

El presente capítulo trata de ilustrar el proceso de control climático en un invernadero por medio de la gestión de la ventilación pasiva, nebulización (humidificación) y pantalla térmica a través de su simulación en SCD. A tal efecto se define el sistema de control difuso basándose en el conocimiento de los expertos del ámbito de la agricultura. Para ello, se describen las variables de entrada y salida consideradas, junto a sus características difusas sobre una plantación de pimientos en un invernadero típico de la comarca almeriense. Además, se exponen las reglas de control y los métodos de inferencia utilizados, para culminar con la evaluación y análisis de los resultados obtenidos en SCD.

## **6.1 Definición del Sistema**

Desde sus orígenes los invernaderos han buscado la finalidad de aumentar la producción, o simplemente producir aunque las condiciones ambientales no lo permitan. En las cuatro últimas décadas la superficie de invernaderos ha crecido hasta cotas, en principio, inconcebibles. Así, se ha estimado que sólo en la provincia de Almería se puede alcanzar una cifra superior a las 30.000 hectáreas. Este crecimiento tanto en España como en otras regiones del mundo, hace que se esté formando una nueva visión tanto de la producción hortícola como del invernadero en sí.

Almería presenta ciertas peculiaridades que resultan de interés. Este emplazamiento, situado a orillas del Mediterráneo, en el extremo SE de la Península Ibérica (2º 28' W, 36º 50' N) se ve afectado por una disposición orográfica que dificulta la extensión de las influencias marítimas atlánticas, lo cual determina que la provincia de Almería sea la más árida y seca de las provincias mediterráneas. Sin embargo, y en contrapartida, presenta uno de los más altos niveles de insolación, con un promedio anual superior a las 3000 horas de sol, lo que la convierte en especialmente apta para el aprovechamiento de estos altos niveles de insolación en la agricultura intensiva a través de los cultivos protegidos (invernaderos).

El objetivo de cualquier sistema productivo es tener el suficiente control sobre los parámetros climáticos para obtener una alta calidad y cantidad del producto. Para conseguirlo es necesario poseer los suficientes conocimientos sobre la respuesta de las plantas a los principales parámetros ambientales.

Durante el ciclo de cultivo se necesitan determinadas condiciones en el medio que varían de una especie a otra e incluso entre variedades. Entre las necesidades básicas se encuentran el agua, anhídrido carbónico, oxígeno, radiación solar, temperatura y elementos nutritivos; y dentro de los procesos fisiológicos y metabólicos deben tener lugar la fotosíntesis, respiración, absorción de nutrientes y transpiración.

Tanto los elementos climáticos como los fisiológicos mencionados tienen influencia sobre el desarrollo de las plantas y consecuentemente sobre la producción, pudiendo convertirse en factores limitantes durante su ciclo productivo. Sobre la base de lo expuesto se podría decir que existen dos líneas generales de actuación a la hora de mejorar la productividad del cultivo:

- ❑ *Control Climático:* Regulación ante los cambios climáticos con el fin de obtener un microclima idóneo para el desarrollo óptimo del cultivo en el interior del invernadero.
- ❑ *Control Fisiológico:* Optimización de los procesos alimenticios del cultivo a través del control de riego.

Una vez expuestas a grandes rasgos las dos posibles vertientes de control en la agricultura intensiva se presentan a continuación el comportamiento, los objetivos, restricciones y expertos consultados del sistema de control climático, el cual se desea implementar según las pautas de control difuso a través de la simulación en SCD.

### 6.1.1 Comportamiento del Sistema

En el poniente almeriense se distinguen dos tipos básicos de estructuras de invernaderos:

- ❑ *Invernaderos tipo parral:* Anclan la lámina plástica colocándola entre un doble tejido de alambre (Figura 6.1) formando un perfil en forma de dientes de sierra denominado de raspa y amagado.
- ❑ *Invernaderos multitúnel de cubierta curva:* presentan un mejor aislamiento respecto del exterior (Figura 6.2) y recogen de forma más eficaz el agua evaporada a través de su perfil semicilíndrico del techo, así como la limitación en la entrada de insectos y unas posibilidades mayores de equipamiento que los de parral.

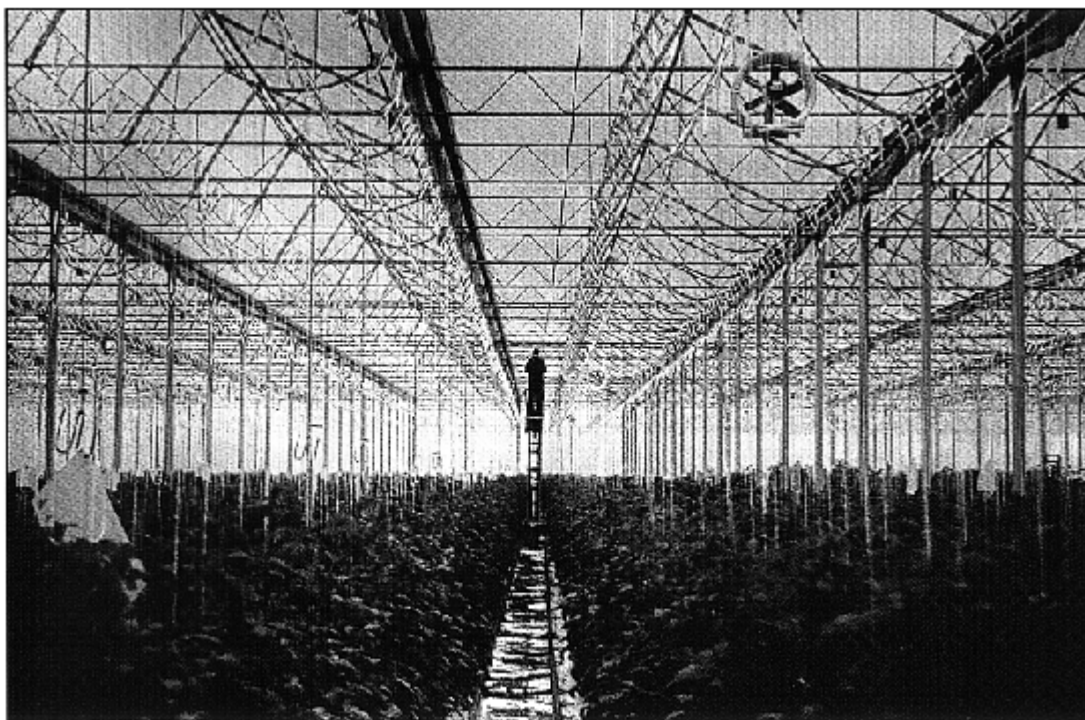
Dado que la gran mayoría de los invernaderos son del tipo parral y en aras de centrarnos en la aplicación de control climático se opta por éste tipo de invernadero.

Principalmente son los semilleros (criaderos de plantas) donde se está imponiendo la estructura multitúnel pero todavía su coste no permite hacer del mismo una mayoría.

El resto de características del sistema se exponen a través de la descripción de las variables de entrada y salida consideradas del sistema que serán comentadas en la Sección 6.2 y 6.3 respectivamente. A continuación se plantean los objetivos a la hora de obtener un microclima en el interior del invernadero.



**Figura 6.1: Invernadero tipo parral.**



**Figura 6.2: Invernadero multitunnel.**

### **6.1.2 Objetivos del Sistema**

La búsqueda de un microclima óptimo para el cultivo en la agricultura intensiva plantea al agricultor, a los científicos... la necesidad de controlar ciertos aspectos climáticos directamente relacionados con el desarrollo de la planta cultivada. Tales aspectos son:

- ❑ *Control de Temperatura:* En épocas de alta insolación la reducción de temperatura del aire normalmente se lleva a cabo mediante la gestión de la ventilación, la reducción de la radiación (con sombreos o encalados) y evaporando agua a través del cultivo (evapotranspiración) o directamente nebulización (véase Sección 6.3.2). En invierno, las alternativas para aumentar las temperaturas mínimas de modo pasivo (sin gasto energético - calefacción) son la utilización de pantallas térmicas (véase Sección 6.3.3).
- ❑ *Control de la Radiación Solar:* El blanqueo para disminuir la radiación solar es práctica casi generalizada en primavera y verano, aunque hay que decir que el objetivo es reducir la temperatura del aire interior pues los índices de radiación no son contraproducentes para la planta sino que el aumento de radiación directamente provoca un aumento de temperatura. Por eso la necesidad de perder radiación en aras de disminuir la temperatura.

- ❑ *Control de la Humedad Ambiental:* Las oscilaciones de humedad en el interior del invernadero son grandes, pudiendo alcanzar condiciones de saturación durante la noche (que provocan condensaciones generalizadas de vapor de agua) y valores muy bajos durante el día. Excesos de humedad favorecen el desarrollo de enfermedades, mientras que valores bajos y prolongados pueden conducir a situaciones de estrés al cultivo. Una buena gestión de la ventilación puede ser suficiente para conseguir una humedad aceptable. Sin embargo, para aumentar la humedad ambiental no basta con mantener bien regado el cultivo (bien desarrollado y transpirando activamente). Por eso, puede aplicarse agua mediante nebulización. A su vez la nebulización al provocar el efecto de evaporación de agua en el interior del invernadero provoca una reducción de la temperatura interior.
  
- ❑ *Control de la Composición del Aire dentro del Invernadero – Fertilización Carbónica:* Uno de los procesos de la planta es el de *fotosíntesis* (Expresión 6.1) en donde la obtención de la energía es debida a la radiación solar, agua y dióxido de carbono. Por tanto, el adecuado control de las concentraciones de dióxido de carbono optimiza la producción del cultivo. Sin embargo, la decisión sobre su uso debería llevar consigo un detallado análisis económico así como de gestión de la aplicación, dada la gran variabilidad de costes que existe entre los distintos sistemas de aporte.

Según [Rubio03] para controlar el clima de un invernadero hay que atender a los cuatro factores climáticos comentados: *Temperatura, Radiación, Humedad y Concentración de CO<sub>2</sub>*. Ahora bien, un invernadero puede dotarse de todo, pero se tiene una importante limitación, que es la presupuestaria. Es aquí cuando el agricultor debe plantearse cuáles son los problemas que tiene en su invernadero y a qué situaciones se va a enfrentar, atendiendo a su época de producción. En la siguiente sección se plantean estos niveles de dotación tecnológica como factor limitante.

### 6.1.3 Restricciones del Sistema

Según [Hernández00] la elección de una mejor estructura de invernadero no constituye usualmente una opción aislada, sino que se suele complementar con un equipamiento más sofisticado, con el empleo de mejores materiales de cerramiento, con cultivos en sustrato..., de modo que se mejora el conjunto con un "paquete tecnológico", que determina sus posibilidades futuras de producción, por ejemplo, para producir mayor calidad en ciertas épocas y prolongar los calendarios de puesta en mercado.

Tratando de priorizar las mejoras a incorporar, en cada caso, y de cuantificar su coste, la Tabla 6.1 resume los paquetes tecnológicos básicos de mejora del invernadero tipo parral convencional.

<b>Tabla nº 2. COSTES DE LOS PAQUETES TECNOLÓGICOS EN INVERNADEROS TIPO PARRAL (Niveles 1 a 4).</b> <b>Los costes de instalación no incluyen sistema de riego.</b> <b>IVA no incluido. Año 2000.</b>	
	<b>Coste (pts/m<sup>2</sup>)</b>
<b>NIVEL 1</b>	
Invernadero parral con ventilación motorizada simple	900-1200
+ Nebulización (alta presión, sin desalinización)	350
<b>TOTAL NIVEL 1</b>	<b>1250-1550</b>
<b>NIVEL 2</b>	
Nivel 1	1250-1550
+ Ventiladores	150
<b>TOTAL NIVEL 2</b>	<b>1400-1700</b>
<b>NIVEL 3</b>	
Nivel 2	1400-1700
+ Pantalla térmica	600 850
<b>TOTAL NIVEL 3</b>	<b>2000-2550</b>
<b>NIVEL 4</b>	
Nivel 3	2000-2550
+ Calefacción por aire caliente	300
<b>TOTAL NIVEL 4</b>	<b>2300-2850</b>

**Tabla 6.1: Costes de los paquetes tecnológicos en invernaderos tipo parral (año 2000).**

El rango de opciones, da un amplio abanico de coste de instalación (de las 1250 Pts./m<sup>2</sup> – 7.51 €/m<sup>2</sup> a las 2850 Pts./m<sup>2</sup> – 17.13 €/m<sup>2</sup> en el año 2000), sin incluir el coste de la tierra, ni la inversión inicial de preparación del terreno y otros conceptos necesarios para explotar el invernadero.

El nivel del “paquete tecnológico” disponible en cada caso determinará las posibilidades de gestión del clima y, por tanto, sus prestaciones productivas. La elección de un paquete u otro será función de las condicionantes socioeconómicas de cada agricultor.

En el presente estudio no se aborda el control de la concentración carbónica junto a otros sistemas como pueden ser la calefacción, ventilación forzada... pues consideramos que por medio del nivel I se puede ilustrar claramente el proceso de control climático a través de SCD. Aún así, el sistema también incluye la consideración de pantalla térmica (nivel III) como medio de retención de la temperatura en épocas invernales al no considerar el sistema de calefacción y absorción de radiación y consecuentemente disminución de temperatura interior en épocas estivales.

#### 6.1.4 Expertos del Sistema

Para la elaboración del presente sistema de control climático se ha recurrido al conocimiento de distintos profesionales del ámbito de la agricultura. Desde aquí quisiéramos agradecer su valiosísima aportación y profesionalidad a la hora de abordar este enfoque de la lógica difusa como medio de control en la agricultura. Tales profesionales son:

---

Manolo Rosi *Ingeniero Técnico Agrícola por la Univ. de Almería.  
Técnico en Empresa de Fitosanitarios.*

Pilar Lorenzo y Eva Medrano *Dpto. Fisiología Vegetal - Centro de Investigación y  
Desarrollo Hortícola (C.I.D.H) de la Junta de  
Andalucía en la Mojonera (Almería).*

---

Antonio Aguilera *Biólogo.*

---

Como se comentó en la Sección 5.2.1.2 la obtención de conocimiento experto ha de distinguirse, bien a partir de *expertos* o bien de *conocedores*. Consideramos las personas mencionadas anteriormente como expertos en la materia dado sus estudios y la labor que desempeñan en los sistemas de producción agrícola, como es el caso de Pilar Lorenzo y Eva Medrano que trabajan en el Centro de Investigación y Desarrollo Hortícola ya dicho antes.

Con respecto a la determinación de las funciones de pertenencia asociadas a cada una de las variables del sistema, se ha recurrido principalmente al *Intervalo de Estimación* (Sección 5.2.2.2). A través de este método, al experto se le planteaba cual debería ser el intervalo sobre el dominio de la variable donde se cumple dicha etiqueta.

## 6.2 Variables de Entrada

El conjunto de variables de entrada consideradas por los expertos para gestionar el control climático de ventilación pasiva, nebulización y pantalla térmica en el fichero *SV\_INV\_1* de SCD son:

- E[0]: *Radiación Solar.*
- E[1]: *Temperatura.*
- E[2]: *Humedad Relativa.*
- E[3]: *Velocidad del Viento.*
- E[4]: *Dirección del Viento.*

La consideración de la *radiación solar* va a permitir al sistema distinguir entre la noche y el día como dos etapas claramente diferenciadas de las condiciones climáticas de control. La *temperatura* y *humedad relativa* son las variables primordiales, pues el objetivo del sistema de control es el de modificarlas de forma que se cree un microclima óptimo de desarrollo de la plantación. La *velocidad y dirección del viento* van a ser consideradas variables de gran importancia con respecto al nivel de seguridad, pues permitirán al sistema evaluar en que momentos es más importante proteger el invernadero en si mismo (estructura) que las condiciones internas del mismo.

### 6.2.1 Radiación Solar

Recibe el nombre genérico de radiación solar la energía aportada a la superficie terrestre en forma de radiación electromagnética procedente del Sol. Esta aportación se va a ver afectada por diferentes factores (localización geográfica, efecto de la atmósfera, presencia o no de nubosidad...) que van a determinar su naturaleza (directa o difusa) y el valor finalmente observado. Por otro lado, esta aportación se trata de un fenómeno dinámico en el que se pueden distinguir perfectamente ciertas pautas deterministas (ciclos estacionales y diarios), representados de forma elemental por relaciones astronómicas, y comportamientos de tipo aleatorio, que dificultan su estimación mediante modelos u otros procedimientos indirectos. En cualquier caso, las magnitudes a considerar van a ser la densidad de flujo de energía incidente sobre una superficie (irradiancia) que vendrá expresada en  $\text{W/m}^2$  y la integración de dicho flujo instantáneo para cierto periodo de tiempo (irradiación) o lo que es lo mismo, la energía aportada por la radiación solar, que se expresará en  $\text{KWh/m}^2\text{dia}^1$  o  $\text{MJ/m}^2\text{dia}^1$ , si el período de integración es de un día.

La potencia de la radiación solar recibida por la tierra es del orden de  $1.7 \cdot 10^{14}$  kW. La energía recibida durante un año es de  $1.5 \cdot 10^{15}$  MWh y equivale aproximadamente a unas 28000 veces la energía consumida en el mundo en el mismo periodo de tiempo. De esta radiación que incide sobre la Tierra, el 30% se refleja al espacio, el 47% es absorbida por la



atmósfera, mares y tierra para mantener la temperatura ambiente, y el 23% restante se usa para mantener la convección atmosférica y el ciclo hidrológico.

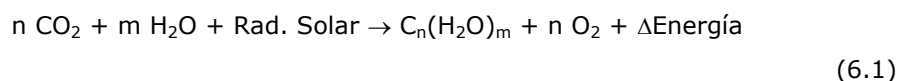
### 6.2.1.1 Componentes Espectrales de la Radiación Solar Incidente

Aunque se denomina radiación solar a toda la radiación que incide sobre la superficie terrestre comprendida entre los 0.2  $\mu\text{m}$  y los 4  $\mu\text{m}$ , es necesario distinguir distintas componentes espectrales de la misma en función de los efectos específicos producidos por cada una de ellas.

De esta manera podemos hablar de radiación visible, que es aquella componente cuyo contenido espectral coincide con la zona en la que es sensible el ojo humano; la radiación fotosintéticamente activa o radiación PAR (*Photosintetically Active Radiation*) que es la radiación utilizada por las plantas en el proceso de la fotosíntesis y, por último, podemos hablar también de la radiación ultravioleta, con efectos específicos no siempre beneficiosos (envejecimiento, y degradación de superficies, efectos biológicos perjudiciales...).

*Radiación Fotosintéticamente Activa (PAR):* La fotosíntesis es un proceso bioquímico fundamental que tiene lugar en las plantas, mediante el cual se produce materia orgánica a partir de una reacción en la que interviene el  $\text{CO}_2$  atmosférico y la radiación solar incidente. Como resultado de esta reacción, se obtiene, aparte de los compuestos orgánicos mencionados, oxígeno molecular.

De forma elemental, esta reacción se puede representar de acuerdo a la siguiente expresión:



y hay que decir que la aportación de radiación necesaria para que el proceso se lleve a cabo es precisamente de origen solar, resultando que la de mayor eficiencia es en longitudes de onda próximas a los 0.70  $\mu\text{m}$  (rojo) y la de menor eficiencia, la correspondiente a longitudes de onda entorno a los 0.40  $\mu\text{m}$  (violeta). Fuera de estos límites, no existe activación del mecanismo de la fotosíntesis.

### 6.2.1.2 Instrumentos de Medida de la Radiación Solar

Los *radiómetros* son los instrumentos utilizados para medir la radiación solar, y tienen como objetivo medir la energía asociada a la radiación incidente sobre un plano con una orientación dada. Los dos tipos fundamentales de radiómetros usados en el espectro solar son los pirheliómetros y los piranómetros.

Los *pirheliómetros* son dispositivos que miden la radiación solar directa en incidencia normal. Los *piranómetros* son aparatos que reciben la radiación solar de toda la bóveda celeste. Con los piranómetros podemos medir tanto la radiación global como la difusa.

Tanto los pirheliómetros como los piranómetros miden la radiación de onda corta ( $0.3 < \lambda < 4 \mu\text{m}$ ). Los dispositivos que se utilizan para las medidas de onda larga ( $\lambda > 4 \mu\text{m}$ ) se denominan *pirgeómetros*, y los que lo hacen en todas las longitudes de onda se denominan *pirradiómetros*.

Los sensores más utilizados en los instrumentos de medida de la radiación solar son los termoelectrónicos y los fotoelectrónicos. Las principales ventajas de los sensores termoelectrónicos son la pequeña dependencia de su respuesta con la temperatura ambiente, y la relación lineal entre la radiación incidente y la respuesta del instrumento.


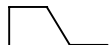
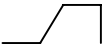
Los sensores fotoelectrónicos se basan en el efecto fotovoltaico. Cuando una unión de dos semiconductores es expuesta a una radiación de longitud de onda conveniente, se produce una corriente que depende de la intensidad de la radiación. Las principales ventajas de los sensores fotovoltaicos son, su simplicidad, su bajo coste, su rápida respuesta, y una proporcionalidad directa entre la corriente y la radiación incidente. Como inconvenientes son la dependencia de su respuesta con la temperatura, y la respuesta espectral limitada, siendo máxima para la radiación roja e infrarroja próxima.

Los piranómetros son clasificados por la Organización Meteorológica Mundial, OMM, en piranómetros de primera, segunda y tercera clase. Dicha clasificación está en función de la exactitud de tales instrumentos en términos de los siguientes criterios: sensibilidad, estabilidad del factor de calibrado, tiempo de respuesta, respuesta coseno, respuesta acimut, estabilidad y resolución [OMM83].

### 6.2.1.3 Variable Lingüística: Radiación Solar

La declaración de la variable lingüística *Radiación Solar* en el sistema tiene como objetivo permitir la distinción entre la noche y el día dado que se producen variaciones considerables de las variables temperatura y humedad relativa interiores del invernadero. Como posteriormente se comentará que en dichas variables los *expertos* consideran distintas etiquetas que establecen mínimos y máximos en ambos periodos (mínima nocturna, mínima diurna...).

A continuación se presenta en la Tabla 6.2 las características de la presente variable junto a la ventana de la correspondiente variable en SCD (Figura 6.3).

VARIABLE DE ENTRADA [0] EN SV_INV_1.SCD		RADIACIÓN SOLAR	
Nombre:	<i>Radiación Solar</i>	Para medir la radiación global se puede utilizar un piranómetro. La radiación global es la suma de la irradiancia y la irradiación.	
Sist. Unidades:	$[W/m^2]$	Densidad de flujo de energía incidente sobre una superficie (irradiancia).	
Univ. Discurso:	$[0 \rightarrow 1000]$	Se considera 1000 al valor máximo de radiación solar que se obtendría en 21 de Junio en un día soleado en pleno solsticio de verano cuando los rayos de sol son más perpendiculares.	
Difuminador:	<i>Función Triangular</i>	 <i>Función Triangular</i> $[(-5:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(5:0)]$	Dependiendo de si el piranómetro es de I, II o III clase deberá aumentarse el intervalo del difuminador para expresar la exactitud del instrumento respectivamente.
Conjuntos Difusos:	<i>NOCHE</i>	 <i>Función L</i> $[(-0,001:0);(0:1);(0:1);(50:0)]$	La noche se considera 100% cierta cuando la irradiancia es nula. A partir de éste valor se produce una transición entre la noche y el día entre los 0 y 50 $W/m^2$ .
	<i>DÍA</i>	 <i>Función Gamma</i> $[(0:0);(50:1);(1000:1);(1000,001:0)]$	Con una pendiente del 50% crece la función de pertenencia alcanzando el 100% de verdad a partir de 50 $W/m^2$ .

**Tabla 6.2: Variable Lingüística de Entrada: Radiación Solar.**

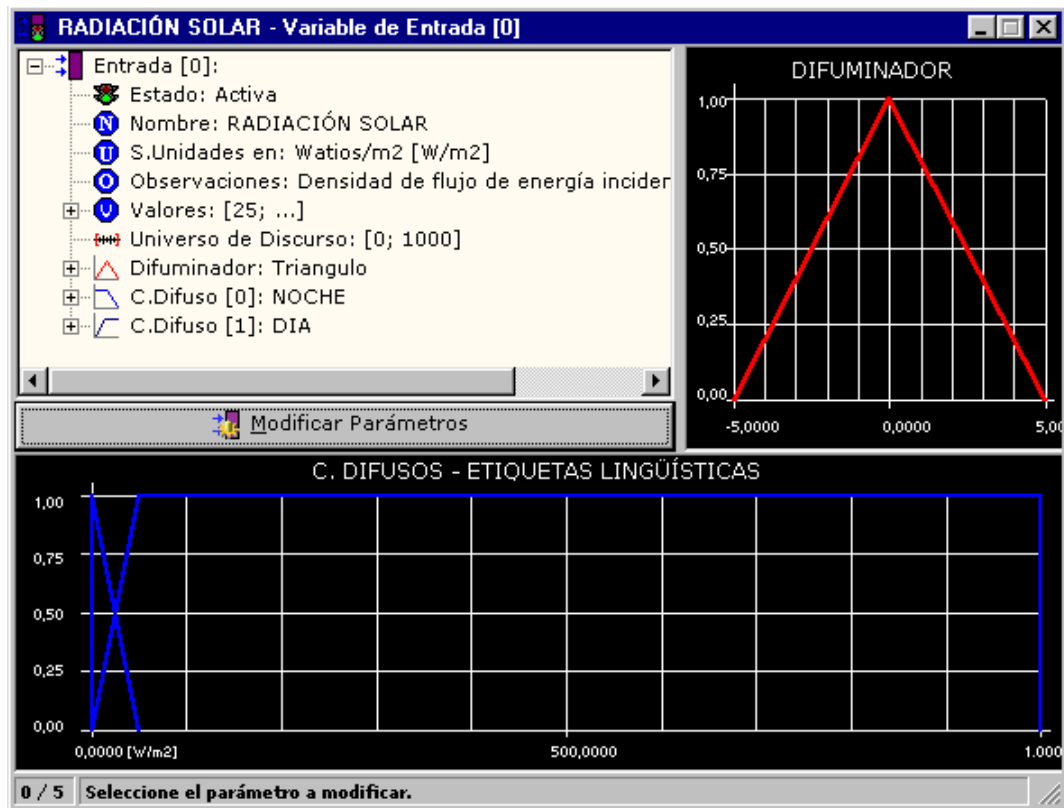


Figura 6.3: Radiación Solar en SV\_INV\_1.SCD.

### 6.2.2 Temperatura

La mayor parte de los fenómenos físicos, como la evaporación o la condensación, dependen directamente de la temperatura del aire; lo mismo ocurre con otros muchos fenómenos, así los seres vivos no pueden subsistir fuera de unos determinados umbrales térmicos. La temperatura es, junto a la precipitación, el elemento más representativo de las características climáticas de una zona.

Los principales factores reguladores del comportamiento de la temperatura en un punto cualquiera de la superficie terrestre son los siguientes:

- Latitud.* Determina la radiación solar incidente en el límite superior de la atmósfera a lo largo de las distintas épocas del año.
- Transparencia atmosférica.* Determina el balance de radiación del lugar. La nubosidad y el vapor de agua son claves en estos procesos.

- c) *Naturaleza de la superficie.* Es diferente el comportamiento de la superficie marítima y la superficie terrestre. La superficie marítima es un regulador térmico, que atenúa los valores extremos que pudiera alcanzar la temperatura, y , en consecuencia, reduce la amplitud térmica o diferencia entre los valores máximo y mínimo de temperatura.
- d) *Circulaciones atmosféricas y oceánicas.* Son agentes transmisores de calor por advección entre los distintos lugares del planeta.
- e) *Altitud sobre el nivel del mar.* Cuanto mayor sea la altura, menores las temperaturas registradas.
- f) *Topografía.* Condiciona la radiación solar incidente sobre el lugar de observación.

Todos estos factores generan grandes variaciones espaciales y temporales en la temperatura de la superficie terrestre. Para un lugar concreto, estas variaciones se traducen en dos ciclos básicos para la temperatura: el ciclo diario, que refleja la alternancia entre días y noches; y el ciclo anual, que refleja el propio comportamiento cíclico que registra la radiación solar en su incidencia sobre la superficie terrestre.

#### **6.2.2.1 Instrumentos de Medida de la Temperatura**

La medida de temperaturas se basa en la existencia de numerosos sistemas sencillos en los que una característica del estado del sistema varía con el calor o el frío (el frío no existe, es la ausencia de calor). La magnitud significativa que caracteriza el estado del sistema se denomina magnitud termométrica.

Al medir la temperatura del aire podemos encontrarnos con dos factores de perturbación, que tienden a falsear la lectura del termómetro. En primer lugar, la temperatura depende de la radiación, por esto es necesario proteger al termómetro. En segundo lugar, el propio termómetro introduce una perturbación pues el equilibrio térmico no se alcanza sino después de igualarse las temperaturas de ambas partes: la temperatura final puede encostrarse más cerca de la inicial del termómetro que la del sistema, y la lectura resultante ser falsa. La forma de obviar este inconveniente consiste en incrementar artificialmente la cantidad de aire que participa del intercambio térmico; tal es el principio del termómetro ventilado.

### 6.2.2.2 Variable Lingüística: Temperatura

Los expertos, en la elaboración de las etiquetas lingüísticas, han considerado que el cultivo a controlar es una plantación de *pimientos* dado que consideran necesario establecer un rango óptimo de temperatura según la plantación y la fase de evolución de la misma. Es por ello que consideran los expertos que para el crecimiento, la temperatura óptima durante el día debería estar entre los 20 a 25°C y en la floración de 26 a 28°C. Unificando fases de desarrollo de la planta se podría establecer como rango óptimo de temperatura durante el día para el pimiento el rango de 23 a 27°C. De igual forma sucedería con la noche en donde los expertos consideran que el rango óptimo estaría entre los 17 a 19°C.

A continuación se exponen las características de la variable lingüística *Temperatura* medida en el interior del invernadero (Tabla 6.3) y variable en SCD (Figura 6.4).

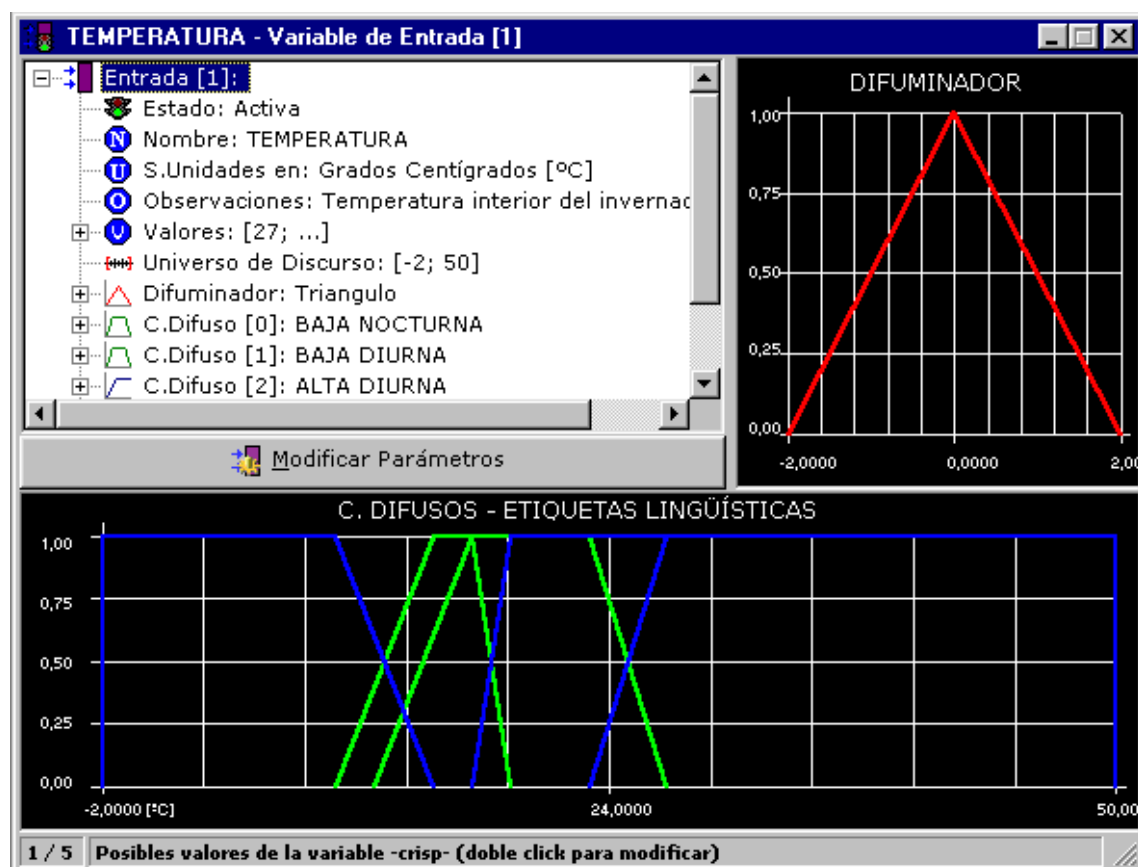

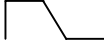

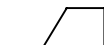

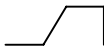


Figura 6.4: Temperatura en SV\_INV\_1.SCD.

VARIABLE DE ENTRADA [1] EN SV_INV_1.SCD		TEMPERATURA	
Nombre:	<i>Temperatura</i>	Temperatura medida en el interior del invernadero.	
Sist. Unidades:	[°C]	Grados Celsius	
Univ. Discurso:	[-2 → 50]	El valor mínimo puede obtenerse en la zona del poniente almeriense en el mes de Diciembre dentro del invernadero sobre la madrugada (5:00) y el valor máximo podría alcanzar los 50 °C en pleno verano.	
Difuminador:	<i>Función Triangular</i>	 <i>Función Triangular</i> [(-1:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(1:0)]	Se consideran un termómetro con un margen de error de $\pm 1 \%$ .
Conjuntos Difusos:	<i>MÍNIMA</i>	 <i>Función L</i> [(-2,001:0);(-2:1);(10:1);(15:0)]	El rango (-2, 10) establece valores mínimos para el desarrollo vegetativo de la planta.
	<i>BAJA NOCTURNA</i>	 <i>Función Trapezoidal</i> [(10:0);(15:1);(17:1);(19:0)]	Aproximación por defecto al rango óptimo de temperatura en el periodo nocturno.
	<i>ALTA NOCTURNA</i>	 <i>Función Gamma</i> [(17:0);(19:1);(50:1);(50,001:0)]	Aproximación por exceso al rango óptimo de temperatura en el periodo nocturno.
	<i>BAJA DIURNA</i>	 <i>Función Trapezoidal</i> [(12:0);(17:1);(23:1);(27:0)]	Aproximación por defecto al rango óptimo de temperatura en el periodo diurno.
	<i>ALTA DIURNA</i>	 <i>Función Gamma</i> [(23:0);(27:1);(50:1);(50,001:0)]	Aproximación por exceso al rango óptimo de temperatura en el periodo diurno.

**Tabla 6.3: Variable Lingüística de Entrada: Temperatura.**

### 6.2.3 Humedad Atmosférica

La formación de nubes, la condensación del vapor de agua atmosférico, comienza en general cuando el aire, inicialmente húmedo, se satura. La riqueza en vapor de agua es un factor determinante para un buen número de procesos atmosféricos, de ahí el interés de conocerla.

El aire atmosférico es una mezcla de aire seco y vapor de agua. La capacidad del aire para contener vapor de agua es limitada, de tal manera que cuando un volumen de aire contiene el máximo de vapor, el aire está saturado.

La cantidad de vapor de agua que posee un volumen dado de aire puede expresarse de diversas formas. Así, se define la humedad específica  $q$  como la razón de la masa de vapor de agua a la masa de aire húmedo para un mismo volumen de aire. Considerando el aire y el vapor de agua como gases perfectos,  $q$  es proporcional al cociente  $e/p$ , donde  $e$  es la presión parcial del vapor y  $P$  la presión total del aire húmedo.

El parámetro más comúnmente usado es la humedad relativa  $U$ , definida como la razón de la humedad específica real a una temperatura y presión dadas y la humedad específica de saturación a la misma temperatura y presión, es decir,

$$U = \frac{q}{q_s} = \frac{e}{e_s} \quad (6.2)$$

Usualmente, la humedad relativa se expresa como un porcentaje, y varía entre el 0% (aire completamente seco) y el 100% (aire saturado). La presión de vapor de saturación  $e_s$  crece exponencialmente con la temperatura. Esto es lo que determina que la humedad relativa disminuya cuando la temperatura aumenta, y viceversa, por lo que es de esperar que la humedad sea máxima en los meses más fríos, y mínima en los meses más cálidos.


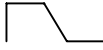


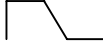
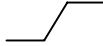
#### 6.2.3.1 Instrumentos de Medida de la Humedad Relativa

La humedad del aire se puede medir con instrumentos denominados *higrométricos*, que son de diversos tipos: psicrómetros, químicos, eléctricos, etc. Entre los más comunes se encuentre el *psicrómetro* que utiliza dos termómetros, uno común o seco, que indica la temperatura del aire, y otro húmedo, que lleva una delgada capa de muselina húmeda alrededor del depósito de forma que la diferencia de lecturas entre ambos termómetros da una medida de la humedad del aire.

#### 6.2.3.2 Variable Lingüística: Humedad Relativa

Al igual que sucede con la temperatura, la humedad va a depender en gran medida del tipo de cultivo y de la fase de evolución del mismo. Al considerar una plantación de pimientos los expertos consideran que los valores óptimos de humedad durante el día deben estar en el rango del 50 al 70 % y durante la noche entorno 70 – 75 %. Con estos criterios se elaboran las siguientes etiquetas lingüísticas reflejadas en la Tabla 6.4 y en la Figura 6.5 de SCD.



VARIABLE DE ENTRADA [2] EN SV_INV_1.SCD		HUMEDAD RELATIVA	
Nombre:	<i>Humedad Relativa</i>	La medición podría realizarse a través de un higrómetro del tipo eléctrico en el interior del invernadero.	
Sist. Unidades:	[%]	Porcentaje	
Univ. Discurso:	[20 → 95]	Dada la retención de los plásticos que conforman la estructura del invernadero se establece un mínimo del 20% de humedad en el interior del invernadero junto a un máximo del 95% que daría lugar ya a la precipitación del vapor de agua.	
Difuminador:	<i>Función Triangular</i>	 <i>Función Triangular</i> $[(-1:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(1:0)]$	Se consideran un Higrómetro con un margen de error de $\pm 1 \%$ .
Conjuntos Difusos:	<i>MÍNIMA NOCTURNA</i>	 <i>Función L</i> $[(19,999:0);(20:1);(20:1);(40:0)]$	Indicador de valor mínimo de humedad por debajo del 40% durante la noche para activar sistema de nebulización.
	<i>BAJA NOCTURNA</i>	 <i>Función Trapezoidal</i> $[(30:0);(40:1);(70:1);(75:0)]$	Aproximación por defecto al rango óptimo de humedad en el periodo nocturno.
	<i>ALTA NOCTURNA</i>	 <i>Función Gamma</i> $[(70:0);(75:1);(95,0002:1);(95,001:0)]$	Aproximación por exceso al rango óptimo de humedad en el periodo nocturno.
	<i>BAJA DIURNA</i>	 <i>Función L</i> $[(19,999:0);(19,9998:1);(50:1);(70:0)]$	Aproximación por defecto al rango óptimo de humedad en el periodo diurno.
	<i>ALTA DIURNA</i>	 <i>Función Gamma</i> $[(50:0);(70:1);(95:1);(95,001:0)]$	Aproximación por exceso al rango óptimo de humedad en el periodo diurno.

**Tabla 6.4: Variable Lingüística de Entrada: Humedad Relativa.**

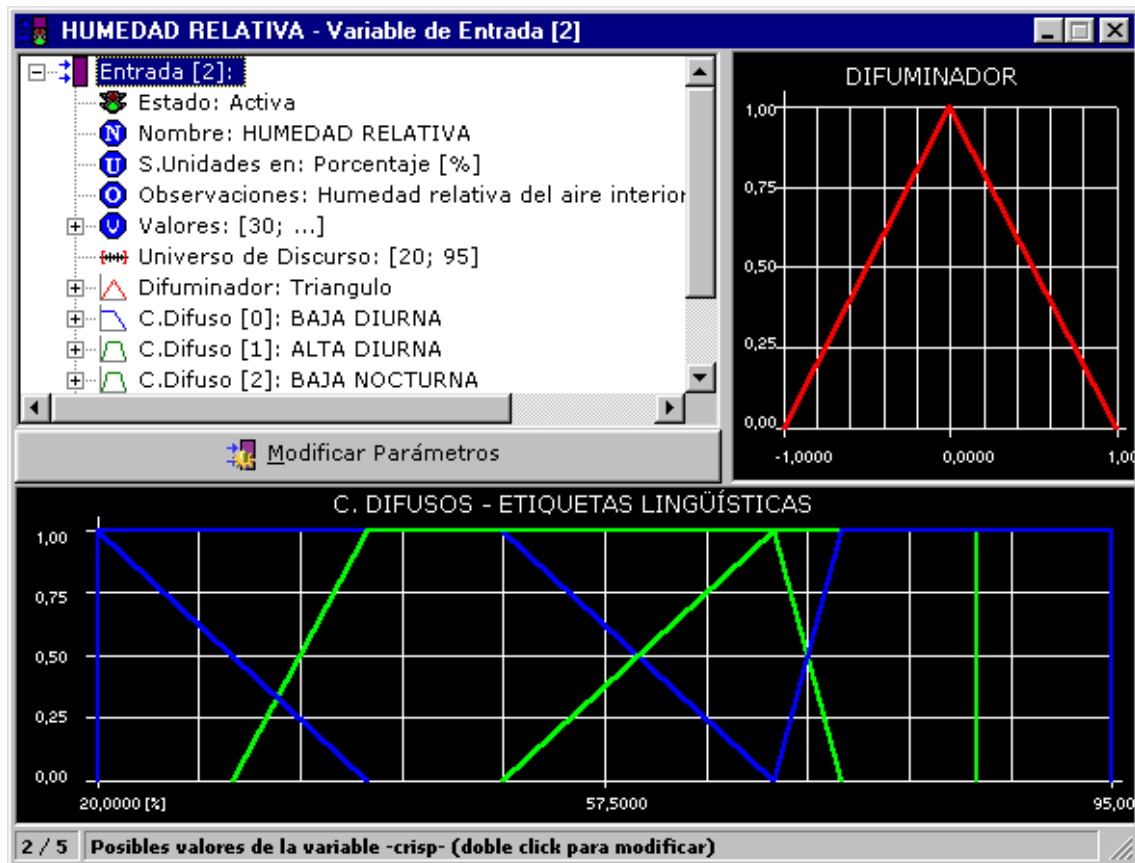


Figura 6.5: Humedad Relativa en SV\_INV\_1.SCD.

## 6.2.4 Velocidad del Viento

La consideración de la velocidad del viento como variable de entrada al sistema, tiene como finalidad primordial establecer un nivel de seguridad estructural del invernadero. Por consiguiente va a permitir determinar en que momentos prevalece la protección del invernadero provocando el cierre total de los ventanales y por otro lado establece junto a otras consideraciones (variables) en que proporción graduar la apertura de las mismas cuando las condiciones no sean peligrosas (vendavales).

### 6.2.4.1 Variable Lingüística: Velocidad del Viento

Los expertos han considerado tres niveles con respecto a la velocidad del viento: *leve*, *moderada* y *fuerte* (Tabla 6.5 y Figura 6.6), este último va a establecer el condicionante de seguridad que permita a través de una regla de control el cierre de todas las ventanas del invernadero y evitar así el deterioro de la estructura del mismo. Las etiquetas leve y moderada junto a las condiciones de la variable dirección del viento (Sección 6.2.5) van a permitir establecer distintos modos de apertura de la ventilación.




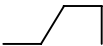
VARIABLE DE ENTRADA [3] EN SV_INV_1.SCD		VELOCIDAD VIENTO
Nombre:	<i>Velocidad del Viento</i>	Medida de la velocidad del viento exterior al invernadero. En caso de no disponer de medidor se podría consultar la base de datos de las distintas estaciones meteorológicas de la Junta de Andalucía distribuidas por la zona a través de Internet.
Sist. Unidades:	<i>[Km/h]</i>	Kilómetros a la hora
Univ. Discurso:	<i>[0 → 70]</i>	El valor máximo de 70 Km/h ha sido registrado como uno de los más altos posibles en la zona almeriense.
Difusor:	<i>Función Triangular</i>	 <i>Función Triangular</i> $[(-4:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(4:0)]$ Se considera un margen de error de $\pm 4 \%$ .
Conjuntos Difusos:	<i>LEVE</i>	 <i>Función L</i> $[(-0,001:0);(0:1);(11:1);(27:0)]$ Hasta 11 Km/h los expertos consideran la velocidad del viento como leve decreciendo este valor con una pendiente del 16 %.
	<i>MODERADA</i>	 <i>Función Trapezoidal</i> $[(11:0);(27:1);(40:1);(55:0)]$ Con velocidades comprendidas entre los 27 y 40 Km/h los expertos lo consideran como un nivel moderado.
	<i>FUERTE</i>	 <i>Función Gamma</i> $[(40:0);(55:1);(69,999:1);(70,001:0)]$ A partir de 40 Km/h va tomando importancia la etiqueta fuerte siendo totalmente cierto a partir de los 55 Km/h.

Tabla 6.5: Variable Lingüística de Entrada: Velocidad del Viento.

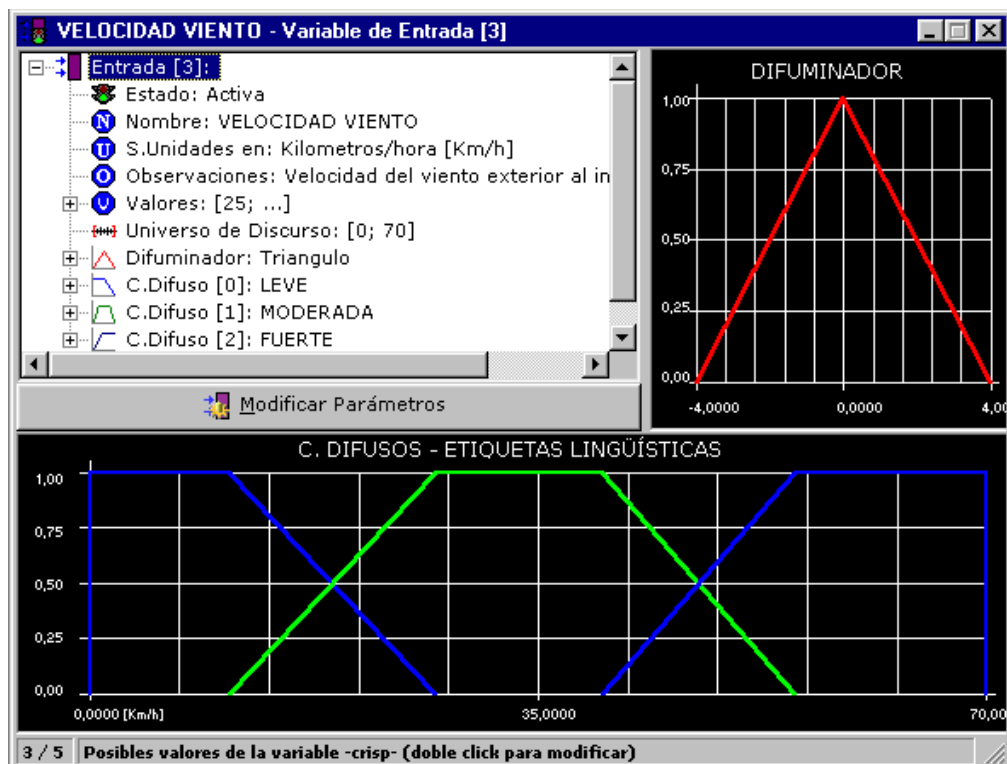


Figura 6.6: Velocidad del Viento en SV\_INV\_1.SCD.

## 6.2.5 Dirección del Viento

El viento dado su carácter vectorial posee dos componentes: *magnitud* – *velocidad* (Sección 6.2.4) y *vector* – *dirección*. Si consideramos la parte vectorial del viento como otra variable de entrada en el sistema, el viento queda medido en sus dos componentes. Dicha consideración va a permitir gestionar junto a la velocidad, las variables de salida de ventilación cenitales (parte superior – techo) y laterales (paredes) (Sección 6.3.1) de forma independiente según las direcciones predominantes, es decir, favorecer la circulación de aire en el interior del invernadero cuando las circunstancias así lo requieran abriendo aquellas ventanas que estén a favor del origen del viento y en proporción según velocidad del mismo.

En la zona almeriense los vientos predominantes son los de poniente (del oeste) como puede apreciarse en la parte superior derecha de la Figura 6.7. Dichos datos meteorológicos han sido obtenidos en el periodo 1976 a 1995 inclusive por la Estación Experimental Agrícola de la Caja Rural de Almería, situada en el paraje “Las Palmerillas” del término municipal de El Ejido (Almería), siendo sus coordenadas geográficas las siguientes: Longitud: 2º 43’ W, Latitud: 36º 48’ N y Altitud s. n. m.: 155 m.

Los vientos provenientes del levante (del este) son vientos más secos y cálidos que los vientos de poniente lo cual es una consideración importante a tener en cuenta según los expertos a la hora de establecer las reglas de control que consideren la dirección del viento.

La componente vectorial predominante del viento determina en gran medida la ubicación de los invernaderos. En la Figura 6.7 se ilustra la disposición más común de los invernaderos tipo parral de forma que aprovechen los vientos de poniente y levante, pues son prácticamente nulos los de dirección sur y norte. De esta forma el sistema de ventilación pasiva introduce y evacua los vientos de oeste y este a través de ventanales laterales y superiores (cenitales) que serán comentados con más detalle en la Sección 6.3.1.

Así, dependiendo de la ubicación del terreno donde se desee asentar el invernadero, habrá que atender no sólo a las direcciones de vientos predominantes sino también a distintos criterios tales como si linda en sus cuatro caras a otros invernaderos, si existe pendiente en el terreno y en que dirección... de forma que permitan al agricultor establecer la mejor disposición del mismo sobre el terreno.

En la sección siguiente se presentan las características lingüísticas de esta variable, descritas en la Tabla 6.7.

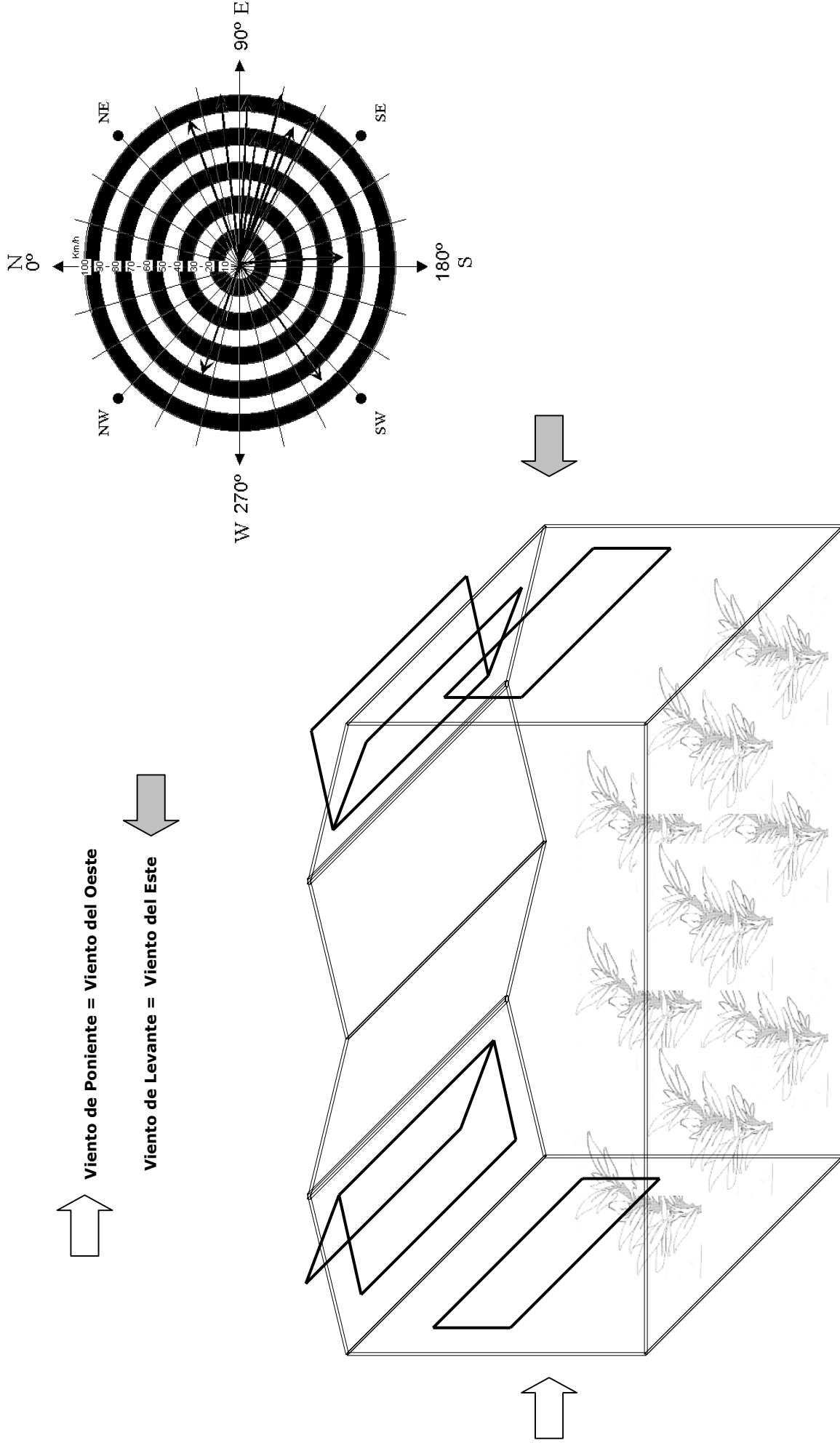


Figura 6.7: Disposición de invernadero tipo parral de forma que los ventanales favorezcan la circulación de vientos de poniente y levante.

### 6.2.5.1 Variable Lingüística: Dirección del Viento

El presente estudio ha distinguido cuatro direcciones del viento: *del norte*, *del levante*, *del sur* y *del poniente*. Para ello se han establecido cuatro etiquetas lingüísticas bajo un universo de discurso definido en grados. Se considera como partida  $0^\circ$  Norte y en sentido horario aumentan los grados tal que:  $90^\circ$  Este,  $180^\circ$  Sur,  $270^\circ$  Oeste y  $360^\circ$  o  $0^\circ$  Norte. De esta forma quedaría la siguiente Tabla 6.6 en donde se indican las direcciones de los vientos según los grados.

Dirección del Viento	Grados
DEL SUR (N)	$0^\circ$
DE SUROESTE (SW)	$0^\circ - 90^\circ$
DEL PONIENTE (OESTE - W)	$90^\circ$
DE NOROESTE (NW)	$90^\circ - 180^\circ$
DEL NORTE (N)	$180^\circ$
DE NORESTE (NE)	$180^\circ - 270^\circ$
DEL LEVANTE (ESTE - E)	$270^\circ$
DE SURESTE (SE)	$270^\circ - 360^\circ$

Tabla 6.6: Direcciones del viento y sus equivalencias en grados.

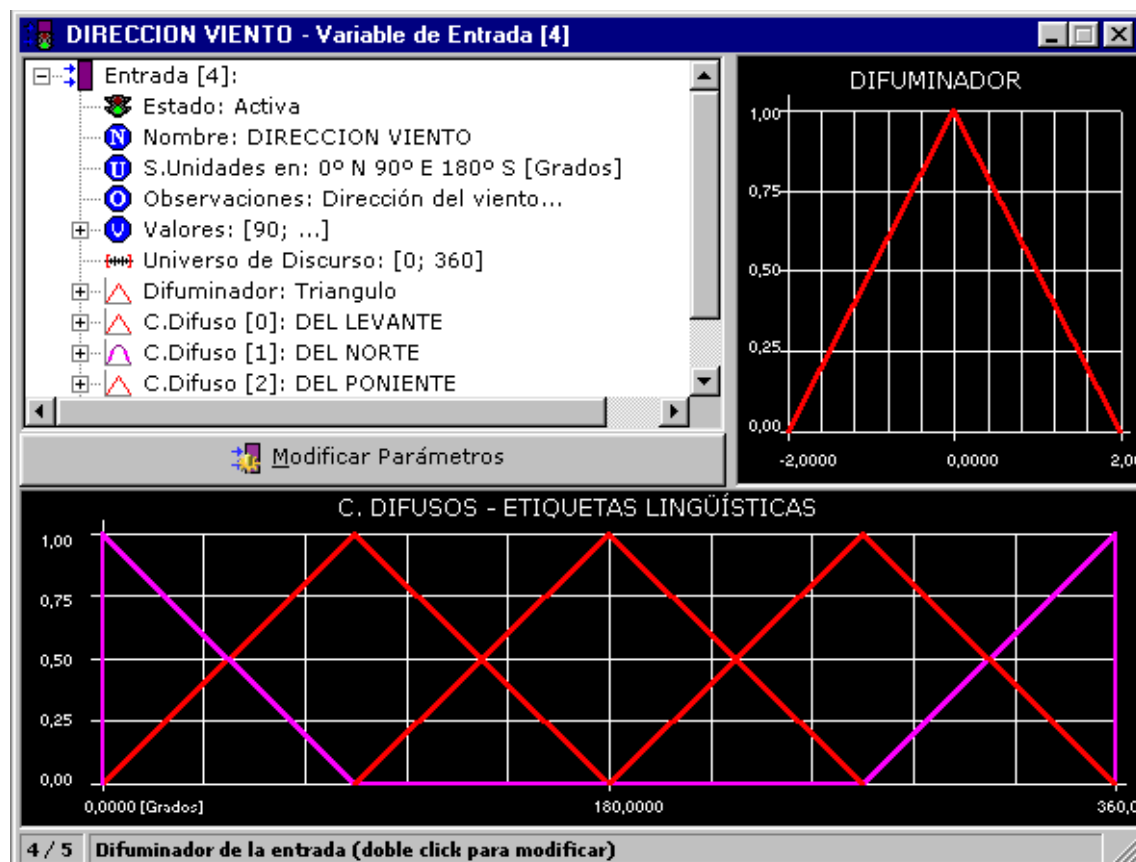







Figura 6.8: Dirección Viento en SV\_INV\_1.SCD.

Para resolver la representación de los *vientos del norte* se ha recurrido como puede observarse en la Figura 6.8 a la declaración de un conjunto difuso del tipo trapecio extendido de forma que permita establecer distintas zonas de verdad absoluta donde su cumple dicha etiqueta y así cubrir los rangos 0 – 90° y 270° - 360° bajo una misma etiqueta. Para el resto de etiquetas se han establecido conjuntos difusos de tipo triangular, en donde su vértice superior indica que se tratan de vientos de una única componente para dicho valor.

VARIABLE DE ENTRADA [4] EN SV_INV_1.SCD		DIRECCIÓN VIENTO	
Nombre:	<i>Dirección del Viento</i>	Medición de la dirección en el exterior del invernadero. Para ello se puede recurrir al igual que la velocidad del viento a las bases de datos de las distintas estaciones meteorológicas de la zona.	
Sist. Unidades:	[°]	Grados	
Univ. Discurso:	[0 → 360]	0° Norte, 90° - Este, 180° - Sur, 270° - Oeste.	
Difuminador:	<i>Función Triangular</i>	 <i>Función Triangular</i> $[(-2:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(2:0)]$	Se considera un margen de error de $\pm 2\%$ .
Conjuntos Difusos:	DEL NORTE	 <i>Función Trapezoidal Extendida</i> <i>P.Básicos:</i> [(0:0);(359,998:1);(359,999:1);(360:0)] <i>P.Extendidos:</i> [(0,001:1);(90,0);(270:0)]	Viento exclusivamente del Norte cuando es de 0° o lo que es lo mismo 360°. Para poder establecer dos posibles valores totalmente ciertos separados por valores parcialmente ciertos se recurre a la función trapezoidal extendida.
	DEL LEVANTE	 <i>Función Triangular</i> $[(0:0);(89,9995:1);(90,0005:1);(180:0)]$	Viento exclusivamente del Este cuando es de 90°, del Noreste cuando cubre el rango 0° - 90° y del Sureste cuando cubre el rango 90° - 180°.
	DEL PONIENTE	 <i>Función Triangular</i> $[(180:0);(269,9995:1);(270,0005:1);(360:0)]$	Viento exclusivamente del Oeste cuando es de 270°, del Noroeste cuando cubre el rango 270° - 360° y del Suroeste cuando cubre el rango 180° - 270°.
	DEL SUR	 <i>Función Triangular</i> $[(90:0);(179,9995:1);(180,0005:1);(270:0)]$	Viento exclusivamente del Sur cuando es de 180°.

**Tabla 6.7: Variable Lingüística de Entrada: Dirección del Viento.**

## 6.3 Variables de Salida

El conjunto de variables de salida, consideradas como elementos de actuación en el sistema de forma que permitan obtener un microclima óptimo para el desarrollo de la plantación en el invernadero son, según los expertos:

S[0]: *Ventilación Cenital de Poniente.*

S[1]: *Ventilación Cenital de Levante.*

S[2]: *Ventilación Lateral de Poniente.*

S[3]: *Ventilación Lateral de Levante.*

S[4]: *Nebulización.*

S[5]: *Pantalla Térmica.*

La *ventilación*, ya sea cenital o lateral, tiene como objetivo favorecer la circulación de aire de forma pasiva en el interior del invernadero. La adecuada gestión de la misma garantizará una adecuada renovación interior regulando la temperatura y humedad. Con respecto a la *nebulización* su objetivo primordial es el de aumentar la humedad cuando ésta sea baja, aunque indirectamente; un aumento de humedad provoca también una pequeña disminución de temperatura. Otros usos del sistema de humidificación es el de suministro de productos fitosanitarios a la plantación a través de su red de aspersores. El objetivo de la *pantalla térmica* tiene dos enfoques según la época, en invierno el despliegue de la misma favorece la retención de temperatura del invernadero y en verano su extensión absorbe parte de la radiación solar para evitar una elevación excesiva de la temperatura en el interior del invernadero.

### 6.3.1 Ventilación

En épocas de alta insolación la reducción de temperatura del aire normalmente se lleva a cabo mediante la gestión de la ventilación. Los sistemas de ventilación más usuales son de tipo pasivo mediante ventanas laterales y cenitales, como ya se ha dicho.

Los ventanales situados en las pendientes de la estructura del invernadero son las denominadas *cenitales* como puede observarse en la Figura 6.9. Existen muchos tipos de ventanales cenitales, uno de los más utilizados e ilustrado en la Figura 6.9 es el uso de una ventana fijada a la parte superior del invernadero por bisagras y a través de un motor con sistema de transmisión en cremallera traduce el movimiento rotativo en lineal provocando un arco de apertura variable. Otros sistemas plantean un eje sobre el cual se enrolla un plástico que se extiende o recoge según queramos cerrar o abrir respectivamente. Sea cual sea el método utilizado de apertura y cierre de la misma su función principal es la de favorecer la evacuación de aire del interior (pues el aire caliente es menos denso que el frío y, por tanto, asciende) y formar un flujo de circulación de aire entre las ventanas laterales.



Con respecto a las ventanas *laterales* su implantación se realiza normalmente por medio del sistema de plástico enrollable motorizado. No sólo la ventilación lateral tiene como objetivo la introducción de aire sino también en combinación con la dirección del viento favorecer la circulación del mismo al abrir ambas ventanas laterales de poniente y levante de forma que se cree dicha circulación.

Es muy importante mencionar que tanto las ventanas cenitales como laterales deben poseer protecciones ante la entrada de plagas, tales elementos de protección son las denominadas *telas mosqueteras*. Se colocan en el área que queda libre tras la apertura de los ventanales y su densidad dependerá de las necesidades.

En la Figura 6.9 se plantea la disposición de cuatro ventanales, dos cenitales y dos laterales. Además de cada una de los dos, una es de poniente y la otra de levante de forma que se pueda aprovechar los vientos predominantes de la zona.

Una superficie de ventilación del 15% respecto a la superficie cultivada (mediante ventanas laterales y cenitales) y una adecuada estrategia de manejo puede ser suficiente para la gestión de los cultivos (como por ejemplo tomate y judía) según [Hernández00], aunque aumentar esta superficie de ventilación hasta el 30% sería deseable. La eficiencia de esta ventilación está en general, limitada debido a que los problemas fitosanitarios fuerzan a los agricultores a la instalación de densas mallas anti-insectos que dificultan el paso del aire.

Otros aspectos a considerar son la distancia existente entre las ventanas laterales y cenitales y la altura del cultivo (ya que ambos factores van a limitar la ventilación, sobre todo cuando la velocidad del viento es baja). También es importante la forma de las ventanas (pues el cultivo puede, a veces obstruirlas) y su orientación (en función de los vientos dominantes), y otros factores.

El siguiente avance o cambio de nivel tecnológico sería la implantación de sistemas de ventilación forzada por medio de ventiladores motorizados que favorezcan un flujo de aire cuando el agricultor lo necesite y las condiciones ambientales no lo provoquen. La implantación de este sistema sería necesaria en aquellos invernaderos que dada su disposición bien por estar rodeados de otros o por su ubicación necesiten una circulación de aire que no consiguen por medios naturales.

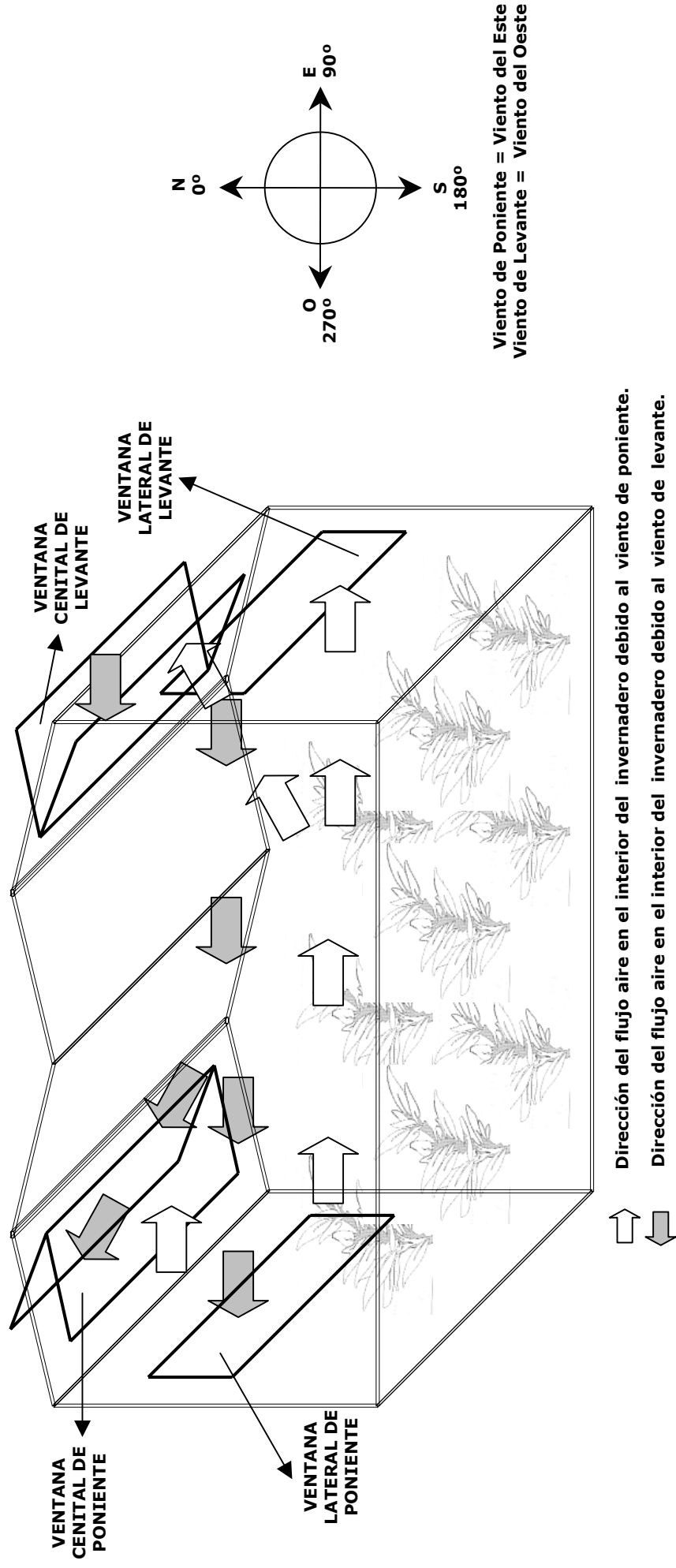


Figura 6.9: Esquema de ubicación de las ventanas de ventilación pasiva en un invernadero de tipo parral (raspa y amagado).

### 6.3.1.1 Variable Lingüística: Ventilación

La descripción de la presente sección engloba a las cuatro variables de ventilación consideradas en el sistema: *ventilación lateral de poniente*, *lateral de levante*, *cenital de poniente* y *cenital de levante*. Ambas han sido declaradas bajo las mismas características por tanto se describen a continuación bajo la declaración de *ventilación*. En la Figura 6.10 se visualizan los datos de una de las variables de ventilación y en la Tabla 6.8 se muestran dichas características.

La declaración de las etiquetas *cerrada* y *toda* se ha realizado a través de conjuntos difusos del tipo *singleton*, de esta forma tomarán el valor concreto de salida 0 o 100 respectivamente. El resto de etiquetas han sido definidas por medio de conjuntos difusos del tipo *triángulo*. De forma simétrica a la etiqueta central (50) se han posicionado las restantes de forma que para valores próximos al cierre o apertura total se ha aumentado la sensibilidad como ya se comentó en la Sección 2.4.

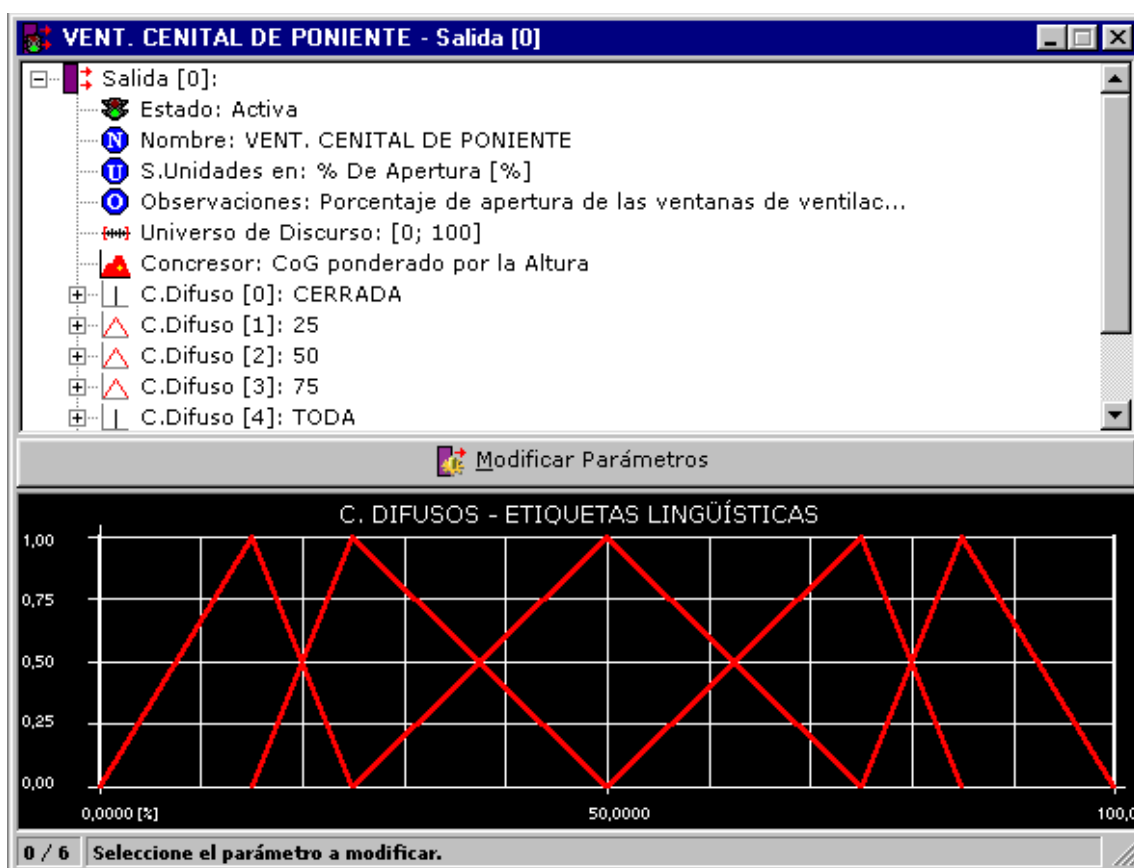









Figura 6.10: Ventilación cenital de poniente en SV\_INV\_1.SCD.

El método de concreción elegido ha sido el *Centro de Gravedad ponderado por la altura*. Según éste método se realizará el cálculo de los centros de gravedad de cada una de

las etiquetas resultantes del conjunto global de salida y recibirán en base a su altura un peso distinto. Dado que la única característica diferenciable entre las etiquetas del tipo *singleton* son la altura que puedan tomar según el grado de activación de las reglas de control, al ponderar por la altura las reglas que activen el dichos conjuntos difusos tomarán su grado de importancia en el resultado global.

VARIABLES DE SALIDA [0 → 3] EN SV_INV_1.SCD		VENTILACIÓN	
Nombre:	Ventilación	Engloba la ventilación lateral de levante y poniente y cenital de levante y poniente.	
Sist. Unidades:	[%]	Porcentaje	
Univ. Discurso:	[0 → 100]	0 indica cerrada totalmente y 100 abierta totalmente.	
Concesor:	Centro de Gravedad (CoG) ponderado por la Altura	Cálculo del Centro de Gravedad para cada una de las etiquetas resultantes del conjunto global de salida ponderadas según la altura determinada por el grado de activación.	
Conjuntos Difusos:	CERRADA	 <i>Función Singleton</i> $[(-0,0015:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(0,0015:0)]$	Indica el cierre total de la ventilación.
	15	 <i>Función Triangular</i> $[(0:0);(14,9995:1);(15,0005:1);(25:0)]$	Indica una apertura de aproximadamente el 15% con pendientes del 10%.
	25	 <i>Función Triangular</i> $[(15:0);(24,9995:1);(25,0005:1);(50:0)]$	Indica una apertura de aproximadamente el 25% con pendientes del 25%.
	50	 <i>Función Triangular</i> $[(24,9995:0);(49,9995:1);(50,0005:1);(75,0005:0)]$	Indica una apertura de aproximadamente el 50% con pendientes del 25%.
	75	 <i>Función Triangular</i> $[(50:0);(74,9995:1);(75,0005:1);(85:0)]$	Indica una apertura de aproximadamente el 75% con pendientes del 10%.
	85	 <i>Función Triangular</i> $[(75:0);(84,9995:1);(85,0005:1);(100:0)]$	Indica una apertura de aproximadamente el 85% con pendientes del 15%.
	TODA	 <i>Función Singleton</i> $[(99,9985:0);(99,9995:1);(100,0005:1);(100,0015:0)]$	Indica la apertura total de la ventilación.

**Tabla 6.8: Variable Lingüística de Salida: Ventilación.**

### 6.3.2 Nebulización

El sistema de nebulización tiene como finalidad la de aumentar cuando sea necesario la concentración de humedad relativa interna del invernadero. En la Figura 6.12 se muestra de forma esquemática un sistema de nebulización bajo un invernadero de tipo parral, en donde el elemento principal son los *nebulizadores* o dispositivos encargados de pulverizar el agua que reciben a alta presión de forma que se obtengan micro gotas de agua.

La nebulización, además de aumentar la humedad, provoca de forma indirecta una pequeña disminución de la temperatura, pues el agua descargada absorbe energía calorífica del aire y dado el reducido tamaño de las gotas formadas da lugar a la evaporación.

Otra gran utilidad del sistema de nebulización es el de aplicación de fitosanitarios (venenos). El método consiste en aplicar no sólo agua sino fitosanitarios diluidos en el agua de forma que quede aplicado dicho producto sobre la plantación y evitar así la aplicación manual. Es una considerable reducción de tiempo y optimización en la aplicación de los fitosanitarios.

Existen muchos métodos de nebulización y cada fabricante potencia el suyo, en general hay dos tipos claramente diferenciados:

- *Nebulización por un solo circuito:* La formación de micro gotas se realiza a través del dispositivo nebulizador que recibe agua a alta presión.
- *Nebulización por doble circuito:* Para realizar la pulverización del agua el nebulizador recurre a la presión suministrada de un circuito de aire independiente junto al circuito inicial de agua. El nebulizador básicamente se basa en el impacto producido a alta presiones entre agua y aire. La gran ventaja de este sistema frente al anterior es que se consigue una pulverización más uniforme, por otro lado la desventaja de este sistema es su alto coste pues implica disponer de un sistema de compresión de aire.

Para favorecer la difuminación de las micro gotas creadas por los nebulizadores se recurre a la instalación de pequeñas turbinas de aire que formen una circulación de aire por debajo de los nebulizadores de forma que conduzcan esta agua a las zonas más bajas del invernadero.

#### 6.3.2.1 Variable Lingüística: Nebulización

El proceso de nebulización consiste en la puesta en marcha o no del sistema a través de una bomba a presión que suministre a toda la red el agua tal que le permita salir por medio de

los nebulizadores. Por tanto al considerar el carácter lingüístico de la misma se plantean sólo dos etiquetas de tipo *singleton* que indica el estado de funcionamiento del mismo, es decir, *encendido* o *apagado*. A continuación se presenta en la Tabla 6.9 las características de la presente variable junto a la ventana de la correspondiente en SCD (Figura 6.11).

VARIABLE DE SALIDA [4] EN SV_INV_1.SCD		NEBULIZACIÓN
Nombre:	<i>Nebulización</i>	Red de agua a presión con nebulizadores pulverizadores de agua en el interior del invernadero.
Sist. Unidades:	<i>[Off/On]</i>	Dos posibles estados: Encendido o Apagado.
Univ. Discurso:	<i>[0 → 1]</i>	0 indica desconexión del sistema de nebulización y 1 conexión de la nebulización.
Concesor:	<i>Centro de Gravedad (CoG) de Mayor Altura</i>	Dado que son conjuntos difusos ( <i>singleton</i> ) en donde su área no es representativa se recurre a la ponderación de altura para determinar la importancia de cada etiqueta según los grados de activación.
Conjuntos Difusos:	OFF	Indica el estado de desconexión del sistema de nebulización.  <i>Función Singleton</i> $[(-0,0015:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(0,0015:0)]$
	ON	Indica el estado de conexión del sistema de nebulización.  <i>Función Singleton</i> $[(0,9985:0);(0,9995:1);(1,0005:1);(1,0015:0)]$

**Tabla 6.9: Variable Lingüística de Salida: Nebulización.**



**Figura 6.11: Nebulización en SV\_INV\_1.SCD**

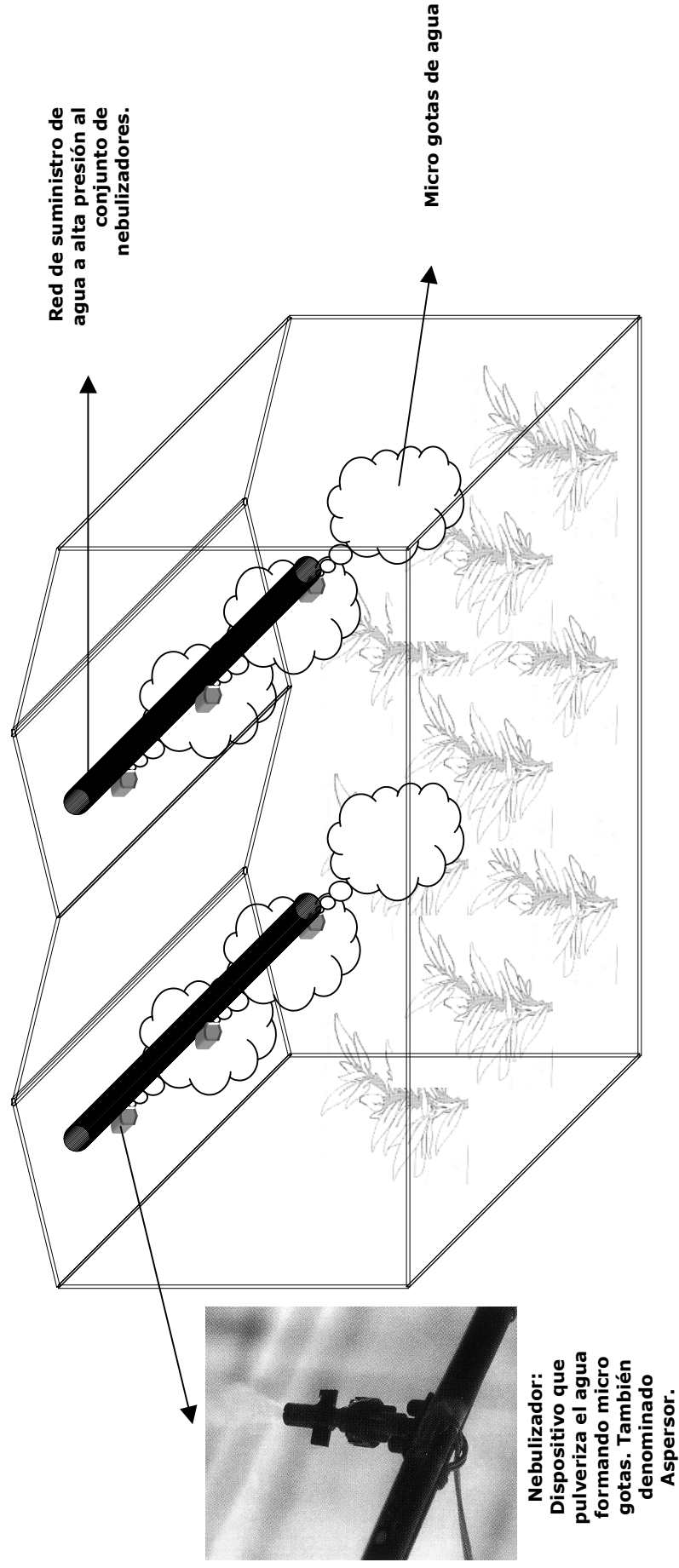


Figura 6.12: Esquema del sistema de nebulización en un invernadero de tipo parral.

### 6.3.3 Pantalla Térmica

En invierno, las alternativas para aumentar las temperaturas mínimas de modo pasivo (sin gasto energético – calefacción) son la utilización de pantallas térmicas y las dobles cubiertas. Las pantallas más eficientes son las aluminadas. En verano el uso de las mismas conlleva un efecto de absorción de parte de la radiación solar incidente de forma que evita el aumento excesivo de la temperatura en el interior del invernadero. En la Figura 6.13 se ilustra la ubicación de la pantalla térmica en un invernadero tipo parral junto a los efectos de absorción radiación solar y retención en la disminución de temperatura interior.

Para evitar reducciones indeseables de la radiación durante el día deben ser móviles para permitir su retirada y plegado. La ganancia térmica que suministran en invernaderos sin calefactar oscila entre los 2 y 4°C.

La instalación de dobles cubiertas consiste en la colocación interior de otra película plástica (generalmente polietileno o EVA de escaso espesor, entre 50-100 micras, es decir, 200-400 galgas) separada de la cubierta principal solamente unos centímetros (entre 2 y 10). La separación de ambas láminas mediante aire a presión (capa doble inflada) es una versión mejorada de la anterior que, además de asegurar la ganancia térmica, da al invernadero una resistencia estructural mayor. El ahorro energético que proporcionan las cubiertas inflables en invernaderos calefactados se estima en un 30 % pero hay que tener en cuenta que reducen la transmisividad en torno a un 10 % al ser permanentes.

Otras técnicas de apoyo térmico, son por ejemplo el empleo de mangas rellenas de agua que almacenan el calor excedentario durante el día para cederlo de noche al invernadero.

#### 6.3.3.1 Variable Lingüística: Pantalla Térmica

De igual forma a la comentada en la nebulización, la variable *pantalla térmica* tendría dos posibles estados: *encendida* o *apagada* o lo que es lo mismo *extendida* o *recogida*. Por eso se utilizan dos conjunto difusos del tipo *singleton* que definen estos dos posibles estados.

A continuación se presenta en la Tabla 6.10 las características de la presente variable junto a la ventana de la correspondiente en SCD (Figura 6.13).



Ejemplos de distintos tipos de pantallas térmica según necesidad de sombreo.

Disponible desde el 12 % hasta 99,9 % de sombreo

La tecnología es 100 % Svensson

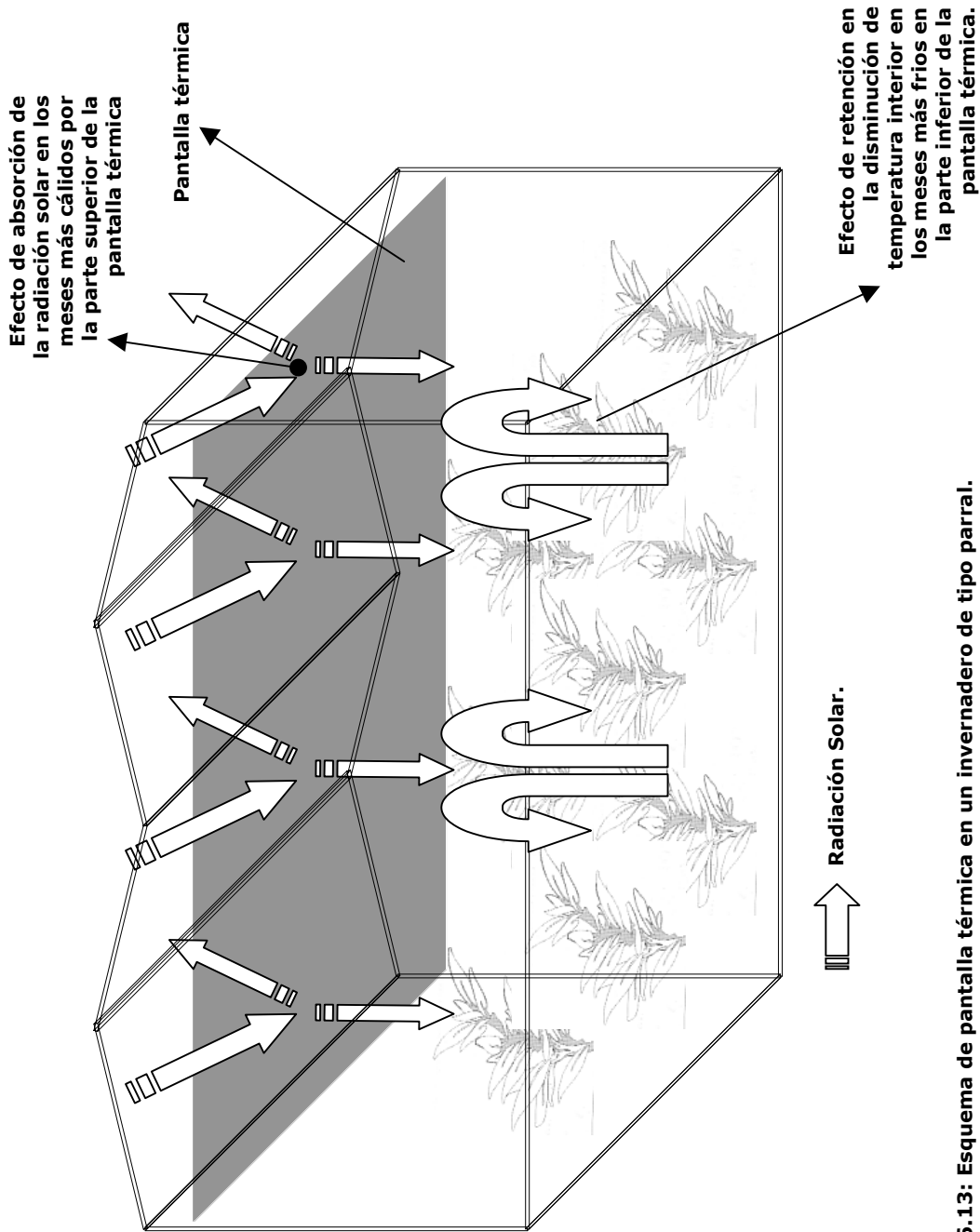
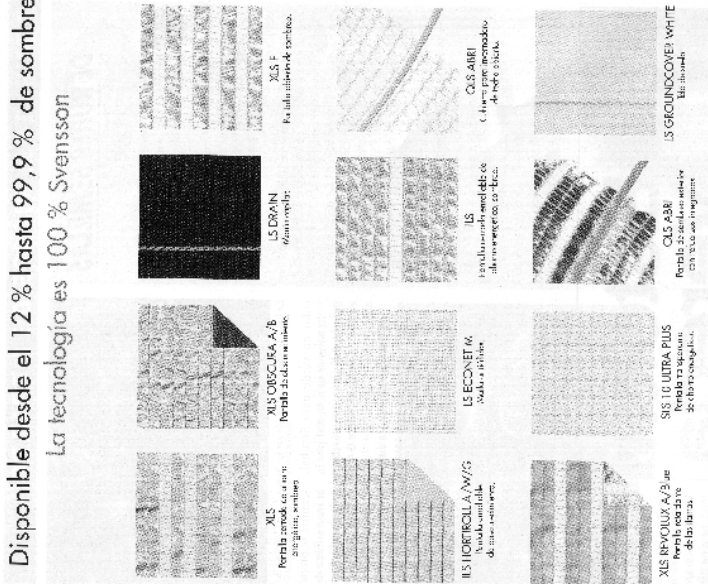


Figura 6.13: Esquema de pantalla térmica en un invernadero de tipo parral.

VARIABLE DE SALIDA [5] EN SV_INV_1.SCD		PANTALLA TÉRMICA
Nombre:	<i>Pantalla Térmica</i>	Sistema de absorción de radiación solar en los meses más cálidos y de retención de energía interior del invernadero en los meses más fríos.
Sist. Unidades:	<i>[Off/On]</i>	Dos posibles estados: Encendido o Apagado.
Univ. Discurso:	<i>[0 → 1]</i>	0 indica desconexión de la pantalla térmica y 1 conexión de la pantalla térmica.
Concresor:	<i>Centro de Gravedad (CoG) de Mayor Altura</i>	Dado que son conjuntos difusos ( <i>singleton</i> ) en donde su área no es representativa se recurre a la ponderación de altura para determinar la importancia de cada etiqueta según los grados de activación.
Conjuntos Difusos:	OFF	<p>Indica el estado de recogida del sistema de protección térmica.</p> <p><i>Función Singleton</i>  <math>[(-0,0015:0);(-0,0005:1);(0,0005:1);(0,0015:0)]</math></p>
	ON	<p>Indica el estado de extensión del sistema de la pantalla térmica.</p> <p><i>Función Singleton</i>  <math>[(0,9985:0);(0,9995:1);(1,0005:1);(1,0015:0)]</math></p>

Tabla 6.10: Variable Lingüística de Salida: Pantalla térmica.

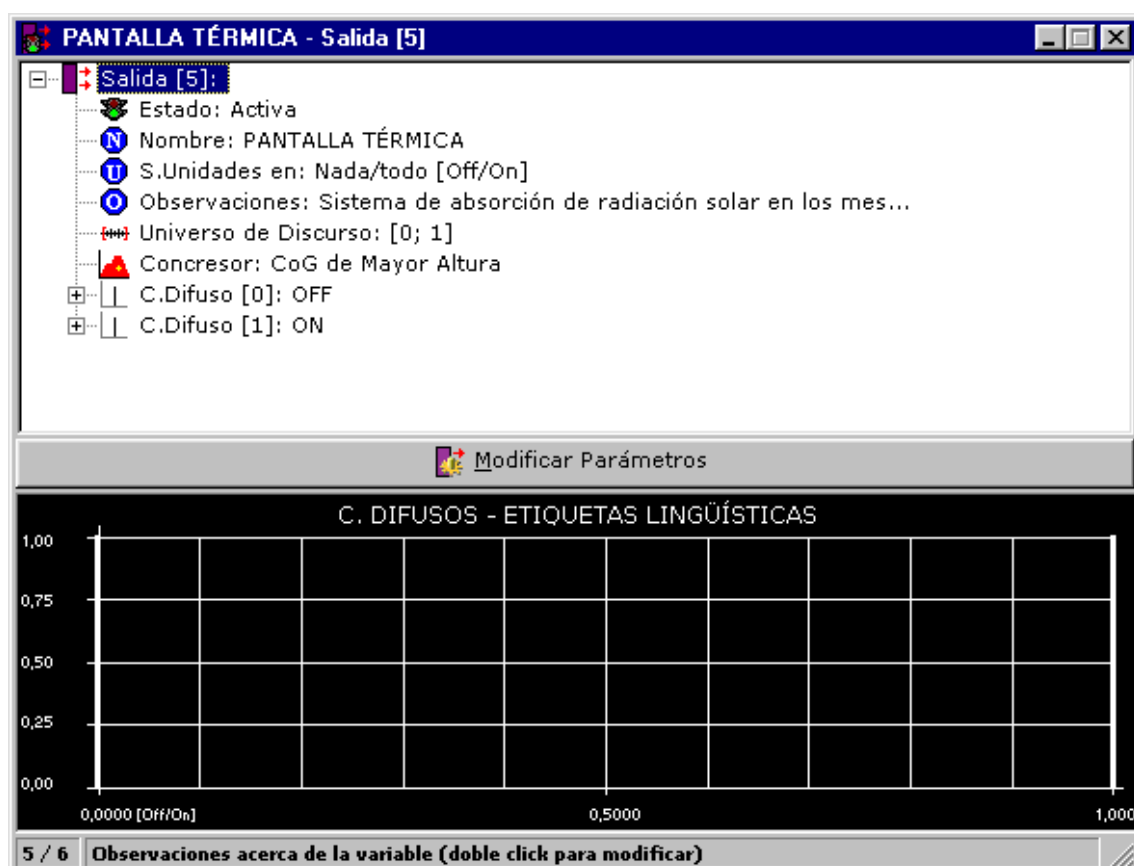


Figura 6.13: Pantalla térmica en SV\_INV\_1.SCD.