



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE COLOMBIA

3007855 - Inteligencia Artificial

3010476 - Introducción a la Inteligencia Artificial

Semestre: 02/2021

Prof. Demetrio Arturo Ovalle Carranza
Departamento de Ciencias de la Computación
y de la Decisión
Facultad de Minas

Octubre 19 de 2021

LMS: <https://minaslap.net/user/index.php?id=560>

Link Clases: meet.google.com/quy-okvi-ugq



3007855 - Inteligencia Artificial

3010476 - Introducción a la Inteligencia Artificial

Semestre: 02/2021

Monitoría Grupo 2 – Martes (Oct 19) 4-6 pm

Monitor: Juan Pablo Carvajal García

(e-mail: jpcarvajalga@unal.edu.co)

Link Monitorías martes: meet.google.com/aie-jbqn-uri

Monitoría Grupo 1 – Jueves (Oct 21) 10-12 m

Monitora: Ana María Osorio Mondragón

(e-mail: anmosoriomo@unal.edu.co)

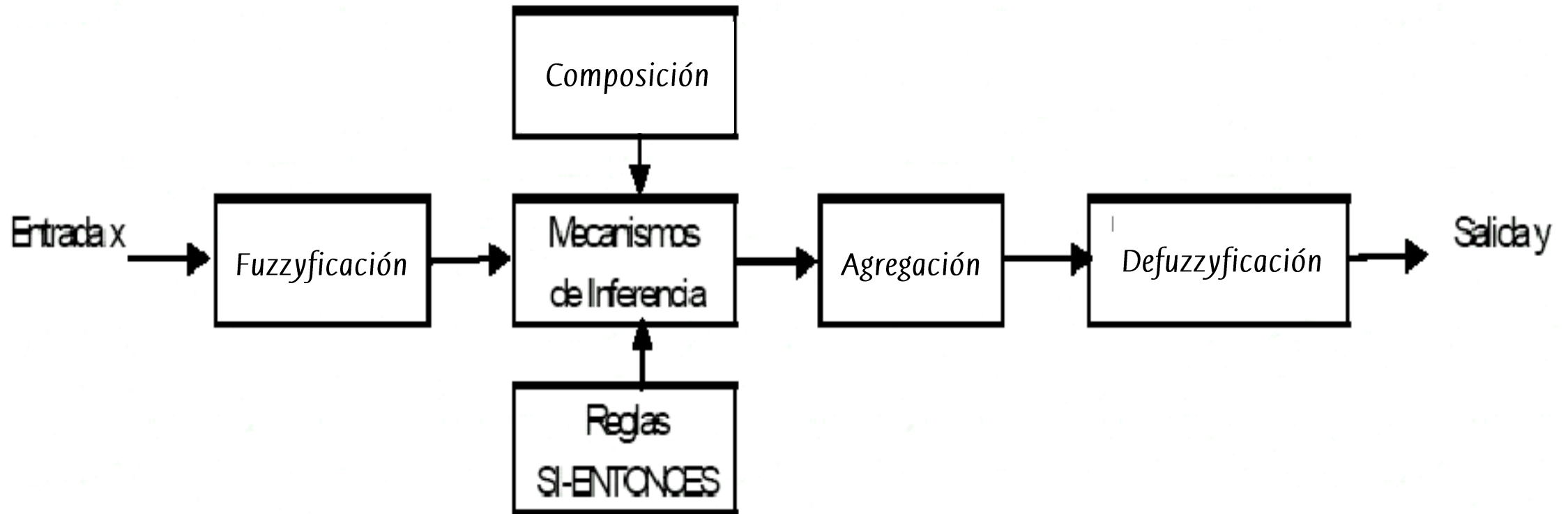
Link Monitorías Jueves: meet.google.com/jrm-ippw-rgz



Contenido

- Sistemas de Inferencia Difusa (FIS)
- FIS Aire Acondicionado

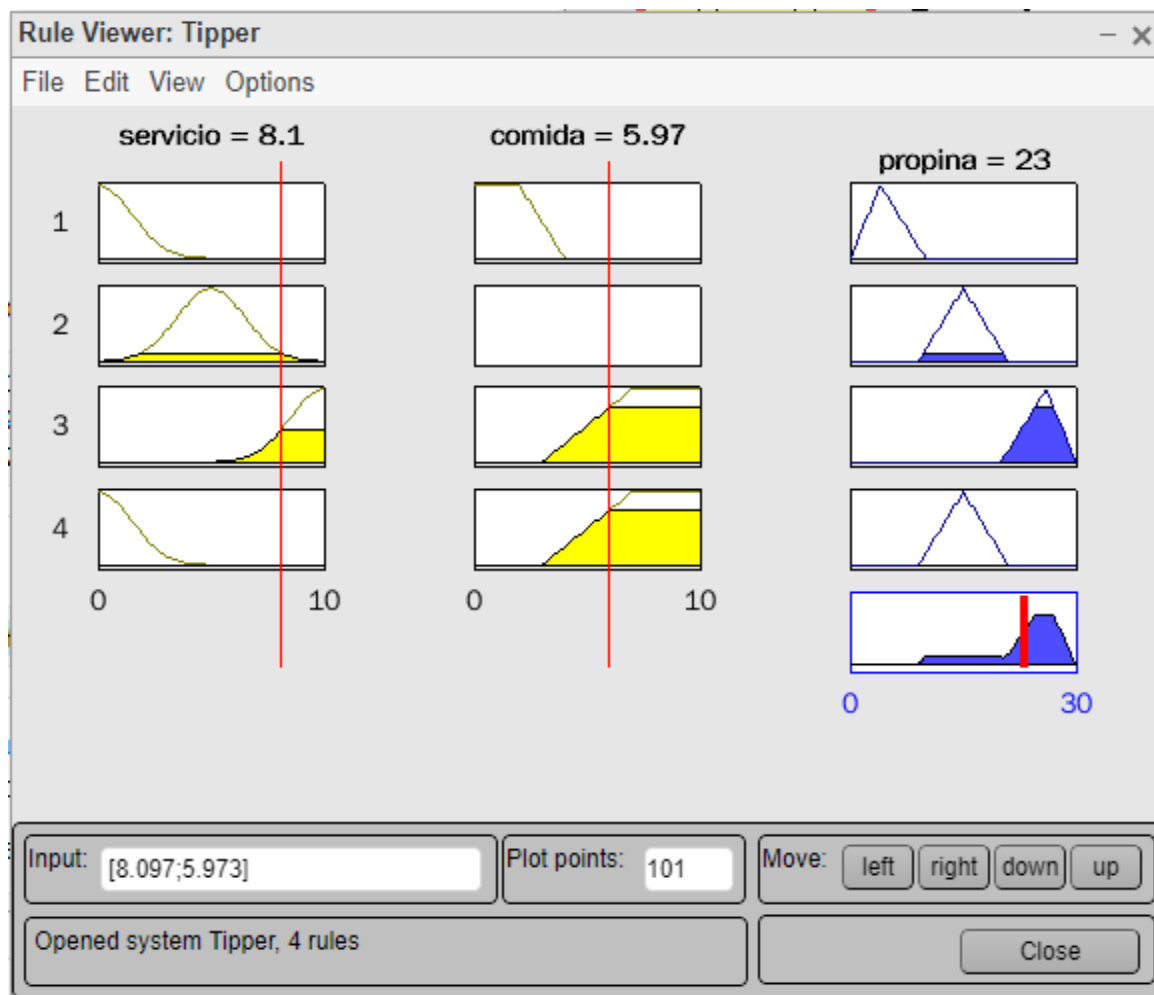
Sistemas de Inferencia Difusa (SID)



Etapas de Fuzzyficación, Mecanismo de Inferencia y Defuzzyficación

- **Etapas de Fuzzyficación:** En esta etapa se convierte un valor numérico de entrada en un valor difuso (conjunto difuso y grado de pertenencia).
- **Mecanismo de Inferencia:** En este bloque se realiza la activación de las Reglas y se concluye una salida de acuerdo con el valor de las entradas, la información almacenada en el **FIS** y el grado de activación de cada regla.
- **Etapas de Defuzzyficación):** Es el encargado de convertir una salida en forma de Conjunto Difuso en un valor numérico.

Etapas de Composición y Agregación en FIS



Rule Editor: Tipper

File Edit View Options

1. If (servicio is pobre) or (comida is rancia) then (propina is baja) (1)
2. If (servicio is bueno) then (propina is promedio) (1)
3. If (servicio is excelente) or (comida is deliciosa) then (propina is generosa) (1)
4. If (servicio is pobre) and (comida is deliciosa) then (propina is promedio) (1)

If	and	Then
servicio is	comida is	propina is
<input type="checkbox"/> pobre	<input type="checkbox"/> rancia	<input type="checkbox"/> baja
<input type="checkbox"/> bueno	<input checked="" type="checkbox"/> deliciosa	<input type="checkbox"/> promedio
<input checked="" type="checkbox"/> excelente	<input type="checkbox"/> none	<input checked="" type="checkbox"/> generosa
<input type="checkbox"/> none		<input type="checkbox"/> none
<input type="checkbox"/> not	<input type="checkbox"/> not	<input type="checkbox"/> not

Connection: ☒ or ☐ and Weight: 1

Delete rule Add rule Change rule << >>

Ready

Close

Sistemas de Inferencia Difusa Tipo MAMDANI

Mamdani propone reglas con Antecedente Difuso y con Consecuente Difuso.

$R^{(l)}$: IF x_1 is F_1^l AND ...AND x_n is F_n^l THEN y is G^l

donde F_1^l y G^l son conjuntos difusos

$$X = (x^1, \dots, x^n) \in U^1 \times \dots \times U^n$$

$$y \in V$$

Sistemas de Inferencia Difusa Tipo TAKAGI-SUGENO

Takagi-Sugeno, propone reglas con Antecedente Difuso pero con Consecuente Numérico (función concreta). La función de salida es una combinación lineal de las variables de entrada.

R^i :

Si : x es $B^i(x)$

Entonces : $y^i = f^i(x)$

$x = [x_1, x_2, \dots, x_M]$ son las M entradas del FIS

$B^i(x)$ es un Conjunto Difuso Multidimensional (CDM) de dimensión M

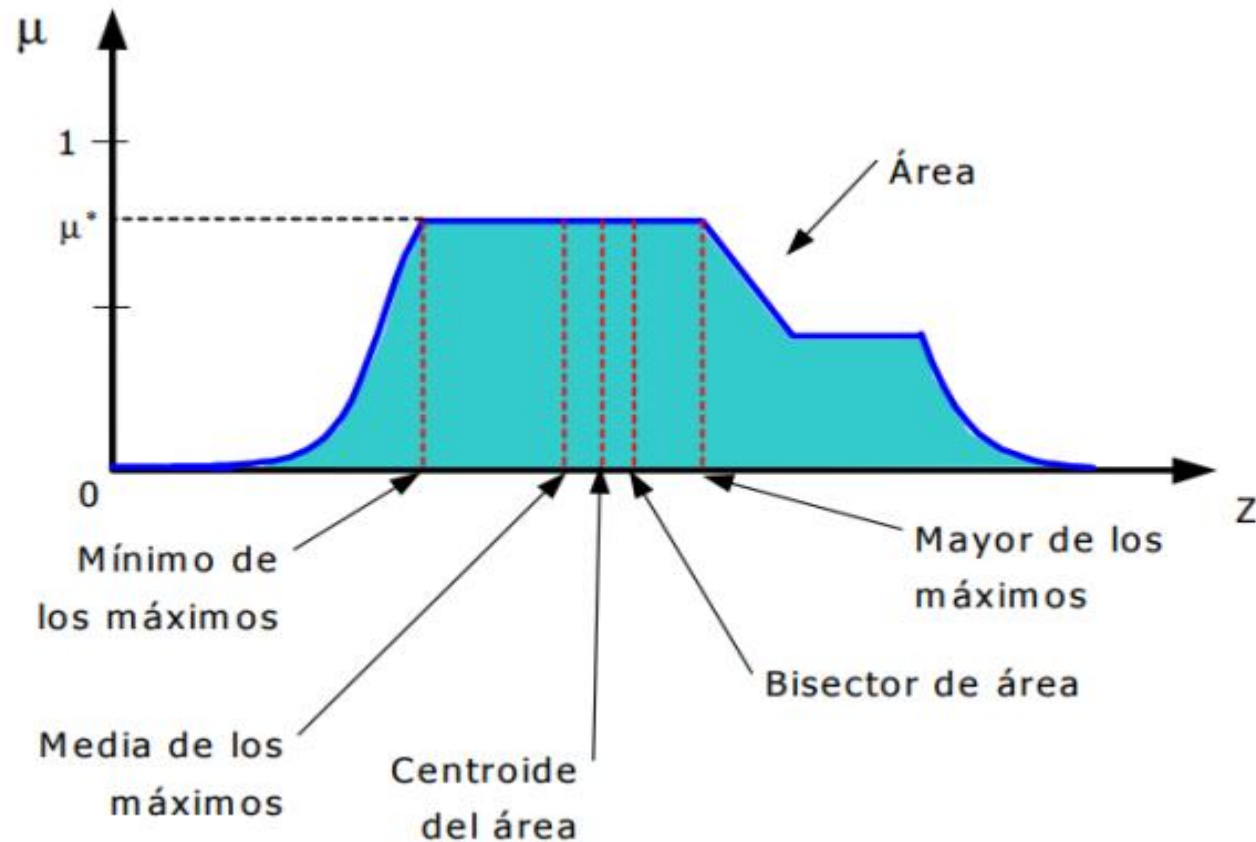
y^i es la salida para la regla i definida por $f^i(x)$

Métodos de Defuzzificación

Es necesario convertir la salida difusa del sistema en un valor numérico.

Métodos:

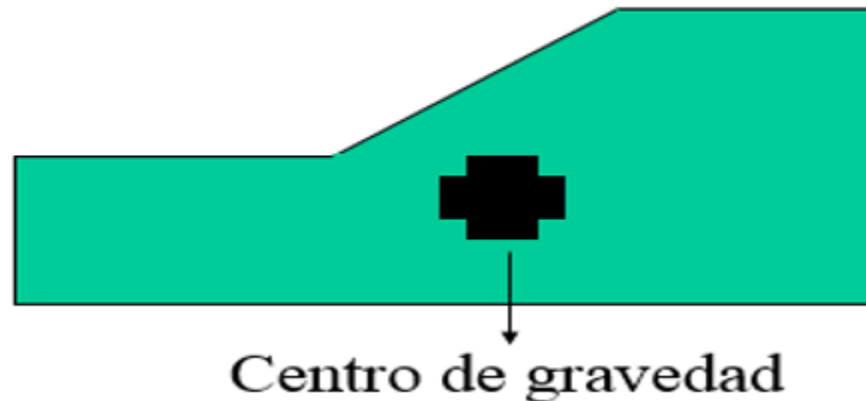
- Centroide del área
- Bisector del área
- MOM (Middle Of the Maximum)
Media de los máximos
- LOM (Largest Of the Maximum)
Mayor de los máximos
- SOM (Smallest Of the Maximum)
Mínimo de los máximos



Métodos de Defuzzificación

Centroide del área o Centro de gravedad

Determina el valor representativo de un conjunto difuso como el centro del área limitada por el conjunto difuso resultante de aplicar las diferentes reglas.



Métodos de Defuzzificación

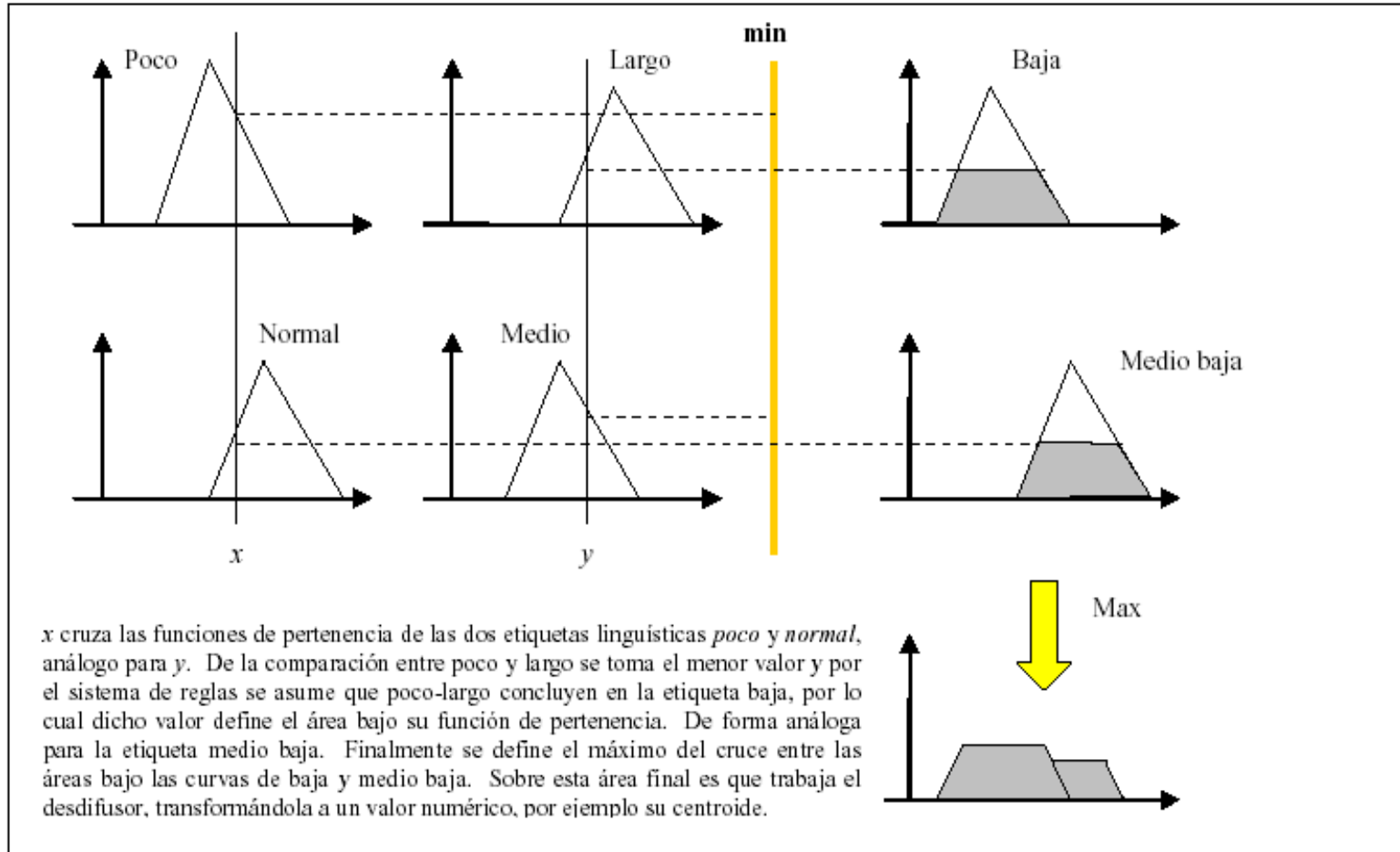
Primer Máximo (SOM)

Este método toma como resultado el valor más pequeño del dominio de salida que corresponde al grado de pertenencia máximo.

Ultimo Máximo (MOM)

Este método proporciona como salida el promedio de todos los valores del dominio de salida que poseen el valor máximo de la función de pertenencia de la conclusión.

Proceso de Defuzzyficación



Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

El método estándar para crear un FIS (por sus siglas en inglés) involucra:

- Identificación y denominación de las entradas y salidas difusas.
- Creación de las funciones de pertenencia de cada una de las entradas y salidas.
- Construcción de la base de conocimientos.

Las partes iniciales del problema son esbozadas a partir de la **experiencia intuitiva de un experto o especialista en el área.**

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa (FIS)

Ejemplo

Supongamos que se desea crear **un sistema difuso para controlar el aire acondicionado** de un recinto.

Recurrirnos a la **experiencia de un fabricante de aires acondicionados**, para elaborar un sistema de **dos entradas y una salida**.

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Identificar y Nombrar las Variables Lingüísticas Difusas (V.L.D.) de Entrada

- Temperatura del Ambiente ($^{\circ}\text{C}$)
- Volumen del Salón (m^3)

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

V.L.D. : Temperatura del Ambiente.

Se pretende, por supuesto, que el salón esté a una temperatura agradable. Digamos, para una ciudad como Medellín, mantener la temperatura entre 15 y 25°C.

Un usuario puede definir los rangos de temperatura en 4 conjuntos difusos.

Muy Frío, Frío, Agradable, Cálido

Sistemas de Inferencia Difusa

Temperatura del Ambiente.

<i>Nombre</i>	<i>Rango (°C)</i>
Muy Frío	15 - 19
Frío	17 - 21
Agradable	19.6 - 24
Cálido	23 - 25

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

V.L.D. : Volumen del Salón

Consideremos salones de clase entre 500 y 10.000 m³ de volumen.

A partir de dicho volumen, nos podemos dar a la idea de dimensionar un salón, por medio de los siguientes conjuntos difusos

Muy Pequeño, Pequeño, Mediano, Grande, Muy Grande

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

V.L.D. : Volumen del Salón.

<i>Nombre</i>	<i>Volumen (m^3)</i>
Muy pequeño	500 - 1230
Pequeño	1000 – 2000
Mediano	1900 – 4500
Grande	4000 – 6000
Muy Grande	5000 - 10000

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Identificar y Nombrar las Salida(s) Difusa(s)

Sólo se considerará una salida, para considerar la potencia a la cual debe trabajar el aire acondicionado.

Según los datos de placa de un Aire Acondicionado común y corriente, se observa que la potencia máxima del mismo es de aprox. 4000W.

Potencia de Trabajo del Aire Acondicionado

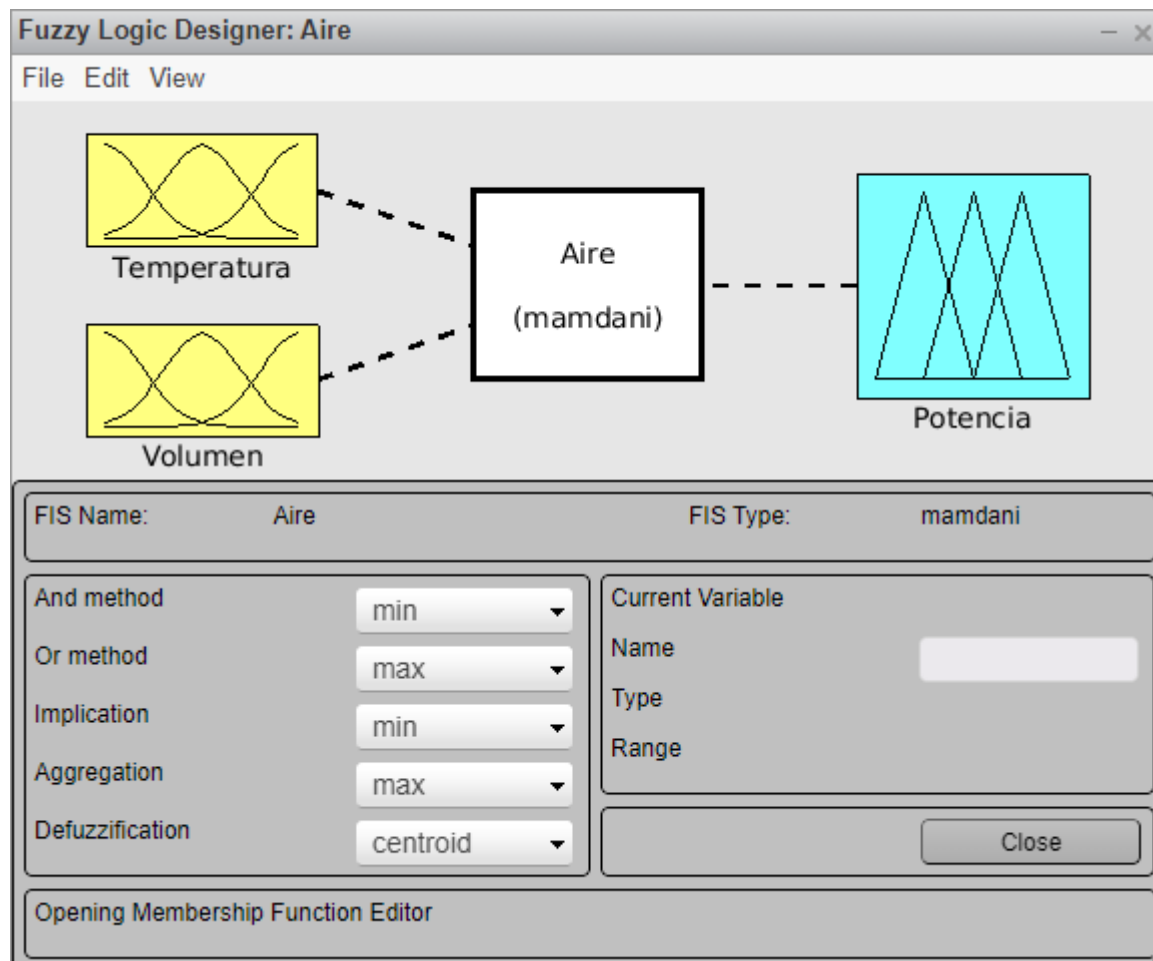
Baja, Media, Alta, Muy Alta

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Potencia de Trabajo del Aire Acondicionado.

<i>Nombre</i>	<i>Rango (W)</i>
Baja	0 – 1500
Media	1250 – 2500
Alta	2300 – 3800
Muy Alta	3500 - 4000

Prototipo en MATLAB



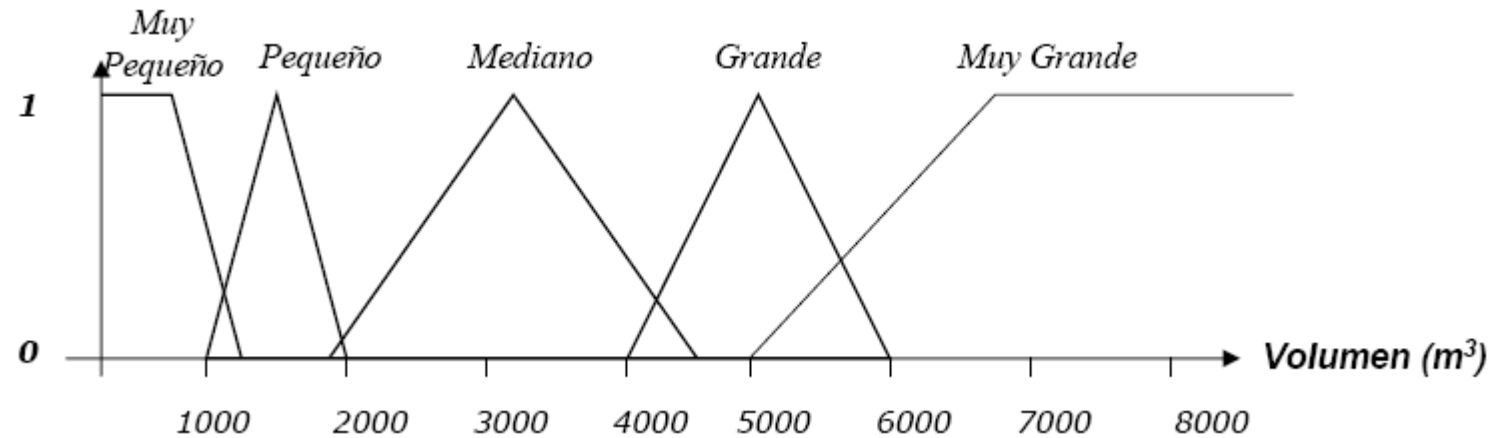
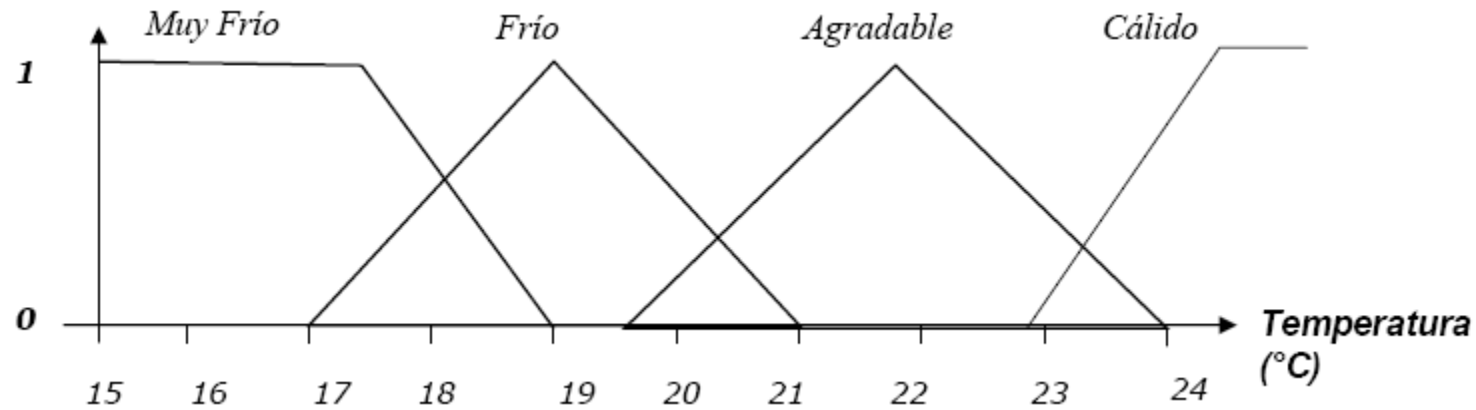
Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Crear las funciones de pertenencia de cada una de las salidas y entradas.

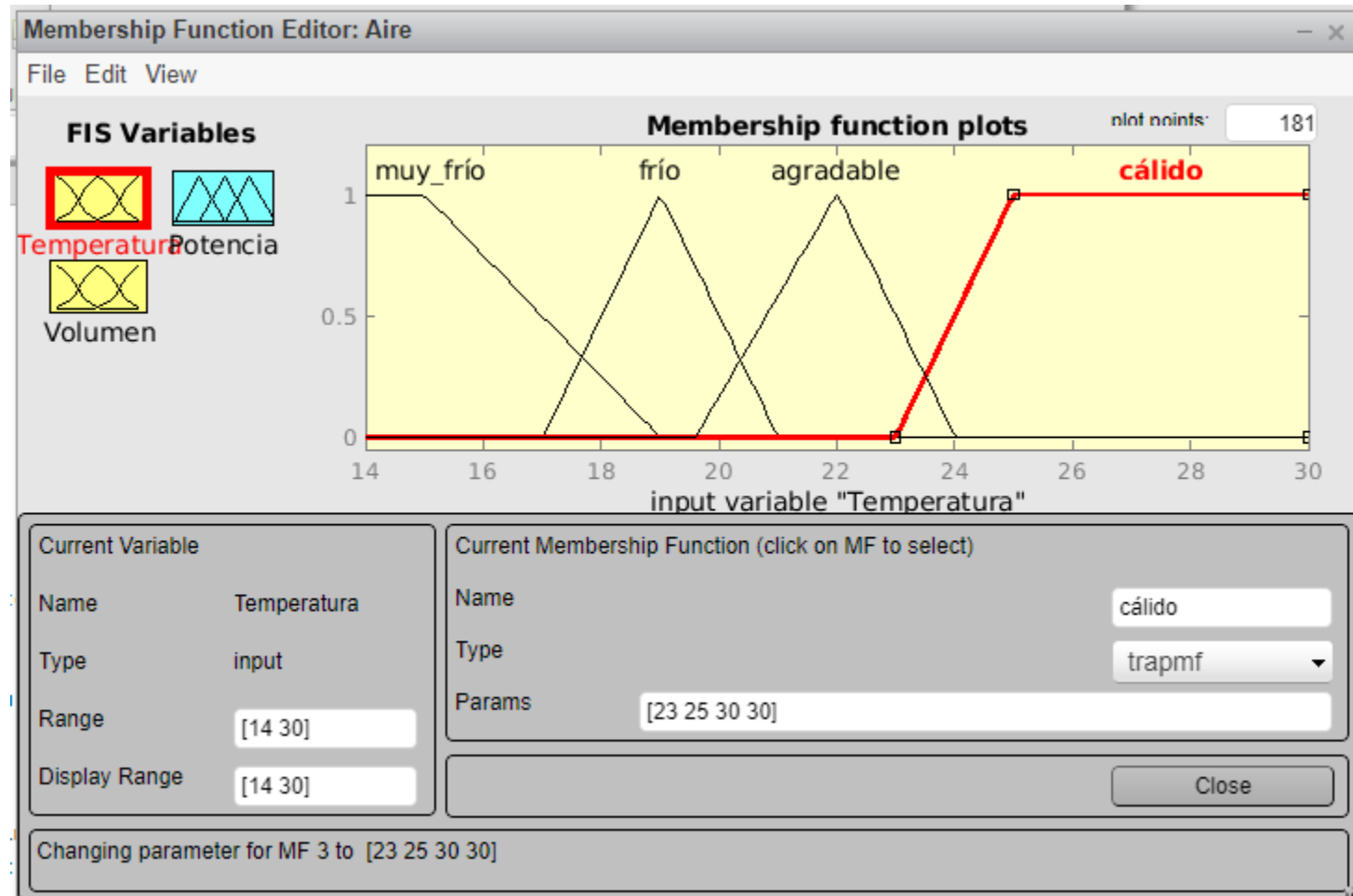
Los sistemas de control difusos ó controladores difusos son **Sistemas Expertos**. Es decir, son modelados utilizando la experiencia de las personas reales expertas.

El siguiente paso consiste en incorporar tal experiencia en la definición de las funciones de pertenencia, para **cada entrada** y para **cada salida**.

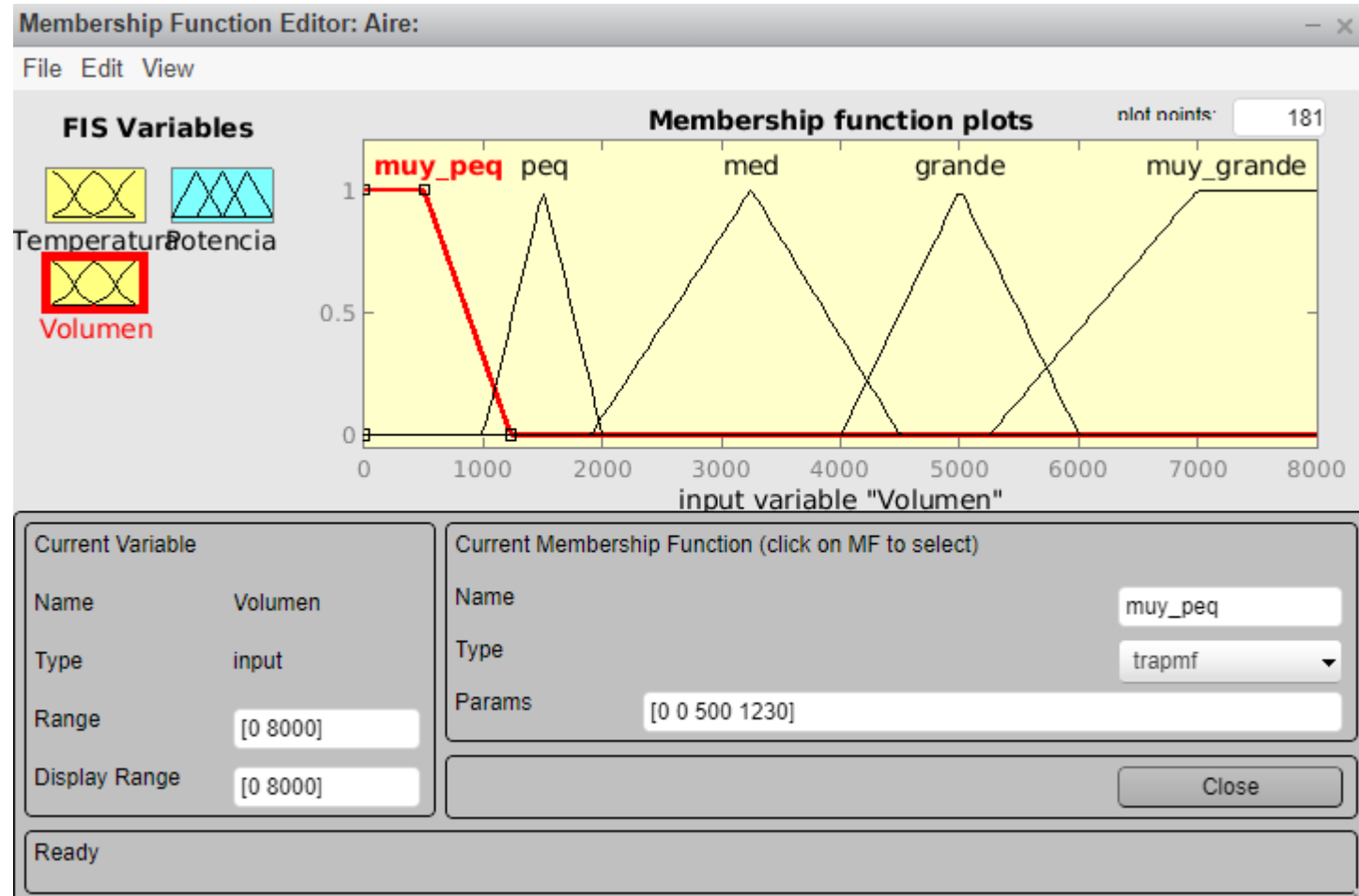
Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa



Conjuntos difusos para Variable Lingüística Temperatura

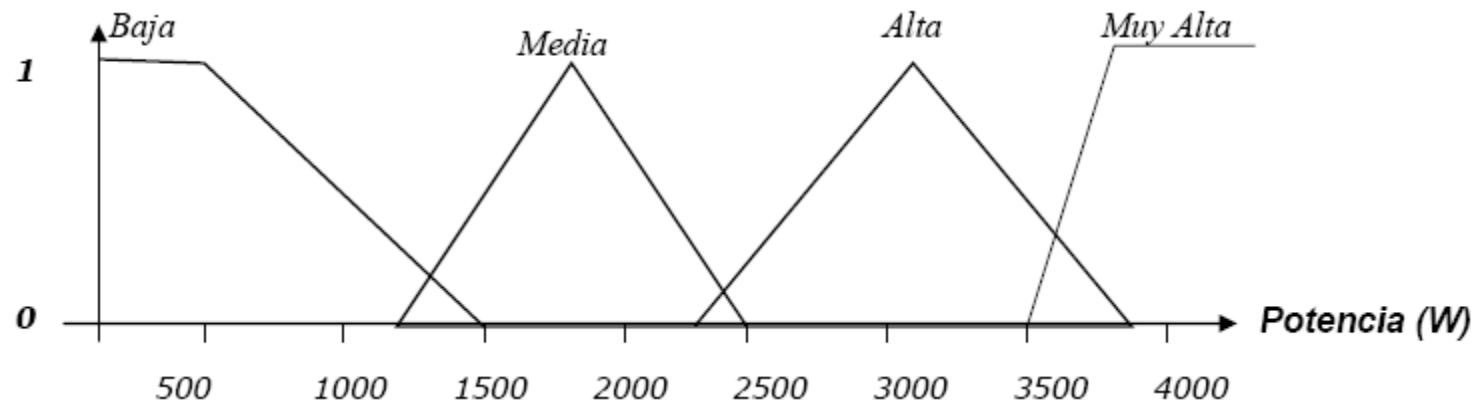


Conjuntos difusos para Variable Lingüística Volumen

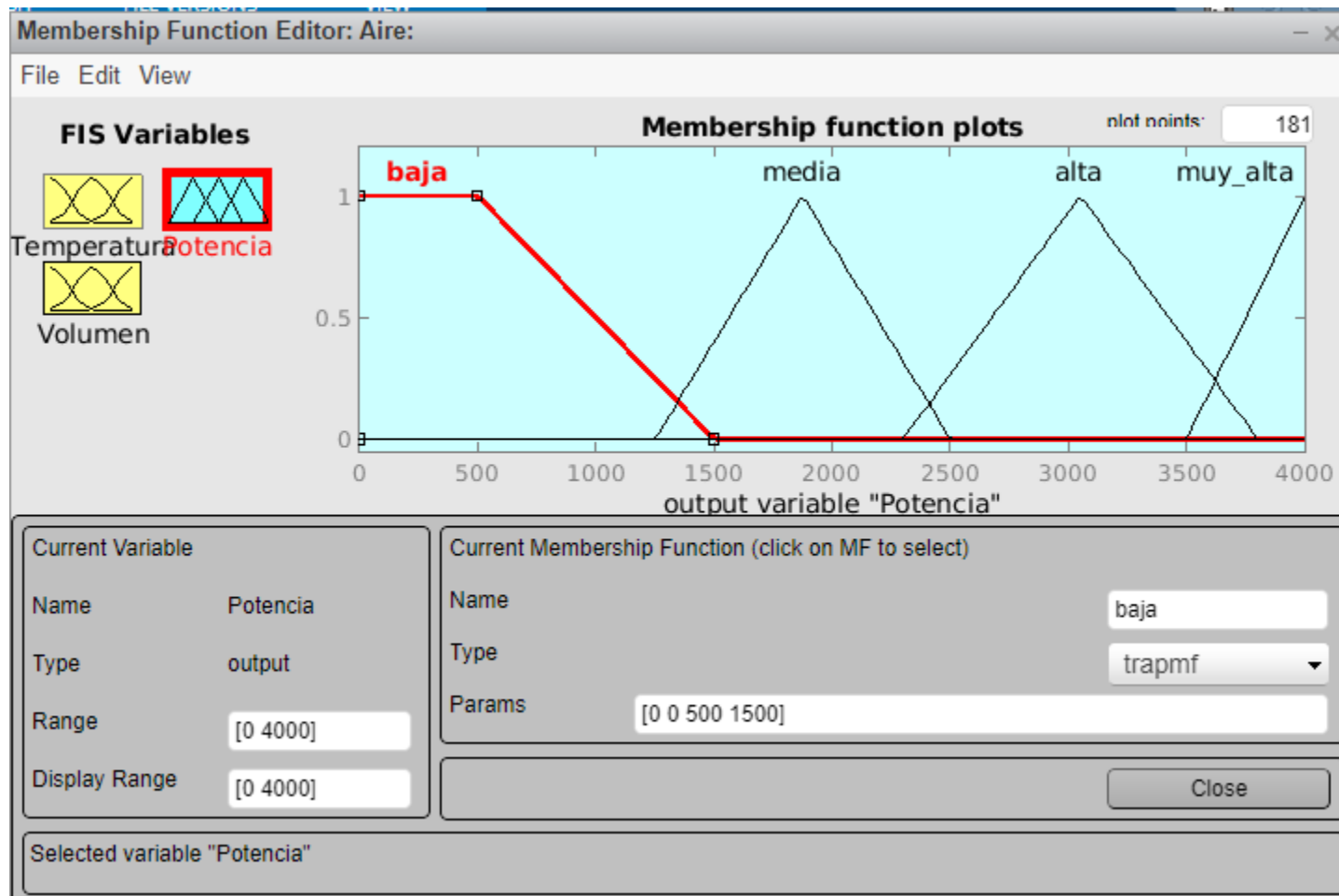


Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Variable Lingüística de Salida: Potencia de Trabajo del Aire Acondicionado.



Conjuntos difusos para Variable Lingüística Potencia



Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Construir la Base de Reglas Difusas.

Ahora se escriben las reglas (matricialmente) que traducirán las entradas en las actuales salidas.

La matriz del fabricante colocaría la Temperatura a lo largo del eje horizontal y la Volumen a lo largo del eje vertical.

Diseño de las Interacciones

La matriz provee una celda vacía para cada combinación Temperatura – Volumen.

¿Qué se coloca en las celdas?

Cada celda puede contener una acción de salida difusa, aunque no todas tienen que llenarse. Las acciones son aquellas diseñadas en las funciones de pertenencia de la salida (en este caso Potencia).

Generación de reglas en el FIS

Eje X

Temperatura

Eje Y
Volumen

Temperat Volumen	Muy Frío	Frío	Agradable	Cálido
Muy Pequeño				
Pequeño				
Mediano				
Grande				
Muy Grande				

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Variable de Salida:

Potencia de Trabajo del Aire Acondicionado

<i>Nombre</i>	<i>Rango (W)</i>
Baja	0 – 1500
Media	1250 – 2500
Alta	2300 – 3800
Muy Alta	3500 - 4000

Formulación de Sistemas de Inferencia Difusa

Eje X

Temperatura

Eje Y

Volumen

Temperat Volumen	Muy Frío	Frío	Agradable	Cálido
Muy Pequeño	Baja	Baja	Media	Media
Pequeño	Baja	Media	Media	Media
Mediano	Media	Media	Media	Alta
Grande	Alta	Alta	Alta	Muy Alta
Muy Grande	Muy Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Var Salida - Conjuntos Potencia:
Baja, Media, Alta, Muy Alta.

Ejemplo de Reglas Difusas

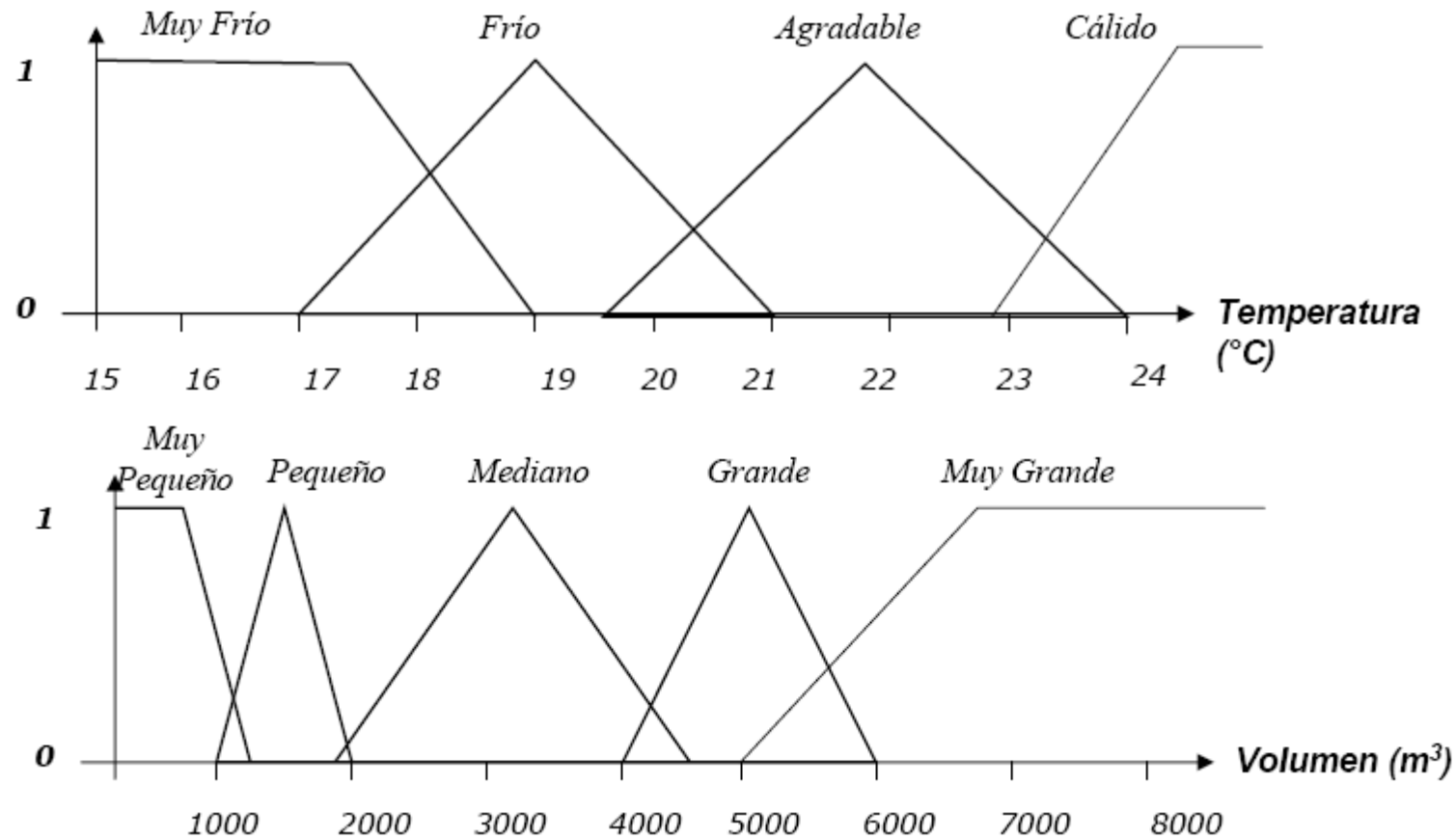
R : SI *volumen_del_salón* es MP (Muy Pequeño) **AND**
temperatura es B (Baja)

ENTONCES *Potencia_del_Aire_Acondicionado* debe
ser B (Baja, o sea entre 0 y 1500 W).

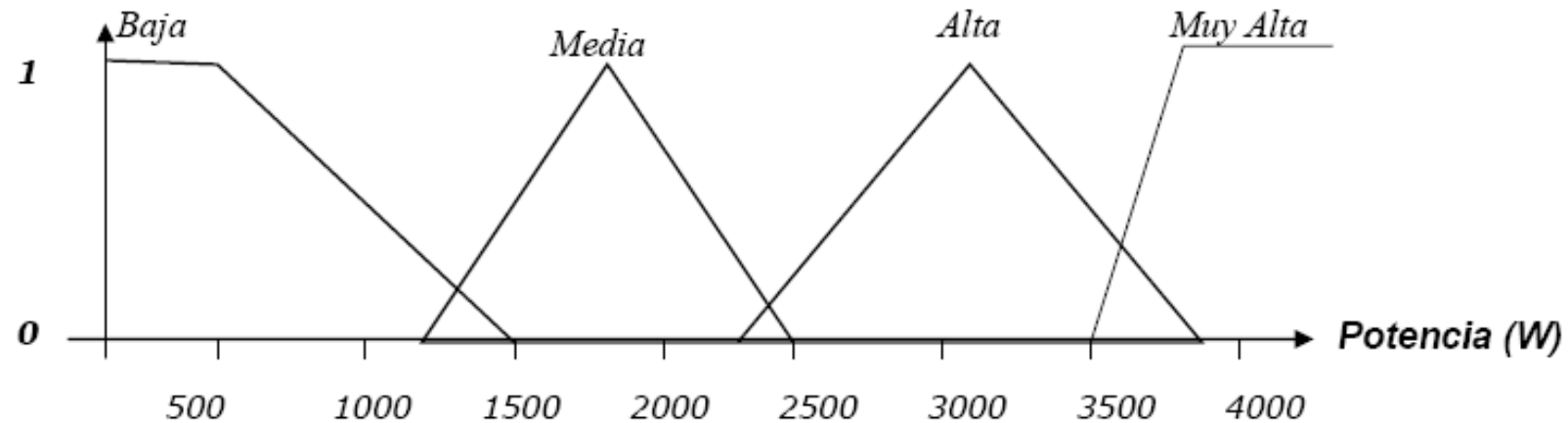
R : SI *volumen_del_salón* es G (Grande) **AND**
temperatura es C (Cálida)

ENTONCES *Potencia_del_Aire_Acondicionado* debe
ser MA (muy Alta, o sea entre 3500 y 4000 W).

Conjuntos difusos para las variables lingüísticas de Entrada: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y Volumen (m^3)



Conjuntos difusos para la variable lingüística de Salida: Potencia



Ejemplos de Reglas de Inferencia Difusa tipo Mandami

R₁: **SI** *volumen_del_salón* es MP (Muy Pequeño) **AND** *temperatura_requerida* es B (Baja)

ENTONCES *Potencia_del_Aire_Acondicionado* debe ser B (Baja, o sea entre 0 y 1500 W).

R₂ : **SI** *volumen_del_salón* es G (Grande) **AND** *temperatura_requerida* es C (Cálida)

ENTONCES *Potencia_del_Aire_Acondicionado* debe ser MA (muy Alta, o sea entre 3500 y 4000 W).

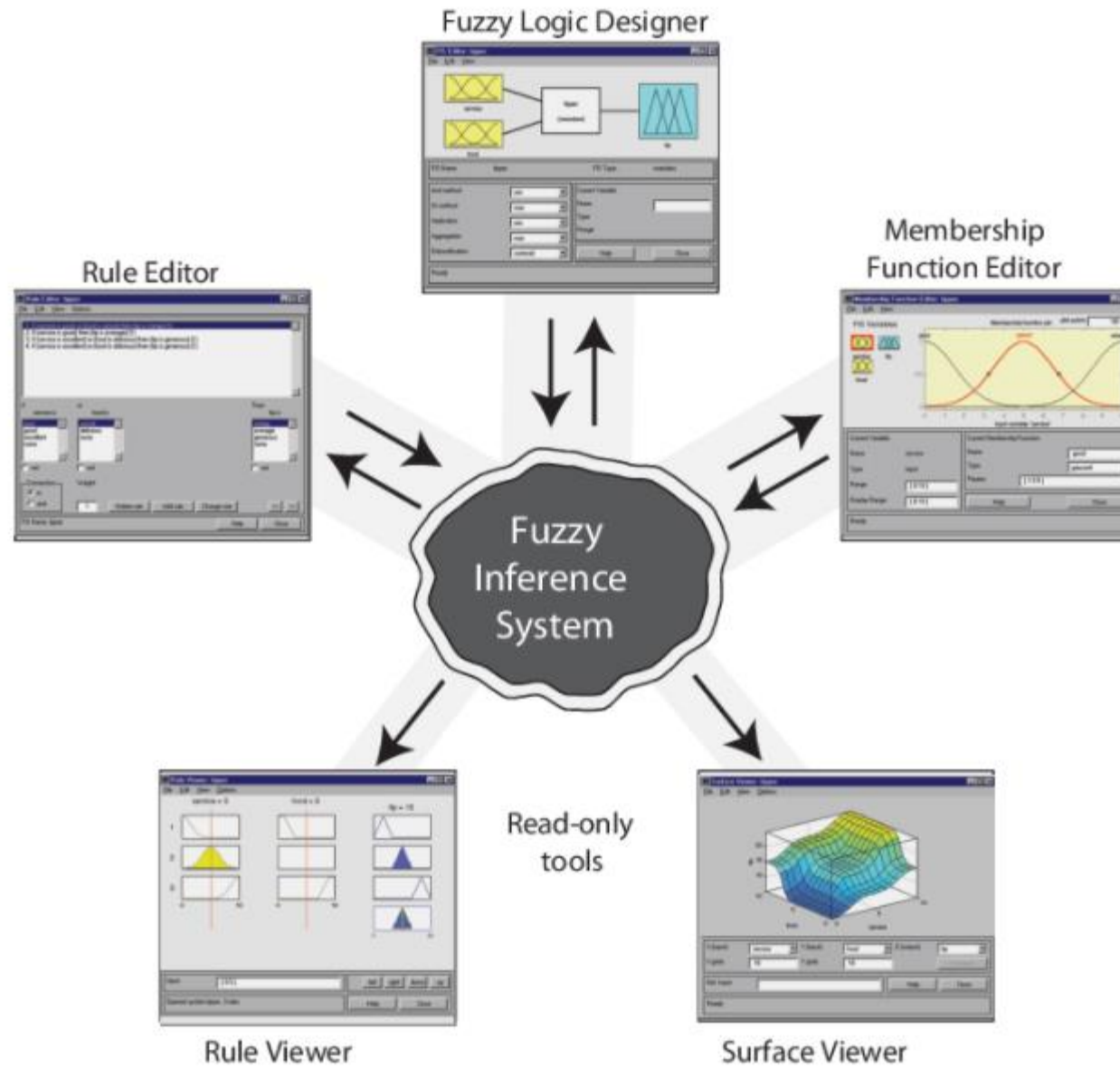
Creación de Prototipos Rápidos de FIS online en MATLAB

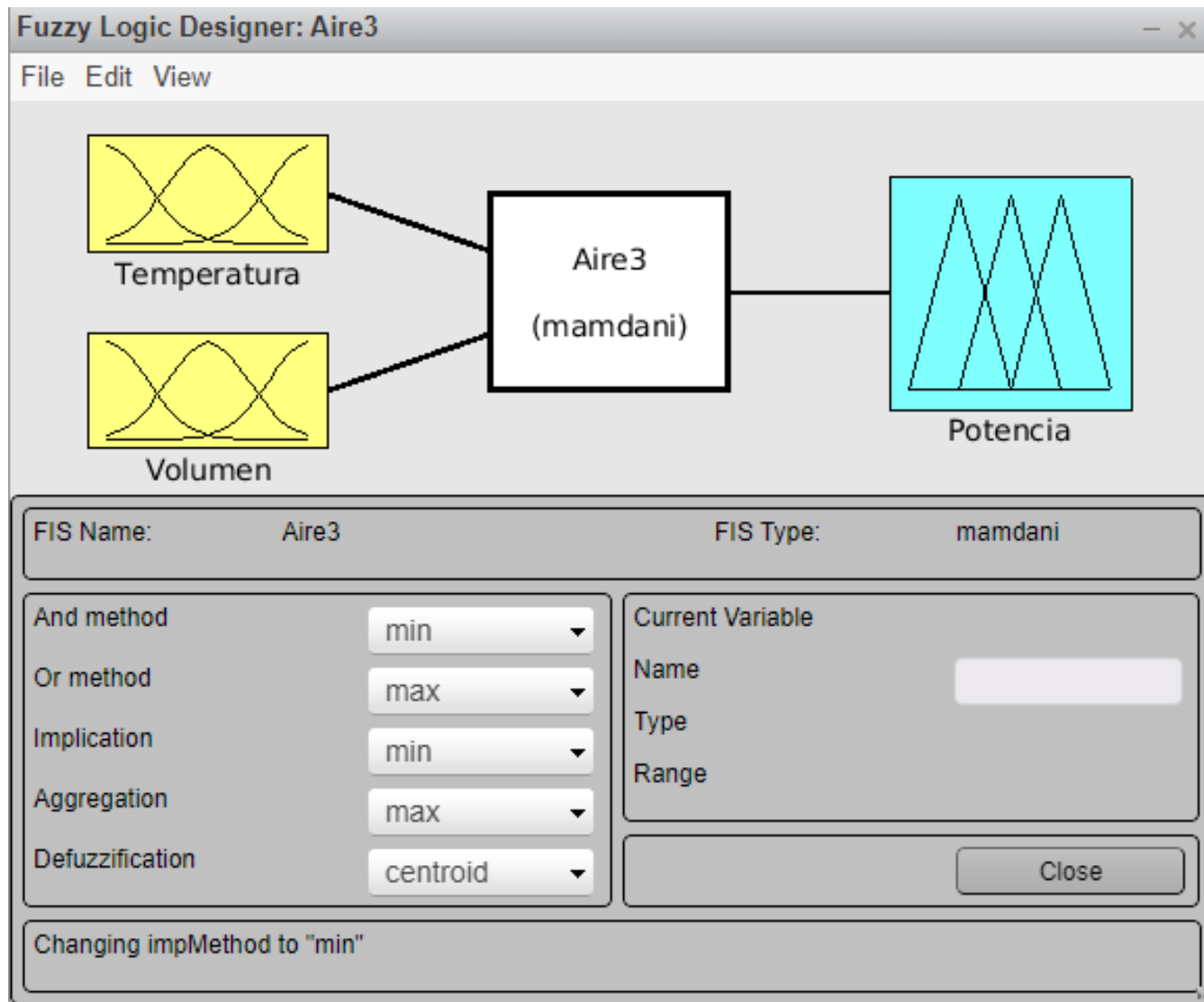
<https://matlab.mathworks.com/>

Build Fuzzy Systems at the Command Line

<https://la.mathworks.com/help/fuzzy/working-from-the-command-line.html>

Fuzzy Logic Designer - MATLAB





Visualización de Reglas de Inferencia Difusa tipo Mandami

Rule Editor: Aire3

File Edit View Options

1. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is muy_peq) then (Potencia is baja) (1)
2. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is peq) then (Potencia is baja) (1)
3. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is med) then (Potencia is media) (1)
4. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is grande) then (Potencia is alta) (1)
5. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is muy_grande) then (Potencia is muy_alta) (1)
6. If (Temperatura is frío) and (Volumen is muy_peq) then (Potencia is baja) (1)
7. If (Temperatura is frío) and (Volumen is peq) then (Potencia is media) (1)
8. If (Temperatura is frío) and (Volumen is med) then (Potencia is media) (1)
9. If (Temperatura is frío) and (Volumen is grande) then (Potencia is alta) (1)
10. If (Temperatura is frío) and (Volumen is muy_grande) then (Potencia is muy_alta) (1)

If
Temperatura is
muy_frío
frío
cálido
agradable
none
☐ not

and
Volumen is
muy_peq
peq
med
grande
muy_grande
☐ not

Then
Potencia is
baja
media
muy_alta
alta
none
☐ not

Connection
☐ or
☒ and

Weight:
1

Delete rule Add rule Change rule << >>

Translating to verbose format

Close

20 reglas --- Visualización de Reglas --- fisrule

```
1  "Temperatura==muy_frío & Volumen==muy_peq => Potencia=baja (1)"
2  "Temperatura==muy_frío & Volumen==peq => Potencia=baja (1)"
3  "Temperatura==muy_frío & Volumen==med => Potencia=media (1)"
4  "Temperatura==muy_frío & Volumen==grande => Potencia=alta (1)"
5  "Temperatura==muy_frío & Volumen==muy_grande => Potencia=muy_alta (1)"
6  "Temperatura==frío & Volumen==muy_peq => Potencia=baja (1)"
7  "Temperatura==frío & Volumen==peq => Potencia=media (1)"
8  "Temperatura==frío & Volumen==med => Potencia=media (1)"
9  "Temperatura==frío & Volumen==grande => Potencia=alta (1)"
10 "Temperatura==frío & Volumen==muy_grande => Potencia=alta (1)"
11 "Temperatura==agradable & Volumen==muy_peq => Potencia=media (1)"
12 "Temperatura==agradable & Volumen==peq => Potencia=media (1)"
13 "Temperatura==agradable & Volumen==med => Potencia=media (1)"
14 "Temperatura==agradable & Volumen==grande => Potencia=alta (1)"
15 "Temperatura==agradable & Volumen==muy_grande => Potencia=alta (1)"
16 "Temperatura==cálido & Volumen==muy_peq => Potencia=media (1)"
17 "Temperatura==cálido & Volumen==peq => Potencia=media (1)"
18 "Temperatura==cálido & Volumen==med => Potencia=alta (1)"
19 "Temperatura==cálido & Volumen==grande => Potencia=muy_alta (1)"
20 "Temperatura==cálido & Volumen==muy_grande => Potencia=muy_alta (1)"
```

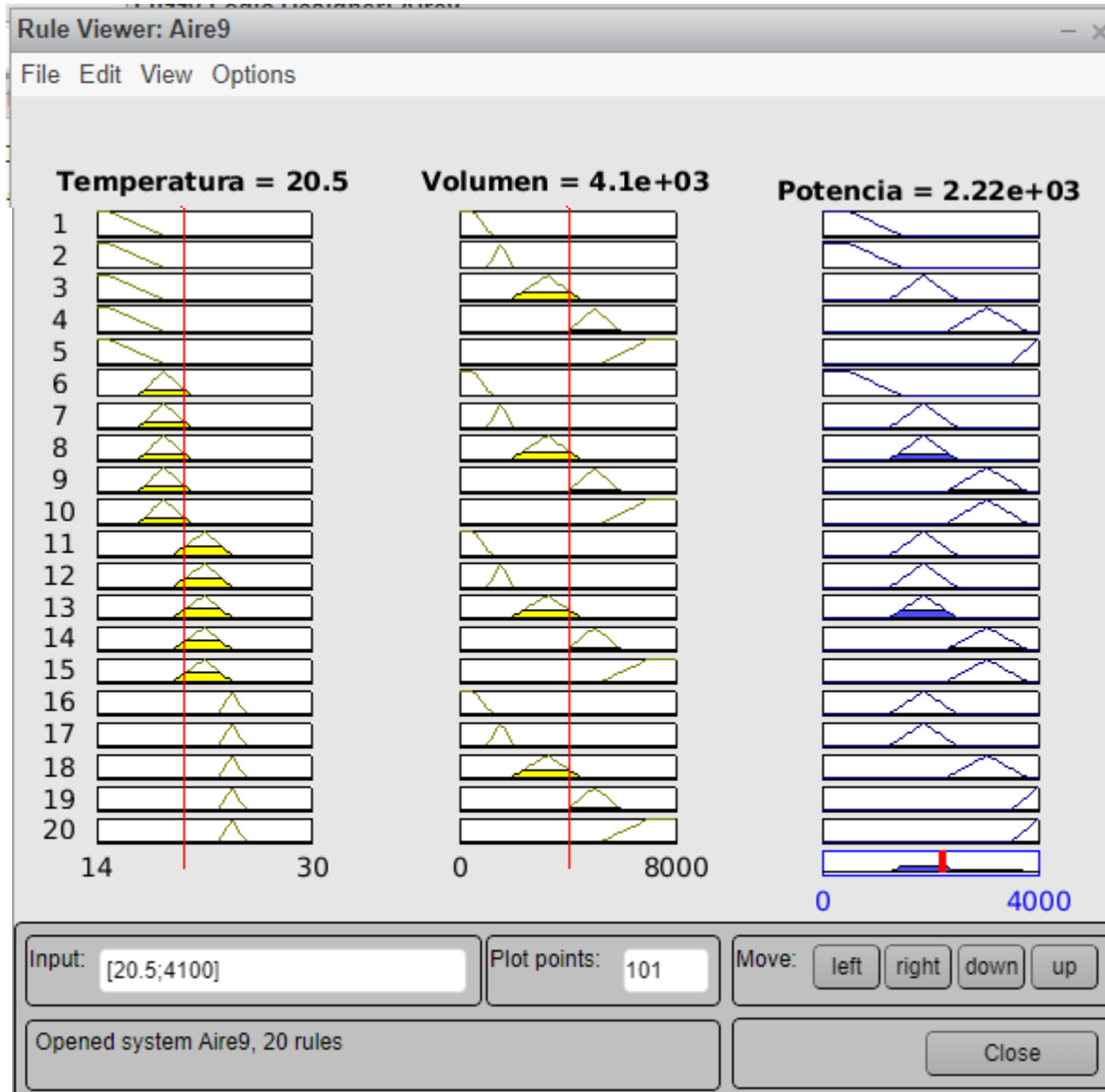
Visualización de Reglas de Inferencia Difusa tipo Mandami

[Rules]

- | | |
|----------------|--|
| 1 1, 1 (1) : 1 | 1. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is muy_peq) then (Potencia is baja) (1) |
| 1 2, 1 (1) : 1 | 2. If (Temperatura is muy_frío) and (Volumen is peq) then (Potencia is baja) (1) |
| 1 3, 2 (1) : 1 | |
| 1 4, 4 (1) : 1 | |
| 1 5, 3 (1) : 1 | |
| 2 1, 1 (1) : 1 | |
| 2 2, 2 (1) : 1 | |
| 2 3, 2 (1) : 1 | 8. If (Temperatura is frío) and (Volumen is med) then (Potencia is media) (1) |
| 2 4, 4 (1) : 1 | 9. If (Temperatura is frío) and (Volumen is grande) then (Potencia is alta) (1) |
| 2 5, 4 (1) : 1 | |
| 3 1, 2 (1) : 1 | ... |
| 3 2, 2 (1) : 1 | |
| 3 3, 4 (1) : 1 | 13. If (Temperatura is agradable) and (Volumen is med) then (Potencia is media) (1) |
| 3 4, 3 (1) : 1 | 14. If (Temperatura is agradable) and (Volumen is grande) then (Potencia is alta) (1) |
| 3 5, 3 (1) : 1 | |
| 4 1, 2 (1) : 1 | |
| 4 2, 2 (1) : 1 | |
| 4 3, 2 (1) : 1 | ... |
| 4 4, 4 (1) : 1 | |
| 4 5, 4 (1) : 1 | 20. If (Temperatura is cálido) and (Volumen is muy_grande) then (Potencia is muy_alta) (1) |

Visualización de Conjuntos Difusos

Estudio de Caso: Temperatura: 20.5 °C, Volumen: 4100 mt², Potencia: 2220 W



Rule 8. If (Temperatura is frío) and (Volumen is med) then (Potencia is media) (1)

Rule 9. If (Temperatura is frío) and (Volumen is grande) then (Potencia is alta) (1)

Rule 13. If (Temperatura is agradable) and (Volumen is med) then (Potencia is media) (1)

Rule 14. If (Temperatura is agradable) and (Volumen is grande) then (Potencia is alta) (1)

Superficie 3D

