



# Condensador para obtener agua de la atmósfera por enfriamiento radiativo



**José Luis Gutiérrez Montes**

Doctor Ingeniero del ICAI (Catedrático de Universidad).

**Manuel García Peiró**

Técnico de Laboratorio del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Politécnica de Valencia.

**Palabras clave:** recogida de rocío, producción de agua, condensador radiativo, vapor de agua.

**Key words:** dew collection, water production, radiative condenser, water vapor.

## Resumen:

En este artículo se describe el diseño, construcción y ensayo de un sistema para condensar agua de la humedad atmosférica. El condensador que ha resultado de la experiencia es de una producción limitada. En circunstancias atmosféricas óptimas se han llegado a obtener 110 gramos de condensado sobre una superficie aproximada de 1m<sup>2</sup>.

## Abstract

In this article is described the design, construction and test of a system to condense water from atmospheric moisture. The condenser that has ensued from this experience has a limited production. In atmospheric ideal circumstances it has managed to obtain 110 grams, condensed on an approximate surface of 1m<sup>2</sup>.

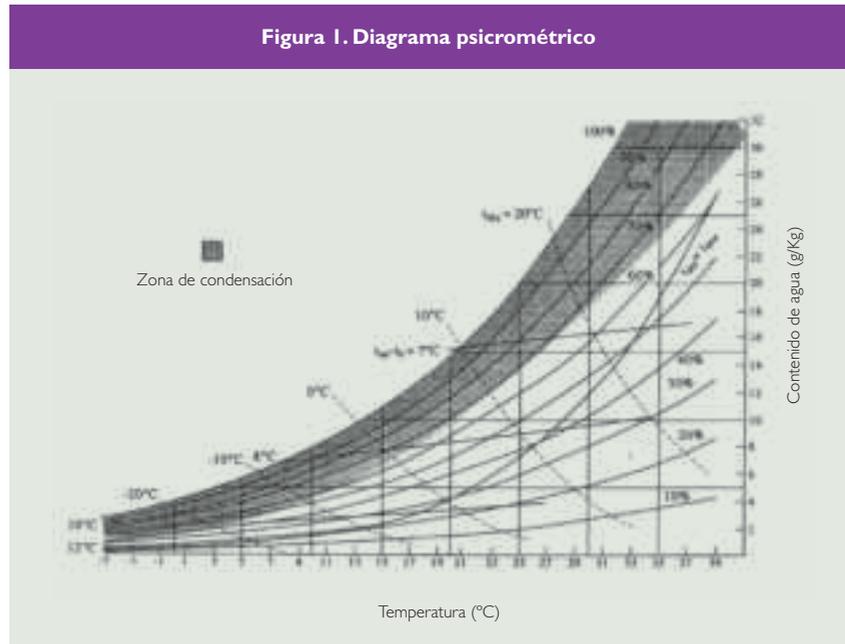
## Antecedentes

Hay un número limitado de trabajos que abordan la obtención de agua a partir de la condensación atmosférica, probablemente porque los volúmenes de condensado que pueden obtenerse son poco representativos para su uso en el abastecimiento a poblaciones o el riego de grandes superficies. Los procedimientos en los que se incide la condensación de la humedad atmosférica están orientados a resolver, aunque de forma precaria, el riego de cultivos poco exigentes en zonas áridas. Basile Kounouhewa y Cossi Norbert Awanou [1] estudiaron las formas de una superficie de condensación, para Benin (África Occidental).

La condensación natural de la humedad atmosférica está ligada al enfriamiento radiativo de una superficie en contacto con la atmósfera. Este enfriamiento se produce por la emisión al firmamento de la energía calorífica acumulada durante el período diurno. La elección de superficies de buen coeficiente de emisividad en la banda del infrarrojo es un factor que favorece la condensación, debido a la baja temperatura que puede alcanzar la superficie en contacto con la atmósfera. Masato Tazawa, entre otros [2], publicó un trabajo sobre el uso de recubrimientos de pintura blanca que, por su alta emisividad, alcanzan una baja temperatura por enfriamiento radiativo.

En la literatura científica existe bastante información sobre enfriamiento radiativo de superficies, aplicado al acondicionamiento natural del ambiente en los edificios. Dimoudi y Androutsopoulos [2] proponen un acondicionamiento ambiental basado en el enfriamiento radiativo del tejado.

Además están las condiciones atmosféricas. Uno de los principales problemas por resolver en la condensación de la humedad en atmósfera natural está asociado a dos condiciones atmosféricas opuestas: la primera es disponer de una atmósfera transparente (sin humedad) para una eficaz radiación al firmamento, lo que supone un enfriamiento hasta una temperatura baja, y la segunda es contar con la cantidad suficiente de vapor de



agua en la atmósfera, lo que supone una atmósfera menos transparente.

Para obtener un enfriamiento rápido y conseguir temperaturas bajas, respecto a la temperatura del aire en la atmósfera, se debe tener en cuenta la geometría del condensador. Los cálculos realizados por Awanou [1] prueban que el intercambio radiativo entre el firmamento y la superficie del condensador debe producirse sólo con una parte de la bóveda celestial, evitando el intercambio de calor con las bandas horizontales de la bóveda. Esto marca unos límites en la inclinación de la superficie del condensador respecto a un plano horizontal.

El tratamiento de condiciones atmosféricas nos lleva al uso del diagrama psicrométrico, sobre el cual hay que trasladar dichas condiciones. El diagrama que se representa se ha realizado para condiciones atmosféricas a nivel del mar (presión atmosférica igual a 1,013 kg/cm<sup>2</sup>).

La superficie del condensador, expuesta a la atmósfera a la temperatura  $T_b = T_0$ , se enfría durante la noche por la radiación al firmamento y se calienta por convección gracias al aire circundante.

En el diagrama psicrométrico, se determinan dos zonas:

En la primera zona, donde  $T_b$  del radiador es mayor que la temperatura de rocío,  $T_d$ , un radiador que esté en esas

condiciones atmosféricas puede no ser suficientemente enfriado para condensar la humedad del aire. En la segunda zona, situada donde la temperatura del radiador es menor que la temperatura del punto de rocío, es donde se observa la condensación de la humedad atmosférica. La observación de la zona de condensación muestra las dificultades para conseguir la condensación de la humedad atmosférica en climas áridos o semiáridos. El problema es alcanzar la temperatura del punto de rocío, ya que la temperatura del condensador debe estar por debajo de ésta. Esto justifica el estudio de la geometría del condensador.

Se requiere también la realización de un tipo de condensador que ha de intercambiar una importante cantidad de energía con el firmamento. Este condensador debe aislarse y protegerse del intercambio calorífico con las fuentes de calor que le rodeen, ya que normalmente habrán alcanzado temperaturas altas durante el día. Los climas calientes y secos se caracterizan, fundamentalmente, por intervalos de temperatura (máxima-mínima) que a menudo son muy grandes (20°C a 30°C) y unos valores de humedad relativa muy reducidos, 15% a 60% del día a la noche. El estudio de las formas del condensador es por lo tanto de suma importancia.

Para mantener el aire frío sobre la superficie del condensador hay que reducir el intercambio convectivo y

mantener la masa de aire en calma y estable. Por lo tanto el radiador sólo debe realizar intercambios radiativos con una parte de la bóveda celestia. La emisividad y la temperatura de la bóveda celestia son cambiantes, según la dirección considerada.

$$\epsilon_s = 1 - (1 - \epsilon_s)^{\cos \theta}$$

$$\bar{T}_s = [\epsilon_{s, \text{eff}}]^{0.25} T_s$$

El intercambio radiativo con una parte de la bóveda celestia lo define la ecuación.

$$q_r = \sigma (T_s^4 - \epsilon_{s, \text{eff}} T_s^4) (1 - \cos^2 \theta)$$

En los intercambios convectivos están conectados una convección natural y otra forzada. La altura de los platos puede no ser suficiente para mantener el aire en calma sobre el radiador. En este caso se debe unir, al primer plato, otro plato de la misma naturaleza con las mismas propiedades térmicas, cuyos objetivos son:

- Por un lado ocultar una parte de la bóveda celestia. Para ello se elige un ángulo de 15°.
- Por otro lado cambiar la convección forzada sobre el sistema en convección natural.

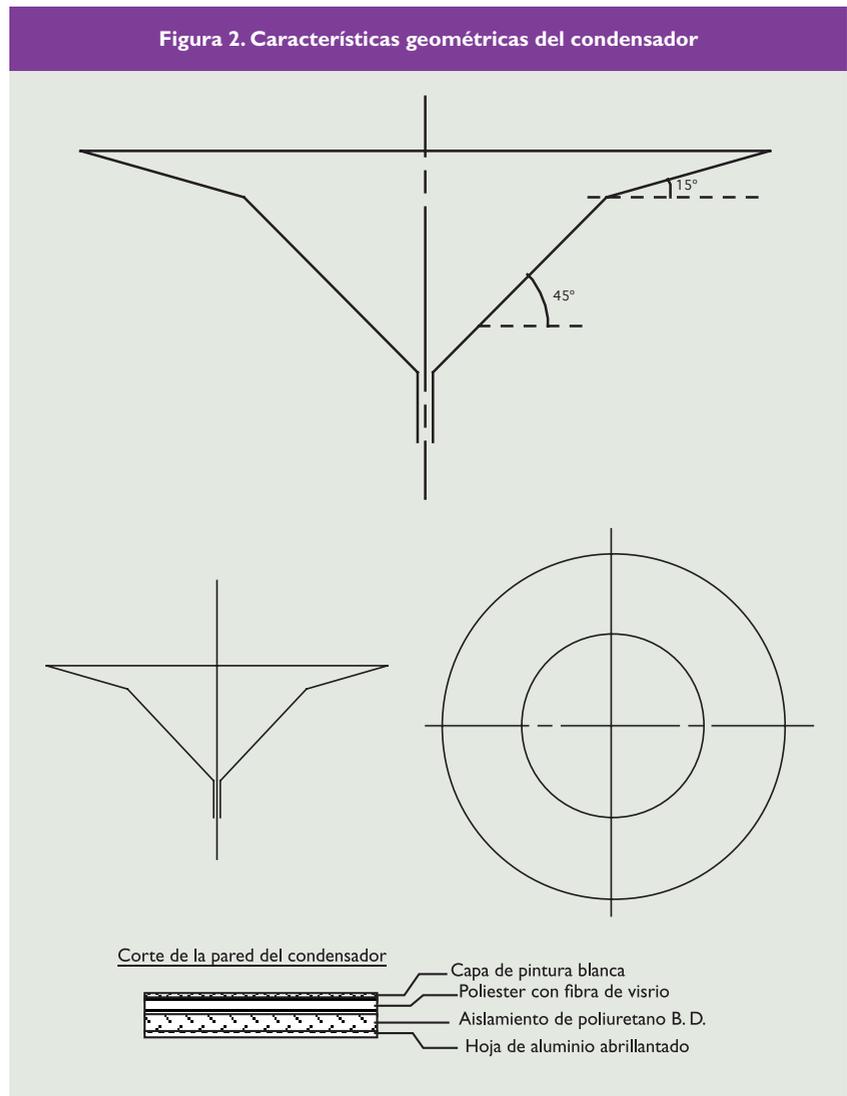
Awanou [1] construyó un condensador con estas formas geométricas, utilizando film de polietileno como superficie del condensador sobre una armadura de alambre galvanizado con las formas y ángulo descritos. El aire, que es enfriado ligeramente por este segundo plato, desliza hasta el primero y se enfría más, alcanzando su temperatura, la del punto de rocío. En contacto con el radiador parte de la humedad de este aire se condensa.

## Materiales y métodos

### Construcción del condensador

Para la determinación del ángulo mínimo de la superficie condensadora sobre el plano horizontal se consideraron las coordenadas geográficas del lugar: 39,5° de latitud Norte y 0,46667° de longitud Oeste.

Los cálculos expresados por Awanou [1] indican que el valor mínimo de incli-



nación de la superficie sobre el horizonte debe ser tal que evite el intercambio de calor con las bandas horizontales de la bóveda celestia. Para ello consideramos platos inclinados al exterior, con una altura tal que el ángulo para ocultar el firmamento sea de 25° respecto al centro del radiador. La inclinación de las paredes de 45° cumple con los requisitos expresados.

El condensador se ha construido con poliéster y fibra de vidrio sobre un molde de latón soldado, con la geometría que se indica en la Fig. 1. El espesor de la capa de poliéster es de 1 mm, que corresponde a una sola capa de la resina.

En la misma figura se ha representado una sección con las diferentes capas que componen la pared del condensador. En la fotografía puede verse el condensador construido con el dis-

positivo para recolectar agua condensada durante el período nocturno.

La superficie de poliéster se ha cubierto con una capa de pintura de color blanco Hempel Primer; utilizada en la náutica. Según Masato Tazawa [2], las pinturas blancas tienen alta reflectancia solar. Además, normalmente tienen alta absorción en la región del infrarrojo (IR) y a temperatura superficial baja emiten radiación térmica a través de la ventana de la atmósfera, bajo condiciones del cielo claras. El poder radiativo enfriante, a la temperatura del ambiente, es alto ya que su coeficiente de emisividad es del orden de 0,95.

La cara opuesta a la superficie radiante se ha aislado con una capa de poliuretano de baja densidad, de 10 mm de espesor, con lo que evitamos los movimientos convectivos del aire en esa



Condensador instalado.

zona. El aislante se ha cubierto con una hoja de aluminio brillantado, que evita la transmisión de calor por radiación del suelo o de los cuerpos situados en la proximidad del condensador:

### Mediciones realizadas

Temperatura en el centro de la pared inclinada  $45^\circ$ ,  $T_{int}$

Temperatura en el centro de la pared inclinada  $15^\circ$ ,  $T_{ext}$

Temperatura sobre una placa horizontal con la superficie pintada de blanco,  $T_{placa}$

Temperatura para medida de la temperatura ambiente,  $T_{amb}$

Medida de la humedad relativa ambiente,  $H_R$

Medida de la velocidad y dirección del viento  $V_{viento}$

En la Fig. 2 se indica la posición de los termopares utilizados

Un sistema de adquisición de datos realizaba las lecturas de las distintas magnitudes cada cinco minutos, almacenándose la información en el disco duro de un ordenador. Por medio del programa Excel de Windows se han dibujado las curvas representativas de las distintas magnitudes.

### Resultados

Durante las horas diurnas las temperaturas  $T_{placa}$ ,  $T_{int}$  y  $T_{ext}$  son superiores a la temperatura ambiente,  $T_{amb}$ . Cuando el sol declina, la radiación al firmamento de las superficies de placa horizontal ( $T_{placa}$ ) y de los platos del condensador ( $T_{ext}$  y  $T_{int}$ ) quedan por debajo de la temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ). Hay que hacer notar que la temperatura del plato exterior es inferior a las temperaturas de la placa horizontal y a la temperatura del plato interior.

La diferencia de temperatura entre  $T_{amb}$  y  $T_{ext}$ , si se da el valor de la humedad relativa adecuado, inicia la condensación.

Los días en los que se produce condensación, durante el período nocturno, se produce una distribución de las temperaturas,  $T_{placa}$ ,  $T_{int}$  y  $T_{ext}$ , muy semejante. Los datos recogidos corresponden a los años 2006 y 2007 durante los meses de junio a octubre.

La media del peso de agua, recogida en el período nocturno, ha oscilado entre 40 y 60 gramos. Como ejemplo ofrecemos los resultados obtenidos un fin de semana, iniciado el viernes 13 de julio de 2007 y finalizado el lunes 16. En los gráficos se ha representado la humedad relativa durante dicho período y la evolución de las temperaturas medidas en los distintos puntos del prototipo a ensayar.

La cantidad de agua recogida durante los tres días ascendía a 161 gramos, lo que supone una media de 53,7 gramos/día.

Como recogida de agua excepcional mostramos la registrada en la noche del 28 al 29 de septiembre de 2006. A partir de las 20:00 horas se observa un valor de la humedad relativa que alcanza, durante una parte apreciable de la noche, valores sostenidos superiores al 90%, probablemente debido a una dirección de viento que originó un alto contenido de humedad.

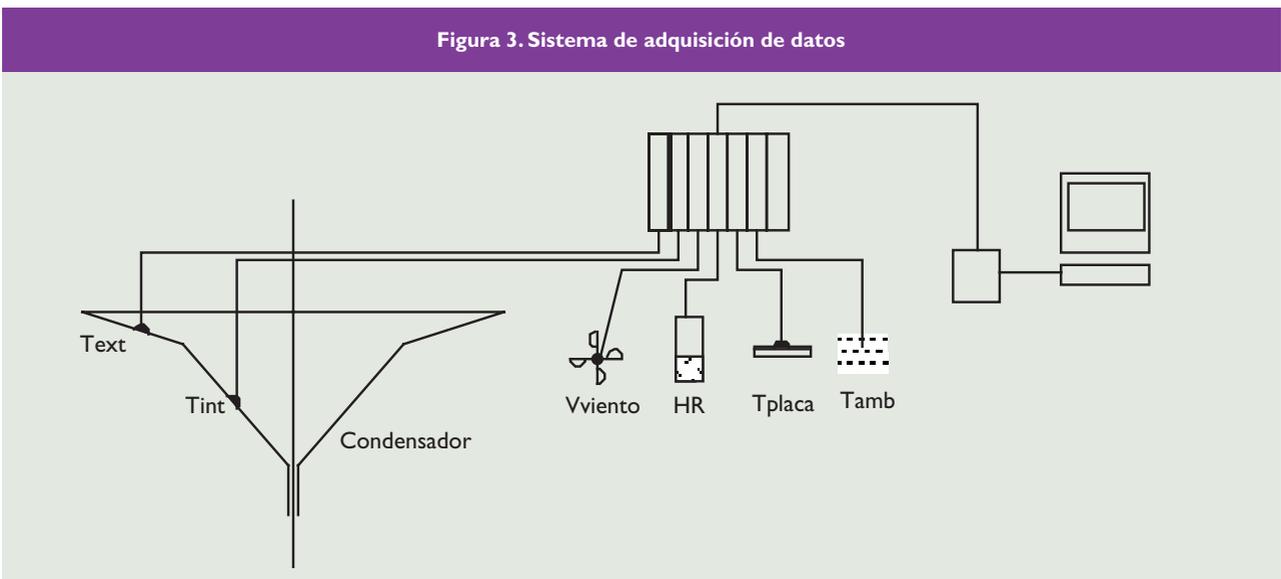
La cantidad de agua recogida durante ese período fue de 170 gramos, lo que triplica la cantidad media reseñada anteriormente.

### Conclusiones

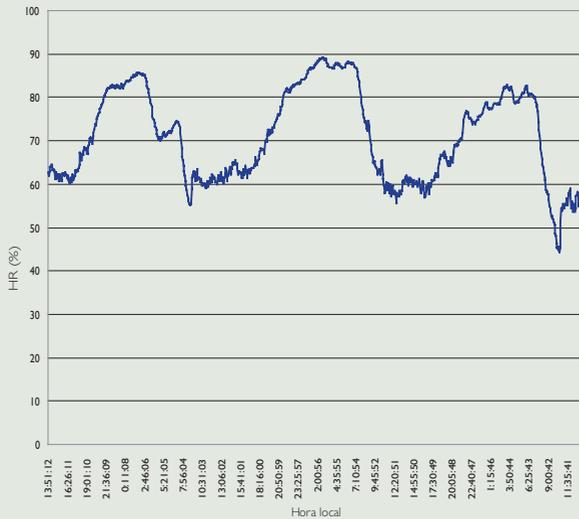
El objetivo básico del trabajo que se ha realizado es la construcción de un aparato para obtener el agua de la atmósfera condensando el vapor de agua contenido en el aire.

La cantidad de agua recogida, en las noches en la que se ha producido

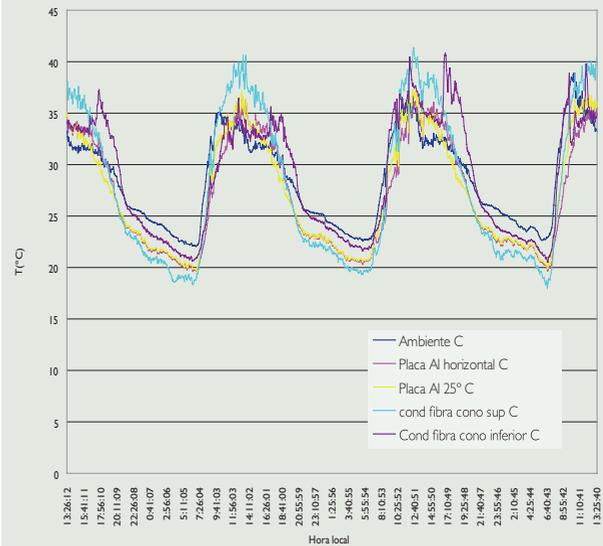
Figura 3. Sistema de adquisición de datos



### Humedad relativa



### Temperaturas 13 al 16 Julio 2007



condensación, ha oscilado, en circunstancias normales, entre 40 y 60 gramos.

La superficie radiante del condensador es de 0,5445 m<sup>2</sup> en el plato exterior y 0,2769 m<sup>2</sup> en el plato interior; lo que totaliza 0,821 m<sup>2</sup>. La produc-

ción media de agua condensada, por unidad de área de condensador, oscila entre 49 y 73 gramos por m<sup>2</sup> de condensador. En zonas áridas, en las que la atmósfera está limpia, se favorece el enfriamiento radiativo de las paredes del condensador. Por otra parte la

disponibilidad de terreno es amplia en estas zonas.

A partir de los resultados de este experimento podemos inferir que dispositivos de estas características podrían hacer viable una agricultura de mínimos. ■

### Humedad relativa Noche 28-29 Sept.



### Temperatura Noche 28-29 Sept. 2006



### Bibliografía

- [1] Evaluation of the amount of the atmospheric humidity condensed naturally  
Basile Kounouhewa, Cossi Norbert Awanou. Renewable Energy Vol 18, 1999, 223-247.
- [2] Optical properties and radiative cooling power of white paints.  
Masato Tazawa, Ping Jin, Takeshi Miki, Kazuki Yoshimura, Kazuo Igarashi, Sakae Tanemura Marie Ohishi, Kazuaki Shimono, Manabu Adachi.
- [3] The cooling performance of a radiator based roof component. A. Dimoudi a, A. Androutopoulos.  
Solar Energy, Volume 80 (2006) pp 1039-1047.
- [4] Radiative cooling during the day: simulations and experiments on pigmented polyethylene cover foils.  
Torbjorn M.J. Nilsson, Gunnar A. Niklasson. Solar Energy Materials and Solar Cells 37 (1995) pp. 93-118.
- [4] Field investigation of night radiation cooling under tropical climate  
J. Khedari\*, J. Waewsak, S. Thepa, J. Hirunlabh Renewable Energy 20 (2000) pp 183-193.
- [4] Thin film used to obtain a constant temperature lower than the ambient.  
Masato Tazawa, Ping Jin, Sakae Tanemura. Thin Solid Films, 281-282 (1996), pp 232-234.