APLICACIONES DE LA ENERGIA, S. A.
APLESA

CALEFACCION SOLAR DE INVERNADEROS

D. Alberto Solis Camba - APLESA
D. Nicolás Castilla Prados - CAJA RURAL DE ALMERIA

Madrid, Marzo de 1.980

Capitán Haya, 50 · TELEFONOS 279 37 00 - 279 20 01 · MADRID-20

1.- INTRODUCCION

El proyecto que presentamos, fué patrocinado por el Centro de Estudios de la Energía del Ministerio de Industria, y forma parte de su programa de instalaciones de demostración en energía solar.

En este proyecto han colaborado, APLESA como empresa de ingeniería realizadora del proyecto, Don José Salazar, Jefe del Servicio de Defensa contra Plagas e Inspección Fitopatológica de la Delegación del Ministerio de Agricultura en Almería, los Sres. Nicolás Castilla y Francisco Bretones, ingenieros de la finca experimental "Las Palmerillas" propiedad de la Caja Rural [redacted] de Almería y las empresas Alcudia y Neoplast.

2.- ANTECEDENTES DEL PROYECTO

2.1.- Generalidades

El objetivo fijado por el Centro de Estudios de la Energía para este proyecto desde el principio quedó establecido en encontrar algún sistema de aprovechamiento de energía solar que fuera accesible para cualquier agricultor, y que no exigiera modificaciones importantes en las estructuras de los invernaderos que hoy se usan en Almería.

Un ingeniero de APLESA se desplazó a Almería con objeto de analizar, juntamente con los ingenieros agrónomos de la zona el cultivo en invernaderos en la zona de Aguadulce, Roquetas de Mar, Felix, Adra, El Egido y la forma más adecuada de adoptar a estos invernaderos un sistema de calefacción solar.

Actualmente se estima en más de 6.000 Ha la superficie cubierta por invernaderos en esta zona que corre paralela al mar y con una anchura de unos 20 km. Como criterios fundamentales en la construcción de invernaderos en la zona, se desea conseguir un costo mínimo y una suficiente resistencia al viento, y así el invernadero más común está hecho a base de troncos de eucalipto y cerramientos de film de polietileno, sujeto a la estructura mediante una malla metálica. Menos frecuente es la estructura a base de tubo y mucho menos a base de perfiles y vidrio.

Los tamaños oscilan entre los 1.500 y los 4.500 m^2 con una anchura de entre 25 y 100 m. y alturas de 2,20 a 3,50 m. según el tipo de cubierta. El cerramiento de polietileno es de 400 galgas el normal, 600 galgas el de larga duración y 800 galgas el polietileno térmico. La calefacción es practicamente inexistente y parece que sólo con el uso de film térmico se tiene cubierto el riesgo de heladas aunque esta protección no es suficiente como garantizar por las noches en los meses más fríos no bajar por debajo de las temperaturas mínimas biológicas que oscilan entre los 8 y 11ºC para los cultivos más usuales en la zona.

2.2.- Costes de un invernadero

- Coste del suelo	160 Pts/m^2
- Coste suelo de cultivo formado por 15 cm. de arena de playa, 2 a 4 cm. de estiercol y 20 a 40 cm. de tierra de aporte	60 Pts/m^2
- Coste invernadero con estructura de eucalipto y plástico en capa sencilla	170 Pts/m^2
- Coste invernadero con estructura de tubo galvanizado y cubierta de plástico	280 Pts/m^2
- Trabajos de preparación del terreno, muros, acequias	70 Pts/m^2
	740

2.3.- Rendimientos de los invernaderos

Las producciones que se obtienen en cultivos bajo plástico en esta zona son para los distintos cultivos; expresados en t/Ha son:

Tomate	70
Pepino (otoño)	70
Berenjena	60
Pimiento: (tipo italiano, primavera)	60
(tipo Lamuyo, otoño)	30

2.4.- Influencia de la temperatura del invernadero sobre los cultivos

En la tabla se recogen las temperaturas óptimas y óptima humedad relativa para distintos cultivos.

TABLA 1

Cultivo	Temperat. mín. letal	Temp. mín. biológica	Temp. óptima noche	Temp. óptima día	Temp. máx. biológica
Tomate	0-2	8-10	13-16	22-26	26-30
Pepino	0-4	10-13	18-20	24-28	28-32
Pimiento	0-4	10-20	16-18	22-28	28-32
Berenjena	0-2	9-10	15-18	22-26	30-32

	Temperat. germ. biológica		Humed. relativa %
	Mínima	Máxima	
Tomate	9-10	20-30	55-60
Pepino	10-12	20-30	70-90
Pimiento	12-15	20-30	65-70
Berenjena	12-15	20-30	65-70

Aún cuando en la zona de Almería rara vez se alcanzan temperaturas letales, si se llega, sobre todo en Febrero, a temperaturas en el interior de los invernaderos que son lo suficientemente bajas - como para detener el desarrollo de la planta.

Aún cuando es casi inexistente la existencia de invernaderos dotados de calefacción, todo el mundo acuerda en su conveniencia y en sus efectos favorables que se concretan en:

- Desaparece el riesgo de heladas
- Aumento de productividad
- Mejora de la calidad
- Cosecha en el momento económico más favorable.

A este efecto resultan reveladores los resultados de las experiencias realizadas por Francisco Bretones durante la campaña 1.974-1.975 en la finca Agrovicar con la variedad MOCHA de judia enana ensayando plásticos térmicos y plásticos normales.

El efecto del plástico es de igual sentido que el de una calefacción puesto que con el se consiguen temperaturas más altas en el interior del invernadero. Estas experiencias mostraron que con el mejor de los plásticos térmicos se consiguió un rendimiento superior en un 41% al de un plástico normal con un precio por kg superior en un 18% y un adelanto en la cosecha de 12 días. El film térmico mantiene en el invernadero en el momento de mínima temperatura en el interior, una temperatura de 1 a 2,5ºC más alta que en el caso del polietileno normal. En las campañas 76-77 y 77-78, los técnicos del Servicio Técnico Agrario de la Caja Rural Provincial de Almería, realizaron ensayos en las fincas Las Palmerillas y La Molinilla, comparando el resultado de un film de polietileno de larga duración con el polietileno térmico Alkatermic (1). Las diferencias de temperaturas mínimas entre un invernadero bajo plástico de larga duración y el polietileno térmico Alkatermic se recogen en la tabla 2.

	Temperaturas mínimas	
Mes	Polietileno larga duración	Polietileno térmico Alkatermic
Diciembre 76	4,0	6,0
Enero 77	3,0	5,0
Febrero 77	6,0	6,5
Marzo 77	6,0	7,0
Abril 77	8,0	9,0

TABLA 2

Respecto al riesgo de heladas cabe decir que en la noche del 16 al 17 de Febrero de 1.979, hubo en la zona de la costa de Almería -- importantes daños por helada en invernaderos bajo polietileno normal y no hubo daño en los invernaderos bajo plástico térmico.

En un invernadero en que por haber faltado material de Alkatermic al colocar el plástico se completó el cerramiento con polietileno - normal, hubo daños en la zona cubierta por este film y no los hubo en la zona cubierta por Alkatermic.

Estos hechos inducen a pensar que con un cerramiento adecuado y un pequeño aporte de energía, podían, al menos en esta zona, conseguirse resultados bastante aceptables.

3.- EVALUACION DE LAS NECESIDADES DE CALOR EN LOS INVERNADEROS.- NIVEL DE INVERSION ACEPTABLE

3.1.- De los pocos invernaderos en la zona dotados de calefacción se obtuvieron los siguientes resultados:

Temperatura interior durante la noche = 8ºC

Consumo de energía: entre 60 y 100 kcal/h m^2 en un invernadero de 5.000 m^2, con un consumo de combustible de entre 350 y 575 kg/día de gas-oil.

3.2.- Cálculo teórico de pérdidas de calor

Para un invernadero como los usados en la experiencia:

Superficie útil: 500 m^2

Superficie de cerramiento: 810 m^2

Volúmen de invernadero: 1.760 m^3

Material cerramiento: polietileno, capa doble.

Condiciones interior invernadero:

Temperatura: 16ºC

Humedad relativa: 70%

Entalpia del aire: 13 kcal/kg

Renovación aire: 0,3 renov./h

Condiciones en el exterior:

Temperatura: 4ºC

Humedad relativa: 60%

Entalpia del aire: 7 kcal/kg

Velocidad viento: 40 km/h

Bajo estas hipótesis la carga de calefacción resulta ser de 165 - kcal/h m^2 con un coeficiente exterior de pérdidas de 8,5 kcal/h m^2ºC.

Según lo anterior, la demanda de calor para mantener 16ºC durante la noche sería para el periodo de calefacción:

Diciembre	$48,5 \times 10^6$ KJ
Enero	$55,4 \times 10^6$ KJ
Febrero	$52,6 \times 10^6$ KJ
Marzo	$19,8 \times 10^6$ KJ
TOTAL	$176,3 \times 10^6$ KJ

Esto es equivalente a: 6.143 kg/año de gasóleo C que supone un gasto anual de 73.714 Ptas/año. Para un invernadero de 2.000 m^2, el gasto en calefacción sería de 18.600 kg de gasóleo con un gasto en combustible de 222.877 Ptas/año.

Estas cifras dan ya una idea de cual sería el nivel de inversión aceptable en un sistema solar, atendiendo solamente a la economía del combustible.

Admitiendo un aumento promedio del coste de la energía de un 18% y con un coste del dinero de un 13% anual, la inversión recuperable en 5 años resultaría ser de 1.100.000 Ptas. para un invernadero de 2.000 m^2.

4.- SELECCION DEL SISTEMA SOLAR DE CALEFACCION

Normalmente al estudiar un sistema solar de calefacción, no se pretende con el mismo cubrir el total de la demanda anual de energía y por tanto se suele pensar en un sistema mixto, por razones de volumen de inversión y por cubrir los periodos de insolación mala o insuficiente. Al estudiar la viabilidad de los posibles sistemas aplicables a un invernadero - se atendió a los siguientes conceptos:

- Nivel de inversión inicial
- Gasto de combustibles
- Climatología de la zona
- Tipos de cultivo
- Modificaciones en la actual estructura de los invernaderos.

Se hizo un análisis de los sistemas que actualmente se usan, y se llegó a la conclusión de que tanto la climatología del lugar como el volumen de - inversión necesaria, descartaban sistemas sofisticados que si bien podían ser muy eficaces no eran asequibles a las posibilidades económicas del - agricultor medio. A título de ejemplo se dan los costes de tres sistemas analizados: para un invernadero de 2.000 m^2.

Sistema 1

Captación: Colectores de vidrio y absorbedor metálico. Acumulador de - agua. Distribución de calor mediante tubos enterrados por - los que circula el agua extraida del acumulador.

Coste del sistema de captación y acumulación

10.400 Ptas/m^2 invernadero.

Coste del sistema de distribución

580 Ptas/m^2 invernadero.

Sistema 2

Captación: Colectores de plástico celular en cubierta. Fluido térmico -- suspensión de transparencia variable, que cede el calor absorbido mediante un cambiador de calor al circuito de acumulación. Acumulación en agua. Distribución de calor por suelo - mediante bandas de plástico celular.

Coste del sistema de captación y acumulación

6.000 Ptas/m^2 invernadero

Coste del sistema de distribución

9.000 Ptas/m^2 invernadero

Sistema 3

Captación: Colectores de concentración. Acumulación en agua. Distribución del calor mediante tubos por suelo.

Coste del sistema de captación y acumulación

16.000 Ptas/m^2 invernadero

Coste del sistema de distribución

580 Ptas/m^2 invernadero

5.- DESCRIPCION DEL SISTEMA ELEGIDO.- INSTALACION EXPERIMENTAL

El sistema seleccionado y empleado en la instalación experimental montada en la finca experimental de Las Palmerillas, propiedad de La Caja Rural Provincial de Almería, es un sistema en el que la captación e incluso la acumulación de energía se realiza mediante bandas de polietileno colocadas sobre el suelo entre las hileras de cultivo.

Las experiencias realizadas previamente en Madrid durante los meses de Marzo y Abril indicarán que con este sistema podrían lograrse rendimientos de entre un 26 y 36% en la captación de energía solar. Estos resultados permitian preveer que en los invernaderos seleccionados, de 500 m^2 de superficie, con una superficie cubierta por las bandas de plástico de 160 m^2 (32% de la superficie útil del invernadero), la cobertura energética, admitiendo que con el sistema se eliminan un 80% de las pérdidas por radiación del suelo:

Mes	Radiación solar sobre el suelo KJ/m^2 día	Cobertura de la demanda (%) $t_i = 16ºC$
Diciembre	7.662	28
Enero	8.412	27
Febrero	12.142	41
Marzo	16.747	100

Hay que hacer notar que los valores de consumo energético se han estimado sobre las condiciones medias del mes más frío habido durante un periodo de tiempo de 26 años considerados, por lo cual los resultados anteriores hay que considerarlos como muy conservadores y que por tanto la cobertura media de la demanda que cubrieran las bandas debe ser superior.

La experiencia se ha realizado sobre 3 invernaderos idénticos: uno de -- ellos, que se usará como testigo no llevará ningún sistema de calefacción y en él sólo se controlarán las temperaturas de suelo y ambiente así como la cantidad y calidad del fruto cosechado y fechas de recolecciones.

El segundo invernadero está calefactado sólo con energía solar y está -- equipado con 24 bandas negras, un depósito acumulador de 10 m^3 calorifugado, además del sistema de tubería para conexión de bandas con el - acumulador.

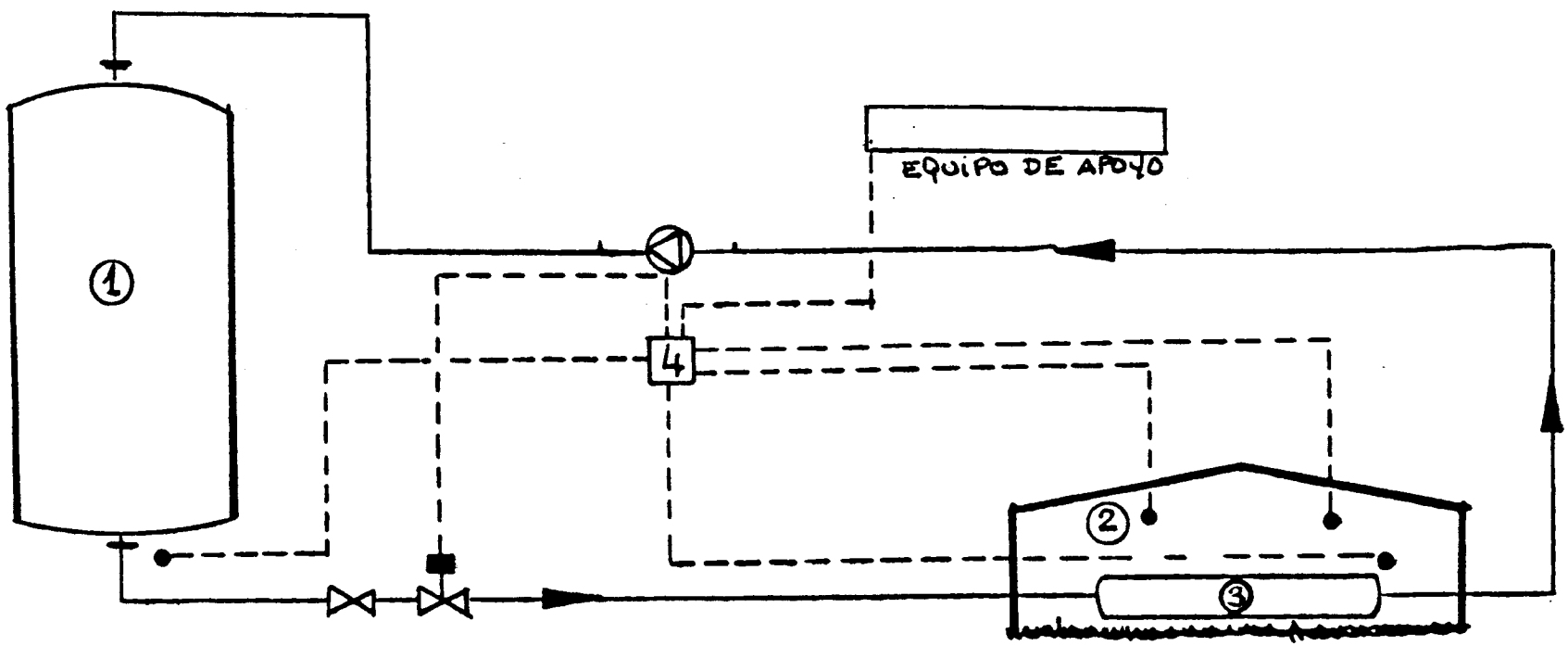
El tercer invernadero, además de estar equipado como el anterior, dispone de una caldera de apoyo que cede el calor a su acumulador a través de un cambiador de calor. La finalidad de este equipo de apoyo es la de conseguir que durante las noches el invernadero pueda mantenerse en condiciones óptimas para el cultivo de que se trate.

El sistema se completa con los sistemas de automatismos, control y registro de temperaturas de aire, suelo, agua y radiación solar incidente.

Las experiencias se harán en una primera fase, utilizando el sistema de bandas sin circulación de agua, funcionando estas como captadores/acumuladores/radiadores, con una carga de agua de 150 litros/m^2.

Posteriormente el sistema se ensayará utilizando las bandas sólo como captadores/radiadores, acumulando la energía captada en los tanques de acumulación colocados en el exterior de los invernaderos.

ESQUEMA GENERAL INVERNADEROS



1. ACUMULADOR.
2. INVERNADERO.
3. SISTEMA DE BANDAS.
4. CONTROL.

APLESA : C/CAPITAN HAYA 50 MADRID-20

6.- PRIMEROS RESULTADOS DE LA EXPERIENCIA

La experiencia con cultivos se inició a mediados del pasado mes de Septiembre, funcionando el sistema en los 2 invernaderos calefactados, con las bandas en régimen estanco. En el gráfico se representan los resultados registrados durante 3 días del pasado mes de Diciembre. Hay que señalar que el día 13 fué un día nublado. El fenómeno representado en éste gráfico se repite durante los días que lleva en marcha la experiencia. En éstos gráficos se observa que durante los días soleados, las ganancias en las bandas son superiores a sus pérdidas, con lo que en las horas de máximo calor, los invernaderos dotados de bandas alcanzan menores temperaturas, que las que se dan en el invernadero sin bandas. Las bandas pues tienen un efecto de refrigeración sobre el invernadero. Por el contrario se observa que en días de poca radiación las pérdidas de las bandas solares son superiores a sus ganancias, por lo que la temperatura del invernadero equipado con bandas se mantiene por encima de la del invernadero testigo.

La posible influencia que el sistema pueda tener sobre el desarrollo de los cultivos podrá observarse cuando empiece y finalice la recolección de los mismos. El seguimiento e interpretación de la experiencia desde el punto de vista agronómico, se está realizando por los técnicos de la Caja Rural Provincial de Almería, encargados de la explotación de la finca experimental de Las Palmerillas.

7.- COSTES DEL SISTEMA PARA INVERNADERO DE 500 M^2

7.1.- Sistema estanco

Las bandas sólo disponen de una conexión para llenado.

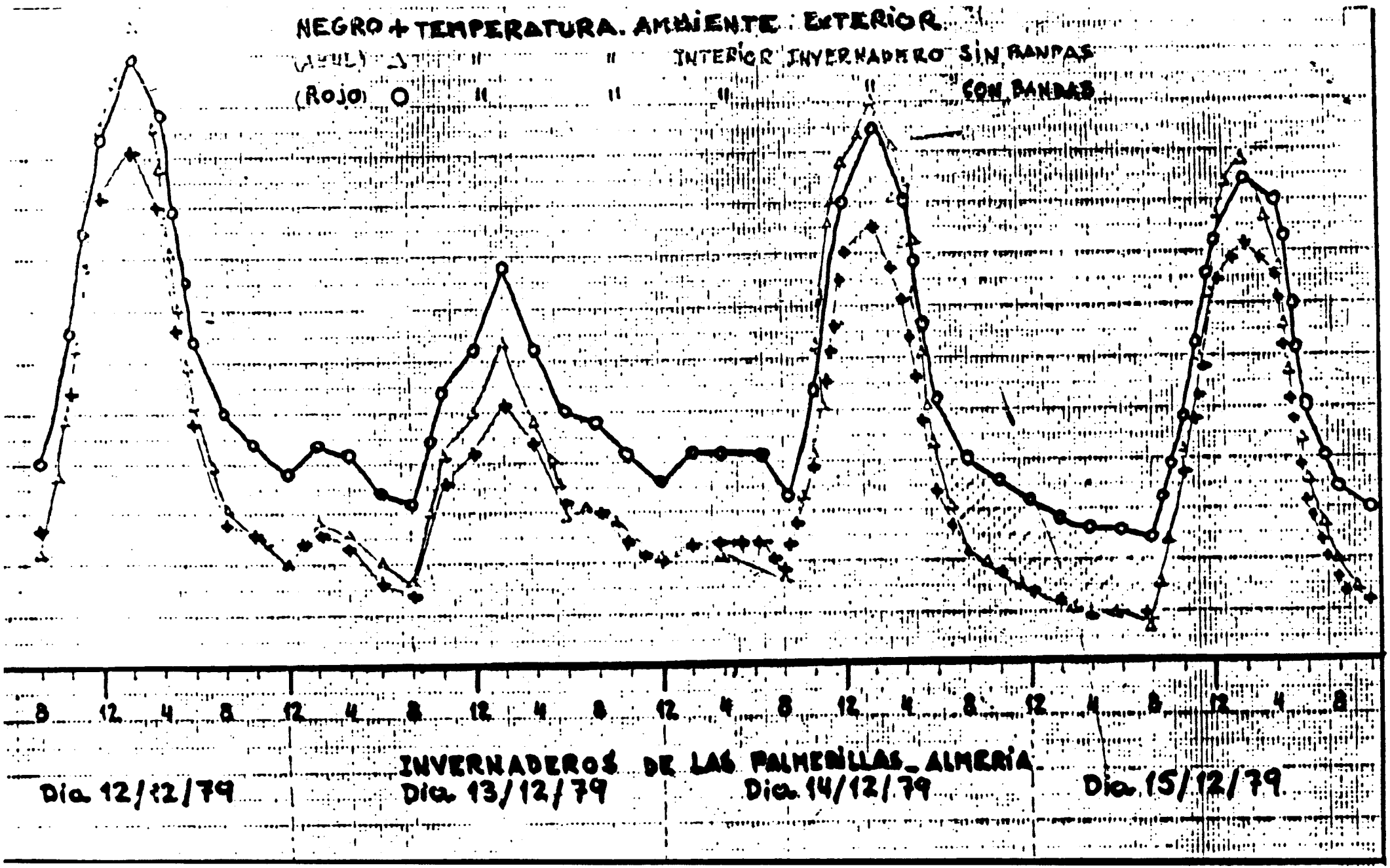
Coste de las bandas captadoras	140 pts/m^2
Repercusión sobre invernadero	49 pts/m^2

7.2.- Sistema con circulación sin apoyo convencional de calefacción

Coste sistema de captación que incluye, material plástico, manipulación y conexiones	82 pts/m^2 invernadero
Coste sistema distribución: tuberías, accesorios, válvulas control, bomba de circulación, montaje y aislamiento de tuberías	564 pts/m^2 invernadero
Coste sistema almacenamiento: incluye tanque de almacenaje, aislamiento y cimentación	698 pts/m^2 invernadero
Coste sistema de control: incluye control diferencial y termostato ambiente	58 pts/m^2 invernadero
TOTAL	1.400 pts/m^2 invernadero

7.3.- Sistema con apoyo convencional

Coste sistema sin apoyo	1.400 pts/m^2 invernadero
Coste sistema de apoyo: incluye caldera, obra civil, sistema de control, cuadro eléctrico	1.309 pts/m^2 invernadero
TOTAL	2.709 pts/m^2 invernadero



INVERNADEROS DE LAS PALMERILLAS_ALMERIA