

II

SOFTWARE - SISTEMA DE CONTROL DIFUSO (SCD)





En este capítulo se presenta el *Manual del Usuario* de la aplicación informática *Sistema de Control Difuso (SCD)*. Se comienza con una descripción de las características y requisitos principales del programa, se hace mención a los pasos necesarios a la hora de instalar la aplicación y posteriormente se describe el manual de usuario propiamente dicho. Por medio del presente manual el usuario podrá elaborar a través de SCD un sistema de control basado en lógica difusa y simularlo; y para ello se describen las distintas ventanas que conforman la aplicación, su funcionalidad y las posibles situaciones que se dieran lugar durante el desarrollo y simulación de un SCD.

3.1 Características de SCD

SCD permite simular algunos tipos de sistemas de control basados en lógica difusa. Proporciona al usuario una plataforma para el desarrollo de sistemas bajo el punto de vista de la lógica difusa permitiéndole representar estrategias o técnicas apropiadas cuando el conocimiento proviene de la experiencia o de la intuición a través de *reglas*.

SCD intenta generalizar el tratamiento de la información difusa que pueda manipular; permitiendo así elaborar sistemas desde cualquier perspectiva, marco o ámbito; trata de ser una plataforma genérica para el desarrollo y simulación de cualquier sistema lógico trasladándolo a términos de lógica difusa y permitir evaluar el sistema desarrollado para una secuencia de valores de entrada y obtener la correspondiente secuencia de acción de control. Comentar que tiene algunas limitaciones que podrán ir eliminándose en sucesivas versiones.

Para describir las características del software desarrollado se va a tratar de responder de forma rápida y concisa a una serie de preguntas como: *¿cuáles son las características principales de SCD?, ¿qué información puede manipular?, ¿qué calcula?...* Y para ello se elabora la (Tabla 3.1) sobre las características de la aplicación informática:

CARACTERÍSTICAS		SISTEMA DE CONTROL DIFUSO (SCD) FUZZY KNOWLEDGE BASED CONTROLLER (FKBC)	
<div><div><input type="checkbox"/> SIMULADOR DE SISTEMAS DE CONTROL BASADOS EN LÓGICA DIFUSA:</div><div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Sin limitaciones en el número de variables, reglas, etiquetas...</div><div>Definición rápida de variables, reglas, etiquetas...</div><div>Distintos tipos de Conjuntos Difusos (<i>Fuzzy Sets</i>): Puntos definibles en altura o grado de verdad en Trapecio Extendido.</div><div>Análisis puntual y por secuencia de estados.</div><div>Hasta 5 tipos de difuminadores: Singleton, Intervalo, Triángulo...</div><div>Hasta 12 tipos de congresores: Media de Máximos (MoM), Centro de Gravedad (CoG), ...</div><div>Evaluación <i>paso a paso</i>.</div></div></div></div><div><div><input type="checkbox"/> APLICACIÓN MDI (<i>Multi Document Interface</i>):</div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Manipulación de múltiples ventanas de forma simultánea contenidas dentro de una ventana primaria.</div><div>Representación gráfica de variables lingüísticas.</div><div>Múltiples consultas simultaneas de variables, reglas,...</div></div></div></div><div><div><input type="checkbox"/> ALMACENAMIENTO DE DATOS:</div><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Ficheros de sistemas de control en formato de texto (estructura archivos <i>INI</i>).</div><div>Generador de tablas de resultados en formato <i>html</i> (apto para internet).</div><div>Registro de iniciación e incidencias.</div></div></div></div></div></div></div></div>			
VARIABLES	ENTRADA <div></div>	<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Sin limitaciones en el nº de variables*.</div><div>Opción de inserción, eliminación y recuperación (sólo última eliminación) de variables.</div><div>Opción de activación / desactivación de la variable, al desactivar la variable no será tenida en cuenta en el proceso de inferencia.</div><div>Generador de secuencias de valores de entrada (aleatorias, lineales...).</div><div>Opción de mantenimiento de la proporcionalidad de las etiquetas definidas tras variaciones en el universo de discurso.</div><div>Opción de fijación de los conjuntos difusos (etiquetas) sobre el universo de discurso.</div><div>Modificación y definición de los parámetros de etiquetas, en <i>Trapecio extendido</i> posibilidad de inserción de nuevos puntos extendidos con posibilidad de valores simétricos.</div><div>Visualización de los conjuntos difusos y difuminador.</div><div>Tipos de conjuntos difusos disponibles: <i>L</i>, <i>Gamma</i>, <i>singleton</i>, <i>Intervalo</i>, <i>Triángulo</i>, <i>Trapecio</i> y <i>Trapecio extendido</i>.</div></div></div></div> <td><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Sin limitaciones en el nº de conjuntos difusos* o etiquetas por variable.</div><div>Opción de inserción, eliminación y recuperación de etiquetas.</div><div>Campos <i>nombre</i>, <i>sistema unidades</i>, <i>sigla</i> y <i>observaciones</i> modificables.</div><div>Tipos de difuminadores disponibles: <i>Singleton</i>, <i>Intervalo</i>, <i>Triángulo</i>, <i>Trapecio</i> y <i>Trapecio extendido</i>.</div><div>Tipo de congresores disponibles: <i>Centro de Gravedad (CoG)</i>, <i>Media de Máximos (MoM)</i>, <i>CoG de mayor área</i>, <i>CoG ponderado por el área</i>, <i>CoG ponderado por la altura</i>, <i>CoG de mayor altura</i>, <i>Punto de Máximo Criterio (PMC)</i> ponderado por el área, <i>PMC ponderado por la altura</i>, <i>Media del PMC</i>, <i>Media del mínimo y máximo PMC</i>, <i>PMC de mayor área</i>, <i>PMC de mayor altura</i>.</div></div></div></div></td>	<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Sin limitaciones en el nº de conjuntos difusos* o etiquetas por variable.</div><div>Opción de inserción, eliminación y recuperación de etiquetas.</div><div>Campos <i>nombre</i>, <i>sistema unidades</i>, <i>sigla</i> y <i>observaciones</i> modificables.</div><div>Tipos de difuminadores disponibles: <i>Singleton</i>, <i>Intervalo</i>, <i>Triángulo</i>, <i>Trapecio</i> y <i>Trapecio extendido</i>.</div><div>Tipo de congresores disponibles: <i>Centro de Gravedad (CoG)</i>, <i>Media de Máximos (MoM)</i>, <i>CoG de mayor área</i>, <i>CoG ponderado por el área</i>, <i>CoG ponderado por la altura</i>, <i>CoG de mayor altura</i>, <i>Punto de Máximo Criterio (PMC)</i> ponderado por el área, <i>PMC ponderado por la altura</i>, <i>Media del PMC</i>, <i>Media del mínimo y máximo PMC</i>, <i>PMC de mayor área</i>, <i>PMC de mayor altura</i>.</div></div></div></div>
	SALIDA <div></div>		
REGLAS B. CONOCIMIENTO <div></div>		<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Sin limitaciones en el nº de reglas*.</div><div>Opción de inserción, eliminación y recuperación (sólo última eliminación) de reglas.</div><div>Posibilidad de activación / semiactivación / desactivación de reglas. La semiactivación vendrá dada por el estado desactivo del alguno de los términos que conforman la regla (variable desactivada).</div><div>Clasificador de reglas según la variable que a la que hagan mención.</div></div></div></div> <td><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Constructor de antecedente: Posibilidad de términos negados y elección de operador <i>and/or</i> entre términos.</div><div>Sin limitaciones en el nº de términos* por antecedente y consecuente.</div><div>Constructor de consecuente: Posibilidad de introducción múltiples términos.</div><div>Campo de <i>observaciones</i> para cada regla.</div><div>Posibilidad de organizar el conjunto de reglas en la base de conocimiento.</div></div></div></div></td>	<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Constructor de antecedente: Posibilidad de términos negados y elección de operador <i>and/or</i> entre términos.</div><div>Sin limitaciones en el nº de términos* por antecedente y consecuente.</div><div>Constructor de consecuente: Posibilidad de introducción múltiples términos.</div><div>Campo de <i>observaciones</i> para cada regla.</div><div>Posibilidad de organizar el conjunto de reglas en la base de conocimiento.</div></div></div></div>
MOTOR DE INFERENCIA <div></div>		<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Operador de Difuminación: <i>t-norma Mínimo</i>.</div><div>Operador And: <i>T-Norma Familia Dubois Prade</i>, <i>Frank</i>, <i>Yager</i>, <i>Mínimo</i>, <i>Producto Acotado</i>, <i>Algebraico</i>, <i>Drástico</i>, <i>Einstein</i>, <i>Hamacher</i>.</div><div>Operador Or: <i>s-norma Familia Sugeno</i>, <i>Yager</i>, <i>Máximo</i>, <i>Suma Acotada</i>, <i>Drástica</i>, <i>Producto</i>.</div><div>Operador Implicación: <i>t-norma Mínimo</i>.</div><div>Operador Agregación: <i>s-norma Máximo</i>.</div></div></div></div> <td><div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Visualización de la <i>expresión</i> y comentarios para cada operador seleccionado. En caso de poseer parámetro <i>p</i> seleccionable entre 0 y 0.75.</div><div>Ilustración del proceso de inferencia a través del seguimiento <i>paso a paso</i> de las fases de cálculo: <i>Difuminación</i>, <i>Activación Reglas</i>, <i>Implicación</i>, <i>Agregación</i> y <i>Concreción</i>.</div><div>Generación de resultados en tablas de valores bajo formato <i>html</i>.</div></div></div></div></td>	<div><div><div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div><div><div>Visualización de la <i>expresión</i> y comentarios para cada operador seleccionado. En caso de poseer parámetro <i>p</i> seleccionable entre 0 y 0.75.</div><div>Ilustración del proceso de inferencia a través del seguimiento <i>paso a paso</i> de las fases de cálculo: <i>Difuminación</i>, <i>Activación Reglas</i>, <i>Implicación</i>, <i>Agregación</i> y <i>Concreción</i>.</div><div>Generación de resultados en tablas de valores bajo formato <i>html</i>.</div></div></div></div>

*tan sólo las limitaciones dadas por la gestión de memoria.

Tabla 3.1: Características de SCD - FKBC.

3.2 Instalación de SCD

La instalación de SCD es simple pues basta con ejecutar el programa de instalación SETUP.EXE. Durante la instalación se crea un directorio de ejemplos dentro del directorio donde se instale SCD. En el directorio de ejemplos se incluyen unos cuantos ficheros, con extensión .SCD, que contienen ejemplos de sistemas de control basados en lógica difusa.

Los requisitos hardware para este programa son mínimos. Funciona en cualquier ordenador que soporte Windows y requiere unos 24 MB de espacio libre en disco duro. Se ha evaluado el consumo de memoria de la aplicación y se han obtenido los siguientes resultados:

	MEMORIA EN USO	TOTAL MEMORIA ASIGNADA	TAMAÑO TOTAL DE MÓDULOS
CARGAR APLICACIÓN	29,1 MB	898 KB	31,3 MB
CARGAR ARCHIVO*	29,4 MB	1,11 MB	31,4 MB
ARCHIVO* CARGADO Y VENTANAS MDI VISUALIZADAS	29,5 MB	1,27 MB	31,4 MB
*Archivo con 2 Entradas / 1 Salida / 10 Reglas			

Tabla 3.2: Consumos de memoria de SCD.

Como puede observarse en la (Tabla 3.2) la aplicación consume prácticamente la misma cantidad de memoria, sobre los 29 MB. La explicación de este consumo constante es debido a que como posteriormente se comentará en la (Sección 3.3) la aplicación realiza una precarga inicial en memoria de todas aquellas ventanas que se utilizan con frecuencia en la aplicación.

3.3 Empezando con SCD

Al ejecutar SCD se visualiza una ventana de precarga y presentación o comúnmente denominada *Ventana Splash* (Figura 3.1), antes de entrar en el programa en sí. Es de precarga porque como posteriormente se comentará hay un número de ventanas cuyo gran contenido en controles e información provocarían que en el momento de su visualización al no estar cargadas en memoria ocasionasen un efecto de lentitud en su visualización; para evitarlo se recurre al proceso de precarga (carga oculta de las ventanas utilizadas por la aplicación para posterior visualización en el momento de utilización). Dicho proceso de precarga se realiza con aquellas ventanas que por su utilización van a ser utilizadas más de una vez por el usuario.

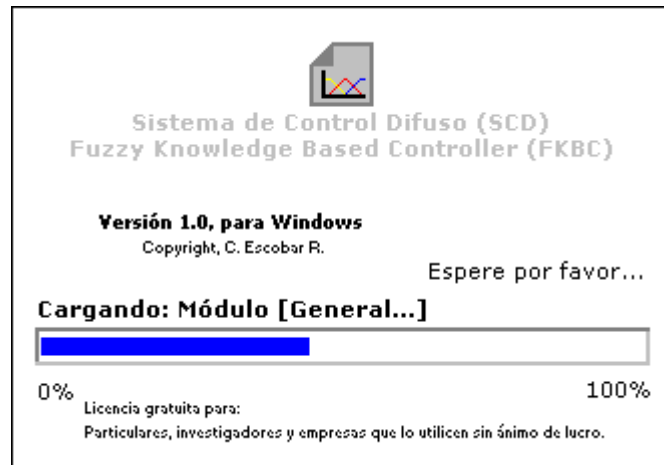


Figura 3.1: Pantalla de Precarga y Presentación (*Pantalla Splash*) de SCD.

Aunque la carga de estas ventanas ralentice el rendimiento de la aplicación durante el inicio, el rendimiento en tiempo de ejecución de la aplicación será mucho más rápido. Esta técnica puede hacer que la duración del inicio del programa sea algo prolongada, razón por la que el despliegue de la *Ventana Splash* durante la carga constituya una buena idea para mostrar información acerca del programa y del autor a la vez que se indica a los usuarios que alguna acción está teniendo lugar (precarga en memoria de ventanas - barra de progreso).

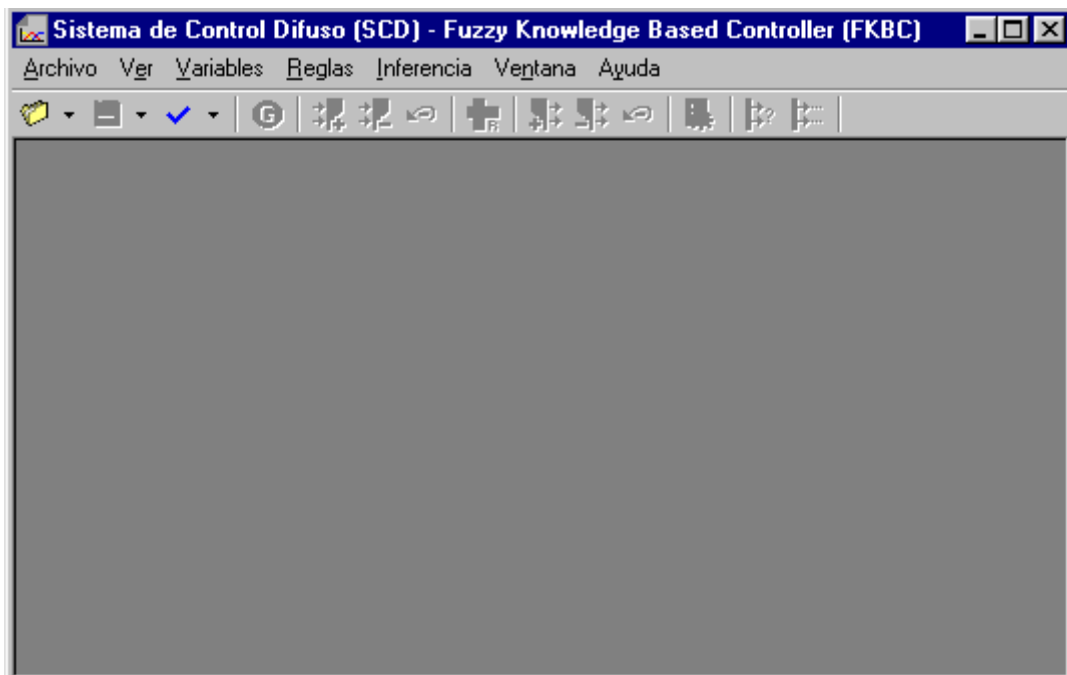


Figura 3.2: Ventana principal de SCD.

Una vez ejecutada la ventana de precarga se visualizará la ventana principal del programa (Figura 3.2) que estará siempre cargada, mientras no nos salgamos del programa y puede ser maximizada, minimizada y escalada a cualquier tamaño. Esta ventana consta de las siguientes partes:

- **Barra de menú:** Es un menú de opciones desplegadas. Todas las opciones son accesibles a través de ratón, aunque también pueden usarse a través del teclado. Para acceder a esta barra usando el teclado se puede pulsar la tecla F10 o la tecla Alt. Para desplegar una opción concreta hay que pulsar la tecla Alt y sin soltarla, pulsar la letra que está subrayada dentro de la palabra de cada opción. Cada una de las opciones de estos menús se explicará más adelante.
- **Barra de botones:** Es un conjunto de botones con iconos en su interior que están situados bajo la barra de menú y permiten el acceso rápido a algunas de las opciones más usuales. Estas opciones también pueden ejecutarse a través de la barra de menú. Situando el ratón sobre cada botón aparece un breve comentario sobre su utilidad.

3.4 Las opciones de SCD

A continuación se va a dar un breve recorrido sobre las distintas opciones que hay dentro de cada menú desplegable en la barra de menú de la ventana principal.

3.4.1 Menú Archivo (File)

Al desplegar el primer menú de la barra, nos aparecerán las opciones típicas de este tipo de menús junto a otras opciones características de esta aplicación:

- **Nuevo, Ctrl- N (New):** Crea un nuevo sistema de control. Previamente se cerrará el anterior sistema que hubiese cargado. El nuevo sistema se generará sin variables de entrada o salida y sin reglas. Esta opción está accesible por medio del primer botón desplegable de la barra de botones.
- **Abrir..., Ctrl- O (Open):** Carga un sistema que ya existe en el disco; para ello se visualiza un cuadro de diálogo de selección del fichero a abrir en donde el usuario seleccionará aquellos ficheros de extensión .SCD o .BAK si se trata de copias de seguridad. Esta opción está disponible también a través del primer botón desplegable de la barra de botones.

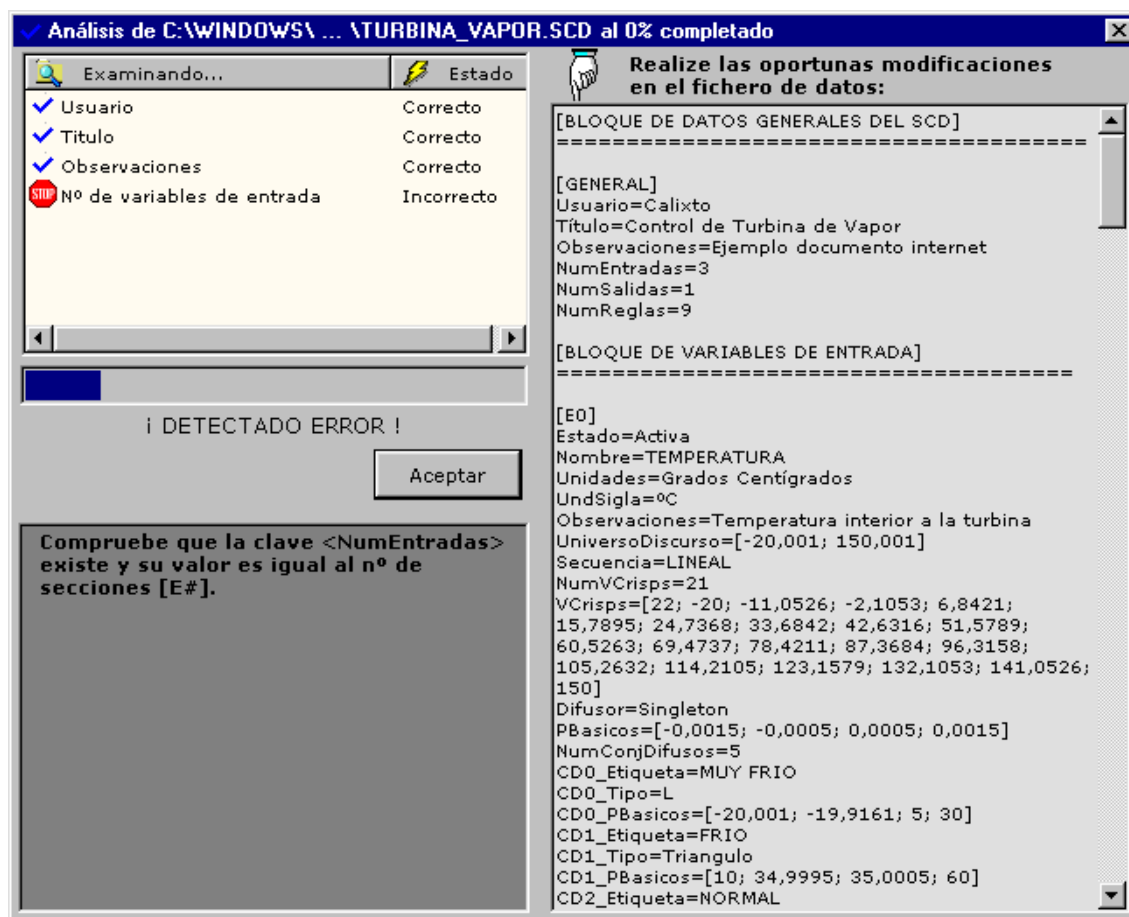


Figura 3.3: Detección de error en el Análisis.

- Analizar** (Analyze): El proceso de análisis tiene como objetivo chequear o comprobar la coherencia estructural y de contenidos sobre un fichero de datos. La acción de análisis podrá ser realizada sobre el sistema actualmente cargado (si hay uno cargado) o bien sobre uno existente en el disco. Esta opción está disponible también a través del tercer botón desplegable de la barra de botones. Al abrir cualquier fichero de datos el sistema de forma automática realiza el proceso de análisis durante el proceso de carga; en caso de encontrar errores la ventana de análisis (Figura 3.3) se visualizará indicando al usuario la posible causa del problema en la parte inferior izquierda. El recuadro derecho de la ventana contendrá el contenido del fichero de forma que el usuario podrá realizar las oportunas modificaciones que le permitan cargar el sistema. En el caso de que el usuario realice el análisis del fichero y en éste no se encuentre ningún problema la ventana de análisis tendrá el aspecto de la Figura 3.4.
- Opciones...** (Options): Visualiza la ventana de configuraciones generales de la aplicación que permitirán al usuario establecer opciones que se mantendrán almacenadas en el fichero de registro de inicialización de la aplicación SCD.INI. Dos son los apartados a tratar desde el punto de vista de las opciones y son:

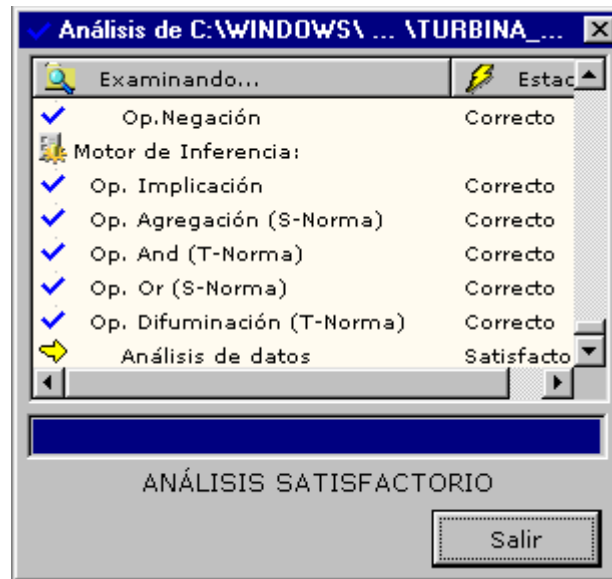


Figura 3.4: Análisis sin problemas en Ventana de Análisis.

- Pestaña de Gestión de la Memoria: Aquí el usuario podrá establecer el valor máximo del número de ventanas de variables de entrada y salida (Figura 3.5) que permita carga de forma simultánea en la aplicación *MDI*. El objetivo de poder establecer estos valores límites es el de evitar el consumo excesivo de la memoria por la aplicación. Una vez establecidos dicho valores en el caso de ser sobrepasados el usuario será advertido y se procederá a la eliminación de la primera ventana cargada de forma que nunca se sobrepase estos valores límite.

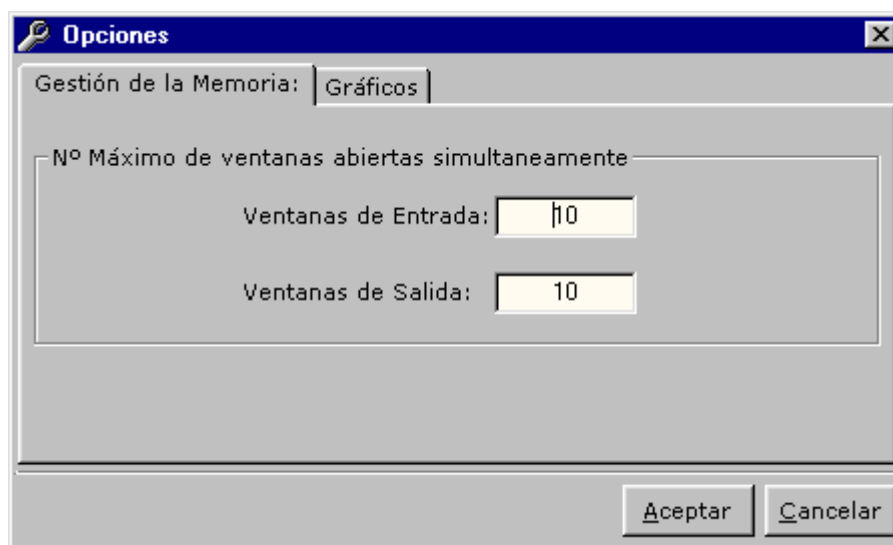


Figura 3.5: Ventana de Opciones – Gestión de la Memoria.



Figura 3.6: Ventana de Opciones – Gráficos.

- Pestaña Gráficos: En la representación de las funciones de pertenencia que componen a las distintas variables del sistema se utilizan métodos gráficos para la visualización de las mismas. Estos controles gráficos pueden ser modificables respecto a la *cuadrícula* que queramos ver y para ello el usuario podrá, a través de esta ventana (Figura 3.6) modificar el *nº de divisiones verticales y horizontales* junto a una previsualización por medio del botón aplicar.
- **Guardar**, Ctrl – S (Save): Almacena el sistema de control actualmente cargado, con el nombre y ubicación que tuviera. Esta opción está disponible a través del segundo botón de la barra de botones.
- **Guardar como...**, Ctrl – G (Save as): Guarda el sistema actual pidiendo antes una ubicación y nombre para el mismo. La extensión es .SCD (Sistema Control Difuso). Esta opción está disponible a través del segundo botón de la barra de botones.
- **Cerrar** (Close): Por medio de ésta acción el sistema guarda (a petición del usuario a través de un cuadro de diálogo) el fichero que actualmente haya cargado y queda en espera de una nueva acción: abrir, analizar, salir...
- **Salir** (Quit): Provoca la salida de la aplicación SCD.

3.4.2 Menú **V**er (View)

El menú ver va a permitir al usuario visualizar en todo momento que lo necesite un conjunto de ventanas de frecuente uso a la hora de desarrollar un sistema de control difuso. Sus opciones son:

- **Ventana General...**, F7 (General Window): Visualiza, la ventana general de forma que el usuario podrá acceder a toda la información referente al sistema actualmente cargado. Esta opción está disponible a través del cuarto botón de la barra de botones, y se explica en el apartado 3.5.
- **Ventana de Reglas...**, F8 (Rules Window): Muestra de forma centrada la ventana la información referente a la base de conocimiento del sistema o conjunto de reglas. Esta opción está disponible a través del octavo botón de la barra de botones, y se explica en el apartado 3.8.

3.4.3 Menú **V**ariables (Variables)

Por medio del menú variables el usuario va a poder realizar las operaciones de adición, eliminación y restauración sobre variables de entrada y salida del sistema, estas opciones son:

- **Nueva variable de entrada...**, F2 (New input variable): Inicia la acción de adición de una nueva variable de entrada al sistema visualizando la ventana de nueva variable de entrada. Esta opción está disponible a través del quinto botón de la barra de botones. Véase apartado 3.6.1.
- **Eliminar variable de entrada...**, Ctrl - F2 (Remove input variable): Ejecuta el proceso de eliminación de alguna de las variables de entrada actuales del sistema de control cargado. Esta opción está disponible a través del sexto botón de la barra de botones. Véase apartado 3.6.2.
- **Deshacer eliminación última variable de entrada...**, Mayús - F2 (Undo last removing input variable): Inicia el proceso de restauración de la última variable de entrada eliminada por el usuario. Esta opción está disponible a través del séptimo botón de la barra de botones. Véase apartado 3.6.2.
- **Nueva variable de salida...**, F3 (New output variable): Inicia la acción de adición de una nueva variable de salida al sistema visualizando la ventana de nueva variable de salida. Esta opción está disponible a través del noveno botón de la barra de botones. Véase apartado 3.7.1.

- **Eliminar variable de salida...**, Ctrl - F3 (Remove output variable): Ejecuta el proceso de eliminación de alguna de las variables de salida actuales del sistema de control cargado. Esta opción está disponible a través del décimo botón de la barra de botones. Véase apartado 3.7.2.
- **Deshacer eliminación última variable de salida...**, Mayús - F3 (Undo last removing output variable): Inicia el proceso de restauración de la última variable de salida eliminada por el usuario. Esta opción está disponible a través del undécimo botón de la barra de botones. Véase apartado 3.7.2.

3.4.4 Menú Reglas (Rules)

A través del menú de Reglas se podrán realizar las operaciones de adición, eliminación, restauración y organización de reglas en el sistema que esté desarrollando:

- **Nueva Regla...**, F4 (New Rule): Inicializa el proceso de adición de una nueva regla a la Base de Conocimiento a través de las ventanas de construcción de antecedente y consecuente. Esta opción está disponible a través del primer botón de la barra de botones de la ventana de reglas. Véase apartado 3.8.1.
- **Eliminar Regla...**, Ctrl. - F4 (Remove Rule): Ejecuta el proceso de eliminación de reglas de la Base de Conocimiento del sistema actualmente cargado. Esta opción está disponible a través del segundo botón de la barra de botones de la ventana de reglas; a través de la barra de botones de la ventana de reglas se procederá a eliminar la regla que haya seleccionada en ese momento. Véase apartado 3.8.2.
- **Deshacer eliminación última regla...**, Mayús - F4 (Undo last removing rule): Inicializa el proceso de recuperación de la última regla eliminada en el sistema. Esta opción está disponible a través del tercer botón de la barra de botones de la ventana de reglas. Véase apartado 3.8.3.
- **Organizador de Reglas...**, (Rules Organizer): Va a permitir al usuario establecer el orden de almacenamiento del conjunto de reglas en la base de conocimiento. Esta opción está disponible a través del cuarto botón de la barra de botones de la ventana de reglas. Véase apartado 3.8.4.

3.4.5 Menú Inferencia (Infer)

Este es el menú más importante de la aplicación y es donde se encuentran las operaciones que se pueden efectuar sobre el SCD (Sistema de Control Difuso).

- **Calcular variables de salida...**, F5 (Compute output variables): Inicia el proceso de cálculo de los valores de salida en función del establecimiento de los valores concretos para cada variable de entrada al sistema, es decir, el sistema de control difuso procesa la información de entrada en un instante de tiempo (estado) y devuelve los valores de salida o acción de control. Véase apartado 3.15.
- **Calcular secuencia de datos de salida...**, F6 (Calculate outputs variable date sequence): Inicia el proceso anteriormente comentado en *cálculo de variables de salida* pero sobre una secuencia de instantes de tiempo o estados de forma que el usuario podrá establecer secuencias sobre las variables de entrada y obtener la respuesta del sistema de control (secuencia de valores de salida). Véase apartado 3.16.
- **(1) Paso a paso [Comparación]...**, Ctrl.- M (Step by step Comparation): Ilustra el primer paso de cálculo del controlador difuso en su proceso de obtención de la acción de control. En ésta fase el usuario selecciona la variable de entrada y el valor concreto con el que se quiere evaluar. Véase apartado 3.10.1.
- **(2) Paso a paso [Activación Reglas (And/Or)]...**, Ctrl.- R (Step by step Rules activate (And/Or)): Ilustra el segundo paso de cálculo del sistema de control difuso. Muestra las operaciones que se realizan en el tratamiento de los antecedentes que conforman la Base de Conocimiento y como ésta información es agrupada por los operadores *and/or* para ser entregada al siguiente paso de cálculo del controlador. Véase apartado 3.10.2.
- **(3) Paso a paso [Implicación]...**, Ctrl.- I (Step by step Implication): Muestra la fase de cálculo en la que la información del paso anterior se procesa sobre las variables de salida del sistema a través del operador de implicación. Véase apartado 3.10.3.
- **(4) Paso a paso [Agregación]...**, Ctrl.- A (Step by step Adding): Ilustra la penúltima fase de cálculo del controlador en donde el operador de agregación opera sobre la información obtenida de la fase de implicación. El usuario podrá ver los datos referente a la variable de salida que seleccione en ese momento. Véase apartado 3.10.4.

- **(5) Paso a paso [Concreción]...**, Ctrl.- C (Step by step Defuzzification): En esta última fase del proceso de inferencia del sistema de control difuso la información obtenida del paso anterior es trasladada a valores concretos mostrándose toda la información respecto de la variable de salida que en ese momento haya seleccionada. Véase apartado 3.10.5.
- **Opciones de Inferencia...**, F9 (Infer options): Va a permitir al usuario seleccionar los tipos de operadores implicados en el proceso de inferencia del sistema de control difuso. Se visualizarán las opciones permitidas junto a las características de cada una de ellas. Véase apartado 3.9.

3.4.6 Menú Ventana (Window)

El menú Ventana es típico de muchos programas. Es útil para visualizar y organizar el conjunto de ventanas cargadas dentro de la ventana principal como una aplicación MDI *Multi-Interface-Document*, dichas opciones son:

- **Mosaico horizontal** (Horizontal mosaic): Va a permitir organizar la posición de las ventanas contenidas en el formulario principal de forma que cada una de ella ocupe la totalidad del espacio horizontal de la ventana principal.
- **Mosaico vertical** (Vertical mosaic): Va a permitir organizar la posición de las ventanas contenidas en el formulario principal de forma que cada una de ella ocupe la totalidad del espacio vertical de la ventana principal.
- **Organizar iconos** (Organize icons): Permite al usuario reubicar de forma organizada la posición de aquellas ventanas minimizadas iconos.

3.4.7 Menú Ayuda (Help)

En el menú de Ayuda la opción implementada es:

- **Acerca de...** (About...): Muestra la información básica de SCD (versión, requisitos básicos...), tal y como se observa en la Figura 3.7. Además si se pulsa el botón *Información...* se ejecutará el programa de *Información del Sistema de Microsoft* (Figura 3.8) el cual mostrará las características del sistema en el que se esté ejecutando la aplicación.



Figura 3.7: Ventana Acerca de SCD – FKBC.

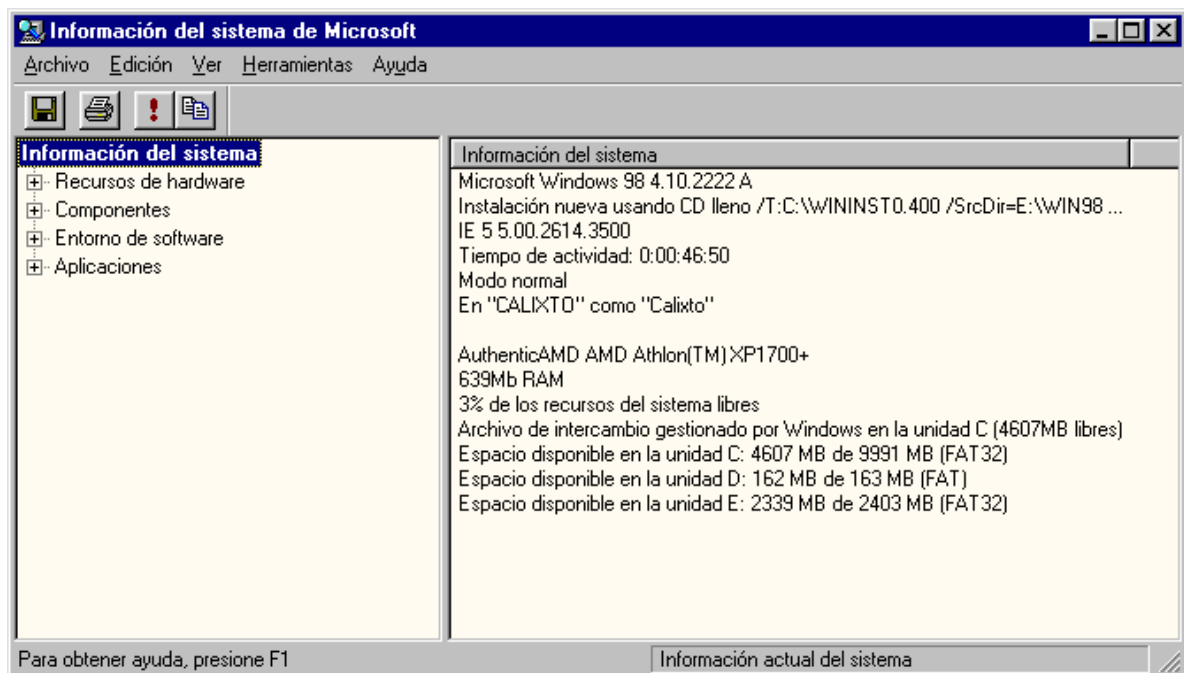


Figura 3.8: Ventana de Información del sistema de Microsoft.

3.5 La Ventana General

Esta ventana (Figura 3.9) se compone de una serie de controles que engloban la información *general* del fichero que actualmente esté cargado, se trata de una ventana de *acceso rápido* a la información referente tanto a variables de entrada, salida, reglas y demás elementos que componen la estructura de un sistema de control difuso. La ventana tiene 3 partes:

- o Superior: A través de una estructura en árbol se organiza la información del sistema de control actualmente cargado según los siguientes elementos:

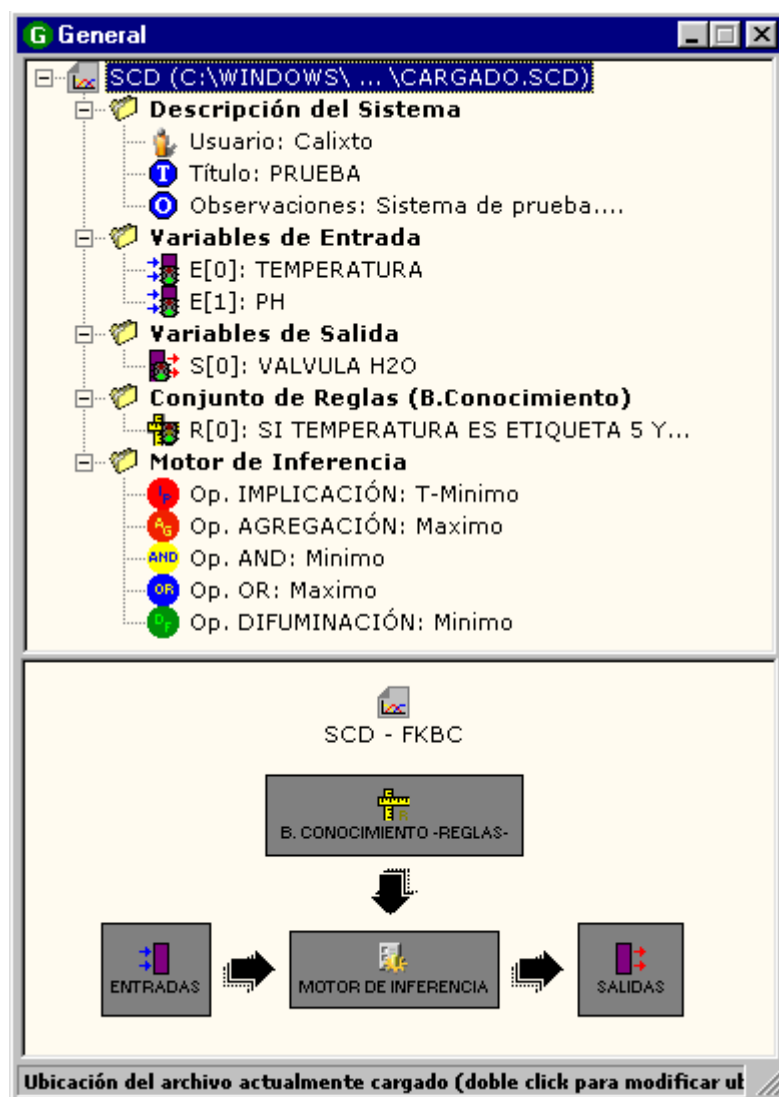


Figura 3.9: Ventana General de SCD-FKBC.

- **SCD (/.../...)** : Es el nodo primario del árbol e indica la ubicación del sistema actualmente cargado. Doble clic sobre el mismo inicia el proceso de la opción Guardar como... del menú Archivo.
- **Descripción del Sistema:** Contiene como nodos hijos el campo *Usuario*, *Título* y *Observaciones* del actual sistema cargado. Doble clic sobre alguno de estos nodos visualiza la ventana descripción del sistema (Figura 3.10) que permite modificar dichos campos.

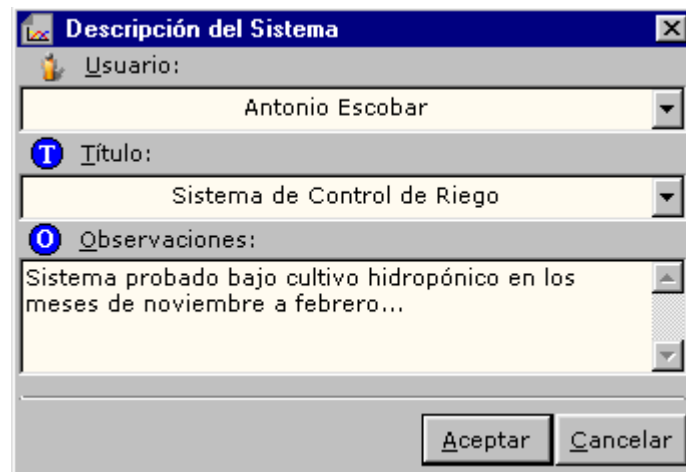


Figura 3.10: Ventana de Descripción del Sistema.

- **Variables de Entrada:** Contiene el conjunto de variables de entrada del sistema actualmente cargado, como puede observarse en la (Figura 3.9) cada variable es un nodo hijo a éste visualizándose a través del icono representativo de variable de entrada (semáforo verde: variable activa, semáforo rojo: variable pasiva). Simple clic sobre alguno de los nodos de entrada provocará la visualización en la parte inferior del tipo de difuminador y conjuntos difusos que posee (Figura 3.11). Doble clic sobre alguna variable de entrada desplegará la ventana correspondiente de esa variable.
- **Variables de Salida:** De igual forma a la descrita con las variables de entrada sucede con las variables de salida al sistema. Así, ante el evento clic y doble clic se acontecen los hechos comentados para variables de entrada, excepto que no es representado el elemento difuminador dado que sólo es característico de las variables de entrada.

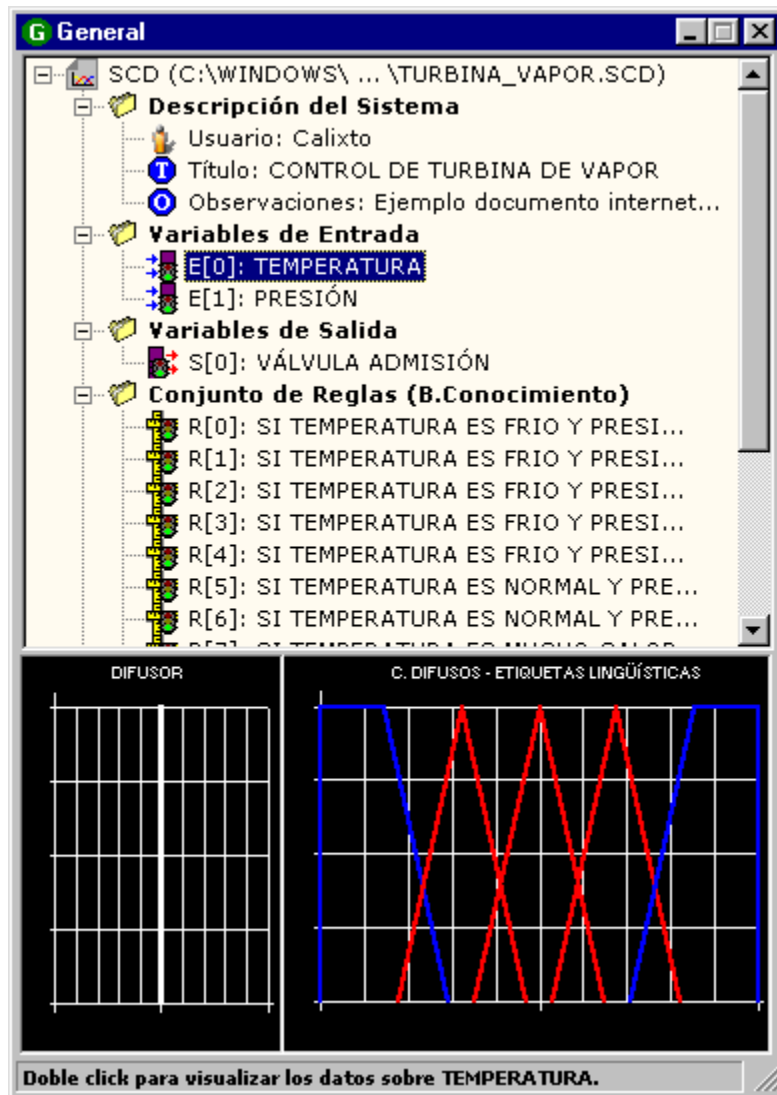


Figura 3.11: Ventana General de SCD al seleccionar una variable de entrada.

- **Conjunto de Reglas (Base de Conocimiento):** Muestra a través de nodos la expresión de cada regla en la base de conocimiento del sistema junto al indicador de estado (activo-verde, semiactivo-amarillo y pasivo-rojo). Tras la selección de alguna de las reglas por medio de un clic se visualiza en la parte inferior de forma descompuesta los términos que forman el antecedente y consecuente de la presente regla seleccionada (Figura 3.12). Si se produce doble clic se carga la ventana de *Reglas – Base de Conocimiento*, siendo esa regla la que se cargue por defecto. Véase apartado 3.8.
- **Motor de Inferencia:** Describe a través de cinco nodos los operadores utilizados en el proceso de inferencia difusa del controlador indicando para cada uno el tipo actualmente seleccionado. Doble clic en alguno de ellos provoca la aparición de la

ventana de *Opciones de Inferencia* que le permitirá modificar dichos parámetros. Véase apartado 3.9.

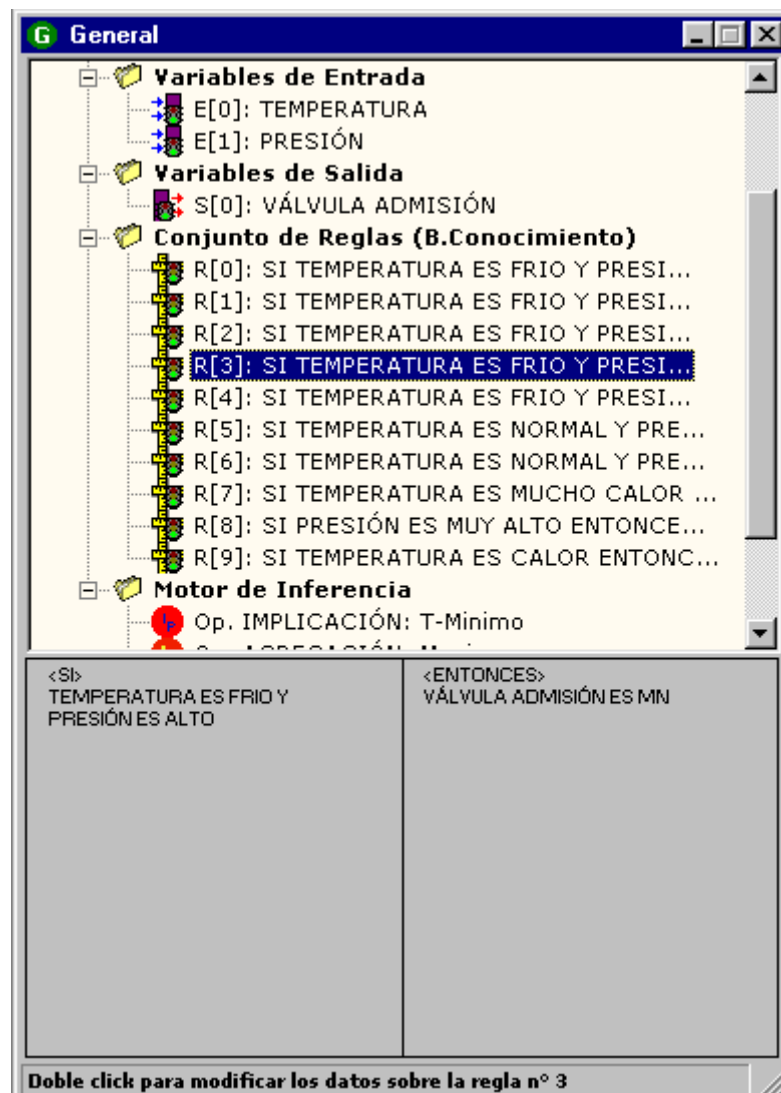


Figura 3.12: Ventana General mostrando los términos de la regla seleccionada.

- o Inferior: Por defecto, mientras no se seleccione una variable o regla, se visualizará el esquema general de flujo de un sistema de control difuso debajo del control árbol (Figura 3.9).
- o Barra de estado: Por último la barra de estado informará al usuario del significado del nodo que actualmente tenga seleccionado.

3.6 La Ventana de Variable de Entrada [n-ésima]

Las características de cada variable de entrada estarán contenidas en una ventana de Entrada, es decir, cada vez que el usuario realice doble clic sobre algún icono de variable de entrada se visualizará su correspondiente ventana de entrada (Figura 3.13), que mostrará al usuario de forma rápida e intuitiva todas las características que definen a una variable lingüística de entrada.

A través del esquema con formato árbol se describen todos los elementos que definen a la variable de entrada. Al seleccionar cualquiera de los nodos se mostrará información adicional en la barra de estado situada en la parte inferior de la ventana.

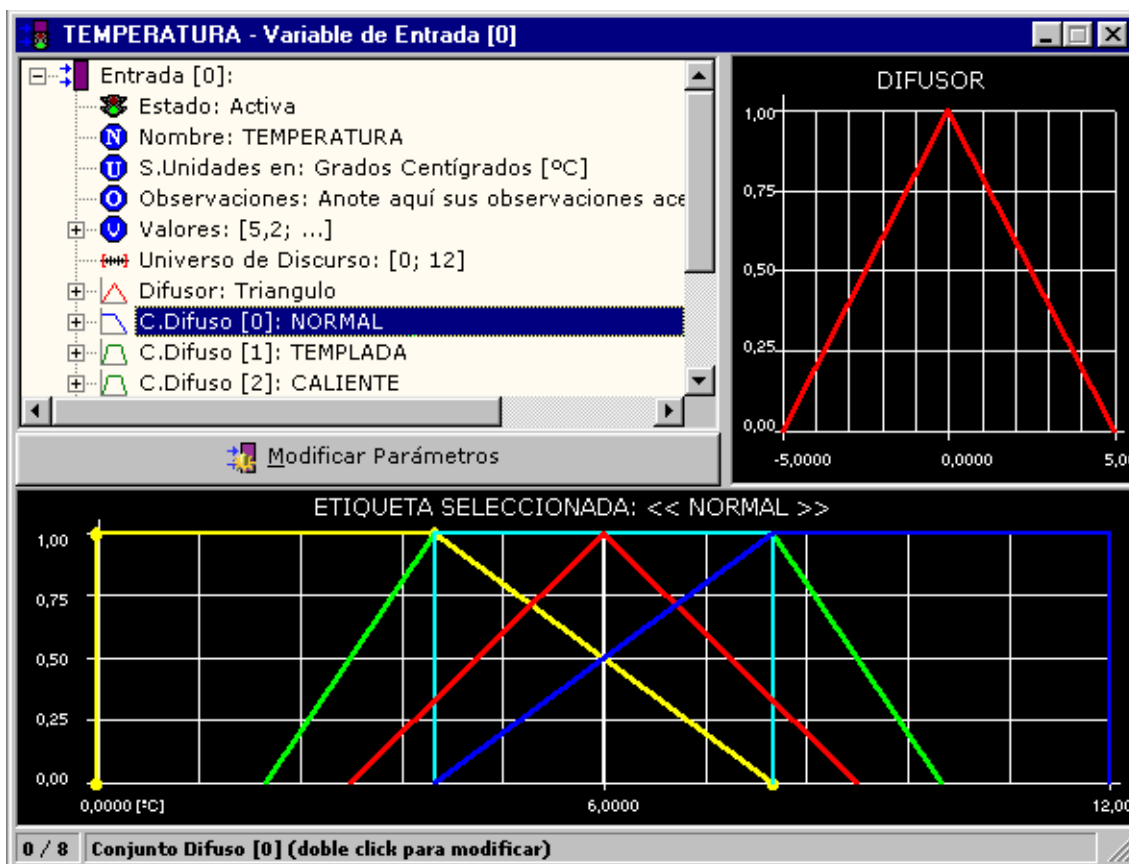


Figura 3.13: Ventana de Variable de Entrada [n-ésima].


Al seleccionar el nodo difuminador el gráfico que lo representa (parte superior derecha de la ventana) quedará resaltado por líneas color amarillo y puntos indicadores de los parámetros que definen al difuminador. Si expande el nodo difuminador comprobará que existen dos o tres nodos hijos los cuales indican el tipo, lista de parámetros básicos y extendidos en caso de ser trapecio extendido.

Con respecto a las etiquetas lingüísticas habrá tantos nodos secundarios como número de etiquetas indicando cada una de ellas su posición en el vector de etiquetas y su nombre. De igual forma que al difuminador, al ser seleccionada una etiqueta ésta quedará resaltada por el color amarillo y los puntos que la definen junto al texto: *ETIQUETA SELECCIONADA: << ... >>* en el gráfico de la parte inferior que representa todas las etiquetas disponibles de esa variable. Como puede observarse en la Figura 3.13 el gráfico de etiquetas muestra el valor mínimo, medio y máximo del universo de discurso junto a la sigla que define el sistema de unidades utilizado en el eje de abcisas; en el eje de ordenadas se representa el grado de pertenencia o verdad que posee la función asociada a cada etiqueta.

La barra de estado además de aportar información adicional acerca del nodo seleccionado indica en todo momento a la izquierda la variable de entrada que representa junto a la cantidad de variables de entrada en el sistema (variable actual / número variables).

Con doble clic en cualquier parámetro de la variable, o bien usando el botón *Modificar Parámetros*, se accederá a la ventana de modificación correspondiente que posteriormente se comentará en el apartado 3.6.3.

3.6.1 Nueva Variable de Entrada

A través de la barra de menú (Variables → Nueva Variable de Entrada...) o por medio de la barra de botones con icono asociado  se accede a la Ventana de Nueva Variable de Entrada (Figura 3.14).

Lo primero es determinar el nombre que se quiere asociar a la correspondiente variable (en caso de que existiese será avisado para que proceda a introducir un nombre distinto a los ya existentes).

Una vez establecido el nombre, el usuario podrá optar bien por generar una variable *vacía* (opción por defecto), es decir, la nueva variable no contendrá ningún conjunto difuso o etiquetas lingüísticas; y deberá posteriormente, a través de la *Ventana para Modificar los Parámetros de una Variable de Entrada* (sección 3.6.2) añadir los conjuntos difusos que desee sobre un *Universo de Discurso* $[-1, 1]$. Además el *Tipo de Difuminador* será en esta opción de la clase *Singleton*.

La otra opción será la de hacer *Semejante* la nueva variable a una ya existente en el sistema y para ello se indica a través de una lista seleccionable que visualizará las actualmente existentes junto al difuminador, tipo y número de etiquetas de las que dispone. Por medio de esta opción el usuario va a poder desarrollar de forma rápida un conjunto de variables tomando como patrones algunas variables ya diseñadas para posteriormente

realizar las modificaciones concretas a cada variable. Se trata pues de una herramienta más con el objetivo de facilitar el diseño de un sistema de control basado en lógica difusa.

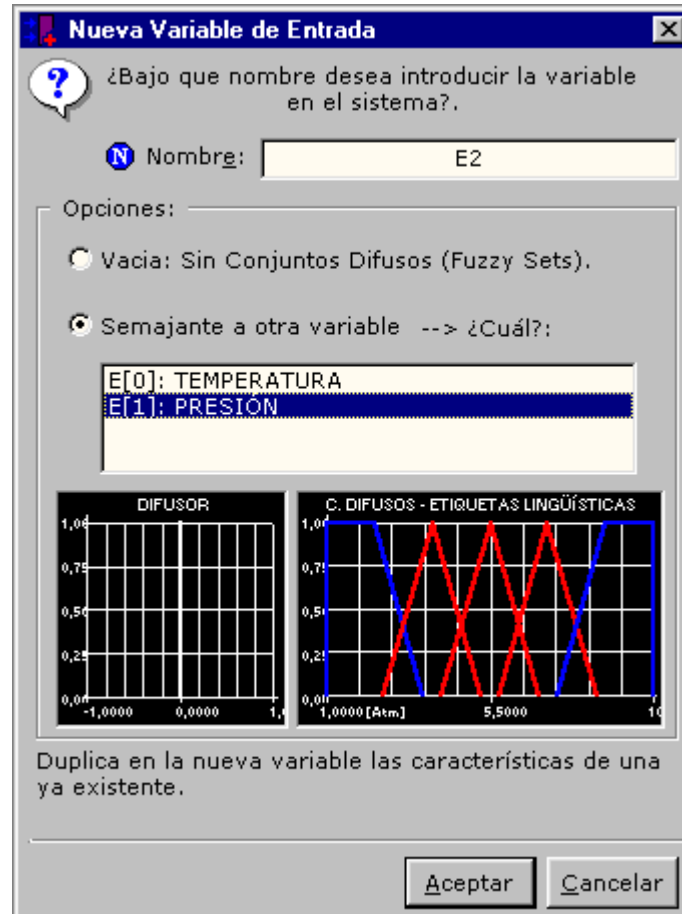


Figura 3.14: Ventana de Nueva Variable de Entrada.

3.6.2 Eliminar/Deshacer Última Eliminación de Variable de Entrada

A través de las ventanas de eliminación (Figura 3.15) y recuperación de la última variable de entrada eliminada, el usuario va a poder gestionar el dimensionado del sistema con respecto al número de variables.

La ventana de eliminación despliega un listado con las variables de entrada en el sistema y se advierte al usuario que la eliminación de la variable conlleva la pérdida de las referencias que dicha variable tenga en la base de conocimiento aunque esta sea posteriormente recuperada.

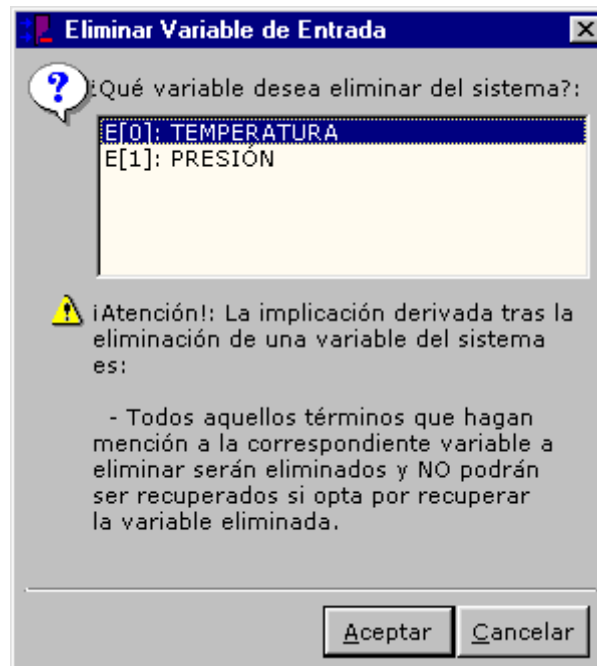


Figura 3.15: Ventana de eliminación de variable de entrada.

La recuperación de la última variable eliminada tomará la última posición dentro del vector de variable de entrada E[#].

3.6.3 Ventana para Modificar los Parámetros de una Variable de Entrada

Al realizar doble clic sobre cualquiera de las características descritas a través del control árbol de nodos en la *Ventana de Entrada* comentado anteriormente o sobre el botón *Modificar Parámetros* de dicha ventana se visualizará la *Ventana Modificadora de Parámetros de Entrada* (Figura 3.16) cuya finalidad es la de permitir al usuario modificar los parámetros que caracterizan una variable de entrada.

Los parámetros que caracterizan a una variable de entrada pueden ser clasificados en tres grupos y para ello la aplicación los agrupa de forma que cada pestaña contiene los siguientes parámetros:

- ❑ Pestaña GENERAL: Como puede observarse en la Figura 3.16 y se agrupan una serie de parámetros *generales* de la variable que el usuario podrá modificar según sus necesidades y a continuación se describen.

Modificador de Parámetros - E[0]: TEMPERATURA

General: Difuminador: Conjuntos Difusos:

N Nombre: TEMPERATURA

O Observaciones: Temperatura interior a la turbina

U S.Unidades: Expresión: Grados Centígrados Sigla: °C

E Estado: ☒ Activa ☐ Inactiva

V Valores: Valor actual: 55,98 Secuencia actual: LINEAL Secuencia...

U Universo de Discurso: Ante variaciones del U.Discurso: ☐ Fijar Conjuntos Difusos ☒ Mover Conjuntos Difusos (mantiene la proporcionalidad) MIN: -20 MÁX: 150

Aceptar


Figura 3.16: Ventana Modificador Parámetros de Entrada – Pestaña General.

- N Nombre (Name):** Contiene el nombre que asigna el usuario a la variable. Para evitar repeticiones la aplicación evita la repetición de nombres entre variables, por eso en caso de ya existir el nombre en otra variable le será indicado al usuario. En el caso de modificarse el nombre de la variable cuando existan reglas en la base de conocimiento que hagan mención a la misma, estas referencias serán actualizadas al nuevo nombre de la variable.
- U Sistema de Unidades (Unites System):** Como puede observarse en la Figura 3.16 a la hora de establecer el *Sistema de Unidades* de la variable, la aplicación permite modificar dos campos denominados *Expresión* y *Sigla*. La *Expresión* contendrá el sistema de unidades utilizado y el campo *Sigla* almacena la abreviatura utilizada para dicho sistema de unidades.
- O Observaciones (Observations):** Permite almacenar cualquier comentario u observación que crea oportuna el usuario sobre dicha variable.
- V Valores (Values):** Permite establecer el valor actual o crisp de la variable en el campo *valor actual* y además establecer una secuencia de valores de entrada a través de la ventana de *Secuencia de datos de entrada* (Figura 3.17) la cual va a permitir al usuario generar distintos tipos de secuencias de valores (aleatorias, lineales...) y al mismo tiempo modificar los valores y



Figura3.17: Ventana de Secuencia de datos de entrada.

crear de forma personalizada la secuencia designándole un *nombre* identificativo a la secuencia.

 **Estado (State):** Dos son los posibles estados de una variable, por medio de este selector se podrá optar por uno u otro; los estados posibles son:

- *Estado ACTIVO:* Estado por el cual la variable es considerada en el proceso de inferencia. Todo término que haga mención sobre dicha variable poseerá este mismo estado. El cambio de estado sobre una variable, ya sea para activarla o desactivarla, traerá consigo cambios significativos sobre aquellas reglas de la base de conocimiento que hagan mención de dicha variable. Dicho estado será identificable en las distintas partes de la aplicación que visualicen dicha entrada a través del estado “verde” del semáforo del icono asociado.
- *Estado PASIVO:* Indicará que la variable no está siendo considerada en el proceso de inferencia. Todas aquellas reglas que hagan mención de a dicha variable poseerán el estado semi-activo o pasivo (véase apartado 3.8). Por medio del estado “rojo” del icono asociado quedará representado este estado de cada variable.

✚ **Universo de Discurso (*Values Domain*):** A través de este parámetro se establece el rango de valores permitidos sobre la variable $[MIN, MAX] \in \mathcal{R}$; valores que podrán modificarse de forma directa o aumentando / disminuyendo el valor actual. Cuando sobre la variable existen ya definidos una serie de conjuntos difusos a través de la que posteriormente se comentará pestaña conjuntos difusos y se produce una variación del actual universo discurso o dominio, varias consecuencias pueden ocasionarse en función de la variación producida sobre el universo discurso y el tipo de conjuntos difusos existentes sobre dicha variable. Dichas situaciones son descritas al usuario a través de una ventana de advertencia (Figura 3.18) denominada *Implicaciones sobre los conjuntos difusos en la variación del universo discurso*. Dos son las opciones que establece la aplicación para actuar ante dicha situación:

- *FIJAR Conjuntos Difusos:* En esta situación la ubicación de cada conjunto difuso sobre el universo discurso queda fijado, es decir, que aún produciéndose la variación en el universo discurso los conjuntos difusos no variarán la ubicación de sus puntos de definición; tan sólo se producirá una ampliación sobre aquellos conjuntos difusos de tipo L o Gamma que por definición tienen como puntos de referencia el mínimo y máximo del universo discurso respectivamente. De esta forma todo conjunto difuso que tras la modificación del universo discurso quede fuera del mismo será previamente consultado al usuario para la elección de eliminación.
- *MOVER Conjuntos Difusos (Opción Predeterminada):* Con esta opción, ante las variaciones del universo discurso los puntos que definan los conjuntos difusos se verán modificados manteniendo la proporcionalidad inicial. En los conjuntos difusos de tipo L o Gamma, si la variación no provoca que la función de pertenencia sea cortada por la parte central o inclinada dicho conjunto difuso será mantenido viéndose aumentada o disminuida su parte superior (su núcleo).

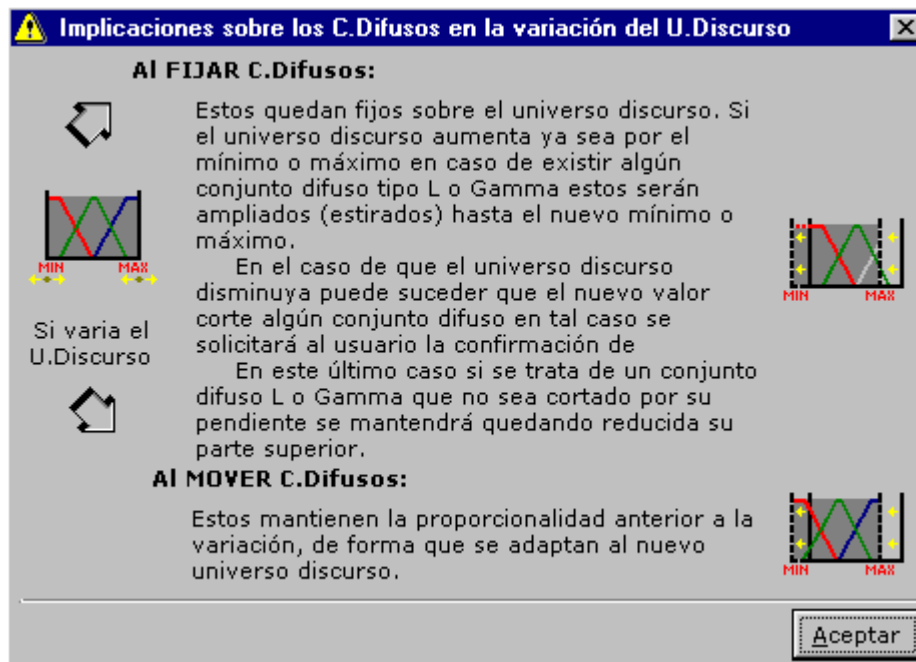


Figura 3.18: Ventana de Advertencia – Implicaciones sobre los Conjuntos difusos en la variación del Universo discurso.

- Pestaña DIFUMINADOR: En este bloque se agrupan las características que definirán el *Tipo de Difusor* para la variable de entrada seleccionada (véase Figura 3.19). El tipo de difusor quedará definido según los siguientes cuatro conceptos:

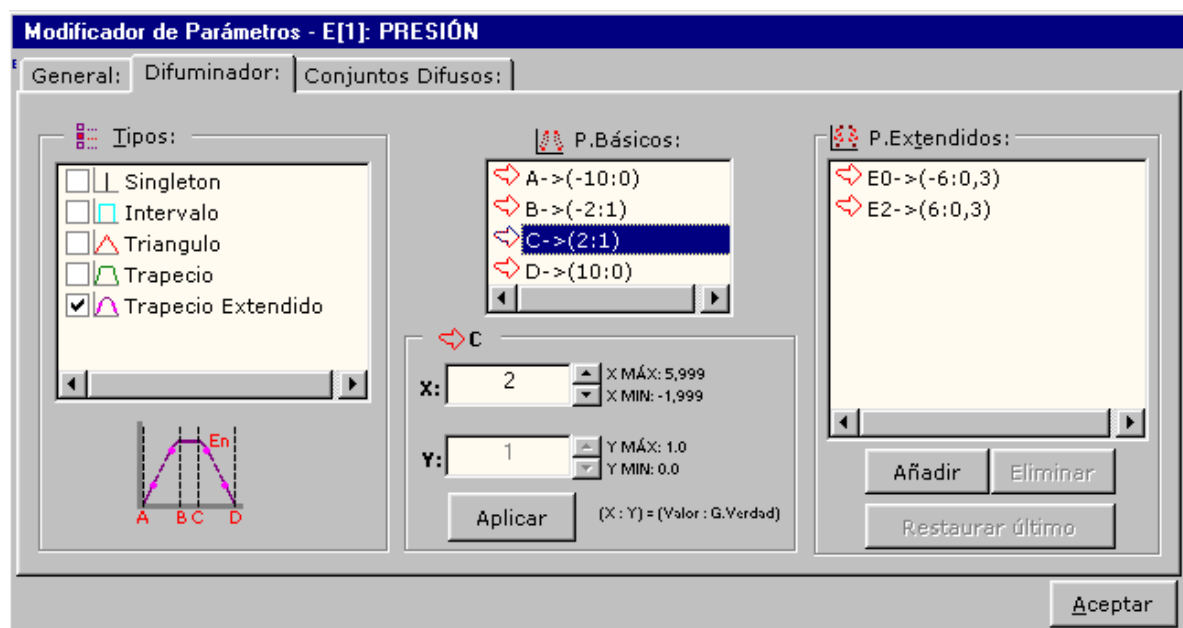




Figura 3.19: Ventana Modificador Parámetros de Entrada – Pestaña Difuminador.

 **Tipos de Difusores (*Types of Fuzzy Sets*):** A través de un listado el usuario podrá seleccionar *uno* de los distintos tipos de conjuntos difusos expuestos; partiendo desde el más elemental *Singleton* hasta *Trapezio Extendido* que le permitirá expresar cualquier forma lineal a trozos. No se encuentran los tipos de conjuntos difusos *L* o *Gamma* pues por definición estos parten en los límites del universo discurso para el mínimo y máximo respectivamente y el difusor en su función de difuminación (fuzzificación) de la información concreta recibida se posiciona en cada momento sobre el valor concreto medido en ese instante de forma simétrica al mismo con lo cual el difusor no se escala sobre el universo de la variable de entrada sino que éste en un momento dado se refleja sobre el mismo según el valor concreto. Los puntos que definen al conjunto difuso interpretado como Difusor toman valores con respecto al punto de referencia, definido por:

$$\text{Pto}_{\text{Ref}} = \frac{B + C}{2}$$

 **Puntos Básicos (*Basic Points*):** Son un máximo de cuatro puntos (A, B, C, y D), según el tipo de conjunto difuso seleccionado la cantidad disminuirá y así p.ej. *Singleton* – A; *Intervalo* – A, B; *Triángulo* – A, B, C; *Trapezio* – A, B, C, D. Los *límites entre puntos* quedan establecidos según un valor mínimo (0.001 no configurable) y la relación con respecto a la coordenada X:

$$\text{MIN. U. DISCURSO} < X_A < X_B < X_C < X_D < \text{MAX. U. DISCURSO}$$

Y con respecto a la coordenada Y se cumple las siguientes relaciones:

$$Y_A = Y_D = 0.0 \quad \text{y} \quad Y_B = Y_C = 1.0$$

Como puede observarse la coordenada Y con respecto a los Puntos Básicos están *fijos*, es decir, el usuario no podrá modificar sus grados de pertenencia (necesario para mantener los criterios de definición del conjunto difuso). La aplicación establece estos criterios a la hora de modificar uno de estos cuatro puntos y deberá confirmar la variación del valor por pulsación del botón *Aplicar* mientras que los valores no estén dentro del rango permitido el botón de confirmación no estará habilitado.

En la Figura 3.19 puede verse un trapezio en la parte inferior, en la que se marcan los puntos A, B, C y D.



Puntos Extendidos (*Extensive Points*): Para salvar la posible limitación en la construcción de Conjuntos difusos se introduce el Trapecio Extendido el cual va a permitir al usuario generar Conjuntos difusos según sus necesidades y para ello aparecen los denominados *Puntos Extendidos*. Dichos puntos se diferencian de los Puntos Básicos en que es posible modificar sus coordenadas Y dentro del intervalo $[0,1]$, de forma que podrán existir puntos que indiquen grados de verdad intermedios. Esto permite expresar conjuntos difusos *no convexos*, a Trapecio Extendidos (Puntos Extendidos), lo cual conlleva libertad en la especificación de Conjuntos difusos según necesidades del usuario.

La *separación entre puntos extendidos y básicos* quedan establecidos según un valor mínimo (0.001 no configurable) y las siguientes relaciones con respecto a la coordenada X e Y:

$$\text{MIN. U. D.} < X_A < X_{E_1} < \dots < X_{E_N} < X_B < X_C < X_{E_{N+1}} < \dots < X_{E_M} < X_D < \text{MAX. U. D.}$$

$$Y_A = Y_D = 0.0 \quad \text{y} \quad Y_B = Y_C = 1.0 \quad \text{y} \quad Y_{E_1} \dots Y_{E_M} \in [0.0, 1.0]$$

Con respecto a de los Puntos Extendidos se realizar las siguientes operaciones:

- *Añadir:* Se podrán introducir a un Trapecio Extendido una cantidad ilimitada de Puntos Extendidos (tan sólo las limitaciones por gestión de memoria) y para ello se visualizará la ventana de *Nuevo Puntos Extendido* (Figura 3.20). A través de esta ventana el usuario sabrá en todo momento la situación de los restantes puntos y la posición que este nuevo punto adquirirá si es validado (botón Aceptar habilitado). A través de la opción de *Simétrico a* podrá generar un Punto Extendido de igual coordenada Y, y coordenada X tal que este quede posicionado en el intervalo opuesto al existente. En la parte inferior izquierda de la ventana se visualizará el motivo por el cual algún punto no sea válido, es decir, no cumpla las reglas de separación entre puntos comentada anteriormente.

Nuevo Punto Extendido

El Punto Extendido le va a permitir introducir un G.Verdad (altura del pto) en el dominio [0.0,1.0] en los n° reales.

E (8,2 : 0,4)

X entre [C,D]

X: 8,2

Y MÁX: 1.0

Y: 0,4

Y MIN: 0.0

(X : Y) = (Valor : G.Verdad)

Simétrico a:

<Ninguno>

A: 1
B: 4,6
C: 6,4
D: 10

Al tratarse de un P.Extendido, éste podrá tomar cualquier valor sobre el eje X del C.Difuso EXCEPTO en el rango [B,C], es decir cualquier valor entre (A,B) y (C,D).

El punto E(8,2:0,4) NO ES VÁLIDO pues su coordenada X: 8,2 supera su limitador máximo 8,199

Aceptar Cancelar

Figura 3.20: Ventana de Nuevo Punto Extendido.

- *Eliminar:* En todo momento se podrán eliminar Puntos Extendidos. Tras este proceso se reestructurará el C.Difuso de forma que una el punto precedente y el posterior al suprimido.
- *Restaurar último:* Con el objetivo de evitar posibles eliminaciones por equivocación se habilita esta opción en el momento que sea eliminado un P.Extendido; hay que mencionar que sólo restaurará el *último* punto eliminado.

Punto Seleccionado (Selected Point): Al seleccionar cualquier punto pinchando sobre él (ya sea un punto *P.Básicos* o *P.Extendidos*, si Tipo Difusor = Trapecio Extendido) aparecerá junto al icono de este apartado el identificador del mismo (A, B, C, D,..., En). Dicho punto queda definido por su posición con respecto al Universo discurso *Coordenada X* o *Valor* y con respecto al dominio [0,1] *Coordenada Y* o *Grado de Verdad*, (X: Y). Una vez seleccionado se visualizarán los límites con respecto al punto seleccionado.

- **Pestaña CONJUNTOS DIFUSOS:** A través de esta plantilla se va a mostrar toda la información respecto a las etiquetas de la correspondiente variable de entrada (véase Figura 3.21). En cada momento se visualizará la información de *uno* de las etiquetas que tenga dicha variable. Algunas de las características ya han sido

comentadas en el apartado *Difusor* como son: *Tipos*, *Punto Seleccionado*, *Punto Básicos* y *Puntos Extendidos* los cuales cumplen la misma funcionalidad pero con respecto a cada conjunto difuso seleccionado; a diferencia del bloque difusor se introducen las siguientes características sobre los conjuntos difusos:

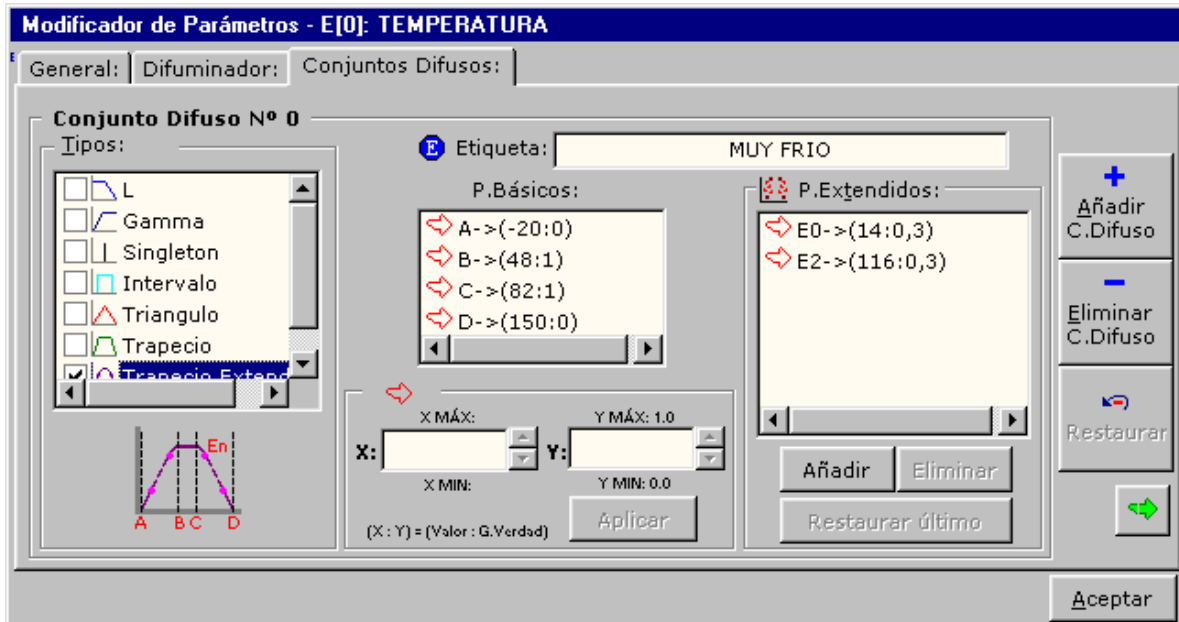


Figura 3.21: Ventana Modificador Parámetros de Entrada – Pestaña Conjuntos Difusos.

E Etiqueta (Label): Expresión utilizada para *identificar* a cada uno de los Conjuntos difusos que conforman el universo de la variable. Dichas *etiquetas* serán los identificadores que el usuario utilice para formar los términos que compondrán cada una de las reglas de la Base de Conocimiento. En caso de que el usuario repita etiquetas para distintos conjuntos difusos se visualizará un mensaje de advertencia en el que se le instará a que lo modifique por otro distinto.

+ Añadir C.Difuso (New Fuzzy Set): Sin limitaciones algunas, tan sólo las acontecidas por gestión de la memoria se podrán insertar tantos Conjuntos difusos como así requiera el usuario. Dicho proceso conlleva la elección del *Tipo* y *Etiqueta* que desea establecer para el nuevo conjunto difuso y a tal efecto se visualizará la ventana de *Nuevo Conjunto Difuso* (Figura 3.22); como se comenta a través de esta ventana la ubicación del nuevo conjunto difuso será tal que este se encuentre ubicado de forma centrada al universo discurso de la variable para que posteriormente pueda ser modificada la ubicación del mismo por el usuario, usando la ventana de la Figura 3.21.

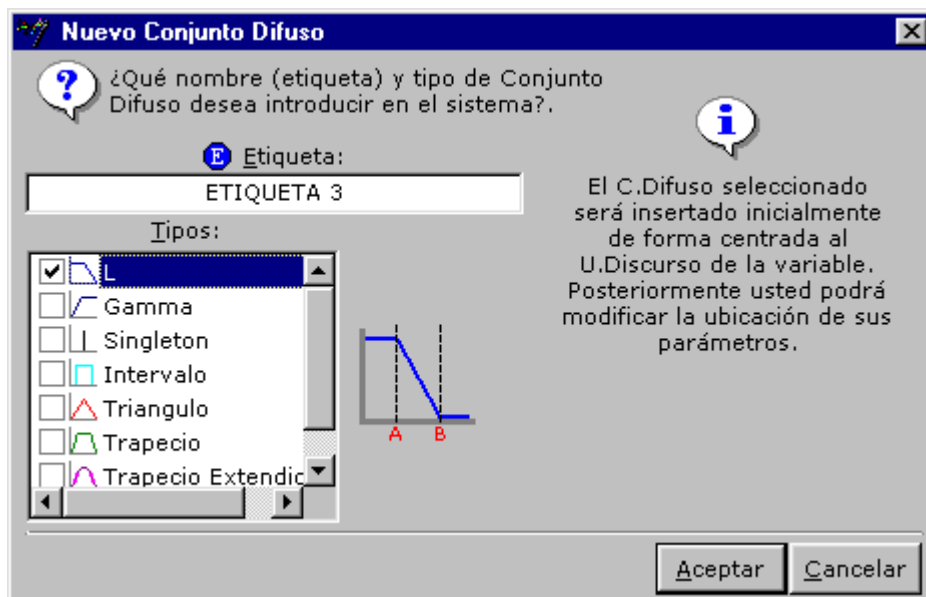


Figura 3.22: Ventana Nuevo Conjunto Difuso.

- **Eliminar Conjunto Difuso (*Remove Fuzzy Set*):** El proceso de eliminación de un conjunto difuso ya existente conlleva una serie de implicaciones las cuales serán visualizadas al usuario a través de una ventana de petición de confirmación de eliminación (Figura 3.23). Dicha eliminación provocaría que las referencias en la base de conocimiento sobre dicho conjunto difuso sean eliminadas, o lo que es lo mismo, todo *término* que contenga dicho conjunto difuso será eliminado de la regla (véase Figura 3.24) y no podrá ser recuperado aunque sí podrá recuperarse el conjunto difuso con la opción *Deshacer*.

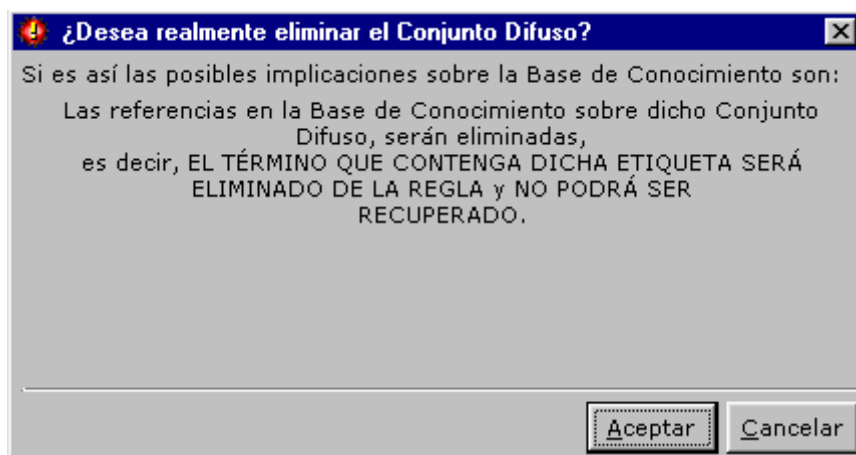



Figura 3.23: Ventana de confirmación para la Eliminación de un Conjunto Difuso.

 **Deshacer Eliminar Conjunto Difuso (*Undo Remove Fuzzy Set*):** A través de esta opción el usuario podrá restaurar el *último* conjunto difuso eliminado pero, como anteriormente se ha comentado, la recuperación del mismo sólo conlleva la obtención de los datos de dicho conjunto difuso y no de las referencias que anteriormente tuviese sobre la base de conocimiento, pues si así fuese éstas no podrán ser recuperadas.

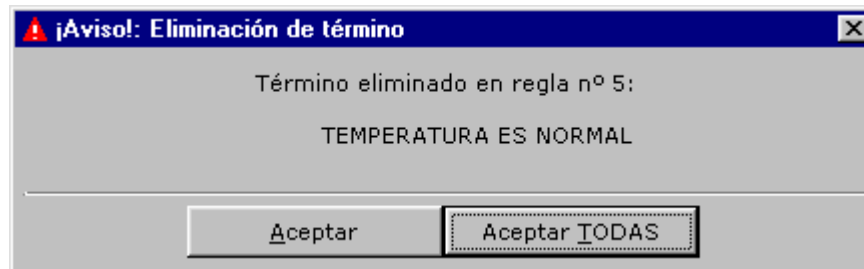



Figura 3.24: Ventana de Aviso de Eliminación de Término en Regla por consecuencia de eliminación de Conjunto Difuso sobre variable.

 **Anterior/Siguiente Conjunto Difuso (*Previous/Next*):** Va a permitir desplazarse a través de la colección de Conjuntos difusos disponibles para la variable y visualizar la información correspondiente a una de las etiquetas.

3.7 La Ventana de Variable de Salida [n-ésima]

Al igual que sucede con las variables de entrada al sistema, la aplicación ofrece al usuario una ventana propia para la visualización y tratamiento de las características de cada variable de salida del sistema de control difuso (Figura 3.25).

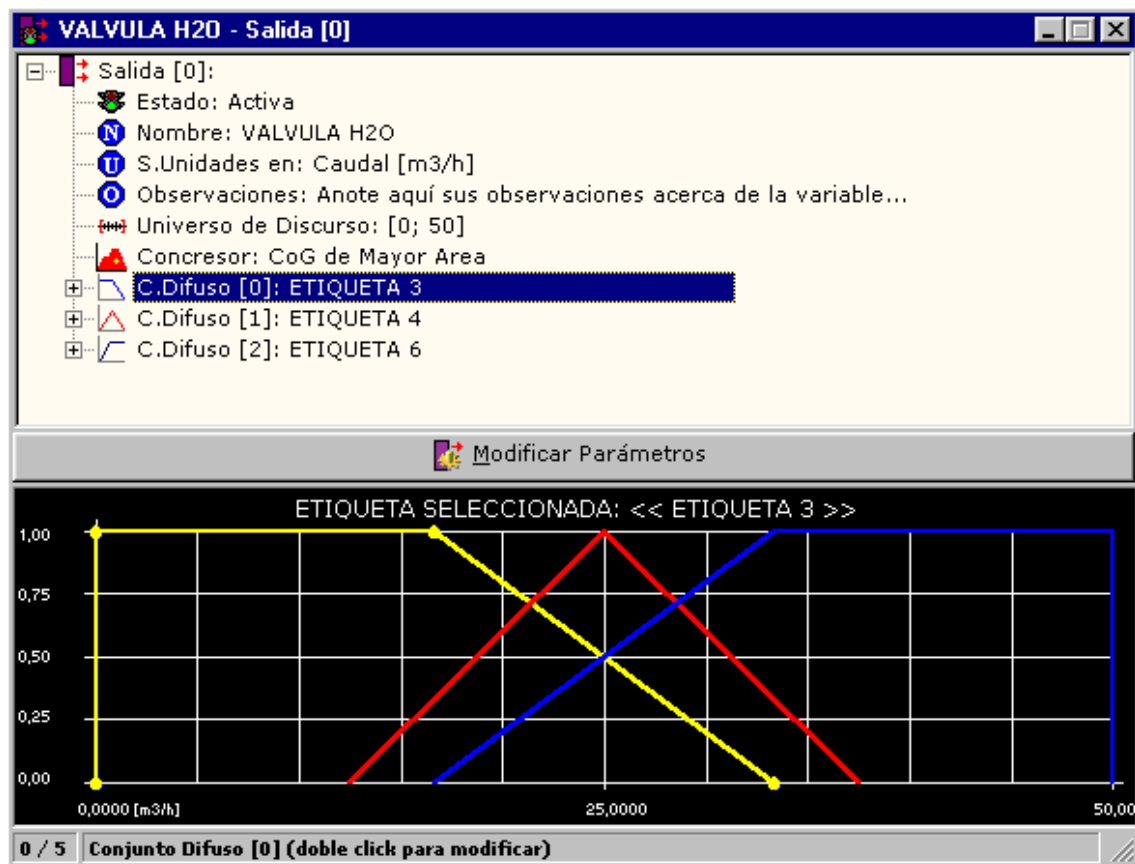



Figura 3.25: Ventana de Variable de Salida [n-ésima].

Las características de la ventana de variable de salida son las mismas a las descritas para la ventana de entrada. La disposición y modificación de las características son comunes a las expuestas para las variables de entrada; tan sólo se diferencian en los siguientes aspectos:

- ❑ No existe el nodo *valores* para la modificación de valor actual y generación de secuencia de valores pues dichos valores se considerarán como resultados del proceso de inferencia y serán obtenidos en posteriores ventanas destinadas a tal fin.
- ❑ Al tratarse de una variable de salida su característica principal es el *Concesor* o *Defuzzificador* a semejanza de la variable de entrada es el *Difusor*. El concesor

no tiene representación gráfica como el difusor por eso el control árbol aparece expandido ocupando toda la parte superior.

3.7.1 Nueva Variable de Salida

De igual forma a la comentada en la sección 3.6.1 a través de la barra de menú (Variables → Nueva Variable de Salida...) o o bien por medio de la barra de botones con icono asociado  se accede a la *Ventana de Nueva Variable de Salida* (Figura 3.26).

En la declaración de una nueva variable de salida se va a poder optar bien por establecer dicha variable de forma *vacía*, es decir, sin Conjunto Difusos y con *Concretor* del tipo: *Cdg* sobre un *Universo de Discurso* definido en $[-1, 1]$. En el caso de que opte por declarar la nueva variable *semejante* a una ya existente está pasará a tener las mismas características que la utilizada como patrón variando únicamente el nombre de la misma.

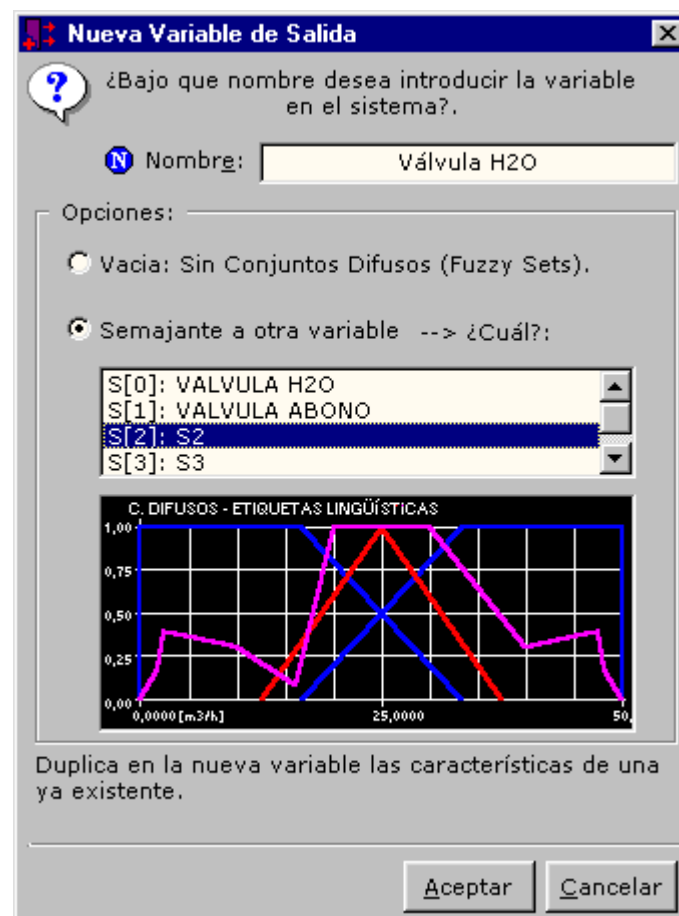


Figura 3.26: Ventana de Nueva Variable de Salida.

3.7.2 Eliminar/Deshacer Última Eliminación de Variable de Salida

El proceso de eliminación y recuperación de la última variable de salida discurre de la misma forma a la comentada en el caso de variables de entrada. De igual forma, tras la eliminación de una variable de salida del sistema, ésta podrá ser recuperada pero no las referencias de la misma que tuviese en la base de conocimiento.

3.7.3 Ventana para Modificar los Parámetros de una Variable de Salida

Al igual que en caso de una variable de entrada, cada variable de salida podrá ser modificada a través de la *Ventana Modificadora de Parámetros de Salida* (Figura 3.27) la cual posee prácticamente las mismas características que la ya mencionada de entrada. Es por ello que en este apartado tan sólo se va a mencionar la *Pestaña Concretor* dado que tanto la pestaña General como la de Conjuntos Difusos cumplen la misma funcionalidad a la ya descrita para las variables de entrada.

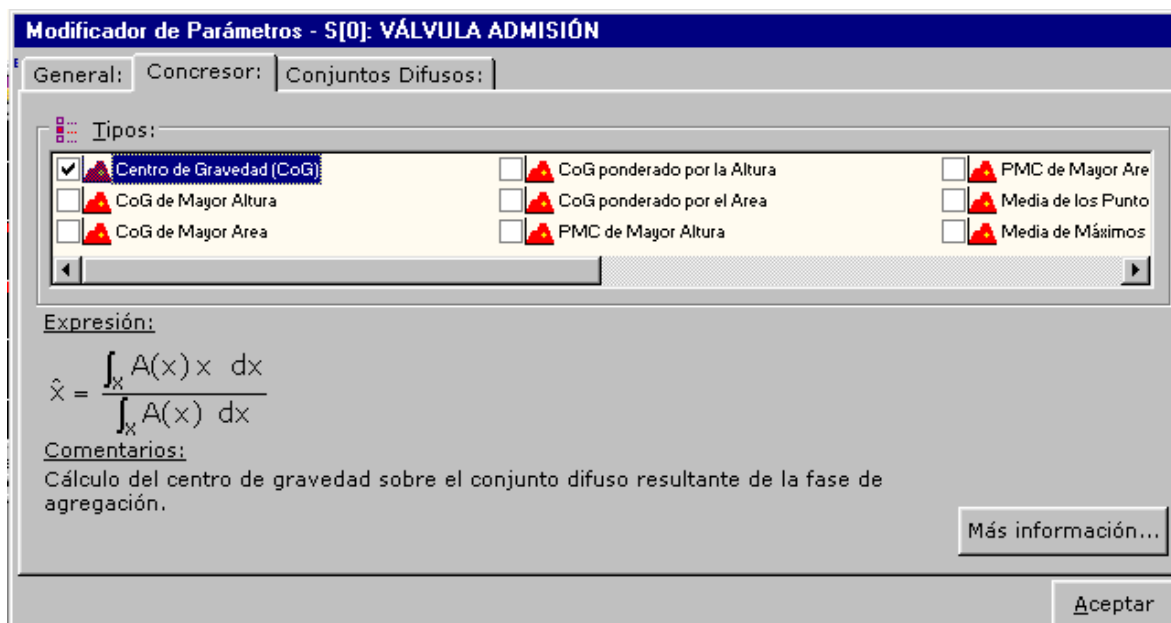


Figura 3.27: Ventana Modificador de Parámetros de una variable de Salida: Pestaña Concretor.

De igual forma, al realizar doble clic sobre cualquiera de las características descritas a través del árbol de nodos en la *Ventana de Salida [n-ésima]* o sobre el botón *Modificar Parámetros* se visualizará la ventana de modificación de parámetros (ventana de la Figura 3.25).

- Pestaña CONCRESOR: Como puede observarse en la Figura 3.27 a la hora de establecer el ConcreSOR para la variable de salida se ofrece al usuario a través de un control lista un conjunto de *Tipos* de concretos. Al seleccionar uno de ellos, haciendo clic sobre él, se mostrará en la parte inferior la *Expresión* del mismo junto al *Comentario* correspondiente tratando de definir de forma unívoca a cada uno de los tipos de concretos habilitados.

Dado que básicamente los métodos de concreción utilizan el conjunto difuso resultado del proceso de agregación $A(x)$, o bien los n conjuntos difusos $B_i(x)$ resultado del proceso de implicación sobre cada una de las etiquetas de cada salida se habilita el botón *Más Información* que muestra la ventana de donde se aclaran Figura 3.28, estos conceptos y que el usuario al ver la *expresión* o *comentario* de algún tipo de ConcreSOR sepa a que se refiere.

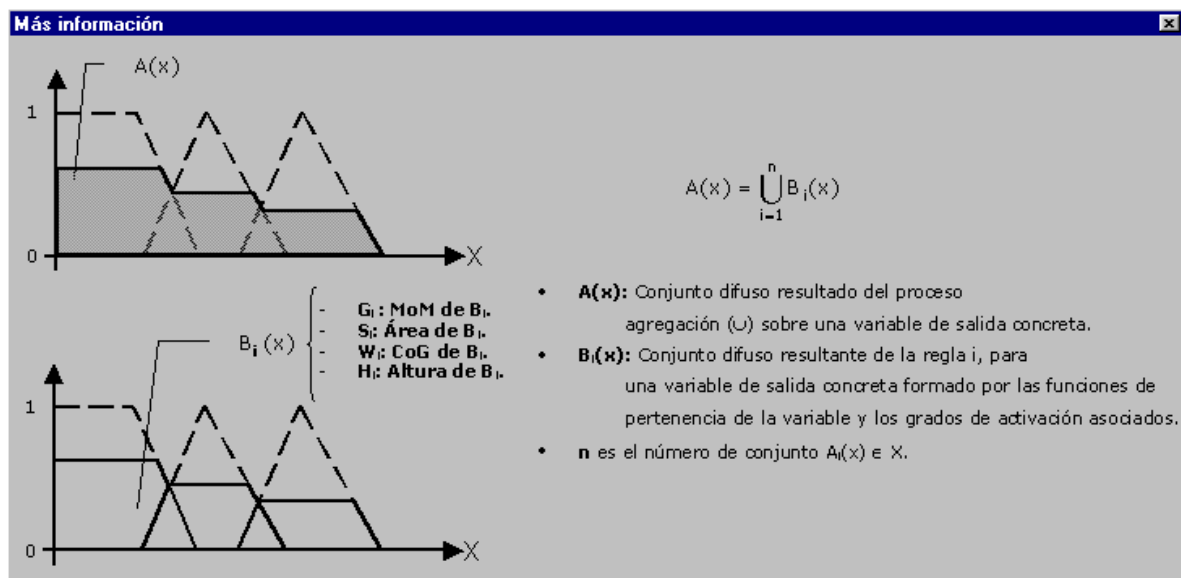


Figura 3.28: Ventana Más información de la ventana Modificador de Parámetros de una variable de salida.

3.8 La Ventana de Reglas

El bloque denominado *Base de Conocimiento* o *Conjunto de Reglas* del Sistema de Control Difuso es construido a través de la *Ventana de Reglas* mostrada en la siguiente Figura 3.29. Por medio de esta ventana el usuario va a poder generar y estructurar la Base de Conocimiento del Sistema.

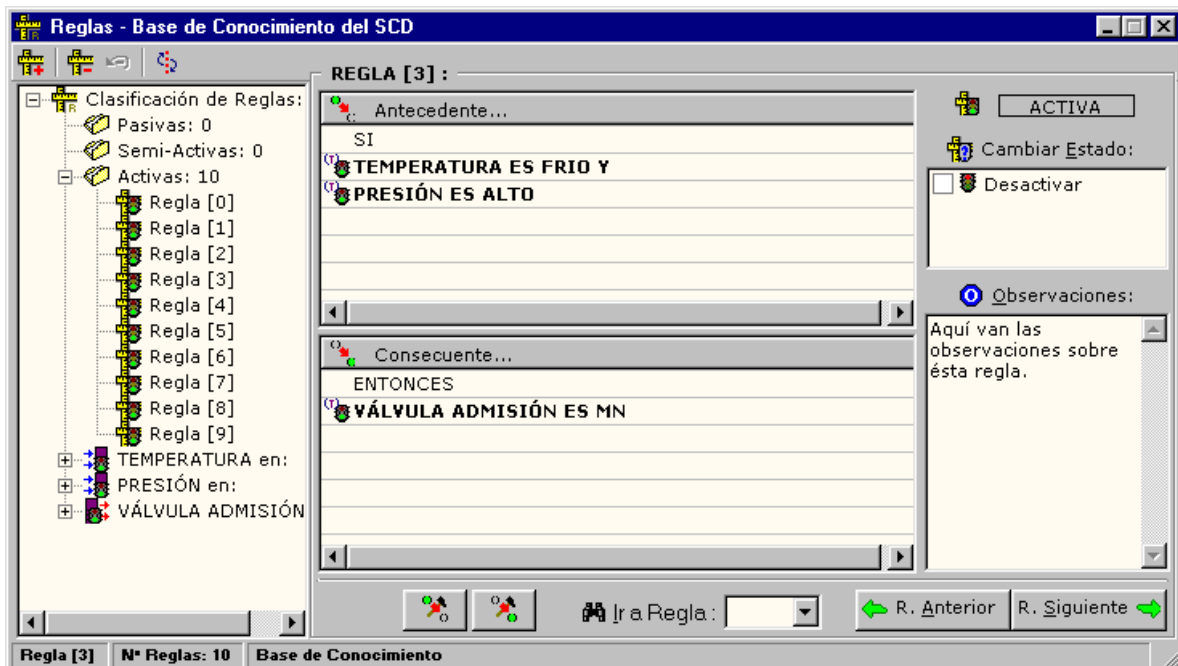


Figura 3.29: Ventana de Reglas.

En la parte superior se encuentra una barra de botones con cuatro opciones que le van a permitir *introducir una nueva regla* (apartado 3.8.1), *eliminar una regla* de la base de conocimiento (apartado 3.8.2), *deshacer eliminación de última regla suprimida* (apartado 3.8.3) y *organizar las reglas* de la base de conocimiento (apartado 3.8.4).

La parte central muestra toda la información acerca de la regla seleccionada en ese momento; para mostrar los datos de otra regla tan solo es necesario avanzar o retroceder en la base de conocimiento a través de los botones *R. Atrás* – *R. Siguiente*, o bien ir directamente a una regla por medio de la selección *Ir a Regla*, o bien seleccionando directamente la regla en cuestión de las distintas agrupaciones presentadas por el *Clasificador de Reglas* de la izquierda de la ventana.

En la parte superior derecha se indica uno de los tres estados posibles de la regla (activa / semi-activa / pasiva). Cada regla en función del estado actual que posea presentará la posibilidad de cambiar su estado.

En la parte inferior central se encuentran dos botones para la modificación del antecedente y consecuente de la regla que esté visualizada en ese momento (apartado 3.8.1).

En la parte inferior de la Ventana de Reglas (Figura 3.29), se encuentra ubicada la *barra de estado* la cual nos informa de la regla actualmente visualizada junto al número total de reglas existentes en la Base de Conocimiento y una breve descripción del tipo de clasificación seleccionada por el usuario cuando este resalta algún nodo de las distintas clasificaciones de reglas. Mencionar que para cada regla existe el campo *observaciones* el cual permite al usuario introducir anotaciones que le permitan una rápida distinción y aclaración de las mismas.

El clasificador de reglas agrupa las reglas según los siguientes criterios:

- ❑ Reglas Pasivas: Regla que no es tomada en cuenta en el proceso de inferencia, es decir, pertenece a la base de conocimiento del sistema pero durante los procesos de cálculo no será tomada en cuenta. El icono asociado a este tipo de reglas tendrá un semáforo en "rojo" como indicador de este estado.
 - *¿Cuándo una regla es PASIVA?* : Una regla es desactivada porque el usuario así lo requiere independientemente del estado de los términos que conforman dicha regla, o bien porque todos los términos del antecedente y/o todos los términos del consecuente están desactivados por que las correspondientes variables de entrada o salida que lo forman están desactivadas.
 - *ACTIVAR/SEMI-ACTIVAR regla pasiva*: Dos posibles estados son los que se pueden aplicar sobre una regla pasiva para que forme parte de la base de conocimiento del sistema. El cambio de estado ya sea a activo o semi-activo trae consigo una serie de implicaciones que son comentadas al usuario a través de la ventana *Activar o SemiActivar Regla* en Figura 3.30. Dicha ventana se visualizará en el momento que el usuario opte por cambiar el estado pasivo en una regla de la cual algunos de sus términos están desactivados por que hacen mención a variables inactivas.

El proceso de *ACTIVAR TODO* puede traer consigo sustanciales cambios sobre el sistema pues como se advierte en la anterior ventana provocaría que no sólo la variable/s de entrada y/o salida mencionadas cambiaran su estado. Si cambiarán estas podrían provocar que otras reglas de la base de conocimiento que contengan las anteriores variables de E/S se vean forzadas a cambiar su estado ante este proceso de variación de estado de la regla actual. La aplicación avisará en todo momento ante dichas

variaciones de estado en aquellas reglas que se vean implicadas a través de la ventana de *Aviso de Cambio de Estado en Regla* (Figura 3.31).

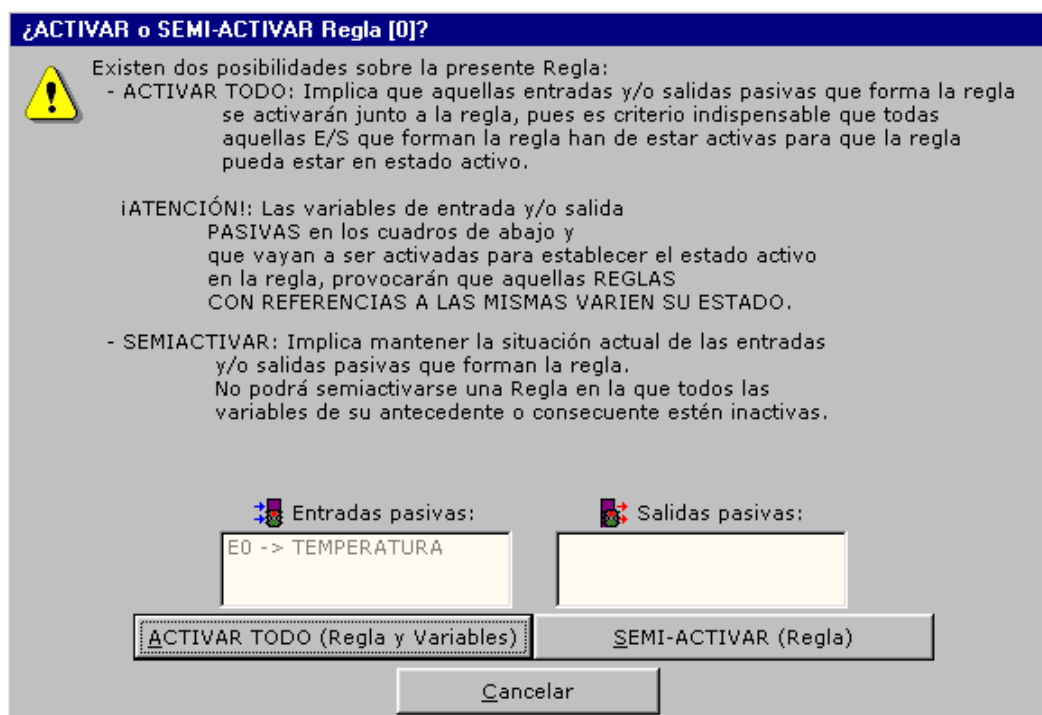


Figura 3.30: Ventana Activar o Semi-Activar Regla[n].

En esta ventana de aviso (Figura 3.31) el usuario puede optar entre *Aceptar* o *Aceptar TODAS*. La diferencia entre ambas opciones es que si tomamos como Ejemplo: Una Base de Conocimiento en donde n reglas fuesen afectadas por el proceso de activación anteriormente comentado, esto provocaría que si el usuario optase por *Aceptar*, dicho mensaje aparecerá n -veces; en pos de optimizar el proceso el botón *Aceptar TODAS* permite realizar el proceso de cambio de estado en las reglas afectadas sin que se muestre por cada regla cambiada la anterior ventana de aviso. Por lo menos aparecerá la primera vez para que el usuario opte por una u otra opción.

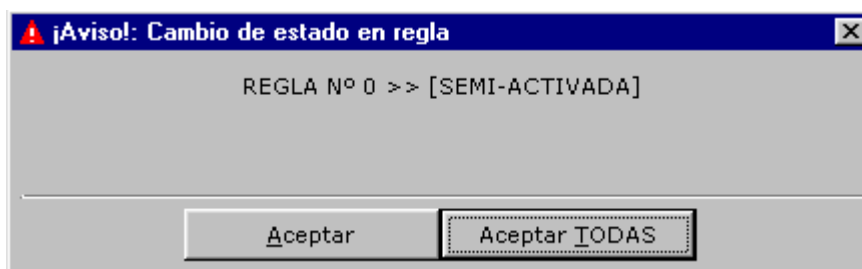


Figura 3.31: Aviso de cambio de estado en regla.

Cuando una regla cambia de estado es porque alguno o algunos de sus términos cambian de estado, pero ¿cuándo cambia el estado de un término?. La respuesta la da el estado de la variable de E/S que contenga dicho término. Por tanto, en el momento que se cambie el estado de dicha variable encadenará el cambio de estado en aquellos términos que hagan mención a la misma. Dicha situación será avisada a través de la ventana *Aviso de Cambio de Estado en Término* (Figura 3.32) y como se comentó anteriormente el usuario podrá optar por comprobar todos los cambios (botón *Aceptar*) o bien que todos los restantes al primero se realicen sin el mensaje de aviso (botón *Acepta TODAS*). Hay que comentar que tras un cambio de estado en alguno o algunos términos que conforman una regla se desencadenará un cambio de estado de la propia regla.

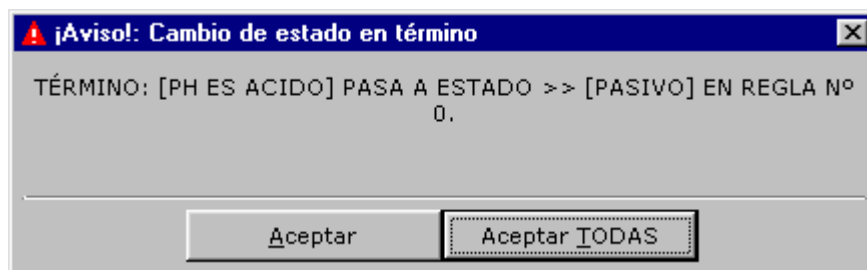


Figura 3.32: Aviso de cambio de estado en término en regla.

- ❑ Reglas Semi-Activas: Se considera que una regla está en este estado cuando algunos (no todos → r. pasiva) de los términos del antecedente y/o consecuente están desactivados porque algunas de las variables de E/S a las que hace mención están desactivadas. De forma visual el usuario la distinguirá de las restantes reglas por el icono asociado, el cual tendrá el estado “ambar-amarillo” del semáforo resaltado.

La aplicación tiene como *criterio de cambio de estado en una regla* el de que en el momento que exista al menos un término pasivo sobre una regla esta pase a estado semi-activo, y en el momento en el que todos los términos que forman el antecedente y/o consecuente de dicha regla pase a estado pasivo la regla.

- ❑ Reglas Activas: Son todas aquellas reglas en donde todos sus términos ya sean del antecedente o consecuente están activos, es decir, todas aquellas variables de E/S a las que hace mención dicha regla están activas. El usuario podrá distinguirlas porque su icono asociado tiene resaltado el estado “verde” del semáforo.

- El resto de clasificaciones realizadas en la Base de Conocimiento agrupa las reglas según la variable de E/S a las que hace mención. Gracias a esta agrupación el usuario podrá saber en todo momento qué reglas hacen mención a una determinada variable del sistema. Obsérvese en la Figura 3.29 la diferencia entre el icono de las variables de entrada y de salida (flecha entrante o saliente respectivamente).

Para el adecuado mantenimiento de la Base de Conocimiento la ventana de Reglas contiene una barra de botones con cuatro opciones que se analizan a continuación:

3.8.1 Nueva Regla

Esta opción está accesible a través del *menú Reglas* (F4) o bien por medio del primer botón de la barra de botones en la ventana de reglas. El proceso de adición de una nueva regla a la Base de Conocimiento conlleva la construcción del antecedente y consecuente de la regla. Para ello la aplicación procederá primero con la construcción del antecedente el cual tratamos a continuación.



Constructor del Antecedente (*Antecedent Builder*): La presente ventana (Figura 3.33) tiene como objetivo proporcionar al usuario los elementos disponibles para la construcción adecuada del antecedente de la regla seleccionada o en fase de creación. En la fase de creación de una nueva regla la aplicación solicitará primero a través del constructor de antecedente los términos de la nueva regla, una vez confirmado se ejecutará a continuación el constructor del consecuente para finalizar la declaración de la nueva regla. En cambio cuando de lo que se trata es de modificar el antecedente de una regla ya definida el constructor visualizará los términos ya existentes para que el usuario pueda modificarlos.

El constructor del antecedente lista a la izquierda las posibles entradas que hay en el sistema (*entradas disponibles*) y una vez que haya seleccionado una aparecerán a la derecha los posibles conjuntos difusos que dispone dicha entrada (*etiquetas disponibles*). A su vez, el usuario podrá establecer la negación del término en cuestión al seleccionar el operador *not* (parte inferior). Una vez formado el término este pasará a formar parte del antecedente en el momento que el usuario lo añada a través del botón >>. Se podrá realizar el proceso inverso, es decir, eliminar algún término ya existente del antecedente. Y para ello, el usuario deberá seleccionarlo en el recuadro de la derecha de la ventana y pulsar el botón <<. A medida que el usuario introduzca distintos términos el operador de concatenación entre los mismos podrá ser seleccionado: *and* u *or*. Cada vez que el usuario selecciona un término (variable y etiqueta) a introducir, el término queda reflejado en el recuadro inferior izquierdo de la ventana. Una vez construido el término se

podrá confirmar la modificación a través del botón *Aceptar* o cancelar las posibles modificaciones por medio del botón *Cancelar*.

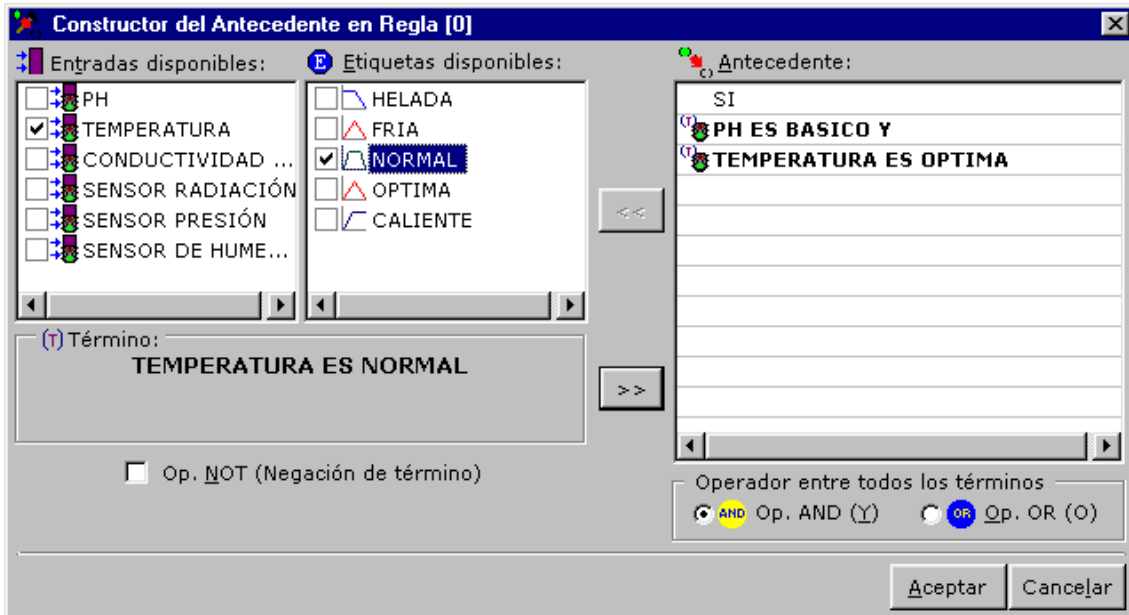



Figura 3.33: Ventana Constructora del Antecedente en Regla [n-ésima].

 **Constructor del Consecuente (*Consistent Builder*):** El proceso de construcción del consecuente discurre de igual forma a la indicada para el antecedente. La diferencia que puede apreciar el usuario (Figura 3.34) son:

- No existe la negación de término (operador NOT).
- La concatenación de términos siempre es a través del operador AND, dado que el significado de distintos términos en el consecuente de una regla es lo que se podría denominar como *Regla Compuesta*. Es decir, sería lo mismo expresar una regla compuesta:

$$R_j = \bigcup_{i=1}^n \text{ o } \bigcap_{i=1}^n A_i \Rightarrow \bigcup_{k=1}^m C_k \quad (3.1)$$

que varias reglas simples (con un solo término en el consecuente), las cuales tuvieran el mismo antecedente:

$$\bigcup_{k=1}^m R_{j_k}$$

(3.2)

donde R_j es la j -ésima regla de la Base de Conocimiento, A_i es el i -ésimo antecedente, C_k el k -ésimo consecuente de la R_j donde \bigcup e \bigcap son la unión e intersección respectivamente entre términos, R_{j_k} la j -ésima regla de la base de conocimiento con el C_k consecuente y \Rightarrow denota Implicación (Entonces). De forma más general dichos operadores OR y AND son expresados por t -normas o t -conormas respectivamente.

Véase con mayor claridad el concepto de *Regla Compuesta* con un ejemplo:

- $[R_j]$: SI T^a ES ALTA O PH ES BÁSICO ENTONCES VÁLVULA AGUA ES POCO Y VÁLVULA ÁCIDO ES MUCHO.
- $[R_{j1}]$: SI T^a ES ALTA O PH ES BÁSICO ENTONCES VÁLVULA AGUA ES POCO.
- $[R_{j2}]$: SI T^a ES ALTA O PH ES BÁSICO ENTONCES VÁLVULA ÁCIDO ES MUCHO.

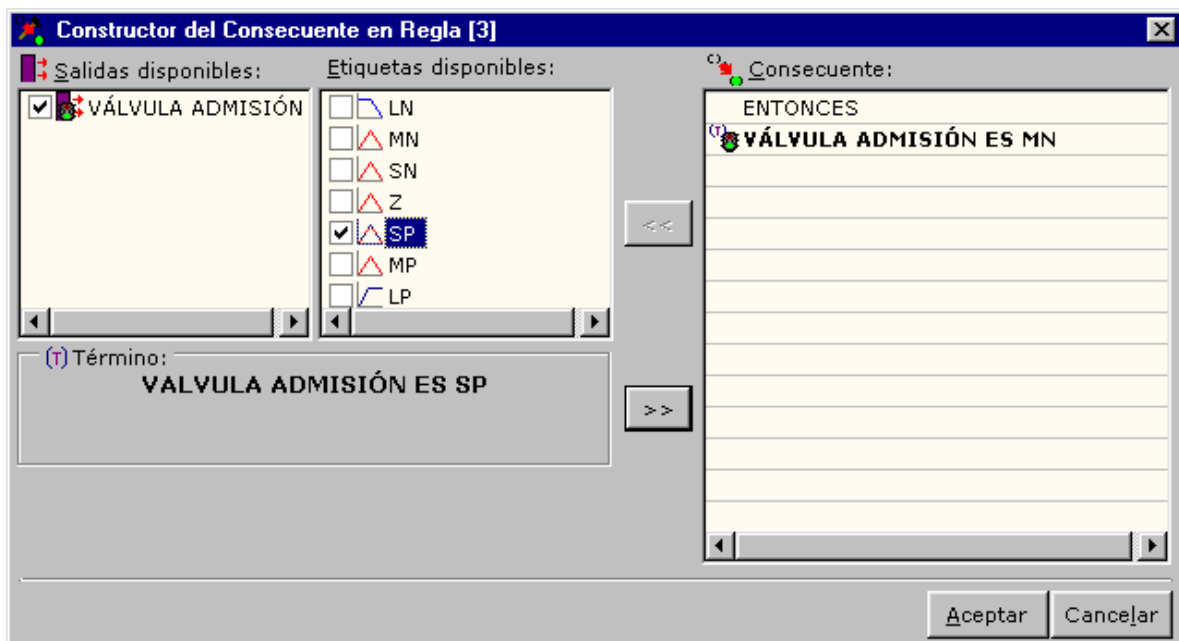


Figura 3.34: Ventana Constructora del Consecuente en Regla [n-ésima].

De esta forma la Base de Conocimiento podrá ser reducida en aquellas reglas que posean el mismo antecedente pero con distintos consecuentes por medio de la composición de reglas.

Hay que mencionar que en el proceso de adición de una nueva regla a la Base de Conocimiento o durante la modificación de alguna ya existente, la regla deberá contener al menos un término por antecedente y uno por consecuente. En caso contrario, la regla no será generada.

¿Cuántas Reglas pueden declararse en la Base de Conocimiento?: Al igual que se comentó en el capítulo de variables de E/S no existe limitación en la declaración de reglas, tan solo las limitaciones de memoria que establezca el soporte informático en el que sea ejecutada la aplicación. En el momento que se produzcan estas limitaciones de memoria la aplicación provocará un error en tiempo de ejecución (error no controlable) por falta de memoria; esta situación se ve reflejada en la aplicación con la desaparición paulatina de elementos de las ventanas.

3.8.2 Eliminar Regla

En cualquier momento el usuario podrá proceder a la eliminación de una regla de la Base de Conocimiento a través del segundo botón de la barra de botones de la ventana de reglas (Figura 3.29) o bien por medio del menú reglas de la aplicación. Una vez eliminada alguna regla el usuario podrá rectificar dicha eliminación por el proceso de *Deshacer*. Si se elimina la última regla o si el sistema no tiene reglas, se mostrará la ventana de la Figura 3.35.

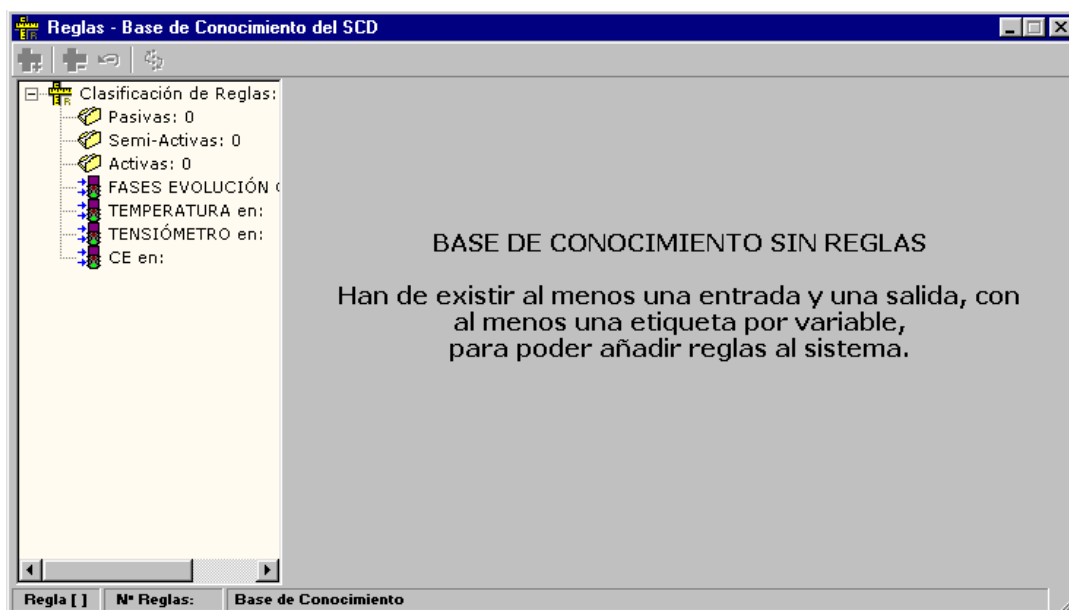


Figura 3.35: Ventana de Reglas indicando que no hay reglas.

Como puede observarse no se podrá generarse ninguna regla sobre la Base de Conocimiento hasta que al menos exista una variable de entrada y otra de salida y que respectivamente contenga al menos una etiqueta por variable.

3.8.3 Deshacer Eliminación Última Regla

Tras la eliminación de una regla el usuario podrá retroceder en la decisión tomada y restaurar la última regla eliminada. Se hace hincapié en que sólo podrá ser recuperada la última. Una vez que el usuario opta por recuperar la última regla eliminada la aplicación solicitará en qué posición desea que ésta sea ubicada nuevamente sobre la Base de Conocimiento, a través de la ventana *Deshacer última eliminación de regla* (Figura 3.36).

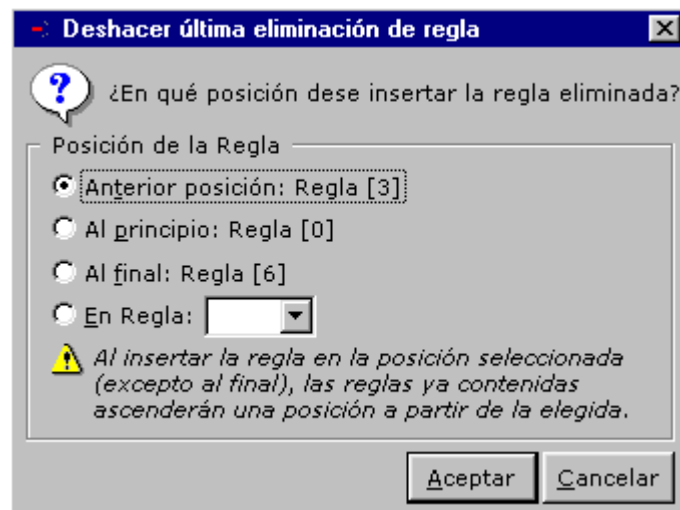


Figura 3.36: Ventana Deshacer última eliminación de regla.

3.8.4 Organizar Reglas

Por medio de esta ventana (Figura 3.37) el usuario va a poder organizar la posición dentro de la base de conocimiento de cada regla. Para ello se seleccionará a través de un clic o el desplazamiento de la selección hacia la regla; la regla a organizar (regla resaltada, en la Figura 3.37 está seleccionada la regla R[3]). Por medio de los botones de subida-bajada situados a la derecha, el usuario podrá reubicar dicha regla donde quiere con respecto de las que conforman la base de conocimiento.

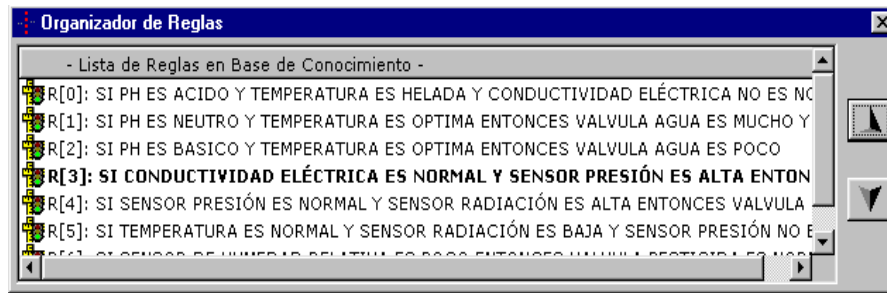


Figura 3.37: Ventana del Organizador de Reglas.

3.9 La Ventana de Opciones de Inferencia

Por medio de esta ventana (Figura 3.38), el usuario podrá en todo momento seleccionar las características de los cinco operadores que intervienen en la inferencia. Estos operadores se muestran en la parte izquierda de la ventana en el marco *Operadores de Inferencia*. El acceso a la ventana de opciones de inferencia se realiza por la selección de cualquiera de los cinco operadores en la *Ventana General*, a través del Menú de Inferencia → Opciones de Inferencia, o por medio de la barra del duodécimo botón del menú principal (Figura 3.2).

El operador seleccionado se indica mediante resalte en negrita del texto y el correspondiente botón de opción seleccionada. El icono asociado a cada operador y el correspondiente título del operador quedará reflejado en el marco derecho de la ventana, el cual contendrá en la parte superior derecha un menú con los *Tipos* de t-normas, s-normas, Funciones de Implicación que correspondan a cada tipo de operador seleccionado.

Al seleccionar un tipo, en el recuadro *Expresión* aparecerá la fórmula de la t-norma, s-norma o Función Implicación seleccionada para ese operador. Habrá expresiones que introduzcan un parámetro p modificable en valor (0, 0.25, 0.50 y 0.75) a través del recuadro que hay bajo la expresión; hay que decir que para algunas expresiones ciertos valores de p no estarán habilitados véase ejemplo de la Figura 3.38 donde el valor de p al estar como denominador único provocaría un error de cálculo si fuese 0. Cada *Tipo* será comentado a través del recuadro inferior de *Comentarios*, el cual expresará de forma breve y concisa el significado o clasificación de dicho operador.

A continuación se comenta la funcionalidad de cada uno de los operadores en el proceso de inferencia:



Operador de Implicación: Establece el tipo de función de implicación en la fase de implicación. Varios pueden ser los tipos de funciones de implicación, la implementada hasta el momento es: *t-norma del Mínimo*.

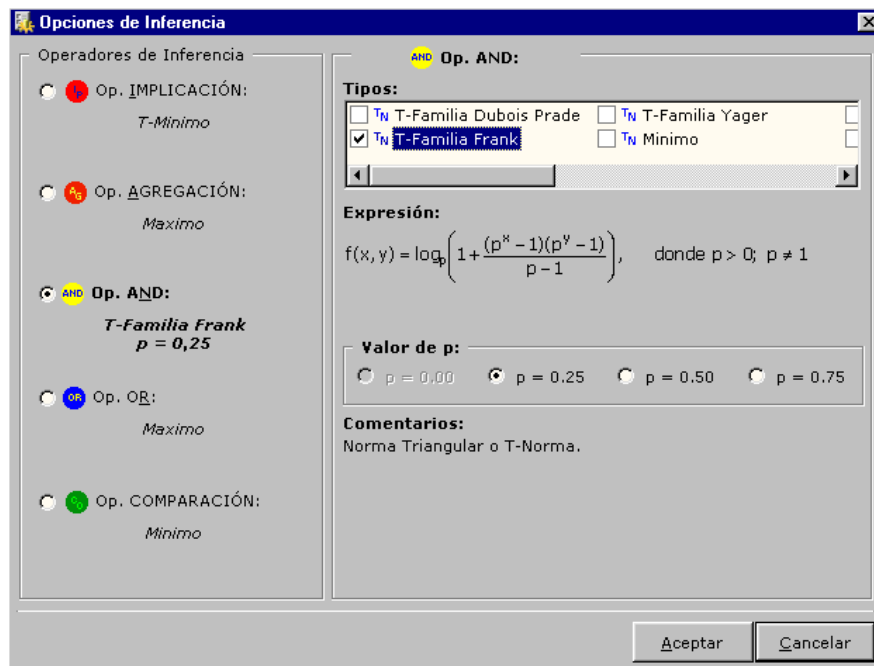


Figura 3.38: Ventana de Opciones de Inferencia.

- Operador de Agregación:** Indica el tipo de agregación a realizar tras el proceso de implicación. Genera como resultado el conjunto final de salida, que será defuzzificado por el Concretor. Varios pueden ser los tipos de operadores de agregación, y el implementado hasta el momento es: s-norma *del Máximo*.
- Operador And:** Indica el tipo de operador de conjunción utilizado en la fase de obtención del *grado de activación* de las reglas en la base de conocimiento, como operador concatenador de términos en el antecedente. Pueden ser t-normas los tipos de operadores *and*. Los implementados en la aplicación son: t-norma *del Mínimo*, *Familia Dubois Prade*, *Familia Yager*, *Producto Acotado*, *Producto Algebraico*, *Producto Drástico*, *Producto Einstein*, *Producto Hamacher*.
- Operador Or:** Indica el tipo de operador de disyunción utilizado en la fase de obtención del *grado de activación* de las reglas como operador concatenador de términos en el antecedente. Varios pueden ser los tipos de operadores *Or* y todos deben ser s-normas. Los implementados en la aplicación son: s-norma *del Máximo*, *Familia Dubois Prade*, *Familia Frank*, *Familia Sugeno*, *Familia Yager*, *Suma Acotada*, *Suma Drástica*, *Suma Producto*.
- Operador de Comparación:** Establece el operador utilizado para el proceso de difuminación en las variables de entrada entre difuminador y etiquetas lingüísticas el cual se realiza según el método de *posibilidad – necesidad* (comparación de conjuntos difusos). A tal fin se aplican t-normas como operadores de comparación y el implementado en la aplicación es: t-norma *Mínimo*.

3.10 La Ventana de (1) Paso a Paso [Comparación]

El proceso de cálculo del controlador basado en lógica difusa realiza como primer paso la fase de comparación, proceso por el cual se compara (posibilidad – *poss*). Para ello difumina el valor actual de entrada (si procede, pues si fuese el difuminador “singleton” no habría difuminación sino directamente comparación) posicionado con respecto al valor actual de entrada con cada una de las etiquetas que conformen el universo de discurso de cada variable de entrada.

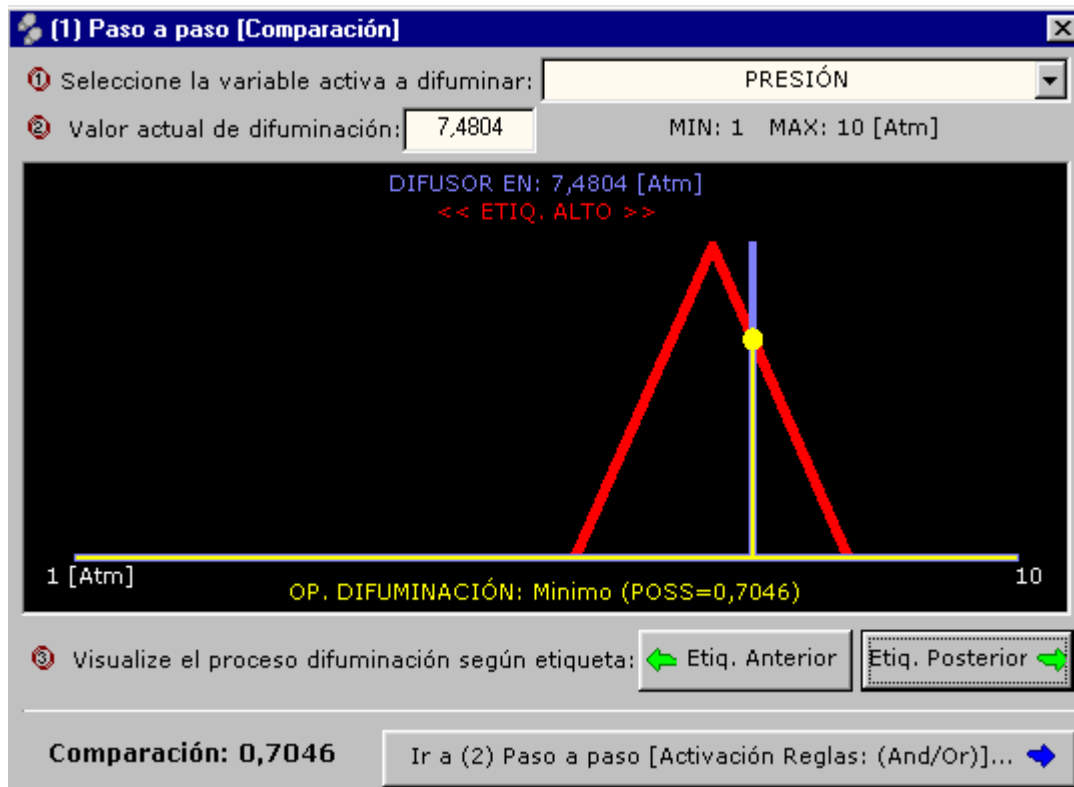


Figura 3.39: Ventana (1) Paso a Paso [Comparación].

Como puede observarse en la Figura 3.39, el primer paso para ilustrar la fase de difuminación es la selección de la variable activa en el sistema que deseamos visualizar, a través de la selección de los elementos de la lista desplegable de la parte superior derecha de la ventana; posteriormente se introducirá el valor concreto de difuminación (entre los límites del universo de discurso) y el difusor (gráfica azulada se posicionará con respecto a este valor – línea discontinua) según la función de pertenencia establecida. El último paso será ir desplazándose por las distintas etiquetas que forman la variable lingüística de entrada y observar como la operación de difuminación devuelve por aplicación del operador seleccionado un conjunto difuso (línea amarilla) cuyo valor máximo (punto amarillo) define la *posibilidad* entre difusor y etiqueta. Éste valor de posibilidad será el dato que se almacene como información de procesamiento para cada término de los antecedentes en la base de

conocimiento. Una vez realizado el proceso de comparación entre difuminador y etiquetas, el controlador calcula los grados de activación de los antecedentes de cada una de las reglas de la base de conocimiento y para visualizar ésta fase se ofrece al usuario el botón en la parte inferior derecha que le permite saltar a dicha fase que a continuación se comenta.

3.11 La Ventana de (2) Paso a Paso [Activación de Reglas (And/Or)]

Una vez obtenidos los valores de posibilidad para cada uno de los términos que forma los antecedentes en la base de conocimiento de nuestro sistema (Paso 1), se aplican los operadores *and/or* y *not* sobre estos términos en cada regla, obteniéndose lo que se denomina *Grado de Activación* de la regla. Hay que mencionar que aquellas variables que se consideren desactivadas al proceso de inferencia, sus términos no serán considerados a efectos de obtención del respectivo grado de activación de dicha regla.

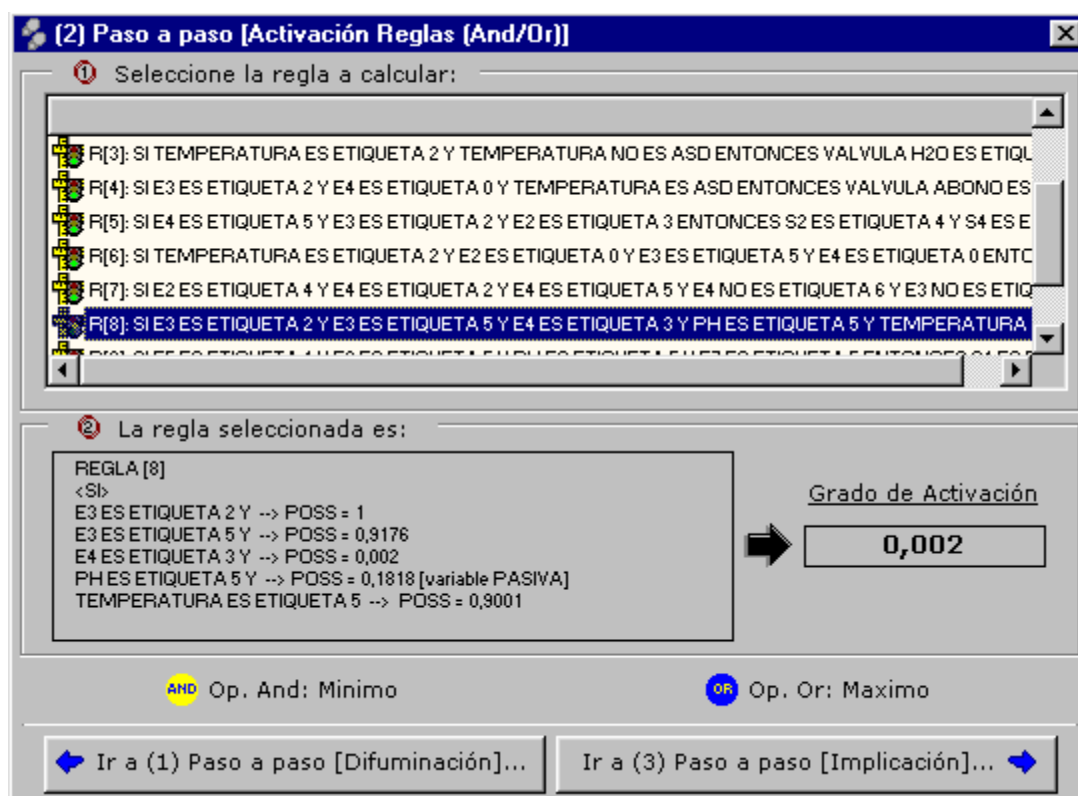


Figura 3.40: Ventana (2) Paso a Paso [Activación de Reglas (And/Or)].

Todo este proceso comentado se ilustra a través de la ventana (Figura 3.40) la cual muestra en su parte superior el conjunto de reglas de la base de conocimiento por medio de una lista en donde el usuario podrá seleccionar aquella regla sobre la cual desee ver de

forma descompuesta el proceso de obtención del grado de activación. Al ser seleccionada una regla en la lista de la parte superior, el recuadro central izquierdo mostrará las *posibilidades* de todos los términos que forman el antecedente de la regla e indicará mediante “[variable PASIVA]” que dicho término no tiene efecto sobre el cálculo al estar la variable desactivada en el sistema. En la parte central derecha se muestra el valor del *Grado de Activación* correspondiente a la regla seleccionada. Debajo de esto se muestra el tipo de operadores *and/or* utilizados.

Al igual que el paso anterior el usuario podrá ‘saltar’ al paso siguiente o al anterior a través de los botones de la parte inferior permitiéndole así desplazarse cómodamente por todo el proceso de cálculo del controlador sin la sensación de estar abriendo y cerrando ventanas.

3.12 La Ventana de (3) Paso a Paso [Implicación]

Tras el paso de activación de reglas se produce la fase de implicación, la cual puede ser ilustrada a través de la *Ventana (3) Paso a Paso [Implicación]* (Figura 3.41). El proceso de implicación trabaja sobre las variables de salida del sistema. Aplica el operador de implicación sobre cada una de las etiquetas de cada variable de salida según el máximo grado de activación obtenido de aquellas reglas en la base de conocimiento que influyan sobre dicha etiqueta de salida.

Para ilustrar esta fase del proceso de inferencia del controlador el usuario deberá seleccionar a través del cuadro de lista desplegable en la parte superior derecha una variable de salida activa. Una vez seleccionada, se visualizará mediante trazo rojo una de las etiquetas que tenga declaradas dicha variable y el efecto del operador de implicación con trazo amarillo en base al máximo grado de activación implicado sobre dicha etiqueta (trazo azulado). El operador de implicación utilizado se muestra en la parte inferior central del gráfico.

El usuario podrá desplazarse por las distintas etiquetas de la variable de salida seleccionada por medio de los botones indicadores de *Etq. Anterior* y *Etq. Posterior*. De igual forma a la comentada en el paso anterior el usuario podrá desplazarse a la fase anterior o posterior por medio de los botones de la parte inferior de la Figura 3.41.

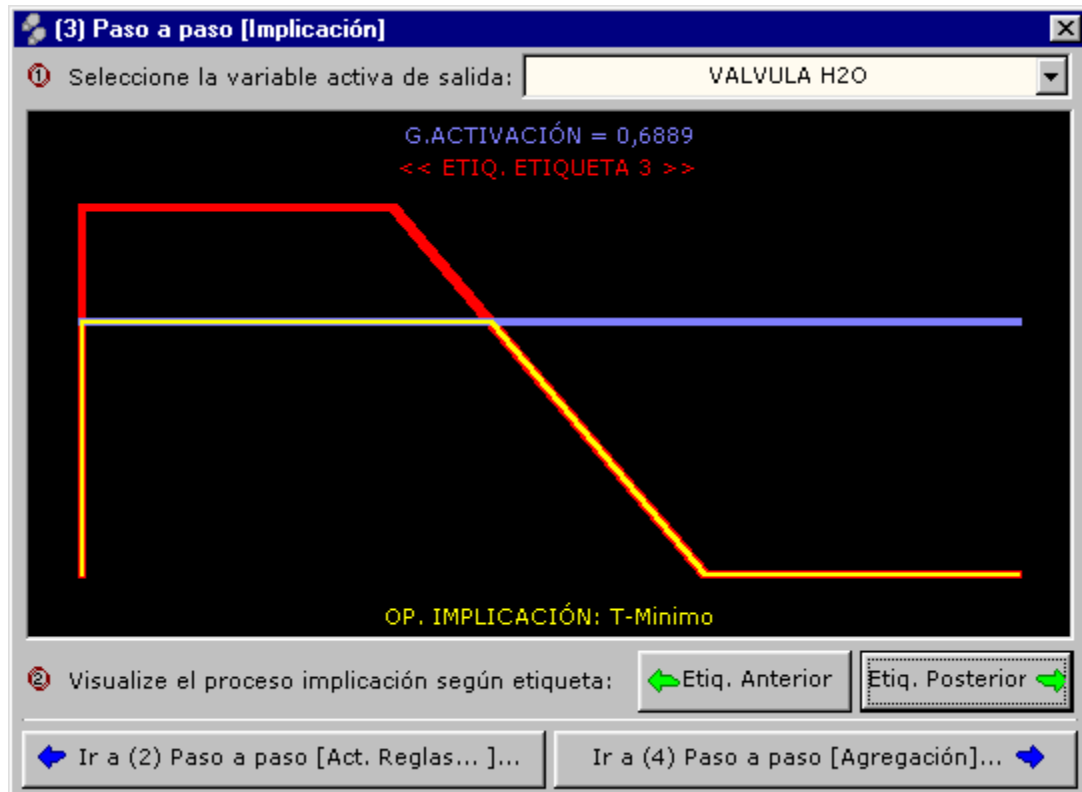


Figura 3.41: Ventana de (3) Paso a Paso [Implicación].

3.13 La Ventana de (4) Paso a Paso [Agregación]

El paso de agregación es la siguiente fase al proceso de implicación y es representado a través de la *Ventana (4) Paso a paso [Agregación]* (Figura 3.42). De igual forma al proceso de implicación el usuario deberá seleccionar una variable de salida activa que desea ver; para ello deberá seleccionar la variable de salida del cuadro de lista desplegable en la parte superior derecha. Una vez seleccionada la salida el proceso de agregación a través del operador de agregación *unirá* los conjuntos difusos resultantes del proceso de implicación de cada una de las etiquetas que forman la variable de salida. Para esta operación de unión se utiliza el operador de Agregación que se muestra en la parte inferior central del gráfico de la Figura 3.42.

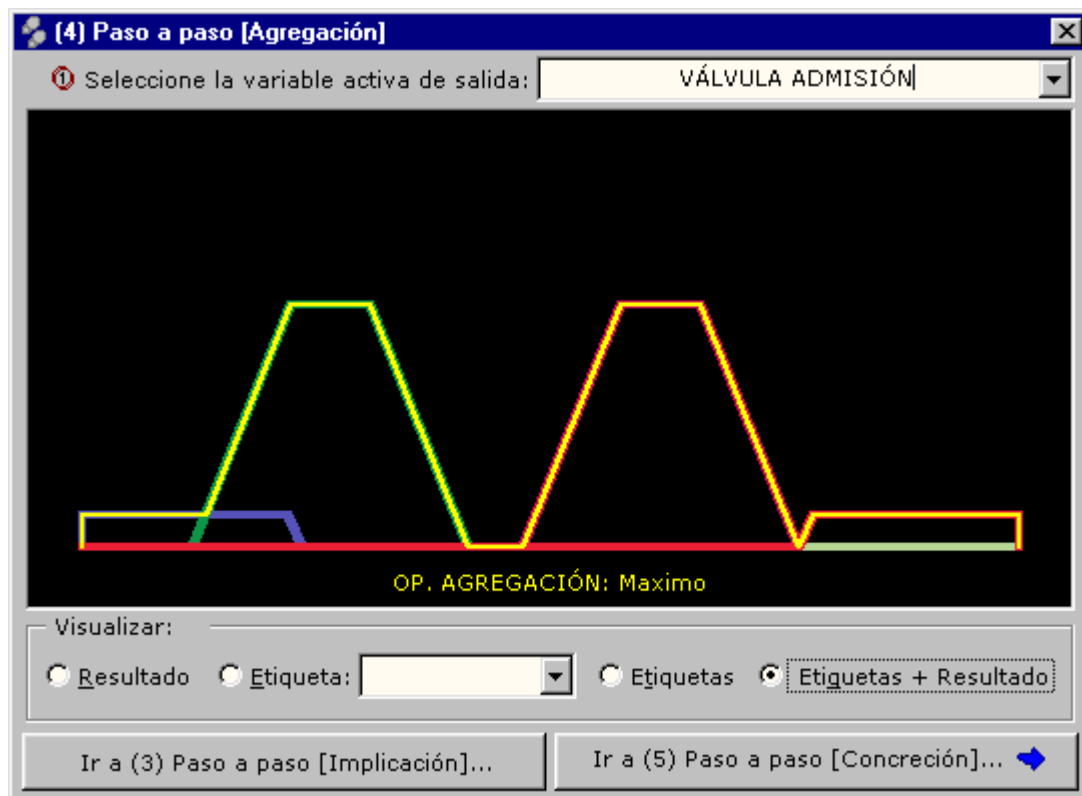


Figura 3.42: Ventana de Paso a paso [Agregación].

En la parte inferior el usuario podrá seleccionar los elementos a visualizar implicados en el proceso:

- Resultado: Gráfico de trazo amarillo que representa el conjunto difuso resultante del proceso de agregación, es el resultado de ésta fase y es el elemento sobre el cual trabajará la siguiente fase (concreción).
- Etiqueta: Al seleccionar esta opción sólo se visualizará aquella etiqueta seleccionada por el usuario en el cuadro desplegable de la izquierda.
- Etiquetas: Visualizará todos los conjuntos difusos resultantes del proceso de implicación sobre las etiquetas de la variable de salida seleccionada. Cada conjunto tendrá un color aleatorio distinto a los restantes. Va a permitir al usuario ver de forma gráfica el solapamiento entre conjuntos difusos y consecuentemente predecir la forma del resultado.
- Etiquetas + Resultado: Este modo de representación engloba la suma de los gráficos obtenidos por todas las etiquetas y el resultado (trazo amarillo), a veces este modo de representación puede ser complejo (caso de que hubiesen muchas etiquetas...).

De igual forma a la comentada en los *Pasos* anteriores el usuario podrá desplazarse al paso anterior y siguiente a través de los botones situados en la parte inferior.

3.14 La Ventana de (5) Paso a Paso [Concreción]

En la última fase de inferencia se procesa la información difusa (conjunto difuso resultado de la fase de agregación) y se obtiene un valor concreto como resultado físico, real, de la variable de salida. Son varios los métodos de defuzzificación o concreción y es en esta fase donde para cada variable se aplicará el método que tenga asociado a ella (apartado 3.7.3).

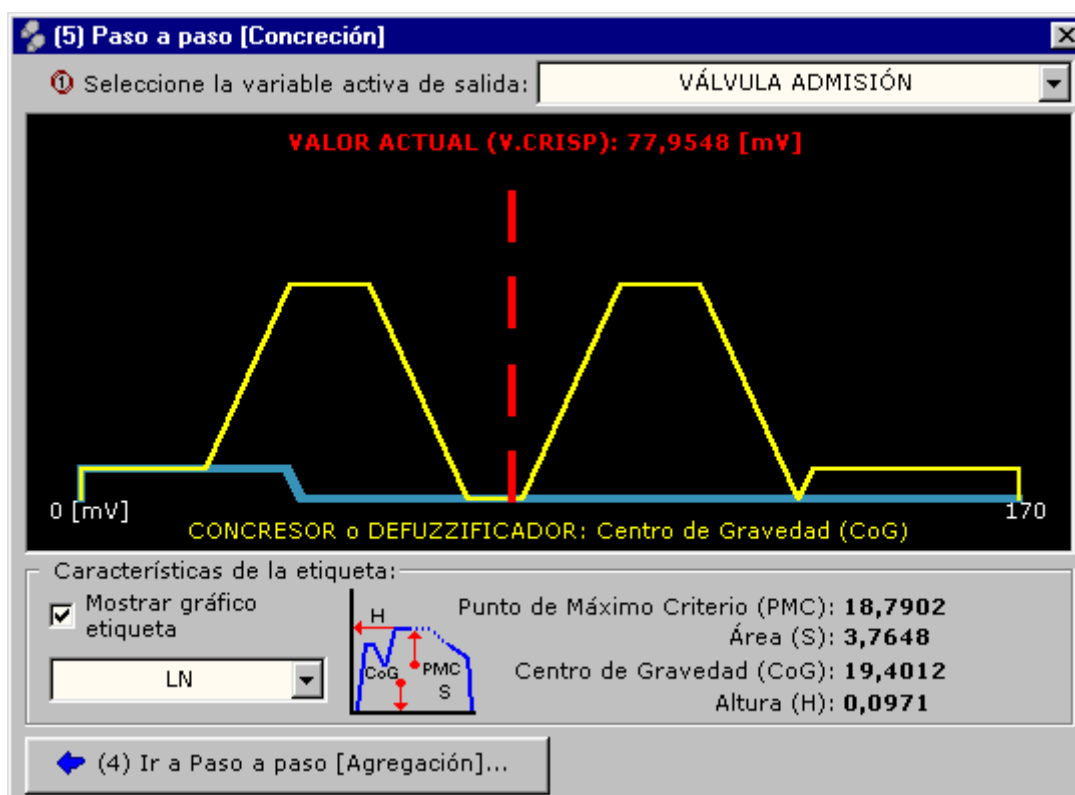


Figura 3.43: Ventana de Paso a Paso [Concreción].

De forma semejante a las anteriores ventanas *paso a paso...* el usuario deberá seleccionar sobre el cuadro de lista desplegable en la parte superior derecha aquella variable de salida activa que desee visualizar de la ventana *Paso a paso [Concreción]* (Figura 3.43). Una vez seleccionada se visualizará el conjunto difuso resultante de la acumulación de cálculos de los procesos anteriores (trazo amarillo). Con trazo rojo discontinuo se indica el valor actual obtenido de aplicar el método de concreción a dicho conjunto difuso de salida.

El marco denominado *Características de la etiqueta* tiene como objetivo ofrecer al usuario información concreta de los cuatro parámetros específicos utilizados en los métodos de defuzzificación para cada una de las etiquetas que forman el conjunto difuso final. Estos métodos de defuzzificación son los que se basan no en el conjunto difuso resultante de la fase de agregación (trazo amarillo), sino que directamente trabajan con los cuatro parámetros característicos de cada una de las etiquetas, denominados: *Punto de Máximo Criterio (PMC)*, *Área (S)*, *Centro de Gravedad (CoG)* y *Altura (H)*. La representación gráfica puede ser anulada si se inhabilita la opción de *Mostrar gráfico etiqueta*; si la opción está habilitada el gráfico mostrado será el indicado por el control lista desplegable de la parte inferior izquierda.

El usuario podrá, dado que ésta es la última fase, sólo retroceder a la fase de agregación.

3.15 La Ventana Calcular Variables de Salida

Tres caminos son por los que el usuario puede acceder a ésta ventana: tecla rápida F5, menú inferencia de la ventana principal (Figura 3.2) y a través del decimotercer botón de la barra de herramientas. El objetivo de ésta ventana (Figura 3.44) es la de suministrar al usuario una forma rápida de calcular según unos valores concretos de entrada del sistema, la respuesta (valores de salida) del sistema.

A tal efecto se disponen dos listados: la parte superior izquierda contiene las variables de entrada activas al sistema y la parte superior derecha, las variables de salida activas. Al seleccionar una variable de entrada los datos de la misma son cargados en el marco de la parte inferior posicionado respecto al valor indicado junto a la representación gráfica de los conjuntos difusos que la forman, el difuminador (trazo azul claro) y los puntos de intersección en amarillo (posibilidades). Esto va a permitir modificar el valor de entrada concreto, introduciéndolo en el recuadro, a través de una barra deslizante o, si lo prefiere, generar un valor aleatorio dentro del universo de discurso de dicha variable usando el botón de la derecha. De cualquiera de las formas comentadas anteriormente el usuario podrá establecer los valores de entrada y de forma automática se realizarán todas las fases anteriormente descritas en las ventanas paso a paso... (en secciones 3.10 a 3.14) visualizándose así el resultado a través de trazo amarillo e indicado el valor de salida por medio de línea vertical roja discontinua. En la parte inferior derecha se indica el valor de salida junto al tipo de defuzzificador utilizado por la variable de salida seleccionada.

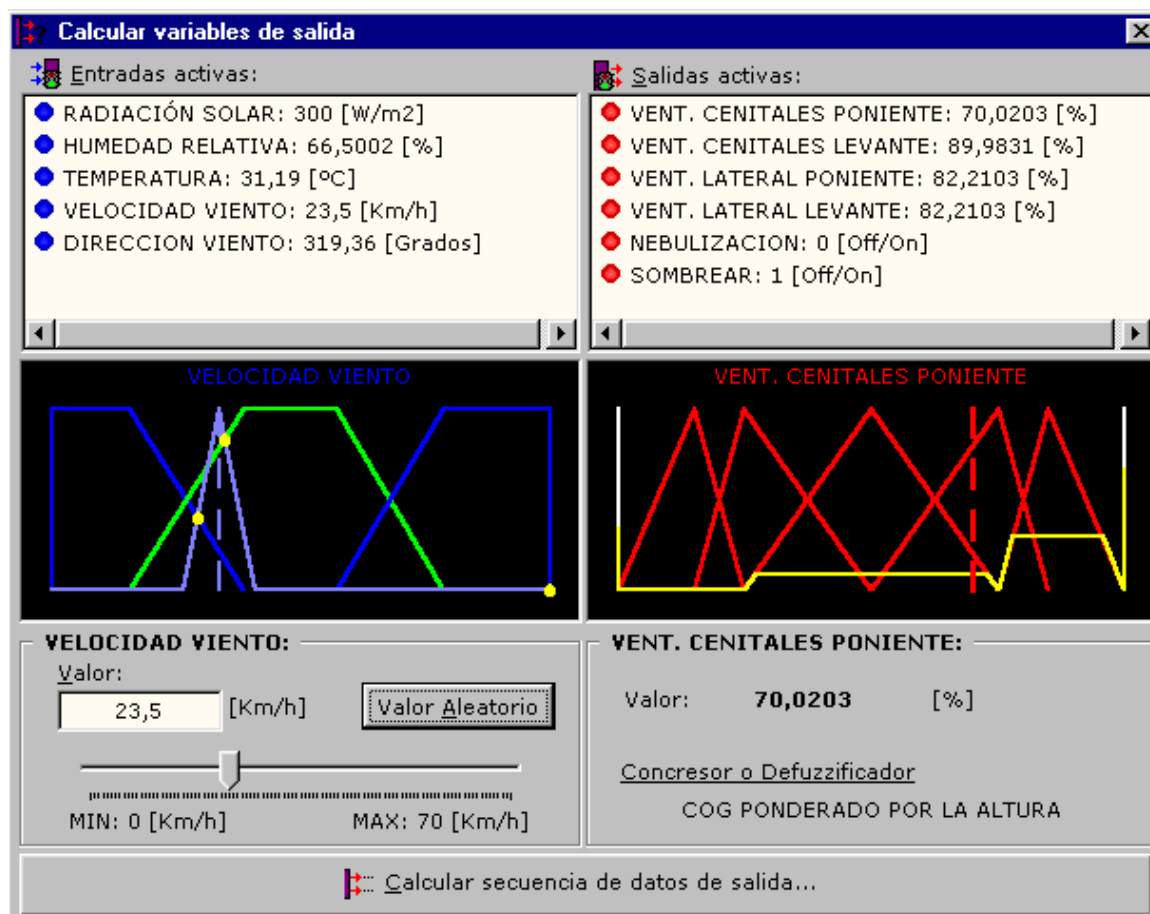


Figura 3.44: Ventana Calcular Variables de Salida.

Esta ventana permite evaluar al sistema de control en un instante de tiempo o estado, pero y si nos preguntásemos ¿qué respuesta tiene el sistema si las variables tienen una evolución en el tiempo según unas características, o si se podría evaluar el sistema a lo largo del tiempo o, mejor dicho, en una consecución de estados?. Estas preguntas quedan respondidas a través de la *Ventana de Calculo de secuencia de datos de salida* a la cual el usuario podrá acceder a través de esta ventana por medio del alargado botón situado en la parte inferior.

3.16 La Ventana Calcular Secuencia de Datos de Salida

Esta ventana de la aplicación (Figura 3.45) va a permitir evaluar el sistema de control difuso en distintos instantes de tiempo (estados) de forma que a través de la ventana de *Secuencia de datos de entrada* (sección 3.6.3) el usuario va a poder establecer distintos tipos de secuencias o toma de valores a lo largo del tiempo de cada variable de entrada y devolver las secuencias de resultado ante dicha estimulación. Para acceder a esta ventana varios son

los posibles caminos: tecla rápida F6, menú inferencia de la ventana principal (Figura 3.2) y decimocuarto botón de la barra de botones de la misma ventana.

Para ello se presenta una ventana con dos marcos de elementos. Por un lado en la parte superior se encuentra el marco de *Datos de Entrada* el cual contiene en su parte derecha un listado con las variables de entrada activas del sistema. Aquellas que estén chequeadas serán visibles en el control gráfico de *secuencia de datos de entrada*; si el usuario selecciona una variable ya esté o no chequeada provocará el resalte de la misma en color amarillo junto a los puntos indicadores de los valores. El usuario podrá modificar de forma rápida y sencilla por doble clic cualquiera de las secuencias de datos de entrada ya que al producirse este evento aparecerá la correspondiente ventana de secuencia de datos de entrada.

Lo comentado anteriormente para las variables de entrada es aplicable a las de salida y de igual forma al estar chequeada o no una variable esta aparecerá representada o no en el gráfico, además si se selecciona será resaltada y si se realiza doble clic se visualizarán los valores reales mediante la *ventana de secuencia de datos de salida* (Figura 3.46) que a diferencia de la de entrada sólo nos permitirá ver los valores y no modificarlos.

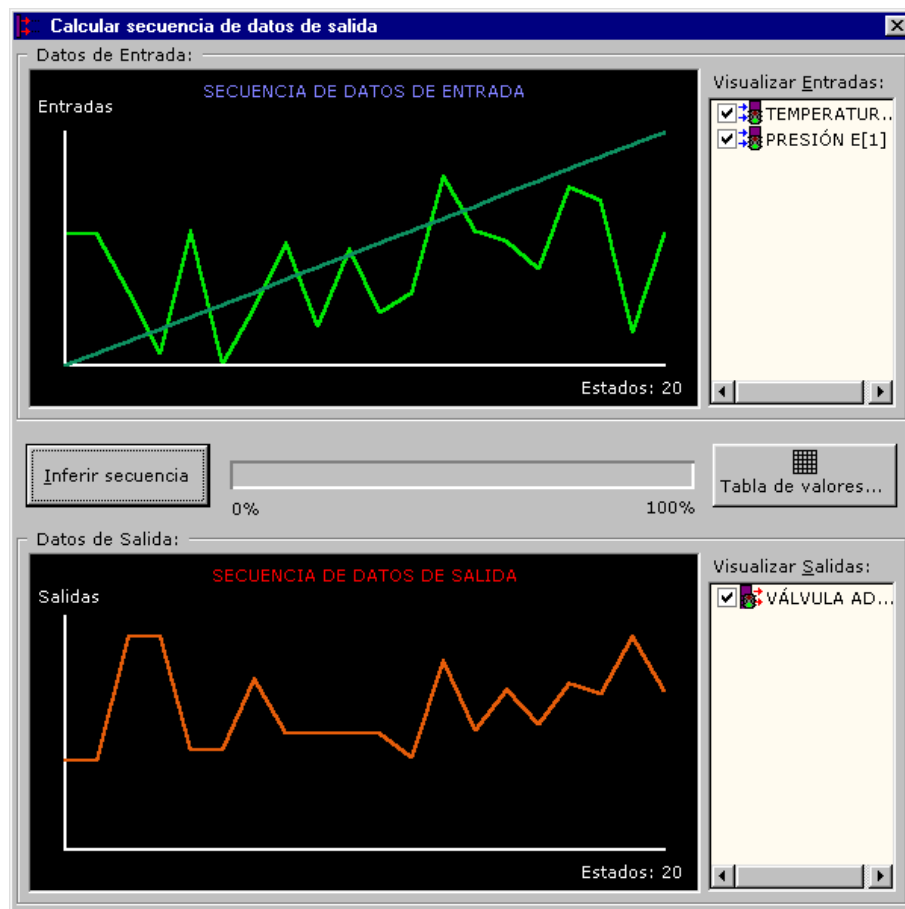


Figura 3.45: Ventana Calcular secuencia de datos de salida.



Figura 3.46: Ventana de Secuencia de datos de salida.

Si lo que se quiere es tener una visión rápida de todos los valores para cada uno de los estados tanto de entrada como salida el usuario podrá obtenerlos a través de la ventana de *Tabla de Valores* (Figura 3.47). Esta ventana se compone de tres controles lista: la primera indica el estado seleccionado, la segunda los valores de entrada para dicho estado y la tercera los valores de salida obtenidos en dicho instante de tiempo. Tanto para los valores de entrada y salida se indicará el nombre respectivo de la variable seguido del valor entre paréntesis y el sistema de unidades de dicha variable entre corchetes.

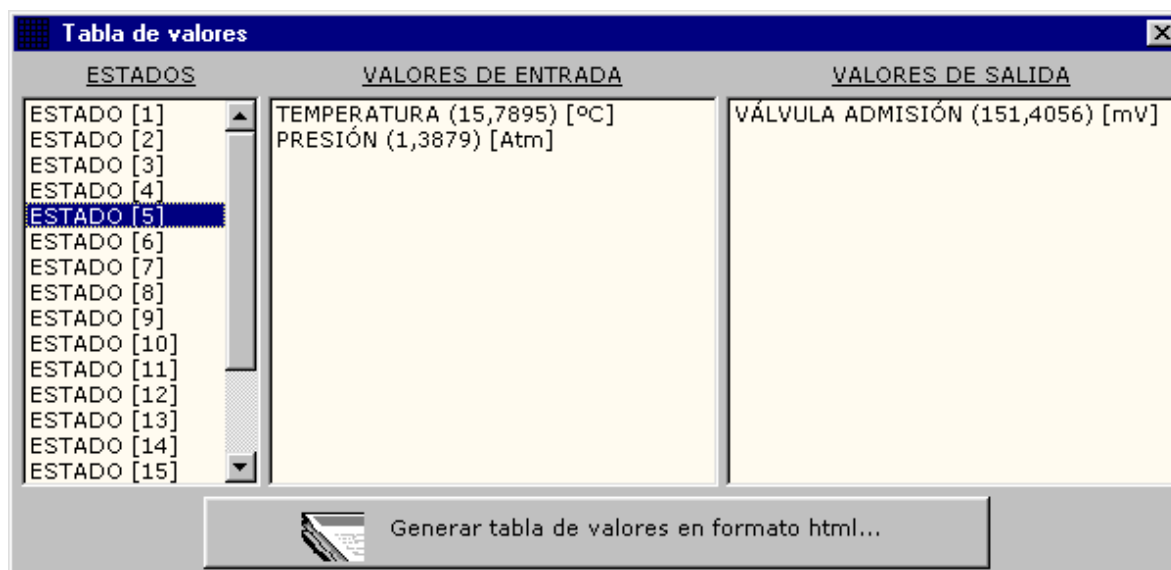


Figura 3.47: Ventana de Tabla de Valores.

Si se desea almacenar los resultados obtenidos, la ventana *Tabla de Valores* habilita un botón en su parte central inferior (*Generar tabla de valores en formato html...*) que permitirá generar dicha tabla de valores bajo formato *html*. Una vez confirmada la generación de dicha tabla, de forma automática se cargará dicho fichero en el *Explorer* para ser mostrada (Figura 3.48). Si no existiese el programa *Explorer* se cargará el navegador que tenga por defecto en su ordenador.

TABLA DE SECUENCIA DE VALORES DE E/S
SCD - FKBC
Control de Turbina de Vapor

ESTADO:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
E(0) TEMPERATURA [°C]:	-20	11,0526	-2,1053	6,8421	15,7895	24,7368	33,6842	42,6316	51,5789	60,5263	69,4737	78,4211
E(1) PRESIÓN [Atm]:	1	1,4737	1,9474	2,4211	2,8947	3,3684	3,8421	4,3158	4,7895	5,2632	5,7368	6,2105
S(0) VÁLVULA ADMISIÓN [mV]:	91,6612	91,6612	91,6612	91,6612	136,4225	131,2862	125	118,0921	104,9831	104,9831	104,9831	85,0000

Datos obtenidos de:
E:\PROGRAMA_SCD\TURBINA.scd
2 VARIABLES DE ENTRADA (2 ACTIVAS / 0 PASIVAS)
1 VARIABLES DE SALIDA (1 ACTIVAS / 0 PASIVAS)
10 REGLAS (10 ACTIVAS / 0 SEMIACTIVAS / 0 PASIVAS)
OPERADOR COMPARACIÓN: Mínimo
OPERADOR AND: Mínimo
OPERADOR OR: Máximo
OPERADOR AGREGACIÓN: Máximo
OPERADOR IMPLICACIÓN: T-Mínimo
vie, 18-abr-03

Figura 3.48: Fichero de tabla de valores en formato html abierto en Explorer.

La estructura de esta tabla de valores en formato html está compuesta por el título (SECUENCIA DE VALORES DE E/S) seguido de las siglas del nombre de la aplicación (SCD – FKBC) y el campo descripción del sistema que haya sido generado. La primera columna indica los nombres de variables de entrada y salida junto a sus respectivas unidades de

medida de forma que la primera fila indicará el ESTADO y a continuación se indicarán las variables de entrada activas seguidas de las variables de salida activas al sistema.

La dimensión de la tabla en número de valores será (filas x columnas):

$$(N^{\circ} \text{ variables de entrada} + N^{\circ} \text{ de variables de salida}) \times N^{\circ} \text{ Estados}$$

Debajo de la tabla se indican la ubicación del fichero del cual se ha obtenido la información junto a los parámetros principales del SCD evaluado, tales como: número de variables de entrada, salida, número de reglas (activas, semiactivas, pasivas) y tipos de operadores del motor de inferencia; lo que va a permitir al usuario comparar tablas sin que provoque confusión. Por último aparece la fecha en la que se generó la tabla.

3.17 Ficheros Generados por SCD

Varios son los tipos de ficheros que genera la aplicación. A continuación se van a exponer la composición interna y funcionalidad de los mismos. Por una parte se encuentran los ficheros de extensión .SCD, copias de seguridad (extensión .BAK) de los ficheros .SCD, el archivo de inicialización de datos SCD.INI y el registro de incidencias SCDREG.TXT.

Para comenzar se va a describir la estructura de los ficheros utilizados para el almacenamiento de los datos de cada sistema de control que desarrolle el usuario; dichos ficheros poseen la extensión .SCD. Estos ficheros de texto poseen la estructura de los denominados archivos INI. Este tipo de archivos pueden ser visualizados y modificados por medio del Bloc de notas o cualquier otro editor de textos. Los tres elementos de un archivo de estas características son *secciones*, *claves* y *valores* (Microsoft llama a una sección una *aplicación*). En la Tabla 3.1 se resume la dicha estructura.

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Sección	Un nombre que va entre corchetes ([]) que agrupa a un conjunto de valores y claves.
Clave	Una cadena única. La clave vendrá seguida de un signo igual (=) y de un valor. Una clave sólo debe ser única dentro de una sección específica.
Valor	La información real de una clave determinada del archivo INI. Una sección y una clave juntas se usan para leer o escribir un valor.

Tabla 3.1: Estructura archivos INI.

El orden de las secciones y claves que hay en el archivo no es importante, ya que los nombres de sección y clave (deben) señalar a un solo valor. Un signo de punto y coma (;) se

usa para indicar un comentario: todas las claves o valores que sigan al punto y coma se ignorarán.

Hay que decir que aunque se trate de archivos INI no tienen por que ser archivos con tal extensión. Se ha recurrido a ésta estructuración de la información para almacenar la información generada por nuestra aplicación bajo estos tres elementos (sección, clave y valor) y una extensión propia (.SCD). Las funciones de lectura y escritura de archivos INI no discriminan la extensión sino la estructura interna del fichero. A continuación se expone un ejemplo de cómo estaría estructurada la información en un archivo .SCD, explicando a la derecha el significado de cada línea:

```

;[BLOQUE DE DATOS GENERALES DEL SCD]
=====

```

[GENERAL]		Sección de datos generales del sistema	
Usuario=Calixto Escobar			Nombre del usuario
Título=Control de Turbina de Vapor			Título del sistema
Observaciones=Ejemplo documento internet			Anotaciones
NumEntradas=1			Número de entradas E[#]
NumSalidas=1			Número de salidas S[#]
NumReglas=1			Número de reglas R[#]

```
:[BLOQUE DE VARIABLES DE ENTRADA]                               Indica el comienzo del bloque de datos de variables de entrada
:=====
```

[EO]	Sección de los datos de la variable de entrada cero
Estado=Activa	Estado de la variable
Nombre=TEMPERATURA	Nombre de la variable
Unidades=Grados Centígrados	Sistema de unidades utilizado
UndSigla=°C	Sigla del Sistema de Unidades
Observaciones=Temperatura interior a la turbina	Observaciones acerca de la variable
UniversoDiscurso=[-20,001; 150,001]	Valores mínimo y máximo del universo discurso, vector elementos separados por (;)
Secuencia=LINEAL	Nombre de la secuencia de valores
NumVCrisps=21	Número de valores en VCRISPS
VCrisps=[55,93; -20; -11,0526; -2,1053; 6,8421; 15,7895; 24,7368; 33,6842; 42,6316; 51,5789; 60,5263; 69,4737; 78,4211; 87,3684; 96,3158; 105,2632; 114,2105; 123,1579; 132,1053; 141,0526; 150]	Vector de valores que forman la secuencia de puntos
Difusor=TrapezioExtendido	Tipo de difusor utilizado por la entrada
PBasicos=[-15; -2; 2; 40]	Vector de los cuatros puntos básicos que definen a un difusor o conjunto difuso
NumPExtendidos=7	Número de puntos extendidos en PEXTENDIDOS
PExtendidos=[-9,04; 0,51; -7,48; 0,25; -6,48; 0,44; -6; 0,3; -5,999; 0,11; -3,08; 0,06; 6; 0,3]	Vector de puntos extendidos
NumConjDifusos=1	Número de conjuntos difusos en la variable de entrada: Indica el número de CD#_ siguientes
CD0_Etiqueta=MUY FRIO	Nombre del conjunto difuso
CD0_Tipo=L	Tipo de conjunto difuso
CD0_PBasicos=[-20,001; -19,9161; 5; 30]	Vector de los cuatros puntos básicos que definen al conjunto difuso

```

;[BLOQUE DE VARIABLES DE SALIDA]
=====

```

[S0]	Sección de los datos de la variable de salida cero
Estado=Activa	Estado de la variable
Nombre=VÁLVULA ADMISIÓN	Nombre de la variable
Unidades=Mili Voltios	Sistema de unidades utilizado
UndSigla=mV	Sigla del Sistema de unidades

Observaciones=Anote aquí sus observaciones acerca de la variable.	Observaciones acerca de la variable
UniversoDiscurso=[-0,001; 170,001]	Valores mínimo y máximo del universo discurso
Concresor=Centro de Gravedad (CoG)	Tipo de concresor o defuzzificador utilizado por la variable de salida
NumConjDifusos=1	Número de conjuntos difusos en la variable de salida: Indica el número de CD#_ siguientes
CD0_Etiqueta=LN	Nombre del conjunto difuso
CD0_Tipo=L	Tipo de conjunto difuso
CD0_PBasicos=[-0,001; 0,0839; 15; 40]	Vector de los cuatros puntos básicos que definen al conjunto difuso
;	
[BLOQUE DE REGLAS - B.CONOCIMIENTO]	Indica el comienzo del bloque de datos de la base de conocimiento
;=====	
[R0]	
Estado=Activa	Estado de la regla
Operador=Y	Operador de concatenación de términos
Observaciones=Aquí van las observaciones sobre ésta regla.	Anotaciones u observaciones sobre la regla
NumAntecedentes=2	Número de antecedentes en la regla: Indica el número de ANT#_ a continuación
NumConsecuentes=1	Número de consecuentes en la regla: Indica el número de CON#_ a continuación
ANT0_Activo=Si	Estado del término cero del antecedente
ANT0_Entrada=TEMPERATURA	Variable de entrada a la que hace referencia el término
ANT0_Etiqueta=FRIO	Conjunto difuso de la variable de entrada a la que hace referencia el término
ANT0_OpNot=No	Indica si el operador de negación de término está o no activo
ANT1_Activo=Si	
ANT1_Entrada=PRESIÓN	
ANT1_Etiqueta=MUY BAJO	
ANT1_OpNot=No	
CON0_Activo=Si	Estado del término del consecuente
CON0_Salida=VÁLVULA ADMISIÓN	Variable de salida a la que hace referencia el término
CON0_Etiqueta=LP	Conjunto difuso de la variable de salida a la que hace referencia el término
CON0_OpNot=No	Indica si el operador de negación de término está o no activo
;	
[BLOQUE DEL MOTOR DE INFERENCIA]	Indica el comienzo del bloque de datos del motor de inferencia
;=====	
[MOTOR DE INFERENCIA]	
OpImplicacion=T-Minimo	Tipo de implicación utilizada por el operador de implicación
OpAgregacion=Máximo	Tipo de s-norma utilizada por el operador de agregación
OpAg-P=0	Valor del parámetro <i>p</i> en normas para el operador de agregación que así lo requieran
OpAND=T-Familia Dubois Prade	Tipo de t-norma utilizada por el operador and
OpAnd-P=0,75	Valor del parámetro <i>p</i> en normas para el operador de and que así lo requieran
OpOR=S-Familia Yager	Tipo de s-norma utilizada por el operador or
OpOr-P=0,75	Valor del parámetro <i>p</i> en normas para el operador or que así lo requieran
OpDifuminacion=Minimo	Tipo de t-norma utilizada por el operador difuminación
OpDf-P=0	Valor del parámetro <i>p</i> en normas para el operador de difuminación que así lo requieran

Las copias de seguridad se realizan en la carpeta COPSEG, ubicada dentro de la carpeta de la aplicación. La extensión de los ficheros de seguridad son .BAK. En el momento que el usuario decida rescribir un fichero en uso la aplicación procederá de forma automática a guardarlo en este directorio. De esta forma el usuario podrá recuperar la información del fichero anteriormente sobrescrito.

El archivo de inicialización de datos SCD.INI tiene como objetivo almacenar las opciones de inicialización de la aplicación. Estas opciones se describen a continuación con la estructura interna del mismo, explicando a la derecha el significado de cada línea:

[RECIENTES]	Sección de los datos más recientes de uso por la aplicación
ARCHIVO#1=E:\Cargado.scd	Ubicación de los cinco últimos sistemas o ficheros cargados
ARCHIVO#2=A:\Ejemplo.scd	
ARCHIVO#3= A:\Inver.scd	
ARCHIVO#4= C:\Temp.\Turbina.scd	
ARCHIVO#5= C:\Windows\System\Calentador.scd	
USUARIO#1=José Antonio	Los cinco últimos usuarios utilizados
USUARIO#2=José Juan	
USUARIO#3=Calixto	
USUARIO#4=Pedro	
USUARIO#5=Carlos	
TITULO#1=Sistema Control Turbina	Los cinco últimos títulos utilizados
TITULO#2=Cultivo Hidropónico	
TITULO#3=Cultivo de Pimiento	
TITULO#4=Sistema de Frenada	
TITULO#5=Control Posición	
[GESTIÓN DE MEMORIA]	Sección para la gestión de memoria por la aplicación
Nº MAX. VENTANAS ENTRADA=10	Indicador del número máximo de ventanas de entrada abiertas simultáneamente
Nº MAX. VENTANAS SALIDA=10	Indicador del número máximo de ventanas de salida abiertas simultáneamente
[GRÁFICOS]	Sección dedicada a las opciones de gráficos en la aplicación
Nº DIVISIONES VERTICALES=10	Indica el número de divisiones verticales en la cuadrícula de los gráficos
Nº DIVISIONES HORIZONTALES=4	Indica el número de divisiones horizontales en la cuadrícula de los gráficos

El registro de incidencias SCDREG.TXT tiene como objetivo almacenar las incidencias del funcionamiento de la aplicación. Va a permitir al usuario conocer las posibles causas de un error en la ejecución de la aplicación junto a otra serie de registros que a continuación se comentan a través de la estructura del mismo:

[REGISTRO DEL SISTEMA DE CONTROL DIFUSO (SCD)]
=====

[sáb, 22-feb-03]	Sección que indica el día de uso de la aplicación
INICIO=<< SATISFACTORIO >>	La aplicación ha sido ejecutada con éxito
INICIALIZACIÓN= No se encuentra el archivo de inicialización SCD.INI	En el caso de que no exista SCD.INI se crea por defecto
por tanto se procede a su generación por defecto	
ERROR GENERAL= Número de error – Cadena de error	Muestra el número de error y el tipo de error que se ha producido

[lun, 24-feb-03]
INICIO=<< SATISFACTORIO >>

3.18 Mejoras Futuras al Programa SCD

Todo programa es susceptible de ser mejorado, a continuación se exponen algunos puntos de mejora o ampliación de la aplicación:

- Más operadores de implicación, como la I. De Gödel, QM-Implicaciones, S-Implicaciones...
- Más operadores de comparación, t-norma del Producto, Producto Acotado...
- Más operadores de agregación, s-norma de Suma Drástica, Suma Acotada...
- Agrupación de reglas en grupos que permita clasificarlas bajo distintos criterios.
- Permitir la introducción de modificadores lingüísticos (muy, poco, bastantes...) en las reglas.
- Habilitar un sistema de definición rápida de grupos de etiquetas lingüísticas al declarar una variable.
- Mejorar el interfaz de modificación de los puntos que definen a un conjunto difuso.
- Desarrollar un sistema de ayuda o asistente a la generación de un sistema de control difuso.
- Controlar de una forma más eficiente el consumo de memoria.
- Introducir funciones de impresión que permitan documentar los parámetros del sistema.
- Permitir la inserción de nuevos puntos en la secuencia de valores en las variables de entrada.
- Realizar un estudio más profundo acerca de las variables de dominio discreto. Estas variables son las que tienen un conjunto finito de valores posibles, por ejemplo, *encendido/apagado, rojo/ambar/verde...*
- Permitir la implementación de otros tipos de reglas: graduales (como del tipo "cuanto más alto sea x más bajo será y "), comparativas (que permitan comparar variables entre si)...
- Dar un nivel de importancia a cada regla, de forma que puedan existir reglas que tengan que cumplirse aunque otras reglas tengan que ignorarse.
- Profundizar más en los métodos de defuzzificación basados en características de un conjunto particular (el de mayor área, mayor altura...). Esos sistemas pueden generar ambigüedad cuando hay varios conjuntos que tienen la misma característica y esa es la seleccionada.
- Introducir la posibilidad de que las variables de salida puedan a su vez ser interpretadas por el sistema como variables de entrada.
- Tener otra base de reglas que permita simular el comportamiento del sistema a controlar. Estas reglas tomarían como variables de entrada las de salida y viceversa.
- Mejorar el interfaz de desarrollo de reglas de forma que permita analizarlas encontrando posibles contradicciones, mostrando posibles combinaciones...