

Adsorbato Agua.- Compuesto químico cuya fórmula es H<sub>2</sub>O, a temperatura entre 0 – 100 °C (P = 1000 mbar) es un líquido insípido, inodoro e incoloro en cantidades pequeñas, en grandes cantidades retiene las radiaciones del rojo, por lo que a nuestro ojos adquiere un color azul.

A continuación mostramos algunas propiedades termodinámicas del agua.

Propiedades del agua		
	Temperatura °C	Presión (mbar)
1	100	1003.50
2	95	845.54
3	90	701.39
4	85	578.34
5	80	473.90
6	75	385.78
7	70	311.88
8	65	250.33
9	60	199.41
10	55	157.58
11	50	123.50
12	45	95.93
13	40	73.84
14	35	56.28
15	30	42.46
16	25	31.17
17	20	23.39
18	15	17.05
19	10	12.28
20	5	8.72
21	0	6.11

Sólido saturado – Vapor saturado		
	Temperatura °C	Presión (mbar)
1	0.01	6.113
2	0	6.108
3	-2	5.177
4	-4	4.376
5	-6	3.639
6	-8	3.102
7	-10	2.601
8	-12	2.176
9	-14	1.815
10	-16	1.510
11	-18	1.252
12	-20	1.036
13	-22	0.854
14	-24	0.701
15	-26	0.574
16	-28	0.468
17	-30	0.381
18	-32	0.309
19	-34	0.249
20	-36	0.202
21	-38	0.161

Tabla N°1. Propiedades termodinámicas del agua

## DESCRIPCION DEL PROCESO DE ENFRIAMIENTO

El proceso de enfriamiento en nuestro caso es conocido por enfriamiento evaporativo, el cuál consiste en evaporar dentro de un espacio (el cuál se requiere enfriar, “evaporador”) un líquido refrigerante (agua): este líquido absorberá calor para realizar el cambio de fase.

De la figura N° 3 se puede mencionar lo siguiente:

1. En el evaporador se encuentra una masa “m” de agua, (en nuestro caso  $\leq 1000$  g) cuyas condiciones iniciales de presión y temperatura son: 1000 mbar y 25°C respectivamente, además el valor del volumen del evaporador es conocido e invariable.
2. Se realiza la succión extrayendo todo el aire, la presión final en el evaporador es de P = 2 mbar.

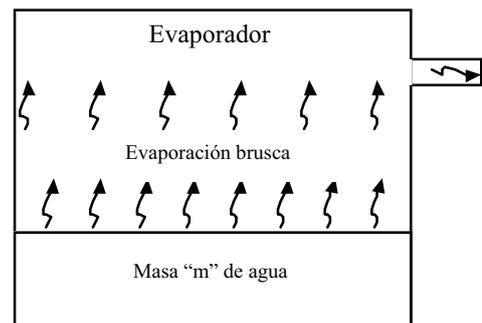


Figura N° 3. proceso de enfriamiento evaporativo

3. Como se observa en la tabla N°1, la temperatura de saturación a la presión de 2 mbar, esta muy por debajo de 25°C, lo que origina una evaporación brusca.
4. Esta evaporación brusca se realiza con una extracción de calor de los alrededores para el cambio de fase, y por consiguiente una disminución de temperatura, sin embargo la presión parcial del vapor de agua comienza a incrementarse; supongamos entonces que la temperatura dentro del evaporador ahora sea de 10°C el proceso de evaporación continuará hasta que la presión total en el evaporador alcance un valor aproximado de 12 mbar (que es la presión de saturación correspondiente a esta temperatura).
5. Existirá entonces un equilibrio termodinámico, dentro del evaporador, claro que la temperatura final en él aún no es muy baja como queremos, es añadido entonces al sistema un adsorbente, zeolita (figura N°4), cuya función es hacer que el valor de la presión parcial del vapor de agua no se incremente (adsorbiendo los vapores de agua), ocasionando un desequilibrio termodinámico dentro del evaporador, la evaporación continuará, con la disminución de la temperatura, este proceso continuará hasta que se evapore la totalidad del agua ó hasta que la zeolita este completamente saturada. En resumen, el añadir el adsorbente al sistema ocasionará que una mayor cantidad de masa de agua evapore y que la presión del sistema sea baja, por consiguiente una mayor caída de temperatura.

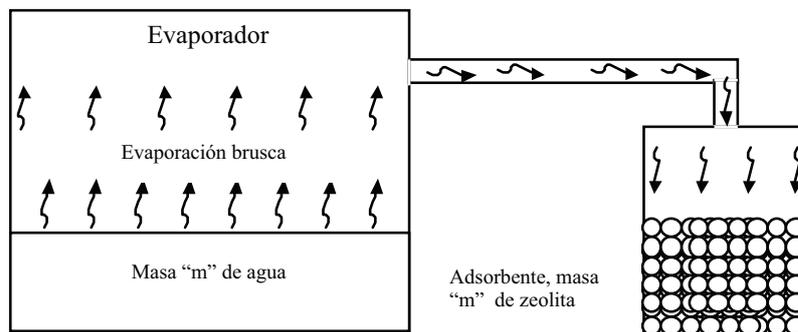


Figura N°4, proceso de enfriamiento evaporativo, en el prototipo de refrigerador construido por EG-Solar

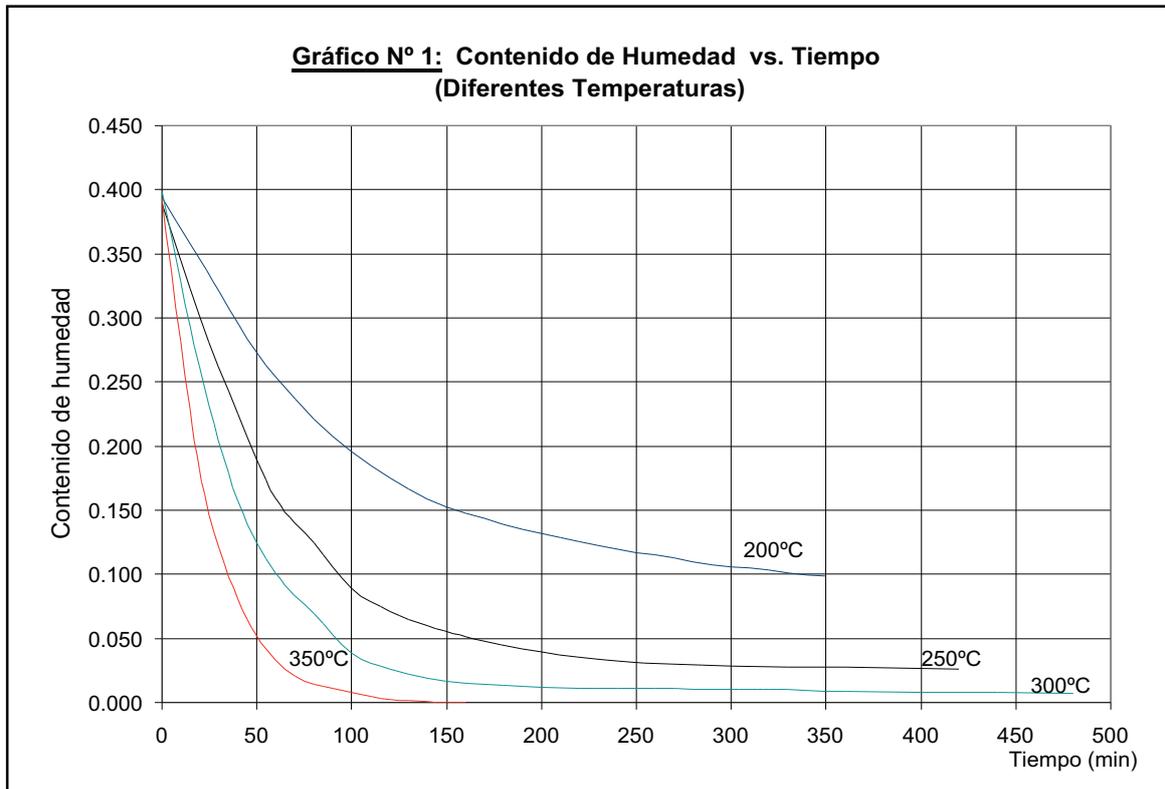
6. Con la caída de temperatura, una parte del refrigerante se congela teniendo una mezcla de sólido y vapor, la presión total dentro del evaporador es la presión de vacío en el evaporador (ya que el vapor en este instante ha sido totalmente adsorbido). Es decir, si por ejemplo el evaporador está a una presión de 2 mbar, el sólido tendrá una temperatura de saturación comprendida entre  $-12$  y  $-14$  °C.
7. Otra etapa del proceso, y como se verá más adelante con los resultados experimentales, es que luego que la temperatura del evaporador cae a su punto mínimo, por pérdidas de calor con el exterior este comienza a incrementarse. Este incremento origina luego de un intervalo de tiempo la descongelación del hielo, el proceso comienza a incrementar presión y temperatura, todo el agua contenida es finalmente vaporizada debido a la baja temperatura y por consiguiente toda la masa de agua es adsorbida finalmente (siempre que el adsorbente no se encuentre saturado)..
8. En el refrigerador se cumple que la capacidad máxima de adsorción de la zeolita, (30% de 4.2 kg de zeolita, es 1.26 kg de agua aproximadamente) es mayor que la cantidad de masa dentro del evaporador (debido a

que la capacidad máxima del evaporador es de 1 kg. de agua), con esto se garantizará que la masa total de agua en el evaporador pueda ser adsorbida por la zeolita.

9. En pruebas experimentales se han registrado temperaturas en el evaporar de alrededor de  $-14^{\circ}\text{C}$ , obteniéndose en el interior del refrigerador (caja térmica) una temperatura de  $-7^{\circ}\text{C}$ , prueba realizada en la Facultad de Ciencias de la UNI el 23 de junio del 2001, con 500 g de agua en el evaporador.

## DESCRIPCION DEL PROCESO DE REGENERACIÓN

El proceso de regeneración ó separación del vapor de agua de la zeolita es una etapa posterior al proceso de enfriamiento. Esta se debe realizar para poder utilizarla nuevamente. En el gráfico N°1 se presenta los resultados de este proceso de una muestra de zeolita sometida a diferentes temperaturas de regeneración. Estas pruebas son realizadas en una estufa eléctrica a la presión atmosférica (1000 mbar).



En cuanto al proceso de regeneración mostrado en el gráfico N° 1, se observa que es recomendable extraer de 30% a 12% de humedad ya que continuar el secado resultaría un gasto de energía alto, teniendo como consideración que la humedad relativa es baja (menos del 20%). Por ello la temperatura apropiada de regeneración de la zeolita es de  $250^{\circ}\text{C}$ , en ella se obtiene zeolita con 5% de humedad (extracción de 84% de masa de agua contenida) en aproximadamente 2.5 horas; si trabajamos a una menor temperatura  $200^{\circ}\text{C}$  se obtiene zeolita con 10% de humedad (extracción de 66% de masa de agua contenida) en 6 horas lo que resulta inapropiado para nuestro fin; de la misma forma para una temperatura de  $300^{\circ}\text{C}$  obtenemos un producto casi