

## CONSUMO Y DESPERDICIO DE AGUA DE LOS SISTEMAS EVAPORATIVOS RESIDENCIALES

**M. en I. René Ramón Martínez Arroyo**

Adscripción:

Departamento de Ingeniería Industrial y Manufactura

Instituto de Ingeniería y Tecnología

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUÁREZ (UACJ)

[remartin@uacj.mx](mailto:remartin@uacj.mx)

**Dr. Jorge A. Salas Plata Mendoza, Dr. Héctor Quevedo Urías**

Adscripción:

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Instituto de Ingeniería y Tecnología

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CIUDAD JUÁREZ (UACJ)

### RESUMEN

Los objetivos de este estudio consisten en medir el consumo de agua de los evaporativos residenciales convencionales, probar su capacidad de enfriamiento, y analizar los cambios operativos con el filtro de CELdek con y sin la adaptación del bleed-off (sangrado). Se llevaron a cabo pruebas experimentales durante dos veranos y se convirtió un evaporativo convencional en un Master Cool con las siguientes modificaciones: Se eliminaron las cuatro paredes de aspen (paja); a tres tapas se les eliminaron las rejillas de suministro de aire y la restante se sustituyó por un módulo rectangular, fabricado con fibra de vidrio, madera y malla de alambre, para colocar en su interior el CELdek. Además, se reemplazó el aspen por CELdek de 8" de espesor. Los resultados experimentales muestran que en el primer año el CELdek se impregnó de impurezas, quedando casi petrificado. En el segundo año se instaló el sistema de bleed-off a otro CELdek y se comprobó mayor durabilidad del material. También se midió físicamente el desperdicio de agua por el sistema del bleed-off, siendo de 340 a 545 litros de agua por día, tal y como está especificado en el manual de IMPCO. Se concluye que, en la actualidad, ningún material para los evaporativos es mejor que el CELdek, por lo que se requiere la utilización de éste en los evaporativos, pero cancelando el sistema de bleed-off, para evitar el desperdicio de 102 a 163.5 millones de litros de agua mensuales, generados por cada 10 mil equipos. Se recomienda reemplazar o convertir los evaporativos convencionales por evaporativos Master Cool, porque el consumo de agua de los evaporativos convencionales es muy elevado y su eficiencia no es tan buena. En la actualidad no se ha encontrado un filtro eficiente para eliminar el desperdicio de agua generado por el sistema de bleed-off y reducir el consumo de agua de los evaporativos Master Cool, por lo que se sugiere ampliar las investigaciones al respecto.

## ABSTRACT

The objectives of this study consist of measuring the water consumption of a residential cooler, testing its cooling off capacity, and analyzing the operating changes of the CELdek filter with or without the bleed-off system. Experimental tests during two summers were carried out and a conventional cooler was converted to a Master Cool with the following modifications: The four walls covered with straw bale were eliminated; to three of them the air supply grids were eliminated and the remainder was substituted for a rectangular module manufactured with fiberglass, wood and a wire net, to place in its interior the CELdek. Besides, it was replaced the straw bale for CELdek of 8" in thickness. The experimental results show that in the first year the CELdek was impregnated of impurities, remaining almost petrified. In the second year a bleed off system was installed to another CELdek, getting a greater durability of the material. Also, the waste of water by the bleed off system was physically measured, being from 340 to 545 liters per day, just as is specified in the IMPCO manual. It is concluded that, currently, there is no material for coolers better than the CELdek, then, its utilization is necessary, but canceling the bleed-off system to avoid the waste of 102 to 163.5 million liters of water per month, produced by 10 thousand coolers. It is recommended to replace or to convert the conventional cooler to Master Cool, because the water consumption of the conventional cooler is very high and its efficiency is not so good. Currently, it has not been found an efficient filter to eliminate the waste of water caused by the bleed off system and to reduce the water consumption of the Master Cool, therefore it is suggested to develop the investigations in this topic.

## INTRODUCCION

El 1906, el Ing. Stuart W. Cramer, en una conferencia dada en la convención de operadores de máquinas trilladoras de algodón, utilizó el término de "aire acondicionado", pero los primeros enfriadores evaporativos aparecieron a principios de los 30's, cuando las personas colgaban en las ventanas de sus casas paños

mojados y con ventiladores eléctricos empujaban al aire al interior.

En 1933, miles de enfriadores de este tipo eran utilizados en Arizona; posteriormente, los paños húmedos fueron cambiados por paja (aspen) y, en forma experimental, alguien colocó un ventilador en una caja cubierta por el frente, clavando en la parte posterior de la caja dos pulgadas de aspen húmedo sujetas en forma de sándwich por una malla de gallinero; el

aspen era mojado por agua que corría a través de tubos de cobre perforados. Dos años después se popularizaron los “desert coolers” y la gente le solicitaba a la compañía Southwest Sheet Metal Co., de los hermanos Goettl, que fueran fabricados en metal (IMPCO, 1999). Fue evidente el interés que la gente manifestó para adquirir un equipo que les permitiera disminuir las elevadas temperaturas en la época de verano. A la fecha más de un millón y medio de hogares mexicanos cuentan con sistemas de enfriadores evaporativos.

Por otro lado, se ha requerido de la innovación de nuevos sistemas, debido a que los evaporativos no son lo suficientemente efectivos cuando la temperatura rebasa los 32 °C (90 °F) o se aproxima a los 38 °C (100 °F), este es el caso de equipos evaporativos para uso residencial conocidos en el mercado como “Master Cool “, que salieron a mediados de esta década y cuya principal característica

es que puede disminuir más la temperatura que los evaporativos convencionales.

Desafortunadamente, la adquisición de estos nuevos aparatos, por razones de índole económica, no es accesible para todos los grupos de la sociedad. La gente de alto nivel económico, y cierto grupo de la clase media alta, no tienen problemas para lograr las condiciones de confort en sus residencias, ya que ellos instalan paquetes de unidades de refrigeración. Después de estos dos grupos anteriores siguen la clase media y baja, las cuales en su mayoría adquieren evaporativos convencionales.

Los principios fundamentales de operación de un aire evaporativo son relativamente simples; se trata de un intercambiador de calor, utilizando un proceso de evaporización que inyecta aire del exterior a través de una pared húmeda; al ponerse en contacto el aire seco y caliente con el medio húmedo, el aire cede parte del calor, desprendiendo la pared húmeda partículas de agua en forma de vapor y

enfriando el aire de manera artificial, como se puede observar en la figura 1.

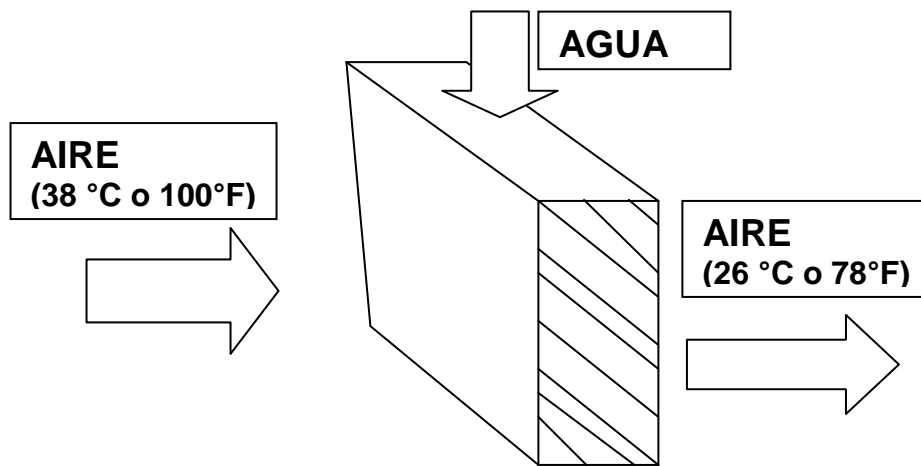


Figura 1. Principio del enfriamiento del aire

En otras palabras, la evaporización del agua enfría el aire convirtiendo el calor sensible o el calor que percibimos, a calor latente o calor que no percibimos y que se encuentra suspendido en el ambiente en forma de vapor de agua.

El calor latente se conoce como la temperatura de bulbo húmedo y su efecto se puede medir utilizando un termómetro normal, al cual se le pone una gasa en el extremo del bulbo el cual se humedece. La gasa limpia absorbe agua y la evaporización de ésta reduce la temperatura que es registrada por el termómetro como

temperatura de bulbo húmedo. El calor sensible también se conoce como temperatura de bulbo seco y se mide con un termómetro normal.

Un reporte del uso de los sistemas de enfriamiento por evaporización de la American Water Works Association (AWWA, por sus siglas en inglés), menciona que durante los meses de verano el porcentaje de agua consumido por las casas-habitación es de aproximadamente el 15%. Se considera que el sistema de enfriamiento por evaporización es uno de los métodos más viejos, y también uno de

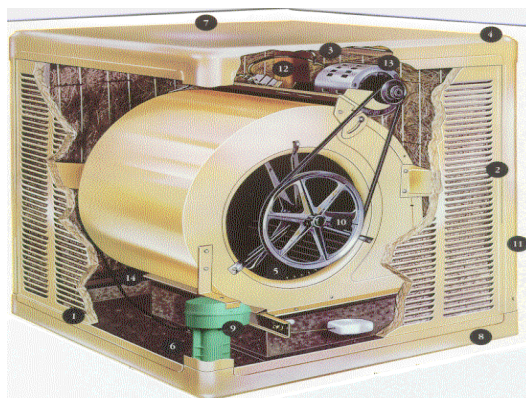
los métodos más eficientes en ahorro de energía para el enfriamiento de una casa.

### **Diseño y operación de un evaporativo convencional**

Doug Mahone (2003), señala que los equipos de enfriamiento por evaporización son mecánicamente simples y la operación de todo el sistema es fácilmente verificable.

Un equipo de aire evaporativo está compuesto de un gabinete de lámina galvanizada u otro material como plástico o fibra de vidrio; su forma puede ser rectangular, cuadrada o cilíndrica. En el caso de los dos primeros, en su interior tienen montada una turbina grande, que

debe estar balanceada para generar aire al máximo con una operación silenciosa, impulsada por una banda tipo “V” desde un motor eléctrico situado arriba de la carcasa, la cual envuelve a la turbina. Cuando la descarga es hacia abajo, en cada lado tiene una tapa provista con rejillas para la entrada del aire exterior y en ellas se montan los filtros o paredes de aspen u otro material que es humedecido mediante un sistema de distribución de agua, instalado en la parte superior del gabinete y alimentado por una bomba de agua colocada en la parte interior de la base del mismo, como se observa en la figura 2.



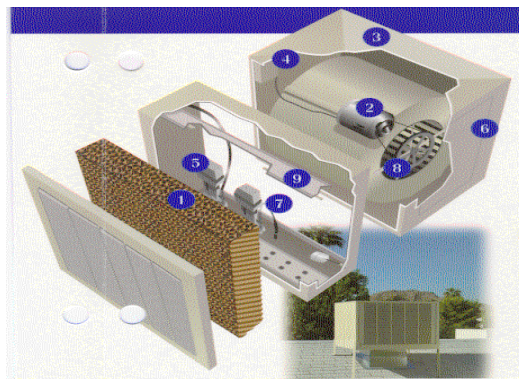
- 1. Filtro de aspen
- 2. Rejillas
- 3. Sist. dist. Agua
- 4. Gabinete
- 5. Turbina
- 6. Deposito de agua
- 7. Parte superior

Figura 2. Equipo de aire evaporativo convencional  
Fuente: IMPCO de México

### Diseño y operación de un Master Cool

El equipo del sistema de aire Master Cool está compuesto de un gabinete metálico impermeabilizado. En su interior tiene instalada una turbina y, entre algunos otros, están los siguientes elementos: la pared o filtro de papel preformado (CELdex), material que es humedecido mediante un sistema de distribución de agua

e instalado en la parte superior del interior de este módulo. El filtro es alimentado por una bomba de agua colocada también en la parte inferior del interior de la base del mismo módulo. Además, se cuenta con una tapa provista con rejillas para la entrada del aire exterior. Estas piezas se pueden observar en la figura 3.



- |                     |
|---------------------|
| 1. Filtro de CELdex |
| 2. Motor            |
| 3. Gabinete         |
| 4. Conector         |
| 5. Bomba de agua    |
| 6. Tapadera         |
| 7. Bomba de agua    |
| 8. Turbina          |
| 9. Irrigador        |

Figura 3. Equipo de aire evaporativo Master Cool

El acondicionamiento del aire se debe, por una parte, a la combinación simultánea de la temperatura, velocidad y humedad relativa y, por otra parte, a la

distribución dentro de los espacios cerrados en los que se quiere mantener una temperatura de confort. Para efectos del

presente estudio, únicamente se analiza la primera condición.

## **ANALISIS DE ATRIBUTOS**

### **Factores que influyen en la comodidad**

En experimentos desarrollados por la American Society of Heating, Refrigeration and Air-conditioning Engineering (ASHAE, por sus siglas en inglés), se encontró que siempre habrá personas que se sientan incómodas, pero las normas de comodidad se establecieron para la mayoría y dentro de estas se ubican las “MÁXIMAS CONDICIONES TOLERABLES”, que es un concepto muy importante en sistemas de enfriamiento, sobre todo en áreas muy calurosas y con grandes cargas de alumbrado, donde la temperatura no debe exceder de 29 °C (85 °F), de acuerdo con los diseñadores de aire acondicionado.

En regiones como el norte de México, las “CONDICIONES RECOMENDABLES PARA EL

VERANO” varían desde 22 °C (71 °F) a 29 °C (85 °F) con humedad relativa en el rango de 40% a 60 % como máximo. Para lograr estos parámetros, se requieren las siguientes condiciones:

### **Consumo de agua de evaporativos**

Para los evaporativos que utilizan filtro de CELdek como sistema de enfriamiento, que en lo sucesivo se denominan en este escrito como MASTER COOL, adicional al consumo de agua que utilizan para el proceso, se requiere tener un sistema llamado sangrado (bleed-off). Este consiste en estar tirando cierta cantidad de agua de la recirculación (la cantidad depende del modelo), por cada bomba de agua que tenga el equipo, con el propósito de reducir la acumulación de sarro o incrustaciones minerales principalmente en el filtro CELdek, que puedan reducir su vida útil.

Los evaporativos, que en lo sucesivo se señalan como evaporativos convencionales, utilizan filtro de aspen

(paja) para su proceso de enfriamiento y no requieren tener el sistema de bleed-off por lo que el consumo de agua es el que se utiliza en el proceso.

### **Eficiencia de equipos de enfriamiento**

Los evaporativos convencionales dejan de ser funcionales cuando la temperatura exterior rebasa los 32 °C (90° F). Alguna gente instala en su casa un equipo de mayor capacidad, logrando con esto una sensación de un aire mas frío debido a su velocidad, aunque en realidad no está en enfriando la temperatura interior y esto ocasiona que si alguien esta en área del interior donde no tiene contacto directo con el aire, va a sentir calor.

Los evaporativos MASTER COOL pueden disminuir un poco más la temperatura en comparación con los convencionales, pero cuando la temperatura exterior esta por arriba de 38 °C (100° F), no se pueden alcanzar los parámetros recomendados.

### **OBJETIVOS**

Los objetivos de este estudio consisten en medir el consumo de agua de los evaporativos residenciales convencionales, probar su capacidad de enfriamiento, y analizar los cambios operativos con el filtro de CELdek con y sin la adaptación del bleed-off (sangrado).

### **METODOLOGIA**

Se llevaron a cabo pruebas experimentales durante dos veranos y se convirtió un evaporativo convencional en un Master Cool con las siguientes modificaciones: Se eliminaron las cuatro paredes de aspen (paja); a tres tapas se les eliminaron las rejillas de suministro de aire y la restante se sustituyó por un módulo rectangular, fabricado con fibra de vidrio, madera y malla de alambre, para colocar en su interior el CELdek. Además, se remplazó él aspen por CELdek de 8” de espesor.

La primera prueba experimental fue para conocer el consumo de agua de un evaporativo convencional con las pajas en los cuatro lados. Para efectos de este



estudio, se desarrollaron pruebas experimentales con un aparato instalado en una casa-habitación, el cual es un equipo de 135 m<sup>3</sup>/min o 4800 pies cúbicos por minuto (CFM). El consumo de agua se obtuvo midiendo cada hora el gasto de un evaporativo convencional durante varios días con diferentes temperaturas, considerando una evaporación promedio de 22.71 litros por hora, que multiplicados por 24 horas, nos dan una evaporación de 545 litros diarios.

## **RESULTADOS**

### **Consumo de agua de los evaporativos**

La tabla 1 muestra una relación de los millones de litros de agua por mes que se consumen en estos sistemas de enfriamiento.

De forma similar, pero con el sistema Master Cool, se obtuvo en forma física el desperdicio de agua generado por estos sistemas, que en promedio significó una cantidad de 340 litros/día, cantidad que coincide con el estudio realizado por la industria IMPCO y que se muestra en la tabla 2. En la tabla 3 se presenta una relación del desperdicio de agua de los evaporativos Master Cool con datos obtenidos en el estudio de la Universidad de Arizona (Karpiscak, 1994), donde se menciona que un Master Cool sin sistema de bleed-off consume 400 litros de agua por día y con el bleed-off consume 945 litros de agua por día.

Tabla 1. Relación del consumo de agua en evaporativos

<b>CONSUMO DE AGUA EN EVAPORATIVOS CONVENCIONALES Y MASTER COOL</b>			
<b>APARATO DE 4800CFM</b>	<b>CONSUMO</b>		
	<b>POR DIA</b>	<b>POR MES</b>	<b>EN CADA 10,000 APARATOS</b>
<b>EVAPORATIVO CONVENCIONAL</b>	<b>545 lt</b>	16, 350 lt	<b>163' 500,000 lt/mes</b>
<b>*MASTER COOL</b>	<b>400 lt</b>	12, 000 lt	<b>120' 000,000 lt/mes</b>

\*Estudio de la Universidad de de Arizona (Karpiscak et. Al 1988)

Tabla 2. Desperdicio de agua por el sistema de sangrado

Fuente: Manual 1999 de IMPCO de México

<b>PCM Ø Estándar Industrial</b>	<b>Segundos para Llenar un recipiente de 355 ml.</b>
3,500	120
4,800	90
6,800	60
11,000	60*
21,000	45*

\*Segundos por cada una de las dos bombas.

Tabla 3. Relación del desperdicio de agua por el bleed-off de los Master Cool

<b>DESPERDICIO AGUA EN EVAPORATIVOS MASTER COOL CON SISTEMA DE BLEED OFF</b>			
<b>MASTER COOL CON BLEED-OFF 4800CFM</b>	<b>DESPERDICIO</b>		
	<b>POR DIA</b>	<b>POR MES</b>	<b>EN CADA 10,000 APARATOS</b>
<b>RECOMENDACION DE IMPCO</b>	<b>340 lt</b>	16, 350 lt	<b>163' 500,000 lt/mes</b>
<b>*ESTUDIO DE LA UNIVERSIDAD DE ARIZONA</b>	<b>545 lt</b>	16, 350 lt	<b>163' 500,000 lt/mes</b>

\* Estudio de la Universidad de Arizona (Karpiscak et. al, 1994)

## CONCLUSIONES

## RECOMENDACIONES

En la actualidad, ningún material para los evaporativos es mejor que el CELdek, por lo que se requiere la utilización de este tipo de evaporativo, pero cancelando el sistema de bleed-off, para evitar el desperdicio de 102 a 163.5 millones de litros de agua mensuales, generados por cada 10 mil equipos. Se recomienda reemplazar o convertir los evaporativos convencionales por evaporativos Master Cool porque el consumo de agua de los evaporativos convencionales es muy elevado y porque su eficiencia no es tan buena. En la actualidad, no se ha encontrado un filtro eficiente para eliminar el desperdicio de agua generado por el sistema de bleed-off y reducir el consumo de los evaporativos Master Cool, por lo que se recomienda ampliar las investigaciones al respecto.

Y

## REFERENCIAS

- American Water Works Association, **Report on evaporative cooler use**, (Journal AWWA, VOL. 90, No. 4, 1998).
- Gea M. y Lesino G., **Simulación de Paneles para enfriamiento evaporativo**, (INENCO, Universidad Nacional de Salta Argentina, 2004).
- Gea M., S.B., P.C., I.A. y L.G., **Comparación de distintos de intercambiadores de enfriamiento evaporativo**, (Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Vol. 8, 2004).
- Karpiscak, M. y Marion M.H., **Evaporative Cooler Water Use**, (University of Arizona, 1994).
- Mahone Doug, **Advanced Evaporative cooling**, (California Building Energy Efficiency Standards, 2001).

## BIBLIOGRAFIA

- ASHRAE, **Fundamentals Volumen (ASHRAE HANDBOOK)** (U.S.A.: Editorial ASHRAE, 1994).
- ASHRAE, **Systems Volumen (ASHRAE HANDBOOK)** (U.S.A.: Editorial ASHRAE, 1995).
- Goetsch, Nelson, and Chalk., **Technical Drawing Fundamentals- CAD- Design**, (U.S.A.: Editorial Delmar Publishers, 1994).
- Hernández Goribar Eduardo, **Calefacción Aire Acondicionado y Refrigeración** (México: Editorial Limusa, 1993).
- Hernández Goribar Eduardo, **Fundamentos de Aire Acondicionado y Refrigeración** (México: Editorial Limusa, 1987).

**IMPCO, Manual CALCULANDO aire evaporativo (international)**

(México: Editorial Impco, 1999).

**Jennigs, B.H., Aire Acondicionado y Refrigeración**

(México: Editorial Continental, 1985).

**Tricomi Ernest, ABC del aire acondicionado**

(España: Editorial Marcomdo, 1992).