

# LA BOMBA DE CALOR EN LA CLIMATIZACION DE INVERNADEROS

por: Miguel Poveda Cíoroga\*

- Gran ahorro económico y energético
- Una aplicación en Castilla-La Mancha



Berenjena var. «Híbrido Dusky (Catálogo Peto-seed)».

Se presenta un estudio sobre la viabilidad técnica y económica de invernaderos climatizados con bomba de calor agua-aire en Castilla-La Mancha, demostrándose que es el aparato idóneo para este tipo de aplicación, al conseguir un control preciso y exacto de la temperatura y humedad del ambiente interior en cualquier momento y estación del año, pudiendo obtenerse dos cosechas de cultivo, con lo que la rentabilidad es altamente suficiente para cubrir la amortización del equipo y los gastos derivados del consumo de energía por dos motivos fundamentales:

1º) Porque se trabaja con coeficientes de performance estacionales (C.O.P. superiores a 3).

2º) Porque el mayor gasto energético va a tener lugar por la noche, con lo que al aplicar tarifa nocturna obtendremos una reducción importante (superior al 50%) en la facturación de energía eléctrica.

A estas ventajas de tipo económico, hay que añadir otras de tipo funcional muy

importantes a la hora de conseguir un alto crecimiento de las hortalizas cultivadas en el invernadero, cuales son:

- Creación de una atmósfera limpia y no contaminante en el interior.
- Distribución del aire caliente a través de un sistema de acolchado radiante, compuesto por mangas perforadas colocadas en el suelo, que mantienen una temperatura radicular ideal.
- Inversión del ciclo de trabajo de la Bomba de Calor en verano, que extrae el calor del interior del invernadero, comunicándose al agua de riego que, al elevar ligeramente su temperatura, mejora la absorción de las sustancias minerales por parte de las plantas.

## PROBLEMATICA ASOCIADA A LA CALEFACCION DE INVERNADEROS POR EL SISTEMA CONVENCIONAL EN USO

Los sistemas tradicionales de calefacción de invernaderos a base de la com-

bustión del gasóleo C presentan tres inconvenientes:

1º) Los gases procedentes de la combustión que se introducen en el invernadero junto con el aire caliente, pueden ocasionar daños graves en el cultivo debido al aumento de la concentración del óxido de carbono (CO), si la combustión no es perfecta.

2º) El aire caliente deseca la atmósfera interior, por lo que se hace necesario un control de la humedad relativa del invernadero.

3º) Los costes por consumo de gasóleo C son muy elevados, cómo puede apreciarse en la *tabla 1*, por lo que su aplicación en la calefacción de invernaderos es muy discutida.

## EXIGENCIAS TERMICAS DEL INVERNADERO

El invernadero en Castilla-La Mancha, construido conforme a las normas que se indican en este estudio, es autosuficiente en calefacción durante los días de invierno, como puede deducirse de la observación de la *tabla 2* para cultivos de hortalizas. Sin embargo, es durante las noches del crudo invierno castellano-manchego cuando se hace necesario un mantenimiento de la temperatura interior por encima de la temperatura mínima biológica del cultivo, so pena, de que las fuertes heladas terminen con la esperanza de la futura cosecha.

Por otra parte, durante los largos y cálidos días del verano, en la región Castellano-Manchega se alcanzan temperaturas superiores a los 35°C, muy por encima de las temperaturas máximas biológicas (alrededor de los 25°C) que los cultivos pueden soportar. Es por lo que en esta estación del año, se hace imprescindible ventilar el invernadero y extraer el calor sobrante mediante la oportuna refrigeración.

(\*) Departamento de Física Aplicada de la Universidad de Castilla-La Mancha. Este trabajo obtuvo recientemente el Primer Premio UNION-FENOSA de Investigación.

## NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACION DE INVERNADEROS POR MEDIO DE LA «BOMBA DE CALOR» AGUA-AIRE

Se demuestra en nuestro estudio que la climatización de invernaderos mediante «Bomba de Calor» aporta las siguientes ventajas:

1°) No introduce gases de combustión en el invernadero, con lo que evitamos el consiguiente perjuicio que conlleva el CO para el desarrollo de las plantas.

2°) Controla y regula en todo momento y en cualquier estación del año, la humedad y temperatura del invernadero.

3°) Puede funcionar como aparato de climatización en invierno y verano, para suministrar o extraer calor del invernadero según las necesidades del cultivo.

4°) Supone un gran ahorro de energía frente a los sistemas tradicionales descritos, por dos motivos fundamentales:

a) Porque las necesidades de calefacción del invernadero se producen durante la noche, por lo que, se podrá aplicar

Año Pts/Año	Costes acumulados de mantenimiento Pts./Año	Costes acumulados de energía Pts./Año	Costes acumulados totales
1	15.000	156.100	921.100
2	33.302	322.647	1.105.949
3	51.484	499.392	1.300.876
4	70.246	685.421	1.505.667
5	89.357	891.326	1.730.683
6	118.861	1.072.766	1.941.627
7	138.904	1.280.613	2.169.517
8	158.008	1.514.910	2.423.918
9	178.505	1.748.023	2.676.528
10	199.604	1.994.835	2.944.439
11	221.103	2.275.764	3.246.867
12	242.300	2.581.922	3.574.222
13	255.716	2.917.338	3.919.054
14	279.744	2.288.121	4.317.865
15	306.400	3.683.950	4.740.350

la tarifa nocturna al consumo de energía eléctrica, lo que supone un ahorro de casi un 50%.

b) Y porque la «Bomba de Calor», tabla 3, puede funcionar en la calefacción de invernaderos con un «factor de performan-

ce estacional» de 3,10 a 3,20, es decir, produce más de 3Kw. térmicos absorbiendo 1Kw. de la red eléctrica.

El sistema ideal de «Bomba de Calor», para esta aplicación, es el «agua-aire», debido a que:

MES	Temp. Int.	Temp. Ext.	N.º de Horas	Qcc. (Kc./h.)	Qren. (Kc./h.)	Qs. (Kc./h.)	Qrad. (Kc./h.)	Qt (Kc./mes)	Qsolar (Kc./mes)
EN.	26°C	7,6°C	10,5	35.070	3.007	3.809	25.142	21.817.287	16.171.235
FEB.	26°C	10,6°C	11	30.492	2.612	3.311	22.123	18.033.862	17.234.191
MAR.	26°C	12,9°C	12	24.970	2.140	2.710	18.675	17.982.863	18.623.023
ABR.	26°C	15,8°C	13,5	19.442	1.651	2.112	14.526	15.626.844	<
MAY.	26°C	19,4°C	13,8	12.580	1.064	1.365	9.571	10.293.426	<
JUN.	26°	24,8°	14	2.301	248	261	1.804	1.898.400	<
JUL.	26°	29,8°	13,7	—	—	—	—	—	<
AGOS.	21°C	29,1°	13	—	—	—	—	—	<
SEP.	21°C	24,4°C	12	—	—	—	—	—	<
OCT.	21°C	17,9°C	11	5.906	507	642	4.349	3.889.273	<
NOV.	21°C	11,6°C	10,5	18.422	1.535	1.946	12.721	10.762.290	11.559.004
DIC.	21°C	8,0°C	10	24.363	2.124	2.670	17.334	14.547.694	10.796.340

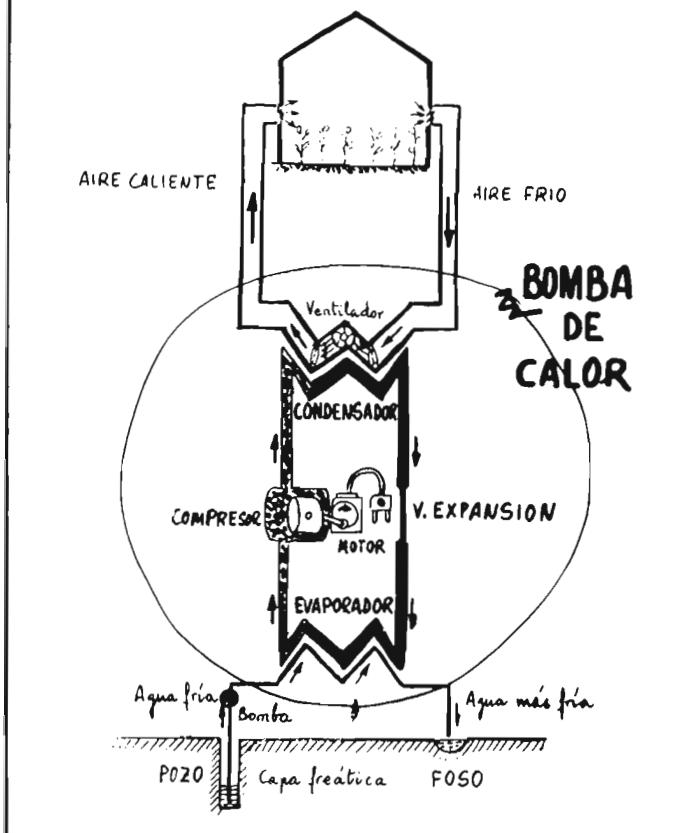
Temp. agua pozo	Temp. exterior noct.	N° horas nocturnas	% horas sobre total	N° grados (10-B)°C	Pérdidas de calor por °C Kcal/h (Kw)	Necesidades de calor ExF Kcal/h (Kw)	Potencia «Bomba de calor» Kcal/h (Kw)	Potencia absorb. «B.de calor» (Kw)	% funcionamiento G:H	Consumo total CxixJ(Kcal/h)	Consumo calef. eléct. CxG (Kw-h)
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
13	+9	394	18,64	1	1.890 (2,2)	1.890 ( 2,2)	26.460 (30,7)	9,50	7,2	265,4	866,8
13	+7	436	20,53	3	1.890 ( 2,2)	5.670 ( 6,6)	26.460 (30,7)	9,50	21,4	905,2	2.877,6
12	+5	499	23,71	5	1.890 (2,2)	9.450 (11,0)	26.120 (30,4)	9,42	38,1	1.748,3	5.489,0
12	+3	361	17,08	7	1.890 (2,2)	13.230 (15,4)	26.120 (30,4)	9,42	50,6	1.732,8	5.559,4
11	+1	202	9,56	9	1.890 (2,2)	17.010 (19,8)	25.830 (30,1)	9,30	65,8	1.240,3	3.999,6
10	-1	133	6,28	11	1.890 (2,2)	20.790 (24,2)	25.650 (29,7)	9,26	81,1	997,5	3.218,8
10	-3	59	2,79	13	1.890 (2,2)	24.570 (28,6)	25.650 (29,7)	9,26	95,8	526,8	1.687,4
9	-5	20	0,99	15	1.890 (2,2)	28.350 (33,0)	25.410 (29,4)	9,15	100,0	183,0	660,0
9	-7	9	0,42	17	1.890 (2,2)	32.130 (37,4)	25.410 (29,4)	9,15	100,0	82,4	336,6
		2.113	100,00							7.681,7	24.695,2

Consumo anual calefacción eléctrica tradicional = 24.695,2 Kw.h.

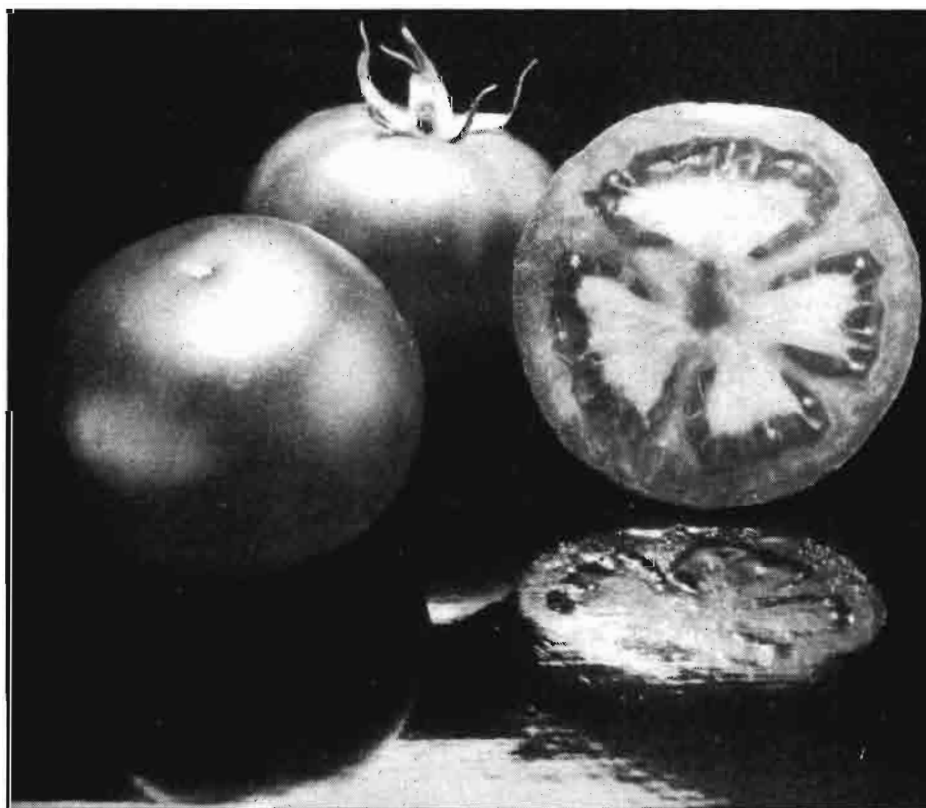
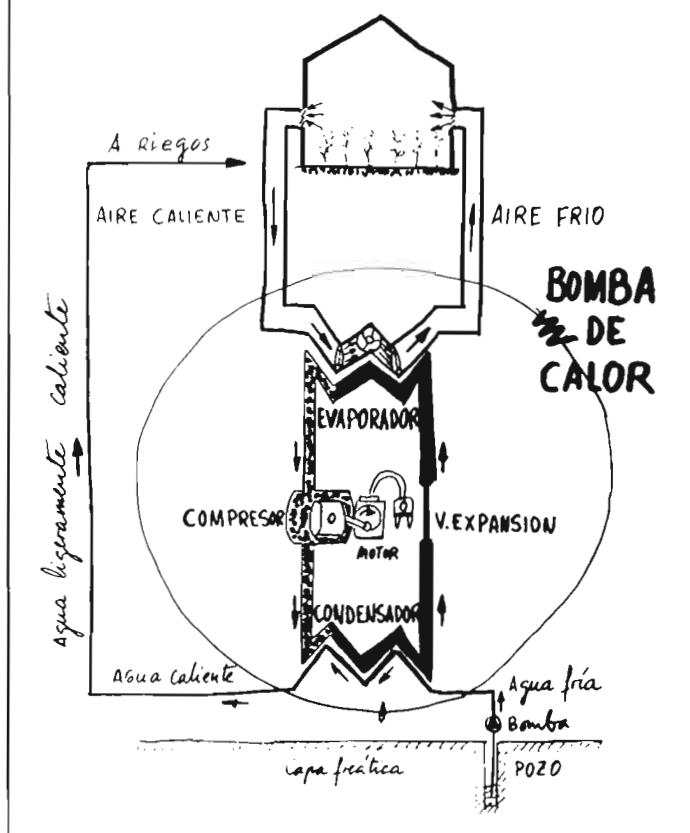
Consumo anual via «Bomba de Calor» agua-aire = 7.681,7 Kw-h.

FACTOR DE PERFORMANCE ESTACIONAL = 24.695,2/7.681,7 = 3,20

## CICLO DE INVIERNO



## CICLO DE VERANO



Tomate var. Carmello (Catálogo «Caillard Graines 1981»).

1°) En todos los invernaderos existe un pozo destinado al riego de los cultivos, la caudal muy superior al que necesita la «Bomba de Calor» (2000 a 3500 l/h).

2°) La temperatura del agua de pozo (foco frío) se mantiene estable en invierno (10 a 13°C), valores que contribuyen a mejorar el C.O.P. de la Bomba.

3°) En verano, al invertir el ciclo de trabajo, la «Bomba» extrae el calor del invernadero, comunicándose al agua que, al elevar su temperatura en varios grados centígrados y ser destinada a riegos, mejora el crecimiento y desarrollo de las plantas, pues está suficientemente demostrado que la absorción de las sustancias minerales por éstas es función de la temperatura en las raíces.

### AHORRO ENERGETICO COMPARADO DE AMBOS SISTEMAS: CONCLUSIONES

Comparando las tablas 1 y 4, que corresponden a costes del invernadero de hortalizas calefactado con Bomba de Calor y a través del sistema convencional de gasóleo C, respectivamente, podemos deducir que:

1°) Los costes por consumo de energía vía «Bomba de Calor» ascienden a

54.772 pts/año, mientras que por gasóleo C, 156.100 pts/año.

2º) Los costes totales acumulados a lo largo de 15 años (vida media de los equipos) por instalación y montaje, mantenimiento y energía, hacen un total de 2.450.130 pts con «Bomba de Calor», y de 4.740.350 pts con quemador de gasóleo C.

Todo esto, y sin entrar en más pormenores de cálculo de rentabilidad supone un ahorro de energía a favor de la «Bomba de Calor» cifrado en 102.328 pts al año, y en 2.290.220 pts acumuladas al cabo de 15 años de duración de los equipos.

Todas estas experiencias se están llevando a cabo por un equipo de profesores de la E.U. de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, especialista cada uno de ellos en una determinada Área Tecnológica (energética, riegos, fitosanitaria y de cultivos), en un Proyecto de Investigación que comenzó el 1 de Enero de 1990 y que se espera finalizar, el 31 de Diciembre de 1992, con la financiación de Unión-Fenosa, Caja Rural y Junta de Comunidades, habiendo tomado como cultivos de base colchicha; tomate, bróculis, pimiento y berenjena autóctona de Almagro.



Pimientos var. Star Hybrid (Catálogo ASGROW).

#### Bibliografía

1. A. Albert y Col. «Aplicación de la energía solar a la calefacción de invernaderos». INIA, 1981.
2. E. Alaiz. «Cálculo y diseño de instalaciones de energía solar». E.T.S.I.I. Madrid, 1984.
3. J. Alarcón. «Tratado de refrigeración». Marcombo, 1987.
4. J. Aragón. «La energía solar y sus diversos aprovechamientos». I.R.Y.D.A. 1980.
5. A.J. Chapman. «Transmisión del calor». Interciencia, 1968.

6. Carrier Air Conditioning Company. «Manual de Aire Acondicionado». Marcombo. Madrid, 1972.
7. Centro de Estudios de la Energía. «Cálculo de Sistemas Solares». Madrid, 1979.
8. L. del Arco. «Termotecnia». Mibse, 1984.
9. Energías Alternativas. «Volúmenes 1 al 11». Madrid, 1979.
10. Faber, O. «Calefacción y aire acondicionado en edificios». Londres, 1971.
11. García, J. «Aprovechamiento de la energía solar en secaderos». E.T.S.I.A., Madrid, 1980.
12. Geisler, K. «Termotecnia». Munich, 1970.
13. Haines, R.W. «Control de sistemas de ventilación y aire acondicionado». Nueva York, 1970.
14. Inisol. «Cálculo y dimensionado de instalaciones». Madrid, 1981.
15. Lunde, P.J. «Solar thermal engineering». Wiley, 1980.
16. Martínez García, P.F. «Calefacción de invernaderos por energía solar». I.N.I.A. 1980.
17. Ministerio de Industria y Energía. «Radiación solar sobre superficies inclinadas». Madrid, 1981.
18. Recknagel/Sprenger, E. «Manual de Calefacción y Climatización». Berlín, 1972.
19. Rietschel-Raiss. «Tratado de calefacción, ventilación y acondicionamiento de aire». Berlín, 1972.
20. Ruiz Beltrán, L. «Estudio agroclimático de Castilla-La Mancha». Junta de Comunidades, 1981.
21. Sage Konrad. «Instalaciones de aire acondicionado». Barcelona, 1980.
22. Schuster, F. «Termotecnia». Munich, 1970.
23. Sevilla, a. «Colectores Solares». Alción, 1981.
24. Serrano, a. «Cultivo de hortalizas en invernadero». Biblioteca Aedos, 1979.
25. Serrano, Z. «Instalación y manejo de invernaderos». Ministerio de Agricultura, 1980.
26. Sempere, A. «Empresa y comercialización de los cultivos forzados y extratempranos en la zona del Sureste». Murcia, 1972.
27. Soler, M. y Col. «Los cultivos forzados en Almería». Ministerio de Agricultura, 1981.
28. Stoecker, W.F. «Refrigeración y aire acondicionado». Nueva York, 1978.
29. Trampel, W. «Termodinámica». Berlín, 1971.

Tabla N° 4

#### INVERNADERO DE HORTALIZAS CON BOMBA DE CALOR AGUA-AIRE.-Costes

Año Pts/Año	Costes acumulados de mantenimiento. Pts./Año	Costes acumulados de energía Pts./Año	Costes acumulados totales
1	21.440	53.772	1.147.212
2	43.652	110.926	1.226.578
3	66.648	168.234	1.306.882
4	90.465	227.148	1.389.613
5	115.139	287.560	1.474.699
6	140.686	348.343	1.561.029
7	167.154	409.907	1.649.061
8	194.962	472.625	1.739.587
9	222.950	537.112	1.832.062
10	252.354	604.606	1.928.960
11	282.856	671.828	2.026.684
12	314.345	742.332	2.128.677
13	347.012	814.623	2.233.635
14	380.856	887.021	2.339.877
15	415.380	962.750	2.450.130