidad tangencial (Cu recocido) (MPa)	4,6 · 104
Elongación en 50 mm (blando a extra duro) (%)	45 - 8
Conductividad eléctrica (m/ohm mm ²)	41 a 52
Temperatura de laminación perforante (Piercing) (°C)	815 a 870

Hoy en día se trabaja en un rango de temperaturas de 150 °C – 400 °C, aunque se están desarrollando componentes para trabajar a temperaturas superiores, lo que implicaría unas pérdidas térmicas mayores y menor rendimiento. El fluido usado es una sal binaria con un 60 % en peso de nitrato sódico (NaNO₃) y un 40 % en peso de nitrato de potasio (KNO₃). La mezcla salina puede encontrarse en un intervalo de temperatura desde 260 °C hasta 621 °C.

Tabla 3*Propiedades de la sal a diferentes temperaturas.*

T (°C)	Densidad (Kg/m ³)	Calor específico (J/Kg °C)	Viscosidad (mPa s)	Conductividad térmica (W/m ² °C)
280	1912	1491,2	3,76	0,975
300	1899	1467,6	3,26	1,01
320	1887	1498	2,84	1,05
340	1874	1501,5	2,48	1,09
360	1861	1505	2,19	1,13
380	1848	1508,4	1,96	1,16
400	1836	1512	1,77	1,2

Fuente: Diseño básico de un sistema de almacenamiento térmico de sales en una planta termosolar de 50 MWh. p. 13.

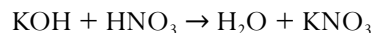
Condiciones de operación que hay que tener en cuenta:

- Al enfriarse, la mezcla de sal comenzará a cristalizar a una temperatura no superior a 238 °C.
- Al enfriarse, la mezcla de sal será sólida completamente a una temperatura no superior a 221 °C.

Nitrato de potasio

La fórmula química del nitrato de potasio es KNO₃.

Se obtiene por neutralización de compuestos básicos como el hidróxido potásico (KOH) y el ácido nítrico (HNO₃). La reacción que tiene lugar es:



Su apariencia es de cristal blanco. Aproximadamente el 75 % del nitrato de potasio se suministra con una pureza del 90 % para su uso como fertilizante. La ausencia de cloro es una ventaja para las plantaciones de frutas cítricas y tabaco, también se usa en la producción de fertilizantes líquidos y es un importante constituyente de los fertilizantes multinutrientes, con un punto de fusión de 333 °C, un ángulo de reposo de 34° y una densidad aparente de 1,14 ton/m³. (Camacho Cruz, 2018)

Nitrato de sodio

Su fórmula química es NaNO₃. Su apariencia también es un cristal blanco como el nitrato de potasio. Se trata de una sustancia incolora, inodora y muy oxidante. Si se mezcla con sustancias orgánicas puede provocar explosiones. Es ligeramente tóxico. Se usa como fertilizante, por contener nitrógeno, como aditivo para el cemento y es uno de los ingredientes en mayor proporción de ciertos tipos de pólvora, con un punto de fusión de 308 °C, un ángulo de reposo de 44° y una densidad aparente de 1,19 ton/m³. (Camacho, 2018)

Material aislante térmico

Se está empleando el uso de la lana de roca para el aislamiento del almacenador, Este material se diferencia de otros aislantes en que es un material resistente al fuego, con un punto de fusión superior a los 1.200 °C. Dada su composición (98 % roca volcánica, de 2 a 5 % aglutinante y 0,5 % de aceite vegetal), la lana de roca, gracias a su disposición multidireccional de fibras, tiene también una buena capacidad como aislante acústico. La Tabla N° 4, muestra las propiedades y precios de la lana de roca.

Tabla 4*Propiedades de la lana de roca. Precios.*

Propiedades físicas	Coefficiente de conductividad térmica (λ) (W/m.k)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (Cp) (J/kg.k)	Reacción al fuego (Euroclases)	Precios (€/m ²)
FIVE	0,030-0,050	x	x	A1	5
ITeC	x	20-200	x	A	4-10
UNE 12524	x	10-200	1030	x	x
(Pastor Juan, 2012)	0,042-0,045	40-200	1000	x	x

Fuente: Análisis medioambiental de los aislamientos Térmicos en la construcción. p. 137

Los productos de lana de roca no retienen el agua, poseen una estructura no capilar, además de ofrecer una fuerte permeabilidad al vapor de agua (Rivero, 2016).

En la terminología de las fibras de vidrio, se denomina "lana" a un entramado de fibras cortas de vidrio sin orden aparente alguno, en contraste con el filamento continuo o vidrio textil. Son un excelente aislante, como se puede ver en la Tabla N° 5.

Tabla 5

Propiedades de la lana de vidrio. Precios.

Propiedades físicas	Coefficiente de conductividad térmica (λ) (W/m.k)	Densidad (kg/m³)	Calor específico (Cp) (J/kg.k)	Reacción al fuego (Euroclases)	Precios (€/m²)
FIVE	0,030-0,050	x	x	A	5
ITeC	x	x	x	A	3-5
UNE 12524	x	10-200	1030	x	x
(Pastor Juan, 2012)	0,042-0,045	10-110	x	x	x

La lana de vidrio es un producto de origen natural, mineral e inorgánico compuesto de arena, óxido de sílice, feldespato, silicato de aluminio y potasio, carbonatos de calcio, de sodio y dolomita, bórax hidróxido de boro pentahidratado y vidrio de reciclaje externo e interno. Estas se funden a temperaturas muy altas, típicamente entre 1300 °C a 1500 °C (Rivero, 2016)

Fluido caloportador

El HTF (fluido de transferencia de calor) gestiona (transporta y almacena) energía en forma de calor donde los sistemas de disco y torre son mucho más eficientes y considerablemente más compactas en referencia a otros sistemas. Hay tres categorías: a) Almacenamiento sensible (gestionar el calor sin cambio de fase); b) Calor latente almacenado (cambio de fase de fusión o congelación, se da en altas temperaturas) y; c) Almacenamiento termoquímico (cambios químicos que gestionan la energía) (Lovegrove & Stein, 2020).

Los metales líquidos, como fluidos de transferencia de calor en sistemas de recepción de colectores con concentración de radiación solar, actualmente es una línea de investigación ya madura, con la tendencia de temperaturas más altas de funcionamiento y densidades de flujo de calor mayores, se consideran el sodio (Na), una aleación eutéctica de plomo bismuto (LBE o PbBi) y el estaño fundido (Sn) que tiene un estado de investigación un poco menos avanzado que los anteriores. Estos pueden servir para desarrollar un subsistema de almacenamiento de energía térmica cada uno de ellos con ventajas y limitaciones relativas, se recomienda investigar la compatibilidad con materiales estructurales funcionando a altas temperaturas y desarrollo de técnicas de almacenamiento del calor indirecto(Pacio & Wetzel, 2013).

Los fluidos caloportadores (HTF), comúnmente utilizados en los sistemas SPT, son: líquidos (agua, vapor, sal fundida), gas (aire) y medios sólidos (suspensión en partículas). Para fluidos caloportadores de alta temperatura esencialmente se usa SiC para receptores CSP y HTF nanofluidos y metales fundidos para alta temperatura (Fang et al., 2021).

También, Fang et al. (2021) concluyen que los materiales para tubos de ebullición, sobrecalentados y pared de membrana se debe de usar acero de baja aleación presión media y alta con temperaturas inferiores a 510 °C; actualmente, en 7 MPa (se considera alta y el vapor saturado en 285 °C. Acero inoxidable austenítico cuando la temperatura de la pared del tubo supera los 600 °C, se aplica en los tubos sobrecalentados. Las paredes de membrana no soportan la presión cuya conductividad debe de ser alta; por tanto, se eligió acero ordinario

Por último, según Regin et al. (2007), El uso de cápsulas de material de cambio de fase (PCM) ensambladas como un lecho empacado es uno de los métodos importantes que se ha propuesto para lograr el objetivo de una alta densidad de almacenamiento con mayor eficiencia.

Métodos y materiales

La metodología de diseño desarrollada es el diseño conceptual, el cual permite definir el concepto de solución, mediante la identificación de objeto, su función, sus elementos y la identificación de los portadores de las funciones de sus elementos (Espinoza, 2013).

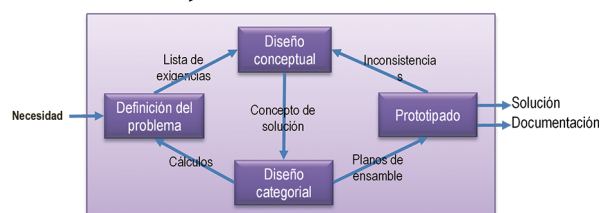
El diseño conceptual es una etapa del proceso de diseño (Figura 1), que se inicia con una lista de requisitos o exigencias para obtener el concepto de solución.

La lista de requisitos estará formada por la descripción de la función del concentrador solar de disco parabólico, los requisitos ambientales y los requisitos técnicos.

La identificación del objeto se realiza mediante una caja negra, la cual permite ubicar el objeto en su entorno y relacionarse con él a través de sus entradas y salidas.

Figura 1

Proceso de diseño (Espinoza, 2013).



El análisis de funciones permite describir la transformación que produce el concentrador solar. La fun-

ción es la capacidad del objeto de actuar sobre la materia o energía que ingresa para transformarlos en productos a través de ciertos principios (Espinoza, 2013).

La propuesta de colector solar de disco parabólico se basa en el concepto de solución y esquemas de desarrollo del producto. “El concepto de solución es una solución cualitativa que se define mediante una combinación óptima de los portadores de función utilizando una matriz morfológica.” (Espinoza, 2013, p. 23).

La lista de requisitos que debe cumplir el concentrador solar de disco parabólico se describe en la Tabla 6. Los requisitos ambientales están relacionados con los impactos ambientales y, los requisitos técnicos con las características del equipo.

El concentrador solar de disco parabólico debe producir vapor de agua, sin generar emisiones contaminantes al medio ambiente, utilizando como energía la radiación solar.

Figura 2

Identificación del objeto.



Tabla 6

Requisitos del concentrador solar.

Aspecto	Tipo	Requisito
Función del objeto	RA	Evaporar agua, sin emisiones tóxicas
Materia	RA	Los materiales utilizados deben ser reutilizables o reciclables.
Energía	RA	Utiliza energía solar, con almacenamiento de calor
Emisiones	RA	No emite contaminación
Fabricación	RT	Considerar la fabricación con equipos y recursos existentes en la región.
Transporte	RT	Debe ser de fácil transporte
Disposición final	RT	La estructura debe garantizar una larga vida y componentes reutilizables.
Ergonomía	RT	Ubicar elementos de mando y control considerando antropometría.
Mantenimiento	RT	Permitir acceso a puntos de lubricación y el fácil reemplazo de elementos.

Leyenda: RA: requisitos ambientales; RT: requisitos técnicos

La función del colector solar de disco parabólico es de generar vapor, para lo cual el disco parabólico concentra el calor, el receptor es un cuerpo negro que capta el calor para almacenarlo en el colector que utiliza el principio de almacenamiento de calor en material de cambio de fase, para luego generar vapor mediante un intercambiador de calor.

El concepto de solución del colector solar de disco parabólico se representa a través de una matriz morfológica que contiene los principios a utilizar para cada función, y posteriormente identificar el mecanismo portador de la función de acuerdo al principio seleccionado.

Tabla 7

Análisis de funciones.

Atributo	Acción	Flujos	Función	Principio
Disco parabólico	Concentrar	Calor	Concentrar calor	Reflexión de la radiación
Receptor	Captar	Calor	Captar calor	Absorción de la radiación
Colector	Almacenar	Calor	Almacenar calor	Cambio de fase de materia
Serpentín	Generar	Vapor	Generar vapor	Intercambiador de calor
Tanque	Colectar	Vapor	Colectar vapor	Intercambiador

Es tácito, de acuerdo a la literatura revisada, que debe de haber seguimiento solar; también debe de tener forma parabólica, que debe de existir almacenamiento y que la superficie de reflexión debe de ser espejos de alta reflectividad.

Tabla 8

Concepto de solución.

Atributo	Acción	Flujos	Función
Disco parabólico	Discos compuestos	Disco sólido	Segmentada
Receptor	Serpentín o de tubo	Caverna y volumétrico	Reflexión posterior
Configuración de circuitos	Sistema directo (una cámara)	Sistema cerrado (2 circuitos)	Sistema cerrado con alta y baja (2 circuitos, 2 cámaras)
Fluido caloportador	Aceite de transferencia	Sales fundidas	Metal fundido
Colector	Calor sensible	Calor latente	Directo
Tanque de almacenamiento	Cápsulas	Sistema poroso	Sistema de tuberías
Solución	Solución 1	Solución 2	Solución 3

Esta solución óptima es la que a continuación se desarrolla en los resultados.

Resultados

Los receptores solares gestionan temperaturas altas, hasta alrededor de los 1000 °C, y el producto que sale de él es vapor sobrecalentado de agua a temperaturas de más de 300 °C hasta los 1000 °C, esto dependiendo de los cálculos y metas que se imponga el proyecto, se debe de aprovechar como parte esencial del sistema, el calor excedente captándolo en un sistema de almacenamiento en cápsulas constituidos de tubos de cobre conteniendo sales, preferentemente de nitrato de sodio por su menor

punto de fusión de 308°C o de nitrato de potasio cuando se requiera mayor temperatura de funcionamiento. Los tubos donde se debe de facilitar el pase del flujo de calor son de cobre, y los de pase de agua, que requieren ser aislados, de tubo galvanizado comercial con aislamiento de lana de roca; pero en sitios de alto estrés térmico, con muchas discontinuidades estructurales o codos y de alto gradiente de temperaturas se deben usar tubos de acero inoxidable tipo austenítico del tipo 316 L.

Una buena opción para el fluido caloportador son los metales líquidos, y entre ellos el sodio (Na), por estar más disponible y barato, tener tecnología madura y por no ser contaminante como la aleación eutéctica de plomo bismuto (LBE o PbBi); el estaño aún no está muy investigado.

Figura 3

Diseño conceptual del receptor solar de concentrador parabólico de disco.

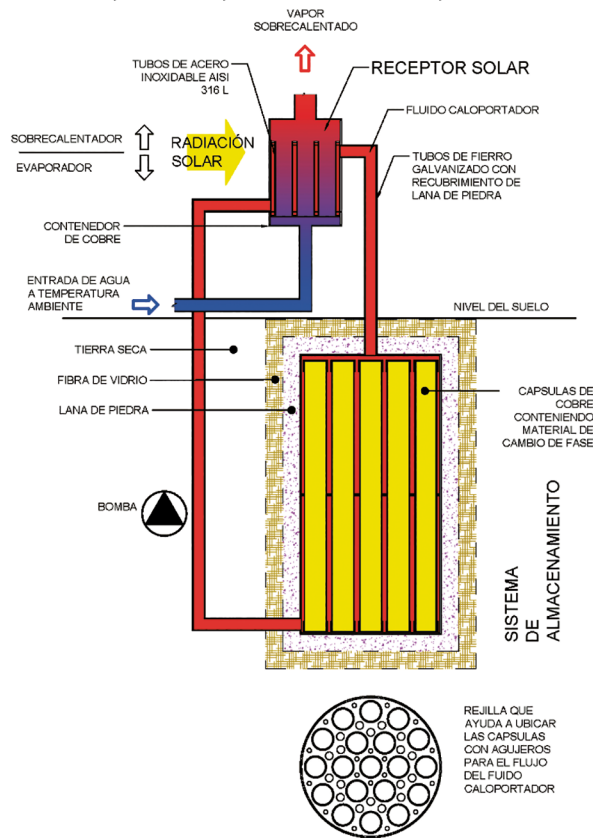
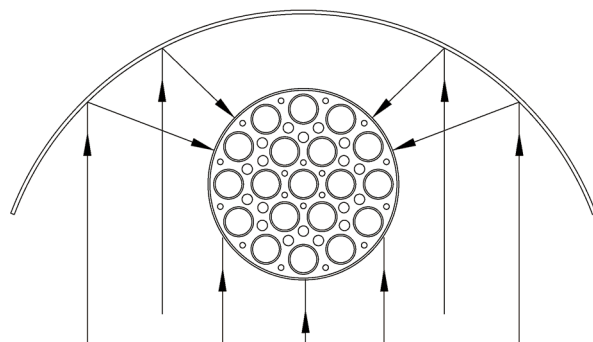


Figura 4

Pantalla posterior que ayuda a capturar los rayos no bien enfocados.



Sobre la configuración geométrica

El disco parabólico hace incidencia sobre el receptor a partir de un solo lado, pero el concentrador no se mueve exactamente ni tan continuamente y pueden escapar algunos rayos solares, pueden escapar rayos solares por las imperfecciones del disco parabólico y, también por reflexión de los rayos incidentes, debido a eso se pone una pantalla posterior relectora que recupera toda esta radiación solar que de lo contrario fugaría y perdería eficiencia.

Por otro lado, hay que considerar que las tuberías deben de ser lo más cortas posibles para evitar pérdidas de calor.

Discusión

Existen aplicaciones del vapor de agua y su producción mediante la radiación solar, los cuales tienen gran perspectiva en el valle del Mantaro, debido a la radiación solar con la que se cuenta. Se pueden aplicar con éxito todas las opciones expuestas.

La metodología de diseño se inicia con la definición de la lista de requisitos, seguido de la identificación del objeto mediante una caja negra, para luego realizar el análisis funcional que describe la transformación que produce el concentrador solar, de las diferentes opciones mostradas por los autores citados, se ha aplicado sus recomendaciones y conceptos para finalmente determinar el concepto de solución mediante la matriz morfológica y esquemas de desarrollo del producto.

El diseño del sistema captador, receptor y almacenador de la energía está hecho en función del calor, por lo que se debe maximizar la conductividad para asimilar el calor, maximizar el aislamiento para evitar fuga de calor, conseguir materiales que soporten el estrés térmico y configurar el sistema priorizando que sea compacto para también evitar pérdidas, todo esto en total acuerdo con la literatura revisada.

Es oportuna la presente investigación, porque esta tecnología poco investigada, contribuye al desarrollo tecnológico de la obtención y uso de energía limpia, sostenible y económica. La generación de electricidad por medio de sistemas de paneles fotovoltaicos ha conquistado el mercado dejando relegada la generación por medio de concentradores solares u otras que tengan como componentes la generación con energía solar térmica, pero tiene una gran desventaja, que es el almacenamiento de energía eléctrica costoso, no sostenible y contaminante.

Conclusiones

- El diseño conceptual propuesto es un referente para configurar y definir materiales para la construcción de sistemas de colectores solares de disco de altas temperaturas, donde ya habría que

realizar cálculos de dimensionamientos, gestión de calor, eficiencia, etc.

- Sirve para sistemas de colección de radiación de discos parabólicos de alta temperatura y almacenamiento de energía en forma de calor de alrededor de 7 horas.
- Teóricamente, sirve para definir la configuración de un receptor de altas temperaturas, de manera eficiente y su aplicación es directa solo haciendo cálculos
- Se puede aplicar donde se necesite vapor sobrecalentado como marmitas, calderos o generadores eléctricos.

Referencias bibliográficas

- Ávila Marín, A. L. (2011). *Volumetric receivers in Solar Thermal Power Plants with Central Receiver System technology: A review*. *Solar Energy*, 85(5), 891–910. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.02.002>
- Boerema, N.; Morrison, G.; Taylor, R. & Rosengarten, G. (2013). *High temperature solar thermal central-receiver billboard design*. *Solar Energy*, 97, 356–368. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.09.008>
- Chen, S.; Li, W. & Yan, F. (2020). *Thermal performance analysis of a porous solar cavity receiver*. *Renewable Energy*, 156(16), 558–569. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.102>
- Dutta, P. (2017). *High temperature solar receiver and thermal storage systems*. *Applied Thermal Engineering*, 124, 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.06.028>
- Espinoza, C. A. (2013). *Design methods in mechanical engineering*. Atlantic International University Honolulu, Hawaii.
- Fang, J.; Zhang, C.; Tu, N.; Wei, J. & Wan, Z. (2021). *Thermal characteristics and thermal stress analysis of a superheated water/steam solar cavity receiver under non-uniform concentrated solar irradiation*. *Applied Thermal Engineering*, 183. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2020.116234>
- Lai, C. S. & Locatelli, G. (2021). *Economic and financial appraisal of novel large-scale energy storage technologies*. *Energy*, 214. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118954>
- Lovegrove, K. & Stein, W. (2020). *Concentrating Solar Power Technology - Índice (Second Edi)*. Woodhead Publishing-Elsevier. <https://www.sciencedirect.com/book/9780128199701/concentrating-solar-power-technology>
- Pacio, J. & Wetzel, T. (2013). *Assessment of liquid metal technology status and research paths for their use as efficient heat transfer fluids in solar central receiver systems*. *Solar Energy*, 93, 11–22. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.03.025>
- Regin, A. F.; Solanki, S. C. & Saini, J. S. (2007). *Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: A review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2438–2458. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.06.009>