

Agapito lleva 8 años encargado del control de la turbina GG-35 y es ya una autoridad en su manejo. Agapito ha reconocido que para controlar la turbina solamente se fija en el ruido que produce y en un sensor de temperatura:

- R1. Si el nivel de ruido es normal y la temperatura es alta, entonces establece una velocidad suave.
- R2. Si el nivel de ruido es normal o la temperatura no es alta, entonces establece una velocidad moderada.
- R3. Si el nivel de ruido es **muy** bajo, entonces establece una velocidad alta.
- R4. Si la velocidad es suave, la fuerza de frenado debe ser normal.
- R5. Si la velocidad es moderada, la fuerza de frenado debe ser alta.
- R6. Si la velocidad es alta, la fuerza de frenado debe ser alta.

Tras diversas entrevistas con Agapito se han elaborado los siguientes conjuntos difusos para los valores del nivel de ruido, temperatura, velocidad y fuerza de frenado:

Nivel de ruido (escala 0 a 12)

<i>bajo</i>	(0/1, 1/3, 1/5, 0/7)
<i>normal</i>	(0/5, 1/7, 1/9, 0/11)

Temperatura (escala 20°-100° C):

<i>alta</i>	(0/40, 1/60, 0/80)
-------------	--------------------

Velocidad (escala 0 a 100 rpm)

<i>suave</i>	(0/10, 1/30, 0/50)
<i>moderada</i>	(0/30, 1/50, 0/70)
<i>alta</i>	(0/40, 0.5/50, 0.5/60, 1/70, 0.5/80, 0.5/90, 0/100)

Fuerza de frenado (escala 0 a 5)

<i>normal</i>	(0/1, 1/3, 0/5)
<i>alta</i>	(0/3, 1/4)

Suponiendo que en cierto momento el nivel de ruido es 5,5 y la temperatura de 50° C, calcula el valor de la fuerza de frenado si se utiliza la técnica de la media de los valores máximos para obtener valores nítidos.

Solución:

En este problema tenemos reglas encadenadas. Se ejecutarán primero las tres primeras reglas (R1,R2,R3), y con el resultado de éstas, se ejecutarán las restantes. Comencemos entonces con las tres primeras reglas:

El valor de entrada para el nivel de ruido es 5.5. Su grado de pertenencia a los diferentes conjuntos difusos es:

- al conjunto difuso bajo, $\mu_{\text{bajo}}(5.5) = 0.75$
- al conjunto difuso normal, $\mu_{\text{normal}}(5.5) = 0.25$
- al conjunto difuso **muy** bajo, $\mu_{\text{muy bajo}}(5.5) = (\mu_{\text{bajo}}(5.5))^2 = 0.5625$

El valor de entrada para la temperatura es 50 grados. Su grado de pertenencia a los diferentes conjuntos difusos es:

- al conjunto difuso alta, $\mu_{\text{alta}}(5.5) = 0.5$
- al conjunto difuso no alta, $\mu_{\text{no alta}}(50) = (1 - \mu_{\text{alta}}(50)) = 0.5$

Por tanto:

Para la regla R1 (que es un AND), $z1 = \min(\mu_{\text{normal}}(5.5), \mu_{\text{alta}}(5.5)) = \min(0.25, 0.5) = 0.25$

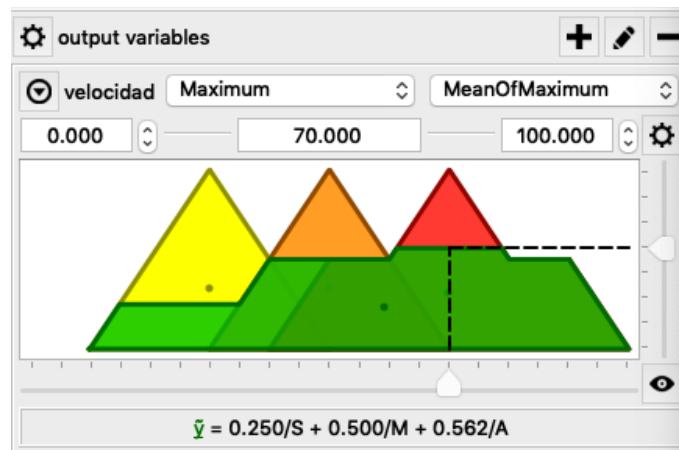
Para la regla R2 (que es un OR), $z2 = \max(0.25, 0.5) = 0.5$

Para la regla R3 (que tiene antecedente simple) $z_3 = 0.525$

Ejecutamos por tanto las reglas con estos valores y la implicación de Mamdani, y obtenemos los tres conjuntos difusos de salida para la variable velocidad:

- Para la regla R1, obtenemos el conjunto difuso de salida suave* (calculando el mínimo entre z_1 y suave);
- Para la regla R2, obtenemos el conjunto difuso de salida moderada* (calculando el mínimo entre z_1 y moderada)
- Para la regla R3, obtenemos el conjunto difuso de salida alta* (calculando el mínimo entre z_1 y alta).

El siguiente paso es unir los tres conjuntos difusos. Tras este paso, obtendremos el resultado final de la aplicación de las tres primeras reglas, que es el conjunto marcado en verde en la figura, **al que llamaremos A**.



El conjunto difuso A será la entrada de las tres siguientes reglas. Para aplicarlas, tendremos que aplicar el caso de razonamiento difuso con entradas difusas (véase apuntes).

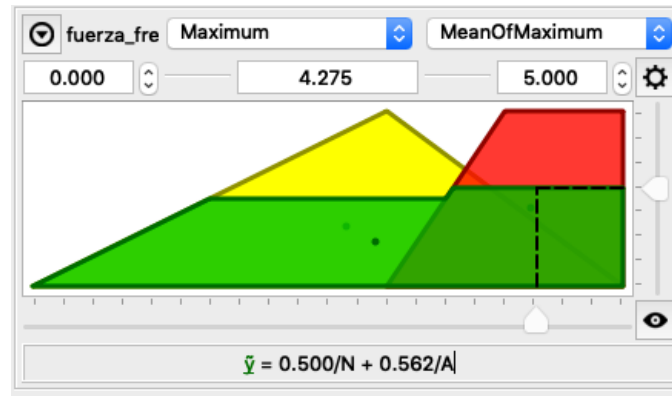
Vamos por tanto a calcular z_4 , z_5 y z_6 . En el caso de que la entrada sea un conjunto difuso A, el valor z se calcula como el grado de parecido entre A y el conjunto difuso del antecedente (mediante la intersección de dichos conjuntos), y calculando luego el máximo de dicho valor. Por tanto:

- $Z_4 = \max(A \cap \text{suave}) = 0.5$
- $Z_5 = \max(A \cap \text{moderada}) = 0.5$
- $Z_6 = \max(A \cap \text{alta}) = 0.5625$

Pasamos entonces a ejecutar las reglas R4, R5 y R6, y obtenemos:

- Para la regla R4, el conjunto difuso de salida normal* (calculando el mínimo entre z_4 y normal);
- Para la regla R5, el conjunto difuso de salida alta* (calculando el mínimo entre z_5 y alta);
- Para la regla R6, el conjunto difuso de salida alta** (calculando el mínimo entre z_6 y alta).

Nótese que, como aplicación de las reglas R5 y R6, hemos obtenido dos conjuntos difusos diferentes (truncando el conjunto difuso alta con los valores respectivos). De modo que el conjunto difuso resultante será ahora la unión de los tres conjuntos difusos resultantes, normal*, alta* y alta**, es decir, el conjunto difuso verde marcado en la figura



Vamos ahora a calcular el intervalo que nos da el valor máximo de 0.5625. Para ello, tenemos que calcular la recta $y = ax+b$ que une los dos puntos (3,0) y (1,4), cuya ecuación es $y = x-3$. Buscamos ahora cual es el valor de x para el cual $y=0.5625$, y obtenemos $x=3.5625$. Por tanto, los máximos son todos los puntos del intervalo $[3.5625, 5]$, y con la media de los máximos obtendríamos un valor final de 4.281 para la fuerza de frenado (en la figura aparece 4.275 por un pequeño error de redondeo).