

SISTEMAS INTEGRADOS DE APROVECHAMIENTO, DEL CALOR RESIDUAL DEL CIRCUITO DE ENFRIAMIENTO DE UNA CALDERA SOLAR, PARA USOS PRODUCTIVOS⁽¹⁾

M. Condorí, M. Quiroga, R. Echazú
INENCO – Instituto de Investigación en Energías no Convencionales
Universidad Nacional de Salta (UNSa) - Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)
Avda. Bolivia 5150 – 4400 Salta
Tel.0387-4255424 – Fax 0487 4255487 e-mail: mirtaqui@gmail.com

RESUMEN: El trabajo presenta el diseño de un sistema de refrigeración para un generador directo de vapor solar, que permite el aprovechamiento de su calor residual; básicamente está integrado por un circuito compuesto por un aerocondensador apropiado para el secado de productos agrícolas y un condensador-intercambiador de calor apropiado para la calefacción de invernaderos. Estos dos condensadores trabajan en serie, y juntos constituyen la etapa de refrigeración para el fluido de trabajo. El aerocondensador, aprovecha la mayor entalpía del circuito, por cuyo exterior se impulsa aire atmosférico, que una vez calentado se utiliza como fuente energética de un secador de productos agrícolas. El otro, colocado a continuación, es un condensador-intercambiador que termina el proceso de condensación aprovechando el calor residual en un sistema productivo de menor entalpía, destinado a la propagación de plantas y cultivo bajo invernadero. Los resultados del trabajo beneficiarán claramente a sectores productivos, sociales y al medioambiente.

Palabras clave: cogeneración, calentamiento solar de invernáculos, sistemas de propagación de plantas. aerocondensador, secador invernadero, condensador intercambiador de calor

INTRODUCCION

La crisis relacionada con la explotación de combustibles fósiles se ha profundizado en los últimos años vinculada con la proximidad del horizonte para las reservas de energías convencionales. A esta crisis se le asocian la contaminación ambiental y el cambio climático relacionado con las actividades de producción y transformación de las energías convencionales.

La Republica Argentina no está ajena a estas problemáticas resultando necesaria la sustitución paulatina de las energías convencionales por energías renovables. En nuestro país la actividad agroindustrial es una de las de mayor envergadura económica y consumo energético.

Por otro lado, gran parte de la zona productora del NOA se halla ubicada en situación de difícil acceso a fuentes energéticas convencionales económicas tales como el gas natural. Las condiciones agroecológicas, determinaron ambientes lábiles, con erosión acentuada por los desmontes y el empleo masivo de biomasa de origen vegetal, creando condiciones de aridez, disminuyendo la infiltración de agua, acentuando su deficiencia, aumentando la erosión y pérdidas de suelos fértiles.

Hoy se hace necesario encarar medidas que reduzcan la extracción de recursos forestales energéticos, y permitan mejorar las condiciones ambientales. Una de las medidas posibles, es realizar reforestaciones, incorporando especies nativas adaptadas a los distintos ambientes.

La tecnificación del secado solar y el uso de invernaderos calefaccionados para la producción de plantines y el enraizamiento de estacas arbóreas, permitirán mejorar sustancialmente la producción local y aportar “in situ” valor agregado a procesos productivos regionales.

Tomando como ejemplo el caso del pimiento, la tecnología actual de secado es deficiente, se practica en condiciones que provocan no sólo el deterioro del color sino también la contaminación con tierra, insectos y desechos de animales. Se favorece también la formación de hongos y pérdidas por quemaduras localizadas. Lo descripto lleva a los productores a tener un producto de baja calidad difícil de ser comercializado por su heterogeneidad, por lo que se ven obligados a vender a bajo precio a establecimientos dedicados al procesamiento del producto. (Condorí M. et al., 1995)

Desde hace algunos años, los pequeños y medianos productores de la región han iniciado un proceso de tecnificación en la búsqueda de mayor calidad y eficiencia en los procesos de deshidratación de productos. El desarrollo de alternativas tecnológicas que permitan sustituir en forma parcial o total las fuentes de energía fósil por energías renovables tendrá efectos sobre la mayor rentabilidad financiera de la actividad, sobre el ambiente y sobre la economía de la región. El uso de secadores solares mas tecnificados permitirá obtener un producto de mayor calidad y de bajo impacto ambiental. Su uso continuo a lo largo de todo el año, puede ser altamente beneficioso para la economía y el trabajo local. (Condorí M. et al., 2001)

¹ Parcialmente financiado por Consejo de Investigación de la UNSa

Actualmente INENCO está llevando a cabo emprendimientos para la producción de energía eléctrica con generación directa de vapor mediante espejos fresnel, que requieren, entre otros componentes, de un foco frío que condense el vapor producido para retornar a la caldera. El calor se extrae del foco frío, de tal manera que la temperatura del fluido de trabajo alcance un valor muy bajo, y por tanto se consiga un rendimiento alto en el ciclo termodinámico. Es posible el aprovechamiento del calor residual en esta etapa de enfriamiento para cubrir parcial o totalmente las necesidades energéticas de sistemas productivos que lo que implica una mejora en las condiciones ambientales, ecológicas y productivas de la región.

En particular el desarrollo propuesto es aplicable a centrales o instalaciones térmicas que no tienen posibilidad de usar agua como sumidero último de calor. Es conocido que muchas instalaciones existentes usan agua de mar, de un río, de un embalse o la evaporada en una torre de refrigeración de tiro húmedo, pero en muchas otras localizaciones no se dispone de agua, y el consumo de ésta en grandes cantidades es imposible no sólo desde el punto de vista económico, sino desde el punto de vista social y ambiental, por la necesidad del agua para otros usos más primarios, como es el mantenimiento de la vida.

Dentro de los desarrollos producidos por INENCO en los últimos años se encuentran diversos sistemas destinados al aprovechamiento de la energía solar para aplicaciones productivas. Continuando con la temática, el trabajo presenta el diseño de un sistema que integra el enfriamiento del fluido calentado con una caldera solar para aplicar su calor al funcionamiento tres sistemas productivos en serie, un secador de productos agrícolas, y un invernadero donde funcionan un sistema de propagación de plantas y un cultivo. (Condorí M. et al, 1995), (Saravia L. et al 1997), (Echazú R., 2004)

Se usarán dos condensadores que trabajarán en serie, y que juntos constituirán la etapa de refrigeración para el fluido de trabajo. Uno de ellos, el primero, es un aerocondensador que aprovecha la mayor entalpía del circuito, por cuyo exterior se impulsa aire atmosférico, que una vez calentado se utilizará como fuente energética de un secador de productos agrícolas. El otro, colocado a continuación, es un condensador-intercambiador que termina el proceso de condensación aprovechando el calor residual en un sistema productivo que requiere más baja entalpía.

El sistema está destinado al aprovechamiento del calor remanente, proveniente de una central solar eléctrica para producción de energía eléctrica con generación directa de vapor mediante espejos fresnel, pero aplicable a otros sistemas solares donde se produce generación de vapor. Inicialmente el sistema integrado se pondrá a punto con una pequeña caldera solar en el campus experimental del INENCO, para luego ser escalados y transferidos a un sistema de generación de potencia eléctrica mediante un generador director de vapor (GDV)

MATERIALES Y MÉTODOS

a) Primer sistema de recuperación de calor

El sistema está compuesto por un aerocondensador del tipo banco de tubos aleteados, un banco de ventiladores de un conducto aislado para entubar el aire caliente recuperado y un secador prototipo del que se dispone para los ensayos.

El aerocondensador

Existe una amplia variedad de sistemas de enfriamiento del foco frío de una central térmica. Lo ideal es que el fluido que refrigera el foco frío (el condensador, en los casos que utilizan ciclos de Rankine) sea agua, por su alta densidad, alto calor específico, alto coeficiente de película de convección y baja potencia de bombeo consumida en su movimiento.

Cuando no es posible el uso de agua, lo más usual es recurrir al aire para la refrigeración del foco frío; pero el aire no reúne las características antedichas del agua. Más aún, el aire se calienta durante el día de manera notable, lo cual es tremendamente perjudicial para el rendimiento de la central, pues la temperatura alcanzada por el fluido de trabajo en el foco frío resulta relativamente alta, y ello perjudica el rendimiento. Por ello se plantea realizar la condensación en dos etapas una primera con aerocondensador dimensionado para obtener temperaturas de salida por encima de los 60 °C y una segunda con intercambiador agua-agua donde se termina de extraer el calor.

Existen varios refrigeradores basados en el uso del aire. En estos dispositivos, el fluido de trabajo suele circular por el interior de tubos metálicos, aleteados por el exterior, que es por donde circula el aire, impulsado en general por un ventilador o batería de ventiladores.

El intercambiador, aero-condensador, necesita además de un ventilador o batería de ventiladores para mover el aire que actúa de fluido secundario. Para el aprovechamiento del calor residual se entubará el aire de salida del o los ventiladores mediante un caño de chapa galvanizada aislado térmicamente y este será conectado a un pequeño prototipo secador.

b) Desarrollo del sistema de calefacción de invernaderos

Los equipos constarán de: Un intercambiador- condensador, “mesas” para la propagación de plantas de las llamadas tipo “camas calientes” y un sistema de calentamiento de suelo, para el cultivo de plantas.

Intercambiador – Condensador

Se trata de un sistema intercambiador vapor – agua, su función es tomar el calor excedente del circuito de producción eléctrica mediante vapor de agua producida por la caldera solar, transferir su calor a un sistema de agua fría calentándola hasta llevarla a la temperatura adecuada para el calentamiento de los sistemas de invernadero, devolviendo el vapor condensado y enfriado al circuito de la caldera solar.

El dispositivo está constituido por un tanque de agua desde donde se conduce agua fría a través de una tubería plástica hacia una espira de tubería de latón, dispuesta alrededor de un tubo del mismo material por donde circula agua caliente proveniente del aerocondensador.

La mezcla agua-vapor proveniente del sistema aerocondensador, entrega calor al sistema hasta terminar de condensarse primero y enfriándose luego para volver el circuito de la caldera solar. La espira que rodea a la tubería de vapor, toma el calor y lo transfiere al agua fría, que en cada una de las sucesivas vueltas rodeando el tubo de vapor, aumenta gradualmente su temperatura.

El agua ya caliente proveniente del intercambiador es conducida a través de tuberías plásticas hacia el invernadero donde ingresa y entrega calor en los sistemas productivos.

El intercambiador deberá tener las dimensiones adecuadas para lograr extraer la mayor cantidad de calor proveniente del sistema aerocondensador, el dimensionamiento de este sistema se realizará mediante ensayos experimentales, para evaluar los factores de intercambio del sistema que posteriormente se extrapolarán mediante una simulación térmico-eléctrica en Sceptre al sistema mayor para su construcción.

Como el propósito de esta segunda etapa de condensación también es bajar la temperatura del foco frío a fin de mejorar la eficiencia termodinámica del sistema completo, se determinará mediante ensayo la necesidad de que tanto el intercambiador con espira y tubo de vapor, como las tuberías que conducen calor sean aisladas para reducir las pérdidas térmicas.

Sistema de Propagación Vegetativa de plantas mediante “Camas Calientes”

La propagación vegetativa es un antiguo sistema de producción usando partes de una planta madre seleccionada, para producir otra planta que será genéticamente idéntica. Es un sistema que se usa comercialmente para la producción de frutillas, bananos, frutales etc. y que incluye procedimientos como la división de matas, el injerto, la multiplicación mediante esquejes o estacas, rizomas, bulbos, cormos, y más recientemente cultivo de meristemas.

En general la propagación vegetativa por estacas, es poco aplicada a ejemplares arbóreos nativos, no obstante hay muchas especies arbóreas nativas y exóticas con las que es posible lograr el enraizamiento de estacas y nuevas plantas mediante este procedimiento, un ejemplo es la multiplicación de sauces y álamos.

Para la propagación por estacas, se requiere material vegetal viable, hormonas vegetales de enraizamiento y un sistema adecuado. Las estacas se introducen en un sustrato que debe tener excelente aireación y la temperatura adecuada para lograr que se produzcan los procesos metabólicos que desencadenan el crecimiento de raíces que transformarán las estacas en nuevas plantas.

Las condiciones para el enraizamiento son “pies calientes – cabeza fría” es decir temperaturas de entre 24 y 28 °C (dependiendo de la especie) en la base de las estacas, que favorecen los procesos metabólicos relacionados con la producción de raíces; acompañadas de bajas temperaturas y alta humedad que disminuyan las pérdidas evaporativas en el extremo superior de las mismas que se encuentra expuesto al ambiente. Por ello los sistemas tradicionales de enraizamiento de estacas incluyen necesariamente sistemas protegidos para lograr un mayor control ambiental y el calentamiento del sustrato. La época adecuada para realizarlo, es en otoño-invierno, primavera, en que las temperaturas ambientales no son tan altas.

El sistema incluye la realización de “camas” de cultivo de madera, aisladas en la base, recubiertas con plástico negro, en las que se incorpora un sistema de tuberías en zig – zag que conducen agua caliente y por encima de ellas el sustrato adecuado.

En este sistema el sustrato además de contener las estacas proporcionándole las condiciones necesarias de humedad y aireación para el enraizamiento, actuará como acumulador de calor. Se usarán varios sustratos, como mezcla turba perlita, perlita y arena lavada.

Calefacción de suelo en invernadero productivo

Incorpora tuberías donde circula agua caliente, enterradas superficialmente en el suelo del invernadero, cubriendo suelo y tuberías con plástico negro- donde encima del plástico, en recipientes adecuados, crecen almácigos de cultivos o especies arbóreas nativas. En la experiencia se empleará para promover el crecimiento particularmente de especies arbóreas nativas, en las primeras etapas de crecimiento, dispuestas en macetas. Las especies arbóreas provendrán tanto de las mesas de propagación vegetativas como de reproducción por semillas recolectadas en el área de trabajo.

Mediante un sistema de llaves de paso se puede hacer funcionar el sistema tanto en serie con las camas calientes, tomando el agua de salida de las camas cuando las temperaturas lo permitan, o en paralelo con las mismas tomando el agua directamente del intercambiador – condensador.

El suelo del invernadero hace las veces de acumulador manteniendo la temperatura del sistema, y calentando a su vez el sustrato de las macetas que contienen las plantas, con esto se espera lograr que la temperatura del recinto se mantenga por encima de la temperatura mínima fisiológicamente necesaria para sostener el crecimiento de la plantas.

El sistema integralmente se monitoreará tomando temperaturas de ingreso y salida al intercambiador, caudales, temperatura de acumuladores, aire del invernáculo y radiación solar para poder lograr una simulación adecuada que permita sistematizar y reproducir sistemas similares en otras condiciones. (Quiroga M., et al 2005), (Echazú R., et al 2002)

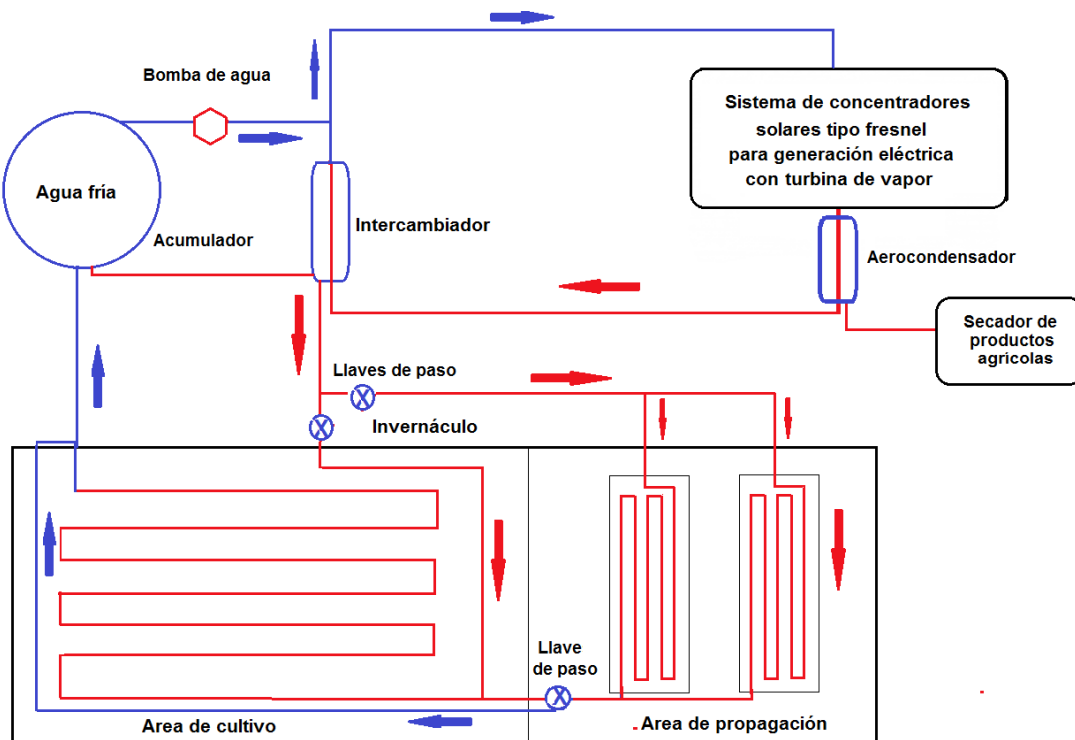


Figura 1: Diagrama del circuito de funcionamiento del sistema

CONCLUSIONES.

Se incorpora la energía remanente de sistemas para la producción de electricidad con generación directa de vapor mediante espejos fresnel, para mejorar la producción local. El sistema logra un triple aprovechamiento de la energía; cumple parte de la función del “foco frío” aprovechando los saltos de entalpía para alimentar energéticamente en serie, un secador solar de productos agrícola, una cama de propagación de plantas y calefacción de suelo en un invernadero.

Se optimiza así el aprovechamiento energético llevando el fluido del sistema de trabajo a la mínima temperatura optimizando el rendimiento del ciclo termodinámico de producción eléctrica, aprovechando para la mejora del sistema productivo local, la energía que de otra manera se dispersaría al ambiente. Un elemento importante del sistema es que contribuye al desarrollo de sistemas solares de generación eléctrica, en lugares con escaso recurso agua, ya que permite un ahorro sensible en su uso.

La integración de sistemas generación solar eléctrica – cogeneración productiva incorpora una mayor sustentabilidad a ambos.

El sistema contribuye no solo al ahorro energético, sino al del agua y a la mejora de las condiciones productivas y ambientales.

REFERENCIAS

- Condorí M., Saravia L. y Echazú R. (1995) "Secadero de Ajo en un Secadero Invernadero con Calefacción Auxiliar " , Actas de la 18a. Reunión de Trabajo de ASADES, San Luis., p.p. 01.59.
- Condorí M., Saravia L. y Echazú R.. (1995) "Secado de Pimiento en un Secadero Invernadero Túnel de Producción Continua " Actas de la XIX Reunión Nacional de Energía Solar. Asociación Mexicana de Energía Solar. México, 26 al 30 de octubre.
- Condorí M., Echazú R. y Saravia L., (2001) "Solar Drying of Sweet Pepper and Garlic Using the Tunnel Greenhouse Drier " Renewable Energy, 22 447-460.
- Echazú R., Quiroga M., Saravia L., Astudillo C. y Palacios A.. (2004) "Diseño, Construcción y Primeros Ensayos de Invernadero en El Rosal, Provincia de Salta " , Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8 N. 1 ISSN 0329-5184 p. p. 02.43.
- Echazú R., Saravia L., Quiroga M., Robredo P. y Cadena C. (2002) "Ensayos y Simulación de un Sistema Activo de Acumulación de Energía con Botellas de PET Recicladas para Invernaderos " , Energías Renovables y Medio Ambiente " Vol. 11, ISSN 0328-932X.
- Quiroga M., Echazú R., Saravia L., Palacios A. (2005)"Simulación con Simusol-Linux de Invernadero Andino de El Rosal, Salta " , Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 9 ISSN 0329-5184 p. p. 2.25.
- Saravia L., Echazú R., Cadena C. , Condorí M., Cabanillas C., Iriarte A., Bistoni S. (1997) "Greenhouse Solar Heating in the Argentinian Northwest",; Renewable Energy, Vol 11 No. 1 p.p. 119-128,

ABSTRACT

The paper presents the design of a cooling system for a direct solar steam generator, which allows the use of waste heat. Basically consists of a circuit composed of an appropriate air condenser for drying agricultural products and a condenser-exchanger proper for heating greenhouses. These two condensers work in series, and together constitute the stage of cooling for the working fluid. The air condenser, takes most enthalpy of the circuit, which outside is driven atmospheric air, which upon heating is used as energy source for a dryer of agricultural products. The other, placed below, is a condenser-exchanger ending process of condensation using the residual heat in a production system with low enthalpy, for the propagation of plants and greenhouse heating. The results of work will clearly benefit productive sectors, social and environment.

Keywords: cogeneration, solar heating of greenhouses, plant propagation systems. air condenser, dryer gases, heat exchanger condenser