

6.4 Representación del Conocimiento: Conjunto de Reglas

En la elaboración del conjunto de reglas que permitan definir las pautas de control del sistema se han tenido en cuenta las siguientes agrupaciones:

- ❑ *Reglas de Seguridad:* El objetivo de estas reglas es la de determinar en función de la velocidad y dirección del viento el grado de protección de la estructura del invernadero. Este conjunto de reglas están representadas en la Tabla 6.11.

| Nº REGLA | <SI> | <ENTONCES> |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R[0]: | VELOCIDAD VIENTO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES CERRADA |
| R[1]: | VELOCIDAD VIENTO ES MODERADA Y DIRECCION VIENTO ES DEL LEVANTE | VENT. CENITAL DE LEVANTE ES CERRADA |
| R[2]: | VELOCIDAD VIENTO ES MODERADA Y DIRECCION VIENTO ES DEL PONIENTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES CERRADA |

Tabla 6.11: Reglas de seguridad.

La regla [0] se declara con el objetivo de evitar la entrada de vientos *fuertes* en el interior del invernadero, es por ello que se procede a cerrar todas las ventanas del invernadero quedando cerrado en su totalidad.

Las reglas [1] y [2] gestionan en base a la dirección del viento y en el caso de ser de características *moderadas* de velocidad, el cierre de aquellas ventanas cenitales a favor del viento.

- ❑ *Reglas de Control Nocturno:* Como su nombre indica, van a ser las encargadas de establecer los niveles de apertura de los distintos ventanales junto a la activación o no de los sistemas de nebulización y pantalla térmica en el periodo nocturno. La humedad durante la noche es el factor que mayor variación presenta con respecto al día no siendo tan variable el factor temperatura. En base a ello se establecen reglas que contemplen las etiquetas *mínima*, *baja* y *alta* humedad durante la noche con las respectivas etiquetas *baja* y *alta* temperatura durante la noche de forma que se obtienen seis posibles combinaciones representadas en las reglas de la Tabla 6.12.

| Nº REGLA | <SI> | <ENTONCES> |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R[3]: | RADIACIÓN SOLAR ES NOCHE Y HUMEDAD RELATIVA ES MINIMA NOCTURNA Y TEMPERATURA ES BAJA NOCTURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES CERRADA Y NEBULIZACION ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[4]: | RADIACIÓN SOLAR ES NOCHE Y HUMEDAD RELATIVA ES MINIMA NOCTURNA Y TEMPERATURA ES ALTA NOCTURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES 25 Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES 25 Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES 25 Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES 25 Y NEBULIZACION ES ON Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[5]: | RADIACIÓN SOLAR ES NOCHE Y HUMEDAD RELATIVA ES BAJA NOCTURNA Y TEMPERATURA ES BAJA NOCTURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES CERRADA Y NEBULIZACION ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[6]: | RADIACIÓN SOLAR ES NOCHE Y HUMEDAD RELATIVA ES BAJA NOCTURNA Y TEMPERATURA ES ALTA NOCTURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES 25 Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES 25 Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES 50 Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES 50 Y NEBULIZACION ES ON Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[7]: | RADIACIÓN SOLAR ES NOCHE Y HUMEDAD RELATIVA ES ALTA NOCTURNA Y TEMPERATURA ES BAJA NOCTURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. LATERAL DE PONIENTE ES 50 Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES 50 Y VENT. CENITAL DE PONIENTE ES 50 Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES 50 Y NEBULIZACION ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[8]: | RADIACIÓN SOLAR ES NOCHE Y HUMEDAD RELATIVA ES ALTA NOCTURNA Y TEMPERATURA ES ALTA NOCTURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. LATERAL DE PONIENTE ES TODA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES TODA Y VENT. CENITAL DE PONIENTE ES TODA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES TODA Y NEBULIZACION ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |

Tabla 6.12: Reglas de control nocturno.

En la regla [4] se observa que en condiciones *mínimas* de humedad y *alta* temperatura durante la noche sería aconsejable nebulizar según los expertos para aumentar así la humedad y junto a la apertura de ventanas aliviar el exceso de temperatura.

En la regla [5] no se activa la nebulización, pues dado que la temperatura es *baja* provocaría si se activase una mayor disminución, por tanto se cierra todo el invernadero para evitar pérdidas de energía.

- *Reglas de Control Diurno:* El objetivo de este grupo de reglas es la de gestionar la ventilación pasiva y sistema de nebulización y pantalla térmica durante el día, y para ello se consideran las posibles combinaciones entre las dos variables principales: *humedad y temperatura*. Este conjunto de combinación entre las etiquetas da lugar a seis reglas descritas en la Tabla 6.13.

| Nº REGLA | <SI> | <ENTONCES> |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R[9]: | RADIACIÓN SOLAR ES DIA Y HUMEDAD RELATIVA ES BAJA DIURNA Y TEMPERATURA ES BAJA DIURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES CERRADA Y NEBULIZACION ES ON Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[10]: | RADIACIÓN SOLAR ES DIA Y HUMEDAD RELATIVA ES BAJA DIURNA Y TEMPERATURA ES ALTA DIURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES 85 Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES 85 Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES 50 Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES 50 Y NEBULIZACION ES ON Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[11]: | RADIACIÓN SOLAR ES DIA Y HUMEDAD RELATIVA ES ALTA DIURNA Y TEMPERATURA ES BAJA DIURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES 50 Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES 50 Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES TODA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES TODA Y NEBULIZACION ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[12]: | RADIACIÓN SOLAR ES DIA Y HUMEDAD RELATIVA ES ALTA DIURNA Y TEMPERATURA ES ALTA DIURNA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES TODA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES TODA Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES TODA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES TODA Y NEBULIZACION ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES OFF |
| R[13]: | RADIACIÓN SOLAR ES DIA Y HUMEDAD RELATIVA ES BAJA DIURNA Y TEMPERATURA ES MÍNIMA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES CERRADA Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES CERRADA Y NEBULIZACIÓN ES ON Y PANTALLA TÉRMICA ES ON |
| R[14]: | RADIACIÓN SOLAR ES DIA Y HUMEDAD RELATIVA ES ALTA DIURNA Y TEMPERATURA ES MÍNIMA Y VELOCIDAD VIENTO NO ES FUERTE | VENT. CENITAL DE PONIENTE ES 15 Y VENT. CENITAL DE LEVANTE ES 15 Y VENT. LATERAL DE PONIENTE ES 75 Y VENT. LATERAL DE LEVANTE ES 75 Y NEBULIZACIÓN ES OFF Y PANTALLA TÉRMICA ES ON |

Tabla 6.13: Reglas de control diurno.

Durante el día es la temperatura la variable que más fluctúa, a diferencia de la noche en donde la humedad presenta mayores cambios. La adecuada gestión de la

ventilación favorecerá la disminución, en la mayoría de los casos, del exceso de temperatura provocado durante el día.

En la regla [10] con humedad *baja* hay que nebulizar y con temperatura *alta* favorecer la disminución de temperatura con circulación de aire.

Por medio de la regla [11] se busca evacuar parte de la humedad evitando perder mucha temperatura.

A través de la regla [12] se favorece la disminución de humedad y temperatura.

En la regla [14], si tuviésemos ventilación forzada habría que conectarla para disminuir la humedad sin perder mucha temperatura activando la pantalla térmica.

6.5 Procedimientos de Inferencia

En la Tabla 6.14 se muestra las opciones de inferencia utilizadas para este sistema de control difuso.

| Operador | Tipo |
|--------------------|---------------------|
| Implicación | Mínimo |
| Agregación | Máximo |
| And | Producto Algebraico |
| Or | Máximo |
| Comparación | Mínimo |

Tabla 6.14: Operadores de inferencia.

La elección del *producto algebraico* como operador *and* ha sido en base a lo expuesto en [Zimm80] en donde revela, a través de experimentos, que el operador del mínimo no trabaja bien como modelador del conectivo *and*.

6.6 Análisis y Resultados

Una vez expuestas todas las características de las variables de entrada, de las variables de salida, de reglas y de opciones de inferencia del sistema de control climático planteado, nos disponemos a realizar un análisis y exposición de los resultados obtenidos a través de la evaluación del sistema. Para ello se realizarán dos fases de obtención de datos que se detallan a continuación:

- *1ª Fase:* Obtención de datos de salida a través de la ventana *Calcular variables de salida* (Figura 6.14). Por medio de ésta ventana podremos calcular los valores de salida para un instante dado según unos valores de entrada establecidos. Así de forma rápida se podrá comprobar las consecuencias ante la variación de los valores de entrada.

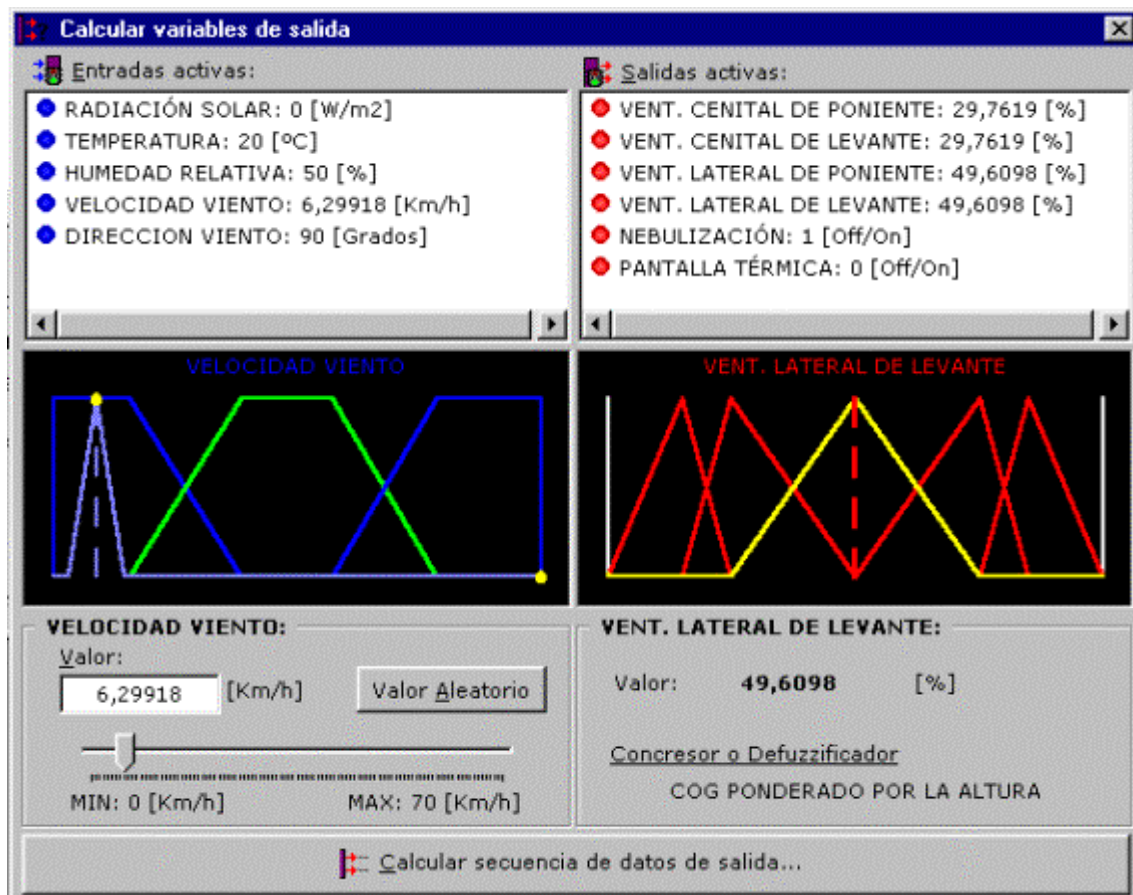


Figura 6.14: Ventana Calcular variables de salida de SCD.

- **2ª Fase:** En esta fase vamos a evaluar el sistema dada una secuencia de valores de entrada. Supongamos que tenemos un registro de las variaciones de las distintas variables que actúan en el sistema y queremos comprobar como respondería el mismo ante esta secuencia de variaciones. Para ello se recurre a la ventana *Calcular secuencia de datos de salida* (Figura 6.15).

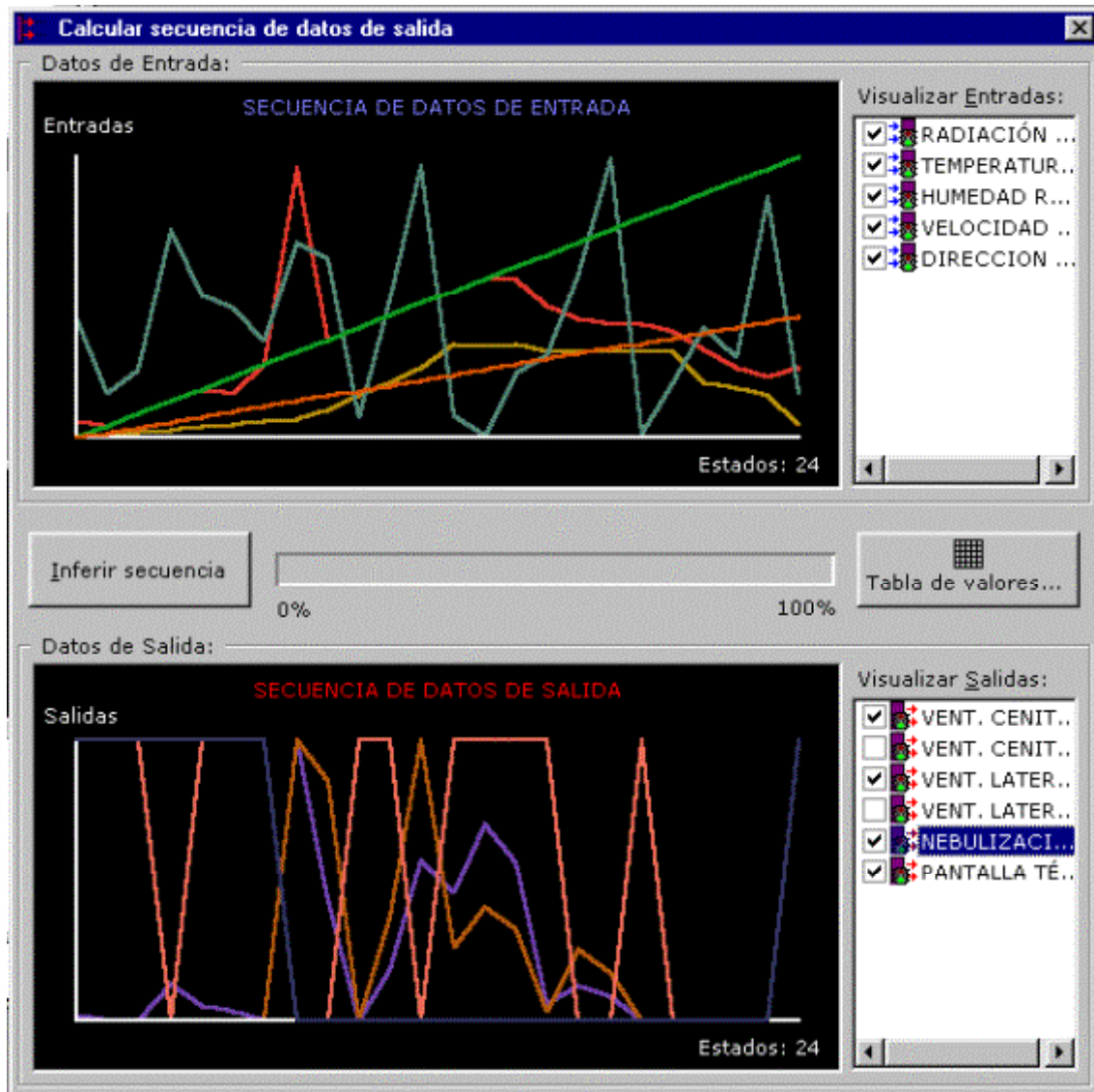


Figura 6.15: Ventana Calcular secuencia de datos de salida en SCD.

En la primera fase se pueden, por ejemplo, establecer unas condiciones de entrada en el sistema tal que nos permita comprobar el funcionamiento de las reglas [1] y [2] (véase Sección 6.4), en donde se establece según los expertos el criterio de control de cierre de aquellas ventanas que estén a favor del viento de velocidad *moderada*. Como puede observarse en la Figura 6.16, al considerarse un viento de levante (90°) con una velocidad totalmente *leve* (no intersecciona el difuminador con la etiqueta *moderada*), la apertura de los ventanales cenitales es bajo la misma proporción (29,7619 %) pero si ahora aumentamos la velocidad del viento de forma que tome importancia la etiqueta *moderada* se puede observar en la Figura 6.17 como la proporción de apertura ya no es la misma de forma que cierra más la cenital de levante (hasta el 15 % aproximadamente).

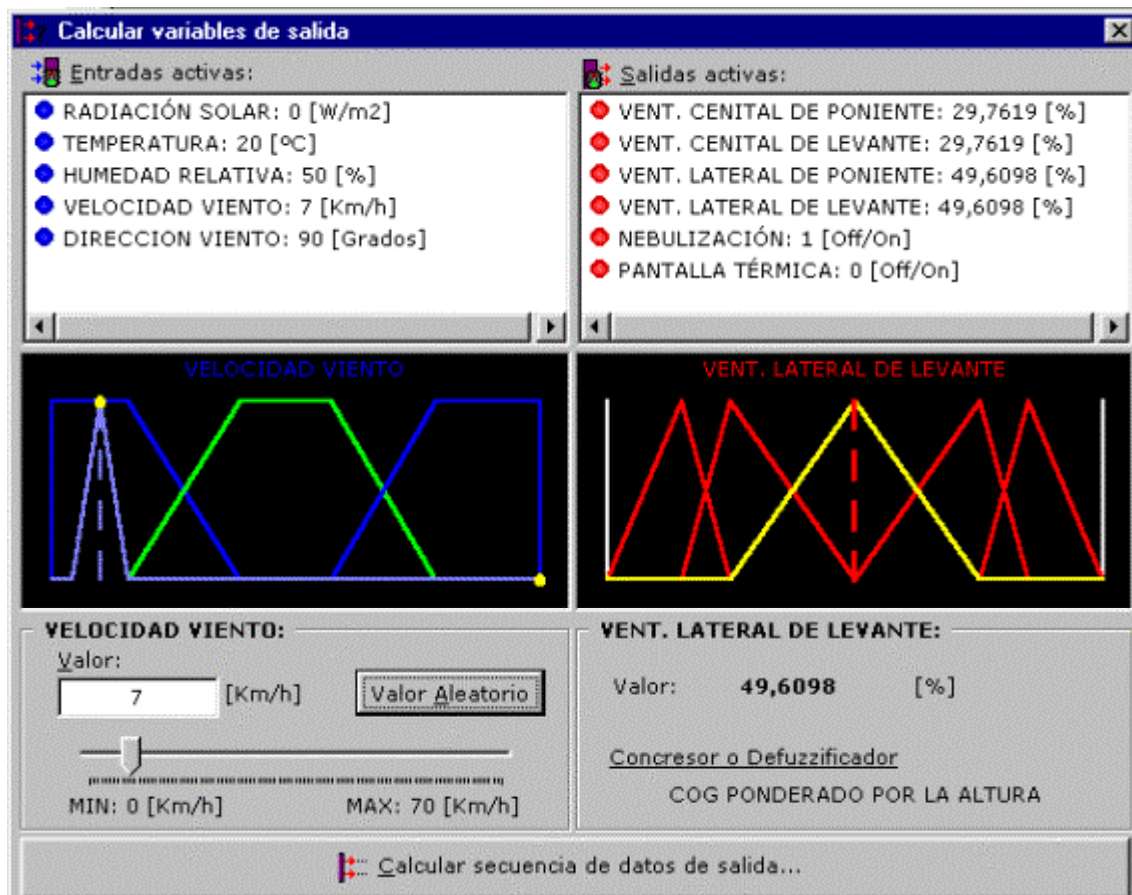


Figura 6.16: Viento de levante (90°) y velocidad leve.

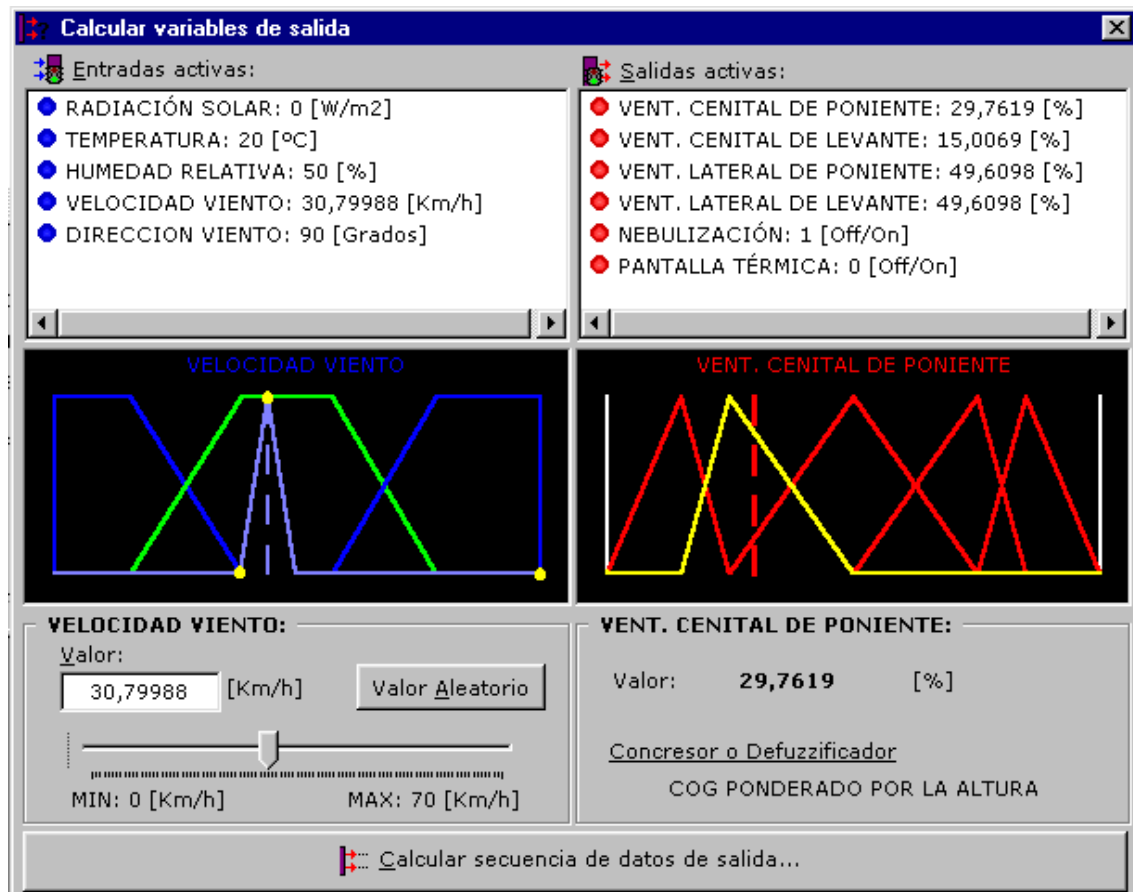


Figura 6.17: Viento de levante y velocidad moderada.

A continuación se puede comprobar el efecto de la regla de control [0] en la Figura 6.18 y ver cómo provoca el cierre casi total de la ventilación, a medida que la velocidad del viento alcanza su indicador máximo de velocidad *fuerte*.

El resultado mostrado en la Figura 6.19 representa la transición o punto de inflexión entre la desconexión y conexión del sistema de nebulización. En ella se puede observar como el resultado (trazo amarillo) está prácticamente igualado en alturas en las etiquetas *off* y *on*, de forma que cuando se alcance el 60% de humedad el sistema de nebulización se desconectará.

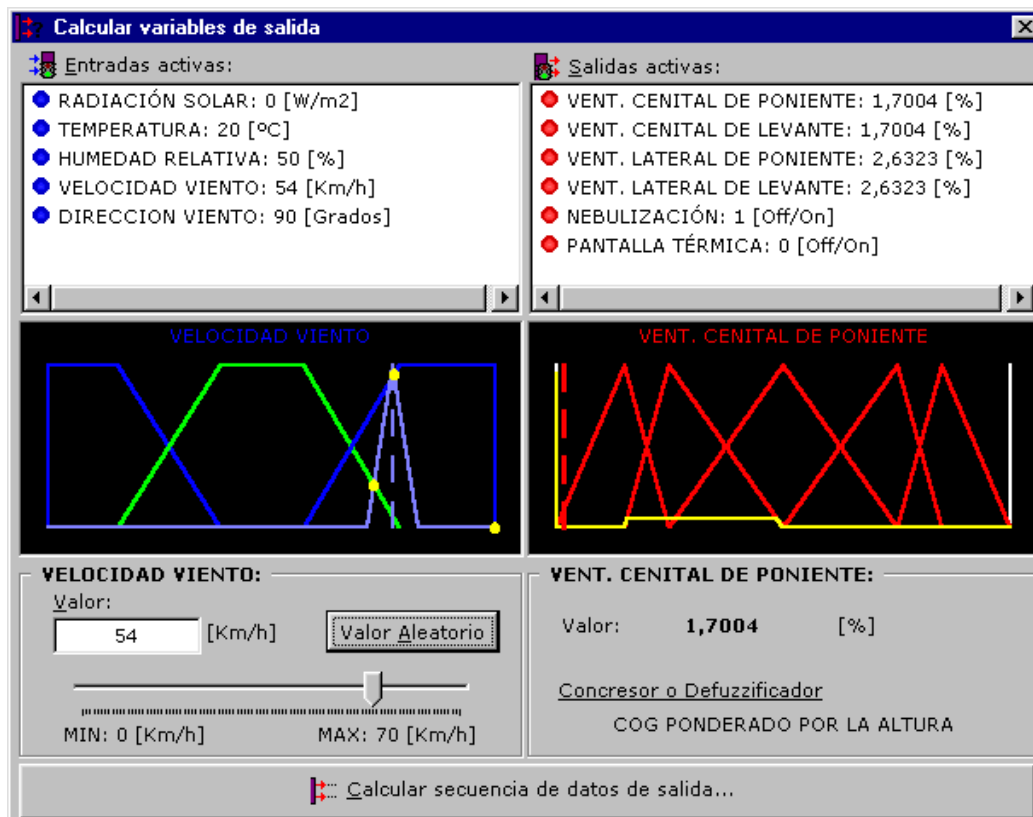


Figura 6.18: Velocidad del viento fuerte.

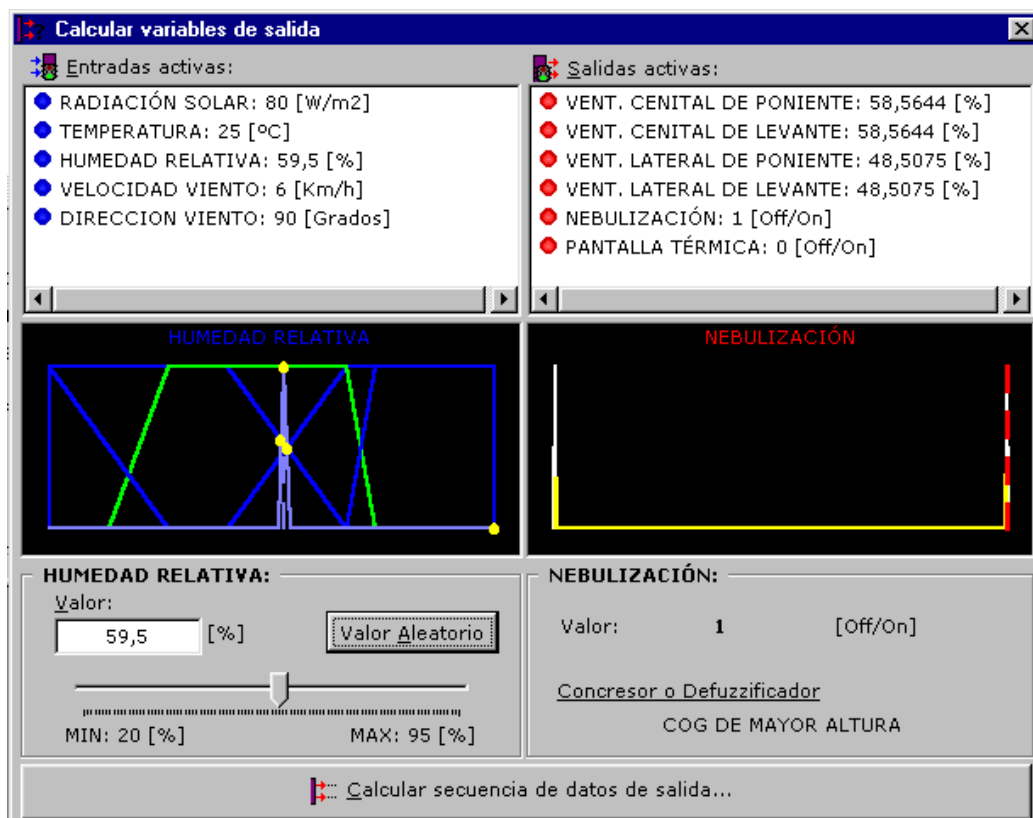


Figura 6.19: Transición en la desconexión/conexión de la nebulización.

Con respecto a la segunda fase de análisis se han evaluado los siguientes datos:

En la Figura 6.20 puede observarse en la parte superior que tenemos condiciones constantes de todas las variables de entrada excepto de la *temperatura*, que presenta una secuencia lineal creciente desde su valor mínimo (-2°C) al máximo (50°C). En esta situación el sistema de ventilación acciona la apertura progresiva de la ventilación tanto cenital como lateral. Los datos mostrados parten de una situación diurna y de humedad constante (60%) junto a una velocidad *leve* y dirección de levante.

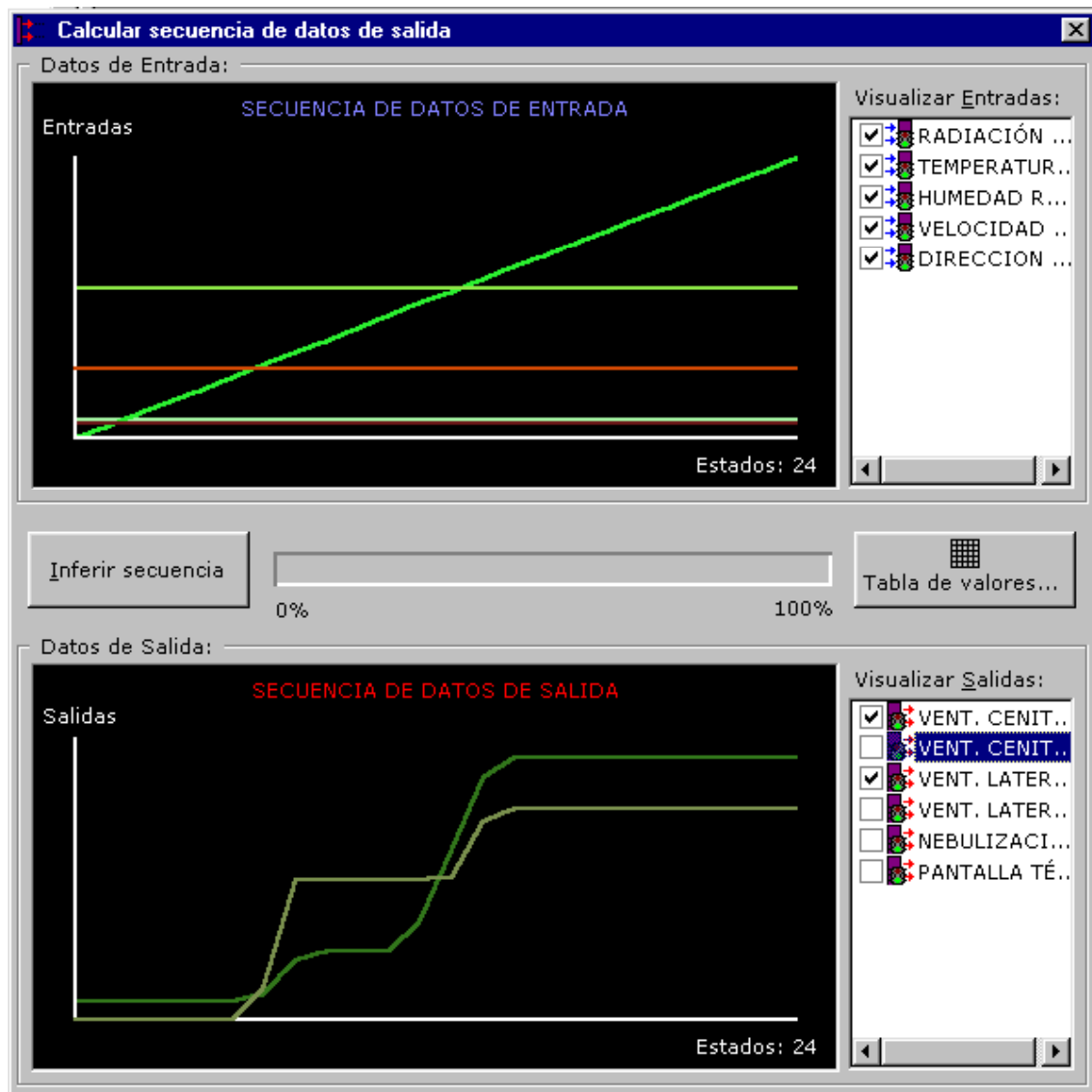


Figura 6.20: Aumento de la ventilación ante un aumento de la temperatura.

A través de la Figura 6.21 se ilustra una situación diurna de variación lineal creciente de la humedad en condiciones constantes de temperatura (25°C) y con vientos de poniente /eves. El sistema de nebulización está funcionando mientras que la humedad no alcance el valor de aproximadamente el 60%. A partir de este valor, el sistema se desconecta, pues la humedad sigue subiendo y no es necesario nebulizar. Este aumento continuo de la nebulización hace que el sistema reaccione provocando una apertura mayor de la ventilación, tal y como se muestra en la parte inferior del gráfico para la ventilación cenital de poniente.

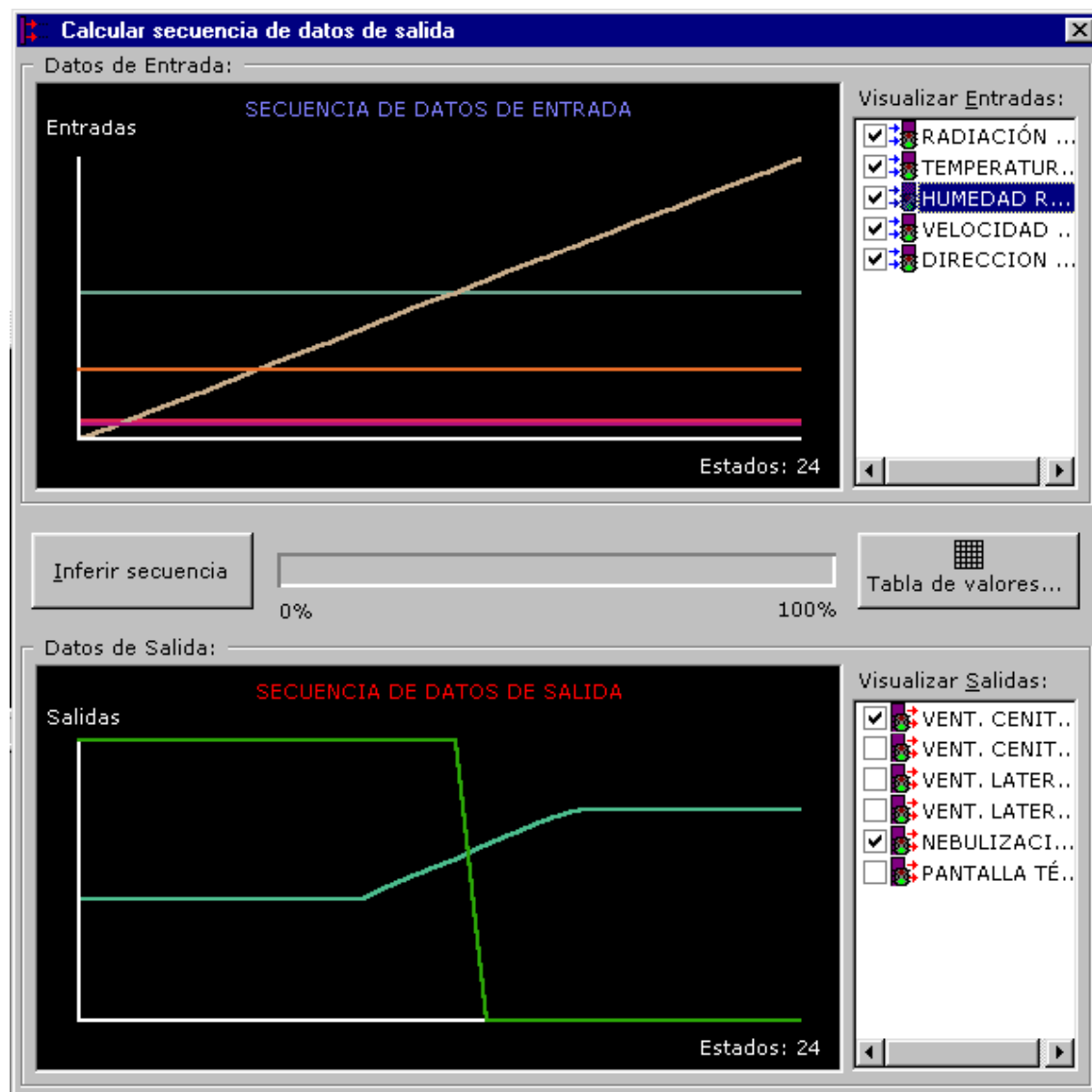


Figura 6.21: Desconexión ante el aumento de humedad y progresivo aumento de la ventilación.

