

## Práctica 1c Introducción a la Teoría y Lógica Fuzzy

En esta práctica se va a implementar un controlador difuso para una calefacción.

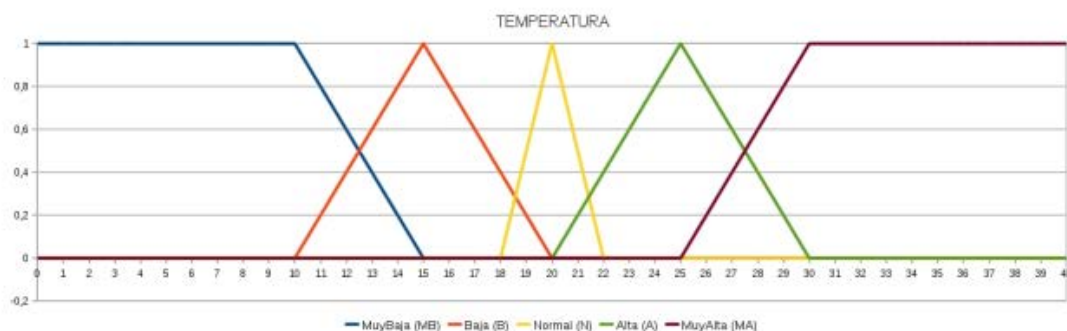
**Descripción:** Se pretende controlar la calefacción de un invernadero, edificio, etc... a partir de los parámetros de temperatura y humedad del mismo. La finalidad es mantener controlada la temperatura e, implícitamente, la humedad.

- Se cuenta con un sensor de temperatura con un rango de funcionamiento desde 0°C a 40°C y una precisión de centésimas.
- Se cuenta con un sensor de humedad con un rango de funcionamiento entre 0% y 100% de humedad relativa, con una precisión de centésimas.
- La caldera se puede controlar mediante incrementos/decrementos de temperatura, desde -15°C a +15°C.

### A) Variables de entrada (estado)

#### Temperatura

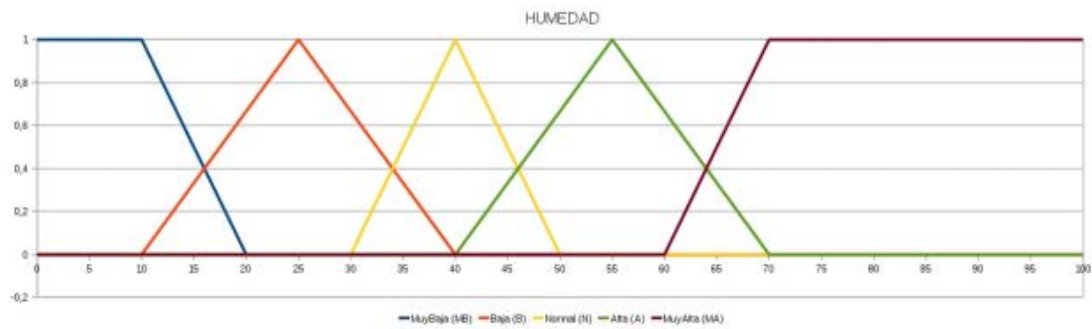
- Universo de discurso: de 0 a 40 grados con incrementos de 0.01 grados.
- Etiquetas:
  - Muy Baja (MB): Trapezoidal (0, 0, 10, 15).
  - Baja (B): Trapezoidal (10, 15, 15, 20).
  - Normal (N): Trapezoidal (18, 20, 20, 22).
  - Alta (A): Trapezoidal (20, 25, 25, 30).
  - Muy Alta (MA): Trapezoidal (25, 30, 40, 40)



*Ilustración 1 Etiquetas lingüísticas para la variable Temperatura*

#### Humedad

- Universo de discurso: de 0 a 100 (porcentaje) con incrementos de 0.01.
- Etiquetas:
  - Muy Baja (MB): Trapezoidal (0, 0, 10, 20).
  - Baja (B): Trapezoidal (10, 25, 25, 40).
  - Normal (N): Trapezoidal (30, 40, 40, 50).
  - Alta (A): Trapezoidal (40, 55, 55, 70).
  - Muy Alta (MA): Trapezoidal (60, 70, 100, 100)

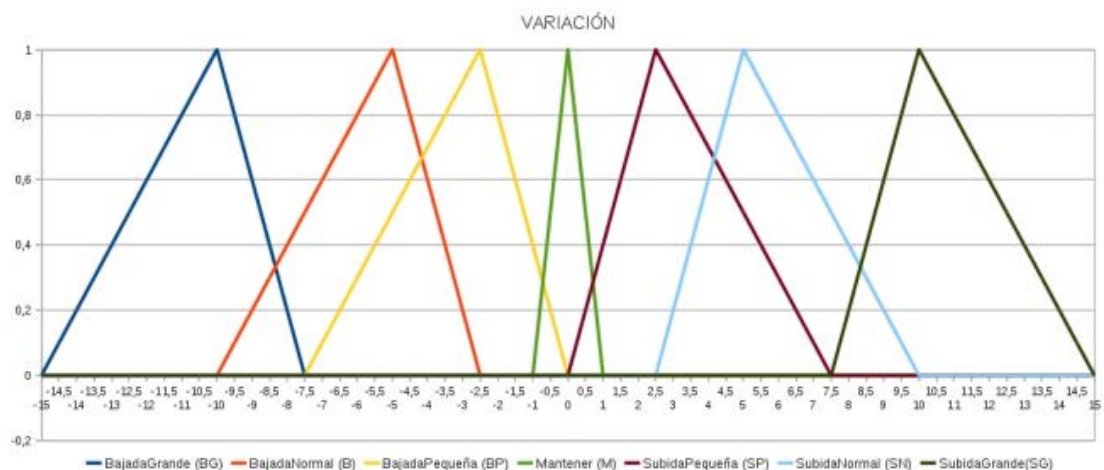


*Ilustración 2 Etiquetas lingüísticas para la variable Humedad*

## B) Variables de salida (control)

### Variación de temperatura

- Universo de discurso: de -15 a +15 grados con incrementos de 0.5 grados.
- Etiquetas:
  - Bajada Grande (BG): Trapezoidal (-15, -10, -10, -7.5).
  - Bajada Normal (BN): Trapezoidal (-10, -5.5, -5.5, -2.5).
  - Bajada Pequeña (BP): Trapezoidal (-7.5, -2.5, -2.5, 0).
  - Mantener (M): Trapezoidal (-1, 0, 0, 1).
  - Subida Pequeña (SP): Trapezoidal (0, 2.5, 2.5, 7.5).
  - Subida Normal (SN): Trapezoidal (2.5, 7.5, 7.5, 10).
  - Subida Grande (SG): Trapezoidal (7.5, 10, 10, 15).



*Ilustración 3 Etiquetas lingüísticas para la variable Variación de Temperatura*

### C) Reglas difusas

Se considera la siguiente FAM (Fuzzy Association Matrix), ver Figura 4, para la variable de control variación de temperatura.

Temp.	Humedad				
	MB	B	N	A	MA
MB	SN	SN	SG	SG	SG
B	M	M	SP	SP	SN
N	M	M	M	M	BP
A	M	M	BP	BP	BN
MA	BP	BN	BN	BG	BG

*Ilustración 4 Matriz que representa las 25 reglas difusas disponibles en el controlador difuso*

De esta matriz obtenemos 25 reglas difusas. Por ejemplo, la primera regla difusa, que corresponde al elemento situado en la esquina superior izquierda de la matriz, sería:

SI Temperatura ES **Muy Baja (MB)** Y Humedad ES **Muy Baja (MB)**  
ENTONCES Variación de temperatura ES **Subida Normal (SN)**

### D) Parámetros de la inferencia difusa

Se usarán los siguientes operadores:

- Conectiva AND: mínimo.
- Implicación difusa: mínimo
- *Modus ponens* difuso: min-max
- Agregación de las salidas difusas de las reglas activadas: OR (máximo)
- Operador de fuzzyficación: singleton
- Operador de defuzzificación: centro de masas

### E) Ejemplo de funcionamiento

Se suponen las siguientes entradas en los sensores del sistema:

- Temperatura actual: 19,5°C
- Humedad actual: 65 %

- **Fuzzyficación (singleton)**

Para fuzzificar los valores lo que hay que hacer es calcular el grado de pertenencia a todos los conjuntos difusos de las variables de entrada (obviamente, cada valor a los conjuntos difusos de su variable). En este ejemplo, obtendremos que solamente tenemos grados de pertenencia mayores que 0 para dos conjuntos difusos de cada variable:

- Temperatura
  - Baja: grado de pertenencia 0.1
  - Normal: grado de pertenencia 0.75
- Humedad:
  - Alta: grado de pertenencia 0.33
  - MuyAlta: grado de pertenencia 0.5

Este hecho se ve en la Figura 5.

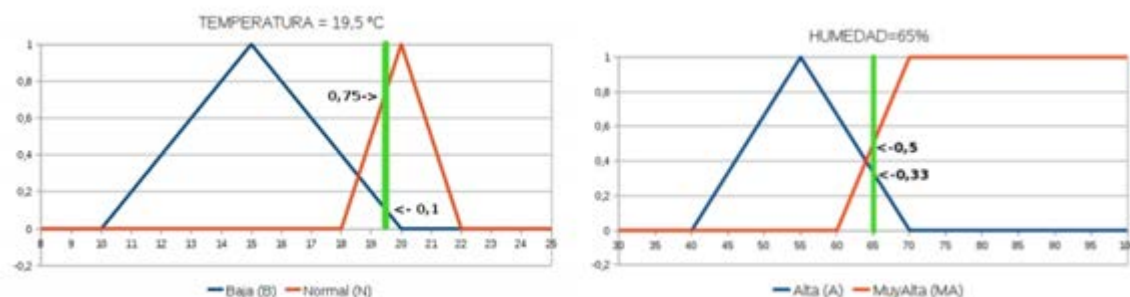


Ilustración 5 Fuzzificación del ejemplo dado mediante singletons

- **Reglas activadas**

Las reglas activadas (disparadas) son aquellas para las que en todos sus antecedentes el ejemplo tiene grados de pertenencia positivos. Por tanto, en este ejemplo se disparan 4 reglas (todas las combinaciones de los 4 funciones de pertenencia para las que obtenemos grados de pertenencia positivos tal y como hemos visto en el apartado anterior). Las reglas disparadas se pueden ver en la Figura 6.

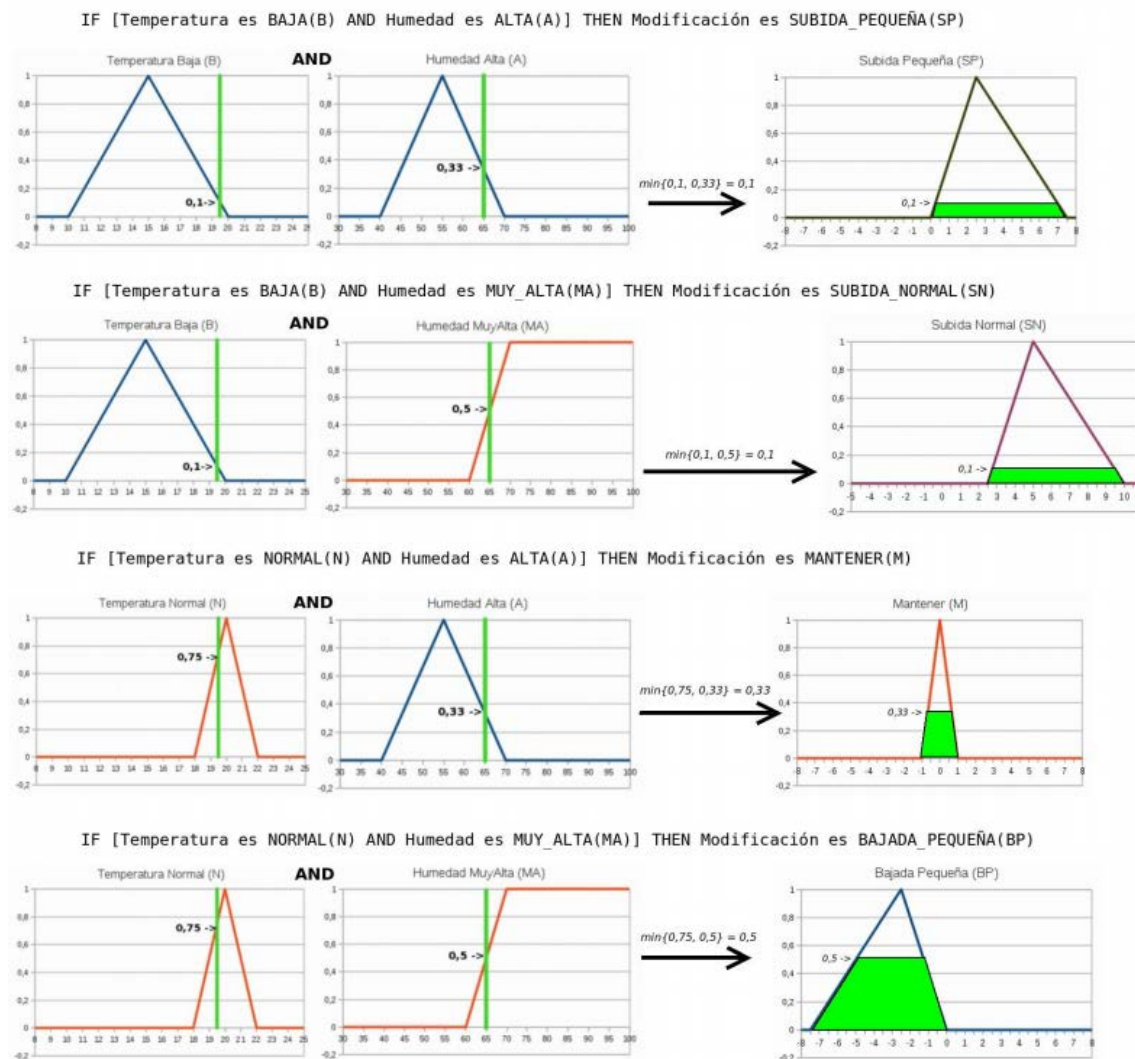
Temp	Humedad					
	MB	B	N	A	MA	
MB	SN	SN	SG	SG	SG	IF (Temperatura es Baja AND Humedad es Alta) THEN Variación es SubidaPequeña
B	M	M	SP	SP	SN	IF (Temperatura es Baja AND Humedad es MuyAlta) THEN Variación es SubidaNormal
N	M	M	M	M	BP	IF (Temperatura es Normal AND Humedad es Alta) THEN Variación es Mantener
A	M	M	BP	BP	BN	IF (Temperatura es Normal AND Humedad es MuyAlta) THEN Variación es BajadaPequeña
MA	BP	BN	BN	BG	BG	

Ilustración 6 Reglas disparadas por el ejemplo en estudio

- **Modus ponens difuso**

Una vez que sabemos las reglas disparadas debemos aplicar el modus ponens difuso para obtener la salida del sistema. El proceso se muestra en la Figura 7. En concreto para cada regla hay que hacer los siguientes pasos:

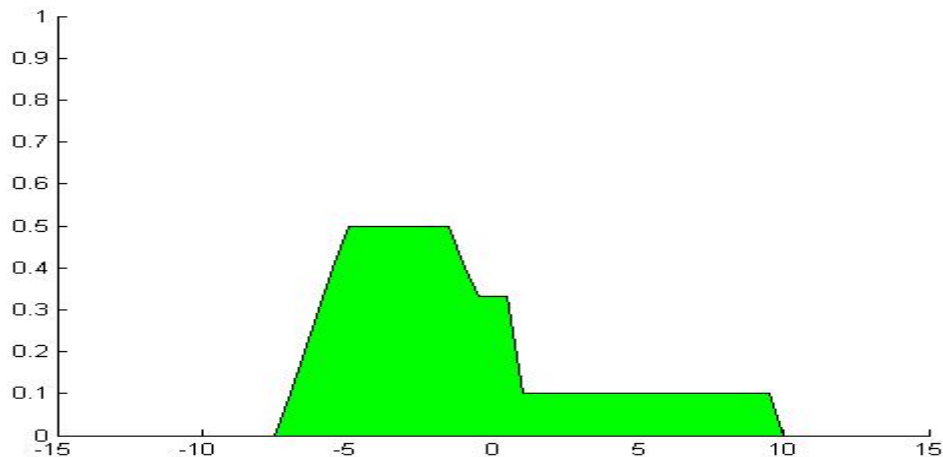
1. Obtener los grados de pertenencia a las etiquetas del antecedente.
2. Aplicar el mínimo (intersección, AND) entre los grados de pertenencia calculados anteriormente.
3. Aplicar el mínimo entre el valor obtenido en el apartado 2 y el conjunto difuso de la salida de la regla. Esto nos da un nuevo conjunto difuso, mostrado en verde, como salida en cada regla.



*Ilustración 7 Modus ponens difuso para el ejemplo en estudio*

- **Agregación de las salidas de las reglas**

Una vez que tenemos todos los conjuntos difusos obtenidos como salida en las reglas del sistema los tenemos que agregar para obtener el conjunto difuso que representa la salida del sistema. Para ello, utilizaremos el operador de agregación máximo. Esto se puede ver en la Figura 8: el conjunto difuso mostrado en verde es la unión de todos los conjuntos difusos obtenidos como salida en la Figura 7 (paso anterior).



- **Defuzzificación**

Finalmente, con el conjunto difuso obtenido en la fase de agregación, tenemos que aplicar el método de defuzzificación del centro de masas (implementado en la práctica anterior) para obtener la salida numérica del sistema (en lugar del conjunto difuso).

Para el ejemplo utilizado, la salida del sistema tras la defuzzificación es el valor -1.2134.

Esto significa que en las condiciones actuales (Temperatura de 19.5°C y una humedad del 65%) debemos bajar la calefacción 1.2134°C.

- **Guía para la implementación**

1. Almacenar los valores que definen las funciones de pertenencia de cada variable en matrices. En cada fila se deben guardar los 4 valores que definen cada función de pertenencia trapezoidal. De esta forma, las matrices para las variables de entrada (temperatura y humedad) tendrán 5 filas (una por cada etiqueta) y 4 columnas (una por cada valor) mientras que para la variable de salida tendremos una matriz de 7 filas y 4 columnas.
2. Definir el referencial de la variable variación de temperatura (de -15 a 15 con incrementos de 0.5°C).
3. Calcular los grados de pertenencia de los elementos del referencial de variación de temperatura a cada una de sus etiquetas lingüísticas. Dichos

grados de pertenencia (representan a los conjuntos difusos) se deben guardar en una matriz en la que cada fila será el conjunto difuso de cada etiqueta. Por tanto, esta matriz tendrá 7 filas (una por cada etiqueta) y tantas columnas como elementos tenga el referencial de la variable de salida (variación de temperatura).

4. Almacenar las reglas en una matriz. En cada fila se almacenará la definición de una regla. Por ejemplo, para la regla mostrada en el enunciado de la práctica se almacenaría una fila con 3 valores: 1 1 6 (el primer 1 indica que es la etiqueta MuyBaja de Temperatura, el segundo 1 indica que es la etiqueta MuyBaja de Humedad y el 6 indica que es la etiqueta SubidaNormal de Variación de Temperatura).
5. Recorrer todas las reglas para calcular el conjunto difuso de salida de cada una de ellas. Almacenar estos conjuntos difusos en una matriz (un conjunto difuso en cada fila). Para ello:
  - Para obtener el grado de pertenencia del ejemplo a la variable Temperatura de una regla:
    - Consultar la etiqueta utilizada por la regla para dicha variable (primera posición de la fila correspondiente a esa regla).
    - Esta posición nos determina la fila de la matriz en la que hemos guardado los puntos que definen las funciones de pertenencia.
    - Calcular el grado de pertenencia del valor de temperatura utilizando los puntos obtenidos en el apartado anterior.
  - Para obtener el grado de pertenencia del ejemplo a la variable de entrada Humedad se debe realizar el mismo proceso pero consultando la segunda posición de la fila de la regla.
  - Aplicar el mínimo de los dos grados de pertenencia.
  - Aplicar el mínimo entre el valor obtenido en el paso previo y cada valor del conjunto difuso de salida de la regla:
    - Consultar la tercera posición de la fila de la regla.
    - Acceder a la fila correspondiente de la matriz donde hemos guardado los conjuntos difusos de la variable de salida.
  - Tras realizar este último paso obtenemos el conjunto difuso de salida de la regla (el que tenemos que almacenar).
6. Agregar las salidas de cada regla (matriz anterior) utilizando el máximo como operador de agregación para obtener el conjunto agregado.
7. Obtener la salida crisp a partir del conjunto agregado: aplicar el centro de masas implementado en la práctica anterior.