

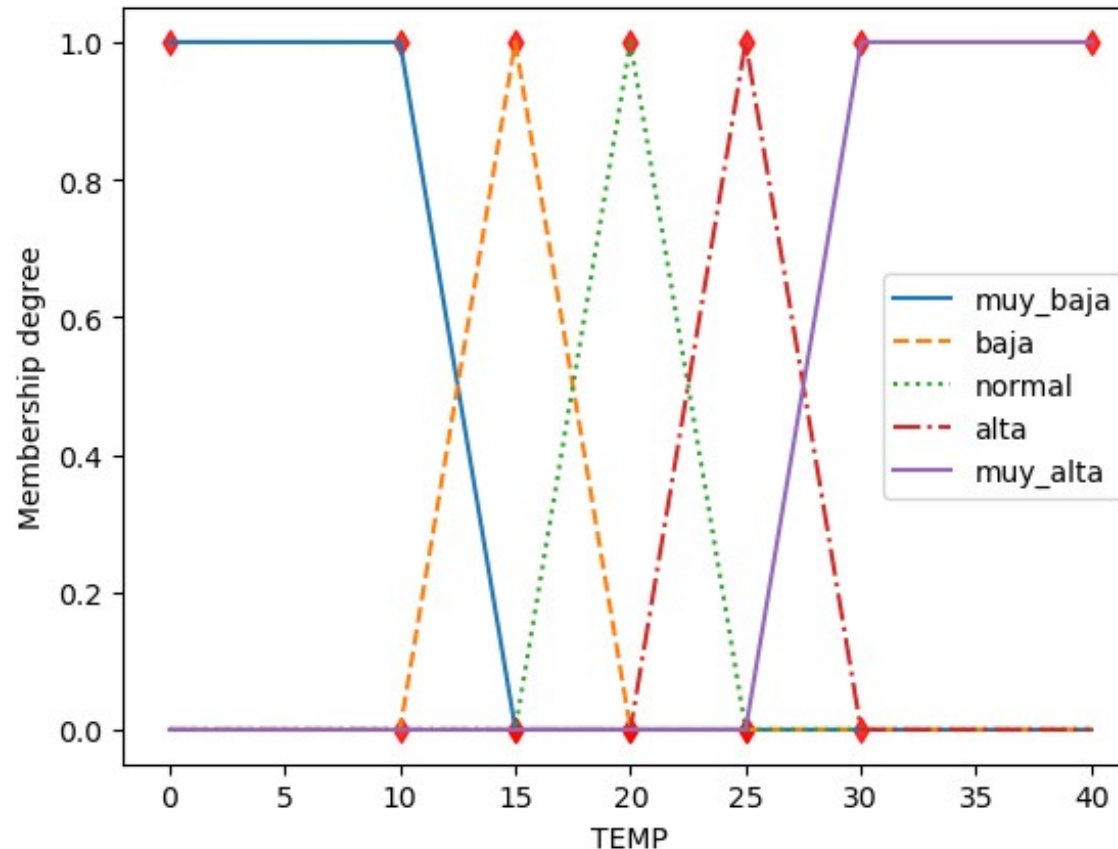
Ejemplo 1: Control difuso de una calefacción

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.
- Y 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.

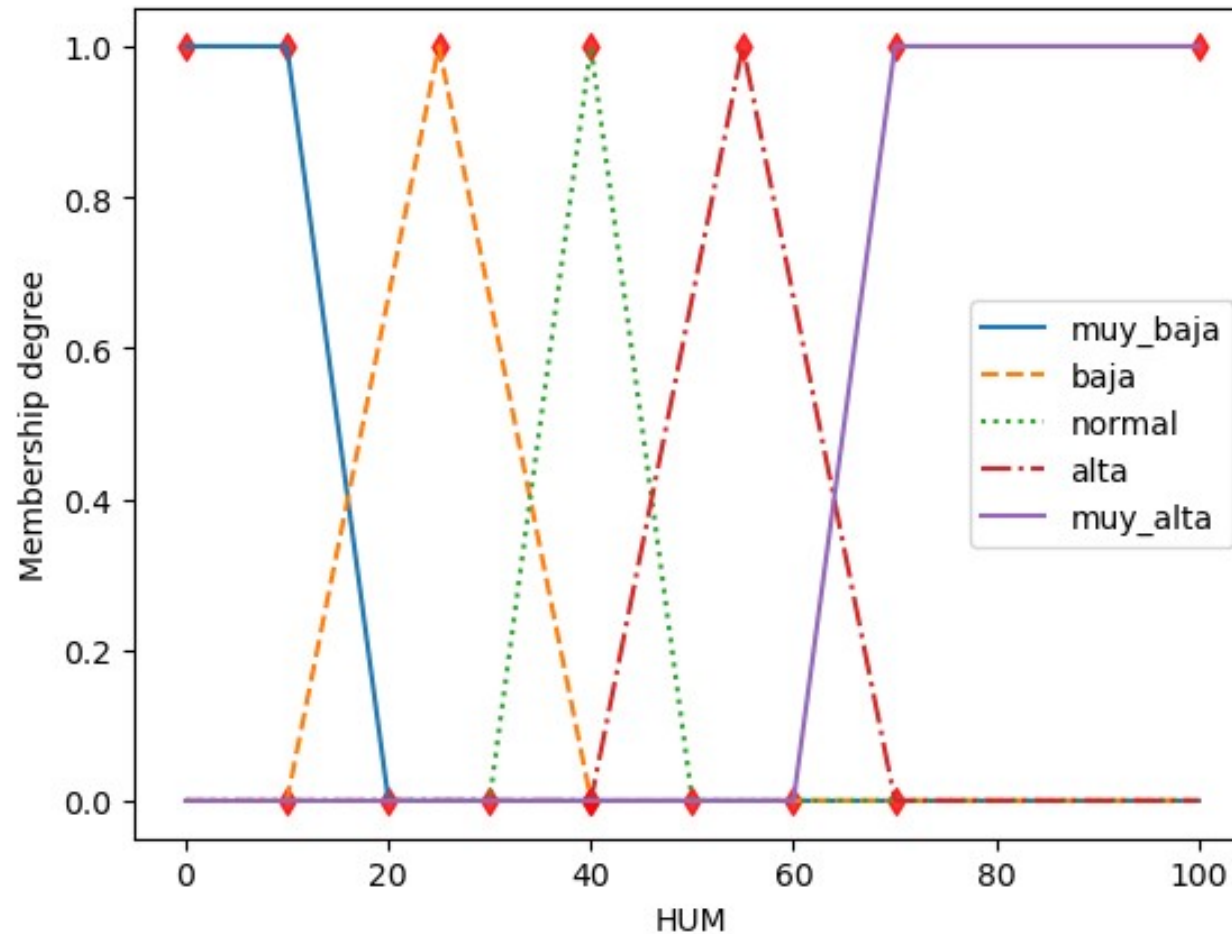
Control difuso de una calefacción

- Variables de estado (entrada): **Temperatura y Humedad**
- Temperatura: Se asumen 5 etiquetas lingüísticas: muy baja (MB), baja(B), normal (N), alta(A), muy alta(MA)



Control difuso de una calefacción

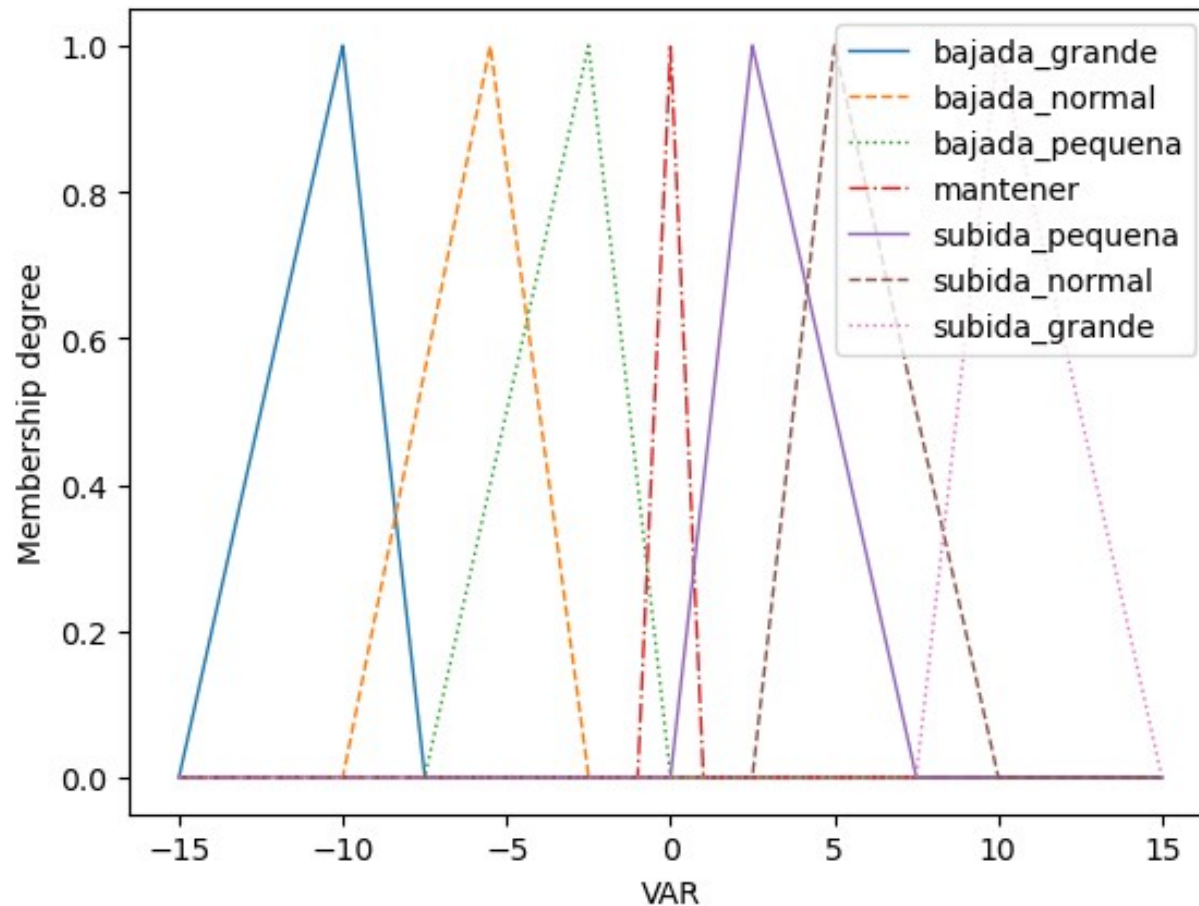
- Humedad: Se asumen 5 etiquetas lingüísticas: muy baja (MB), baja (B), normal (N), alta (A), muy alta (MA)



Control difuso de una calefacción

- Variables de control (salida)

- Variación de temperatura: Se asumen 7 etiquetas lingüísticas: bajada grande (BG), bajada normal (BN), bajada pequeña (BP), mantener (M), subida pequeña (SP), subida normal (SN), subida grande (SG)



Control difuso de una calefacción

- Reglas difusas**

- Se considera la siguiente FAM (Fuzzy Association Matrix) 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

Control difuso de una calefacción

- Reglas difusas

- IF (TEMP IS muy_baja) AND (HUM IS muy_baja) THEN (VAR IS subida_normal)
- IF (TEMP IS muy_baja) AND (HUM IS baja) THEN (VAR IS subida_normal)
- IF (TEMP IS muy_baja) AND (HUM IS normal) THEN (VAR IS subida_grande)
- IF (TEMP IS muy_baja) AND (HUM IS alta) THEN (VAR IS subida_grande)
- IF (TEMP IS muy_baja) AND (HUM IS muy_alta) THEN (VAR IS subida_grande)
- IF (TEMP IS baja) AND (HUM IS muy_baja) THEN (VAR IS mantener)
- IF (TEMP IS baja) AND (HUM IS baja) THEN (VAR IS mantener)
- IF (TEMP IS baja) AND (HUM IS normal) THEN (VAR IS subida_pequena)
- IF (TEMP IS baja) AND (HUM IS alta) THEN (VAR IS subida_pequena)
- IF (TEMP IS baja) AND (HUM IS muy_alta) THEN (VAR IS subida_normal)
- IF (TEMP IS normal) AND (HUM IS muy_baja) THEN (VAR IS mantener)
- ...

Control difuso de una calefacción

Se usarán los siguientes operadores:

- Conectiva **AND** (\wedge): mínimo.
- Conectiva **OR** (\vee): máximo
- **Implicación** difusa (\rightarrow): Mamdani
- **Agregación** de las salidas difusas de las reglas activadas: OR (máximo)
- Operador de **fuzzyficación**: singleton
- Operador de **defuzzificación**: centro de masas
- El uso del implicador de Mamdani $f_{P \rightarrow Q}(x, y) = \min\{f_P(x), f_Q(y)\}$
 - junto con la fuzzyficación usando conjuntos singleton simplifica la aplicación del modus ponens difuso.
 - Para aplicar una regla sobre conjuntos singleton bastará con "seleccionar" un α -corte del conjunto difuso vinculado al "consecuente".

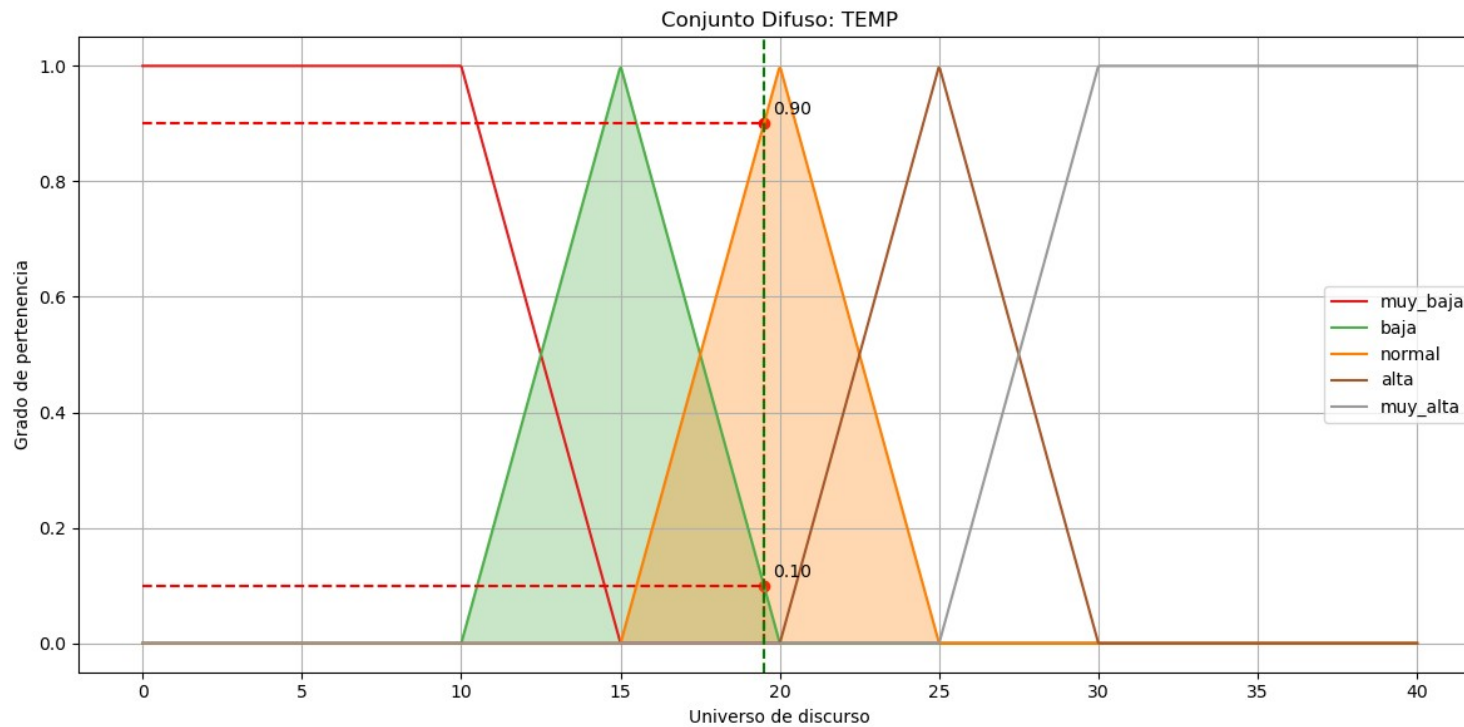
Control difuso de una calefacción

Ejercicio: Obtener el funcionamiento suponiendo las siguientes entradas en los sensores del sistema:

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

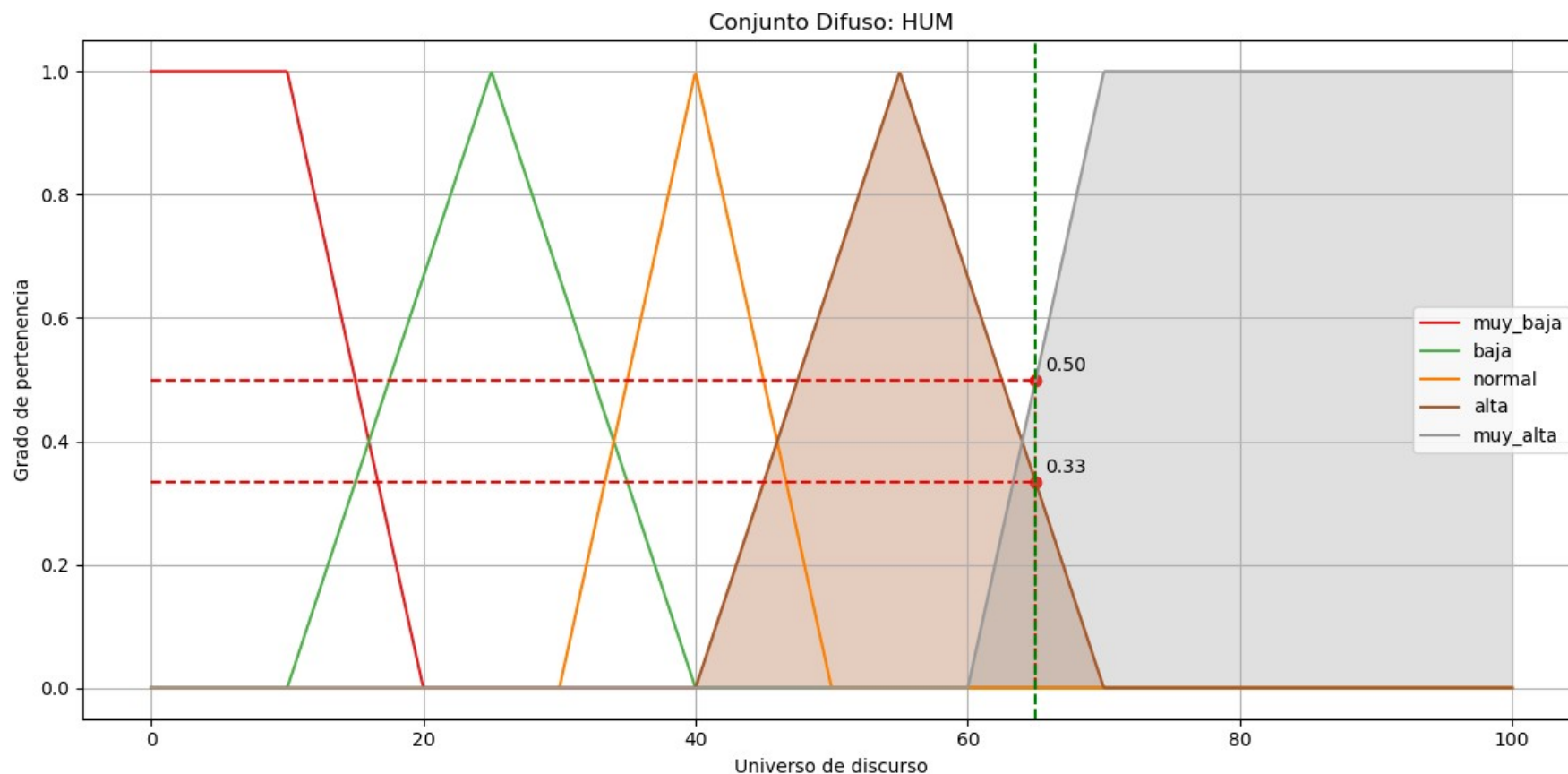
Control difuso de una calefacción

Fuzzyficación (singleton)



El valor singleton "Temperatura=19,5° C" se corresponde con un grado de verdad 0,1 para el valor difuso Temperatura Baja(B) y con un grado de verdad 0,9 para el valor difuso Temperatura Normal(N)

Control difuso de una calefacción



El valor singleton "Humedad=65 %" se corresponde con un grado de verdad 0,5 para el valor difuso Humedad Alta(A) y con un grado de verdad 0,33 para el valor difuso Humedad MuyAlta(MA)

Control difuso de una calefacción

Reglas activadas

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

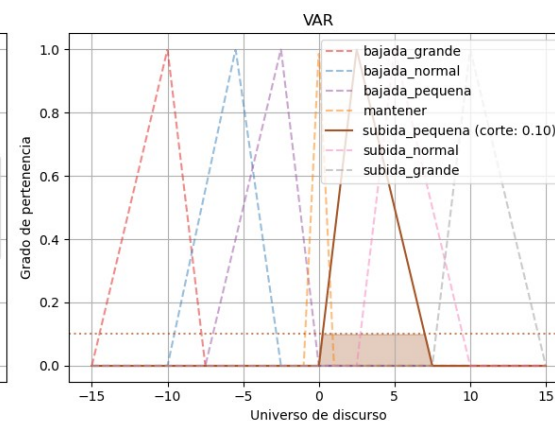
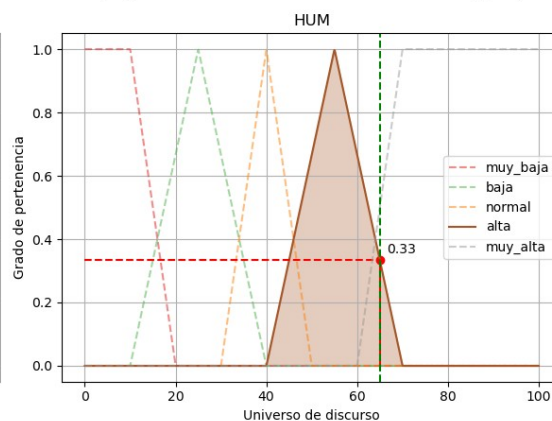
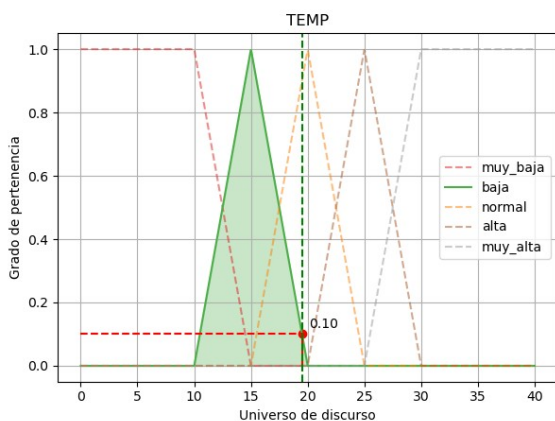
- IF (Temperatura es Baja AND Humedad es Alta)
THEN Variación es SubidaPequeña
- IF (Temperatura es Baja AND Humedad es MuyAlta)
THEN Variación es SubidaNormal
- IF (Temperatura es Nornal AND Humedad es Alta)
THEN Variación es Mantener
- IF (Temperatura es Nornal AND Humedad es MuyAlta)
THEN Variación es BajadaPequeña

Control difuso de una calefacción

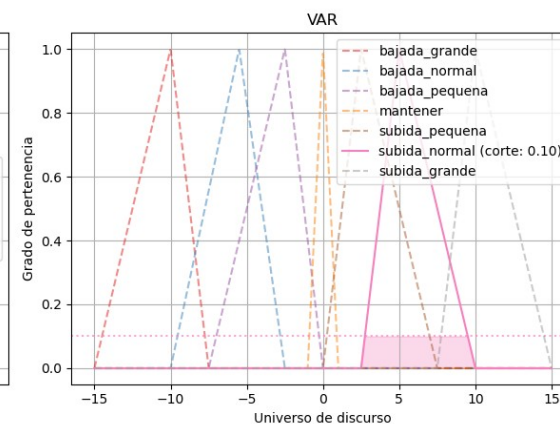
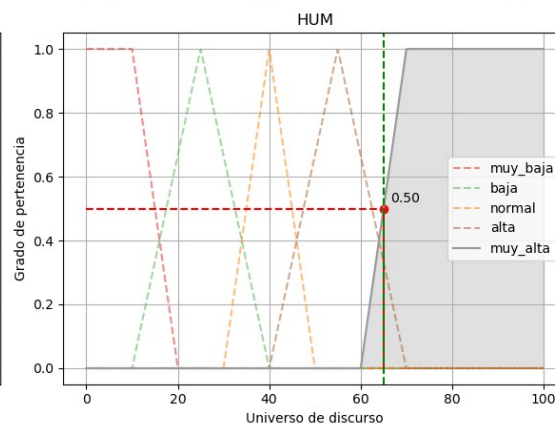
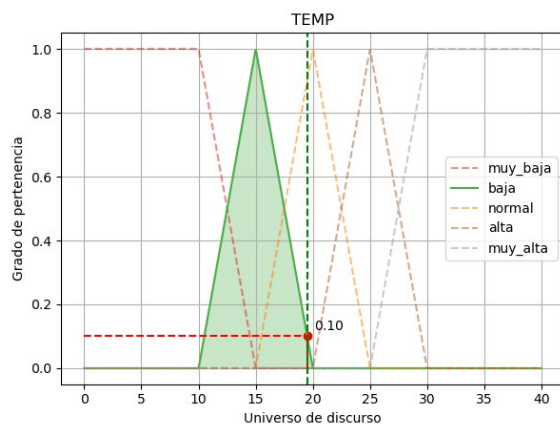
Modus Ponens Difuso

If (TEMP es baja y HUM es alta) then VAR=subida_pequena (SP)

$$\text{AND Min}(0.1, 0.33) = 0.1$$

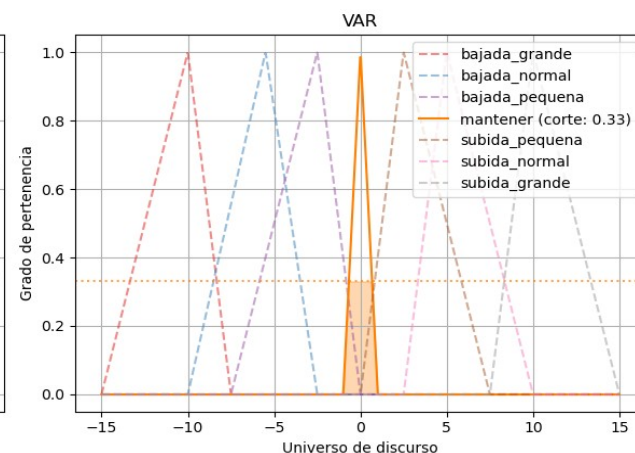
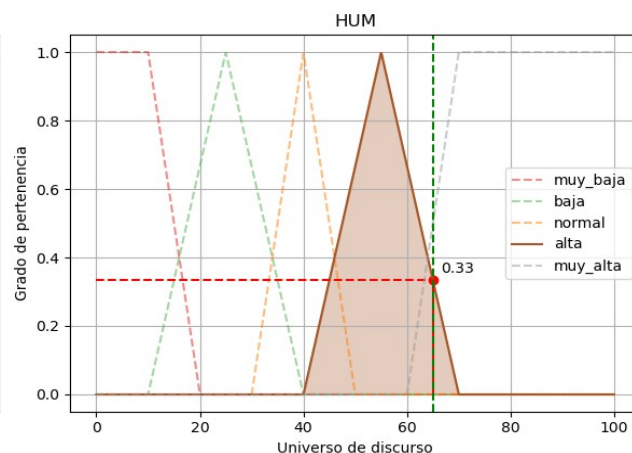
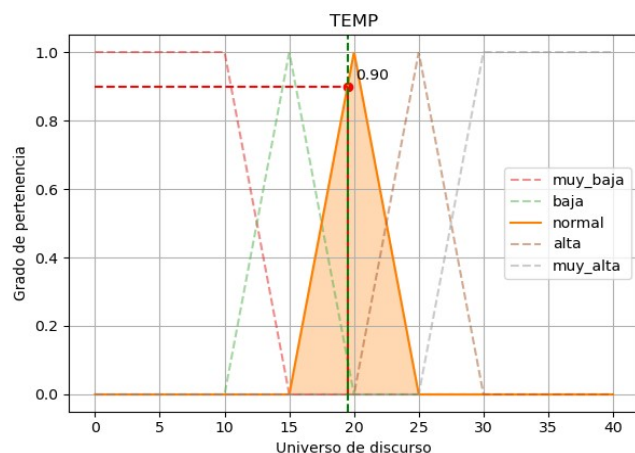


If (TEMP es baja y HUM es muy_alta) then VAR=subida_normal (SN)

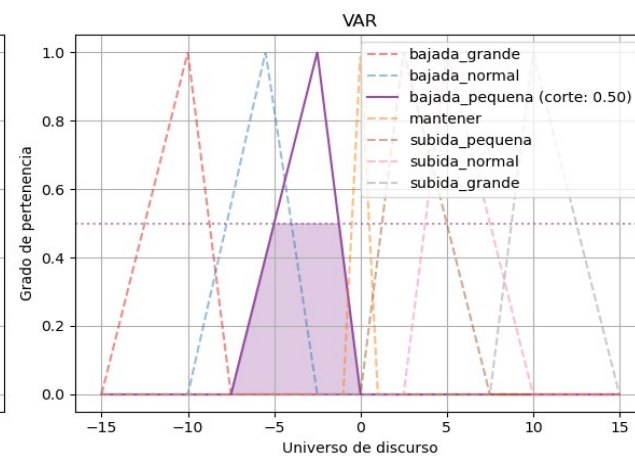
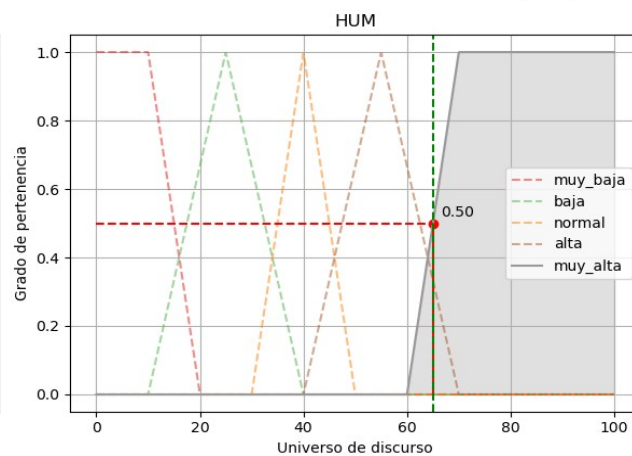
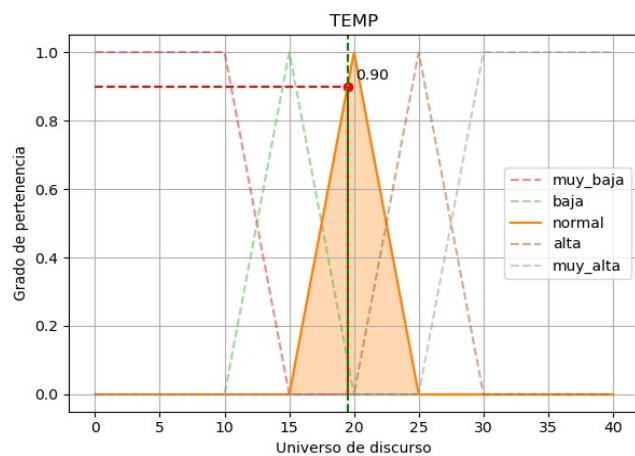


Control difuso de una calefacción

If (TEMP es normal y HUM es alta) then VAR=mantener (M)

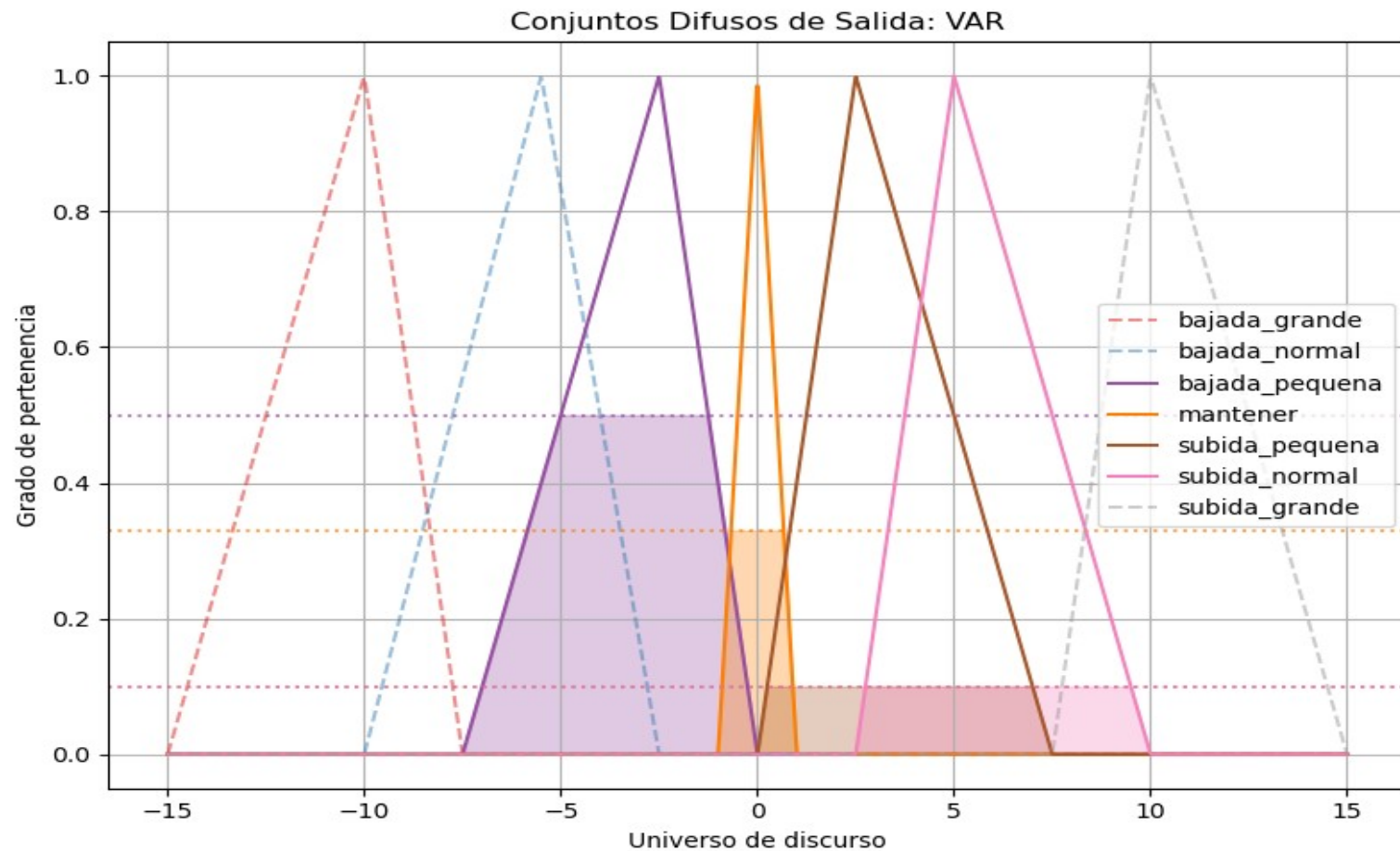


If (TEMP es normal y HUM es muy_alta) then VAR=bajada_pequeña (BP)



Control difuso de una calefacción

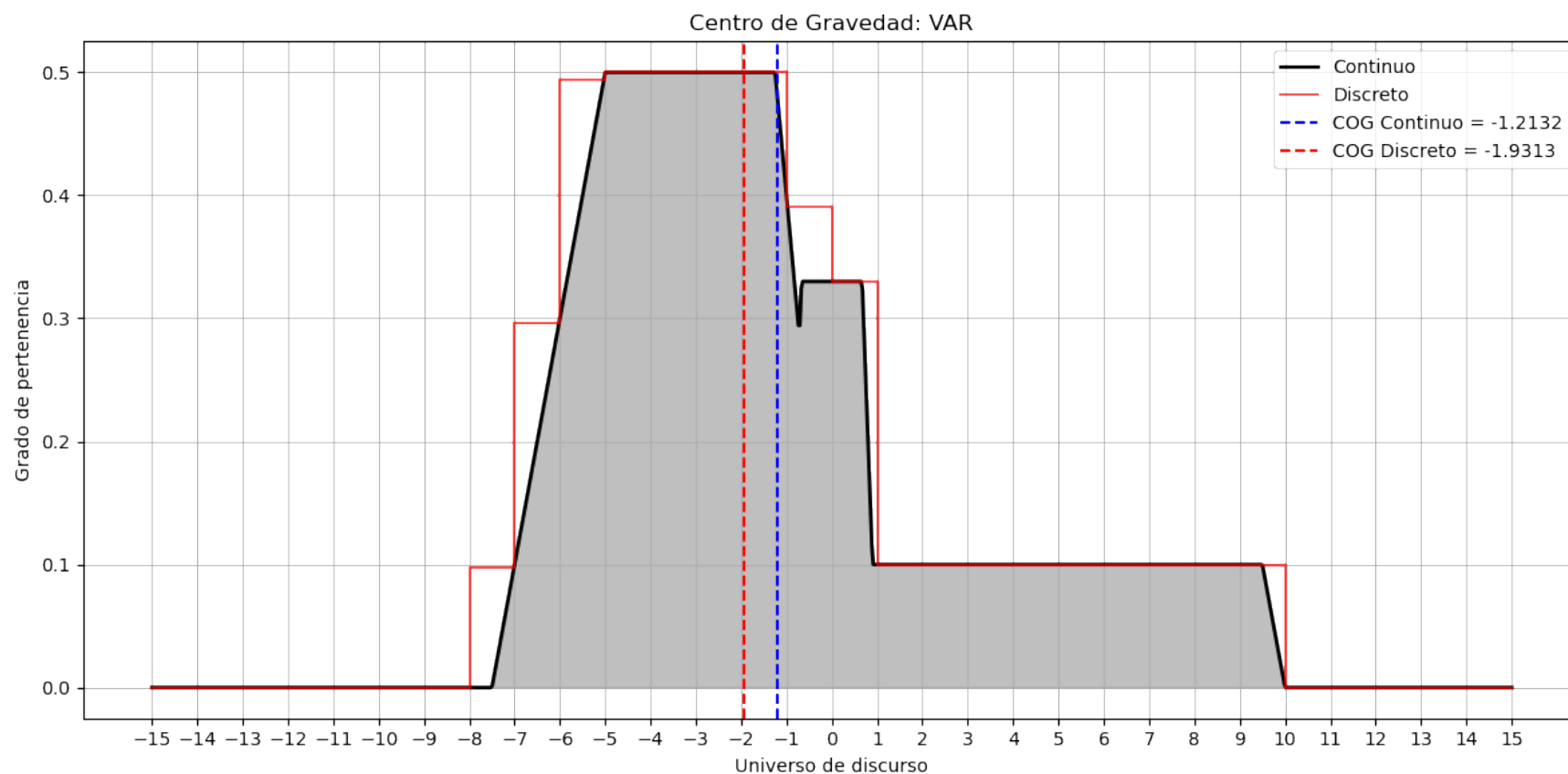
Agregación (max)



Control difuso de una calefacción

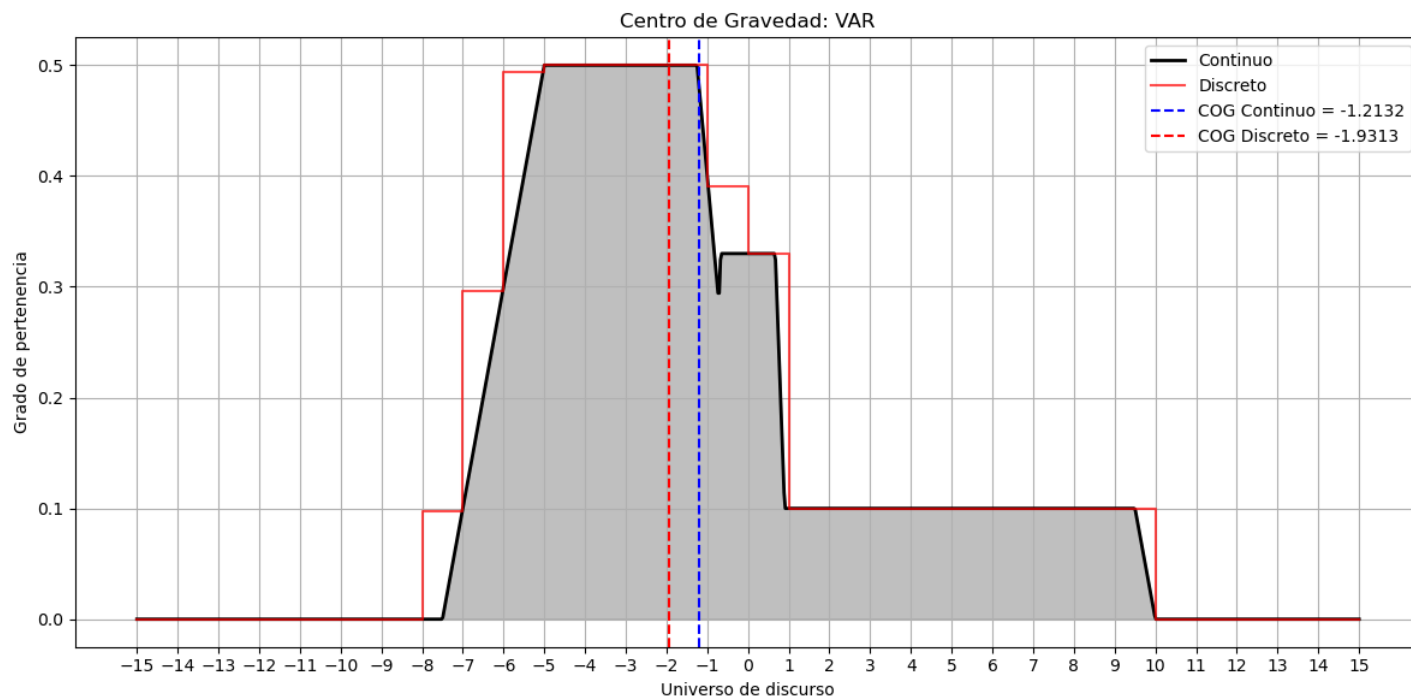
COGS

$$U = \frac{\sum_{i=1}^p [u_i \mu_i]}{\sum_{i=1}^p [\mu_i]}$$



Control difuso de una calefacción

$$U = \frac{\sum_{i=1}^p [u_i \mu_i]}{\sum_{i=1}^p [\mu_i]}$$



$$\text{Num} = -8*0.10 + -7*0.30 + -6*0.49 + (-5-4-3-2)*0.50 + -1*0.39 + 0*0.33 + (1+2+3+4+5+6+7+8+9)*0.10$$

$$\text{Den} = 0.10 + 0.30 + 0.49 + 0.50 + 0.50 + 0.50 + 0.50 + 0.39 + 0.33 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10 + 0.10$$

$$\text{COGS} = \text{Num} / \text{Den} = -8.71 / 4.51$$

$$\text{COGS} = -1.931$$

Salida: bajar la calefacción: **-1,931**

Ejemplo 2: Lavadora automática

Descripción: Se requiere diseñar un sistema de control difuso para una lavadora inteligente que ajuste automáticamente la cantidad de detergente y la duración del ciclo de lavado basándose en dos factores principales: la carga de ropa (Load) y el nivel de suciedad (Dirt).

Variables de Entrada:

Carga de Ropa (Load):

Rango: 0 a 6 kg

Términos lingüísticos: Pequeña (small), Normal (normal)

Nivel de Suciedad (Dirt):

Rango: 0 a 6 (escala arbitraria)

Términos lingüísticos: Baja (low), Alta (high)

Variables de Salida:

Cantidad de Detergente (Detergent):

Rango: 0 a 80 ml

Términos lingüísticos: Menos de lo usual (less_than_usual), Usual (usual), Más de lo usual (more_than_usual)

Duración del Ciclo (Cycle):

Rango: 0 a 20 minutos

Términos lingüísticos: Corto (short), Largo (long)

Lavadora automática

Descripción: Se requiere diseñar un sistema de control difuso para una lavadora inteligente que ajuste automáticamente la cantidad de detergente y la duración del ciclo de lavado basándose en dos factores principales: la carga de ropa (Load) y el nivel de suciedad (Dirt).

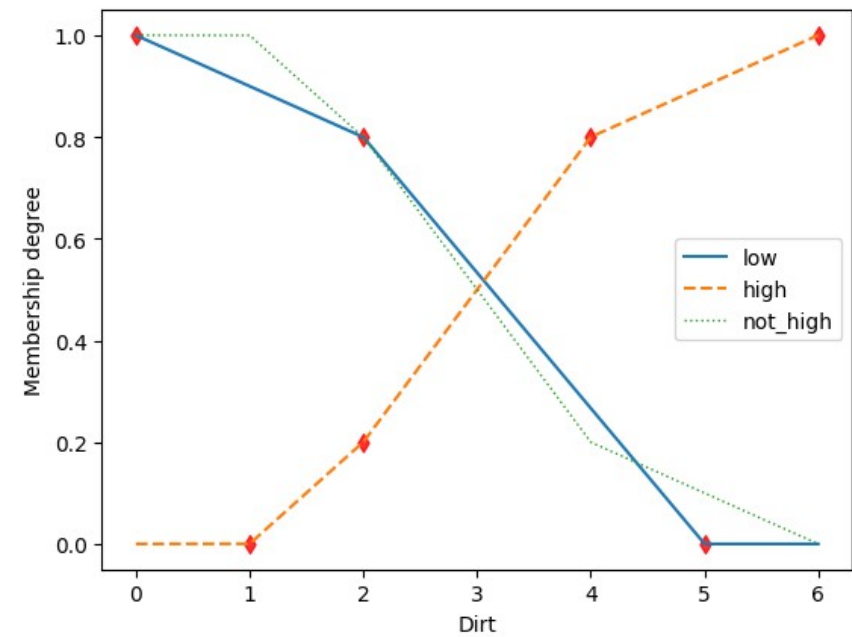
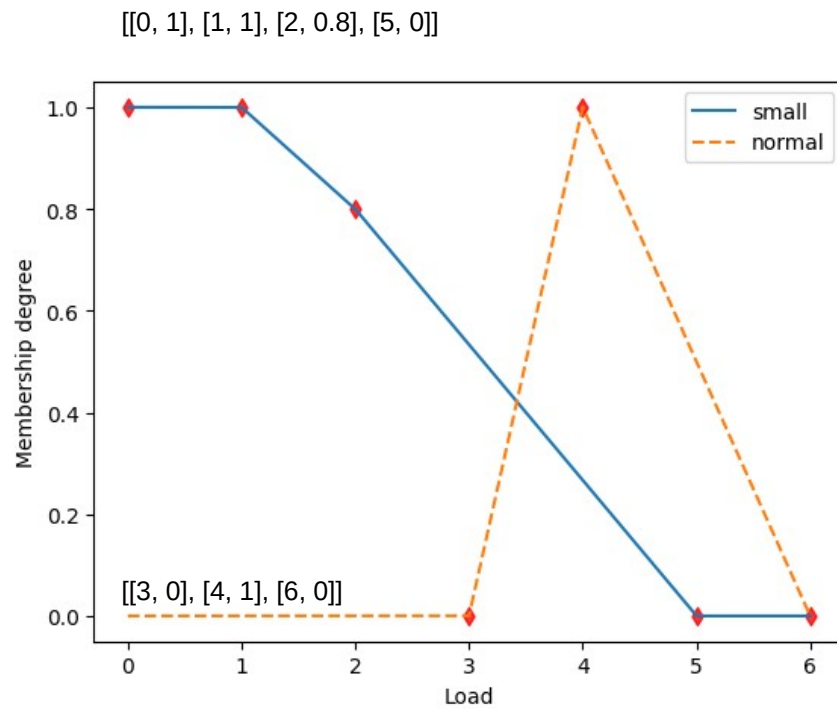
Reglas del experto:

- if Load is small and Dirt is not high then Detergent is less_than_usual
- if Load is small and Dirt is high then Detergent is usual
- if Load is normal and Dirt is low then Detergent is less_than_usual
- if Load is normal and Dirt is high then Detergent is more_than_usual
- if Detergent is usual or Detergent is less_than_usual then Cycle is short
- if Detergent is more_than_usual then Cycle is long

Objetivo: El sistema debe ser capaz de recibir como entrada la carga de ropa y el nivel de suciedad, y determinar la cantidad apropiada de detergente a usar y la duración del ciclo de lavado.

Lavadora automática

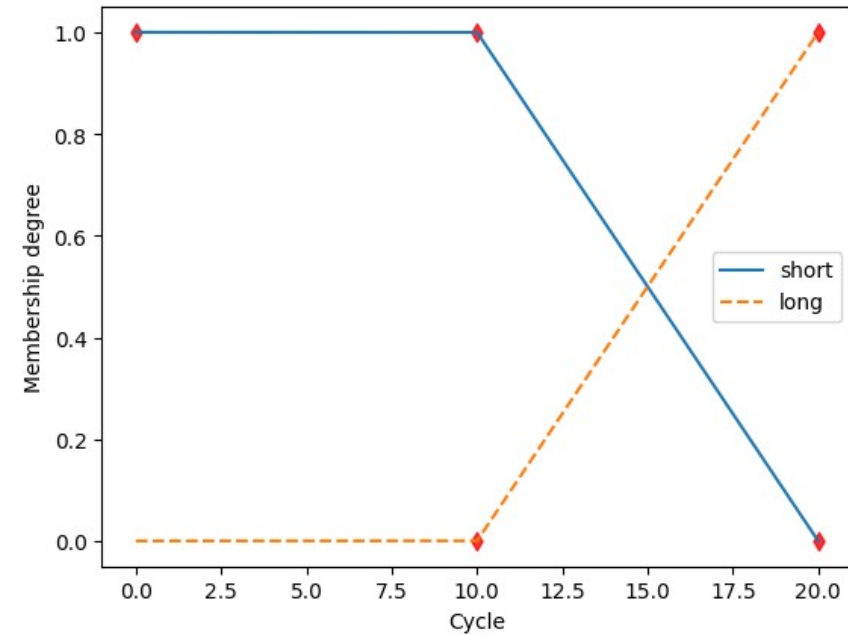
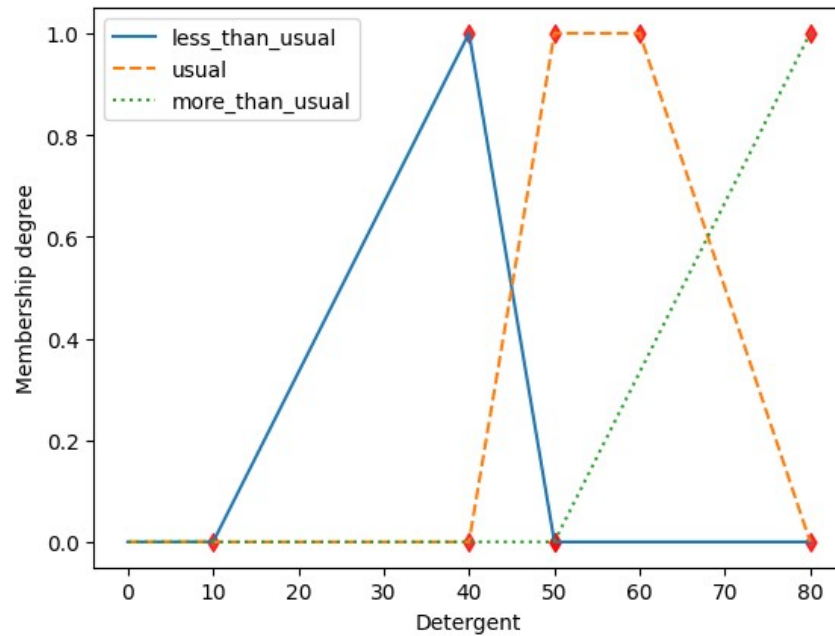
Conjuntos difusos de las variables de entrada



Creamos un conjunto NOT high por las reglas...

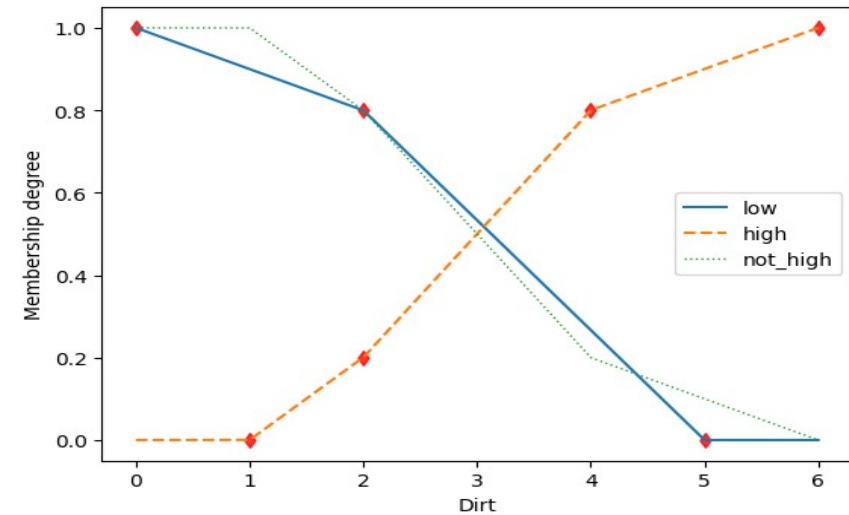
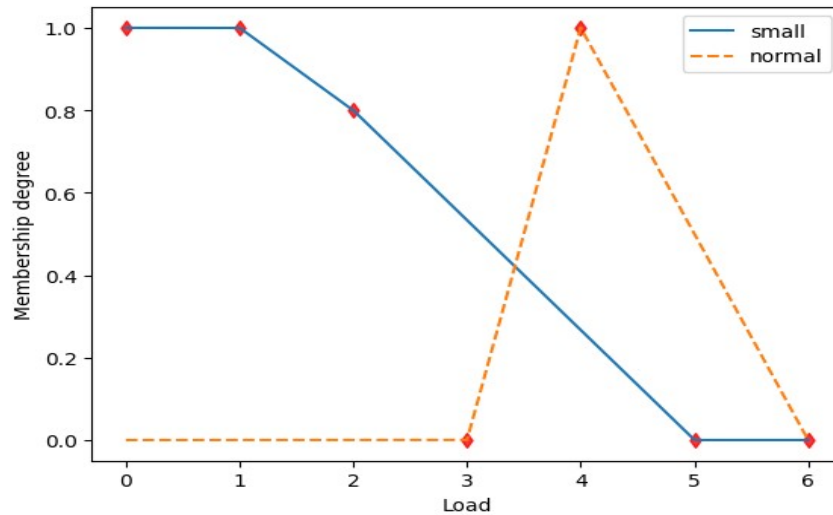
Lavadora automática

Conjuntos difusos de las variables de salida



Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

load = 3.5 # Carga normal
dirt = 4.5 # Suciedad alta



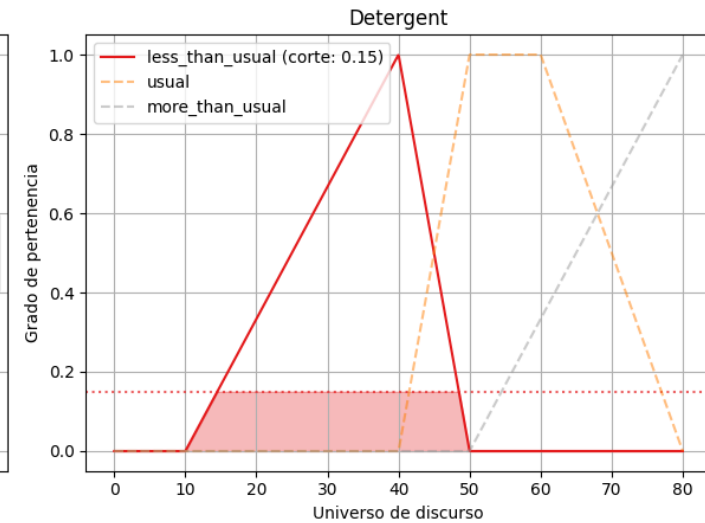
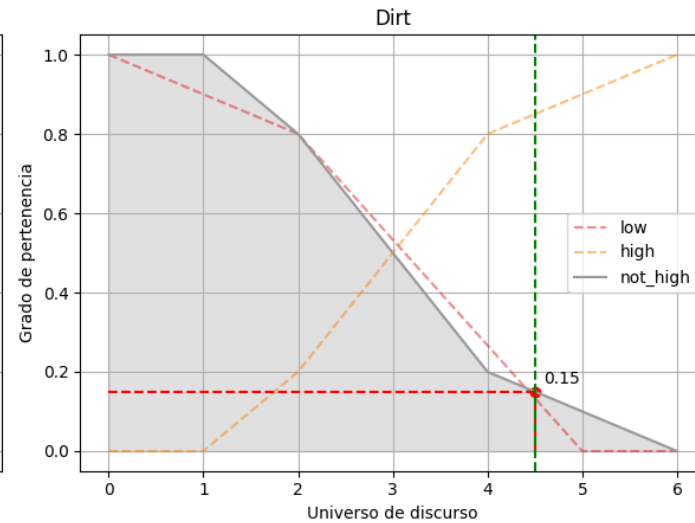
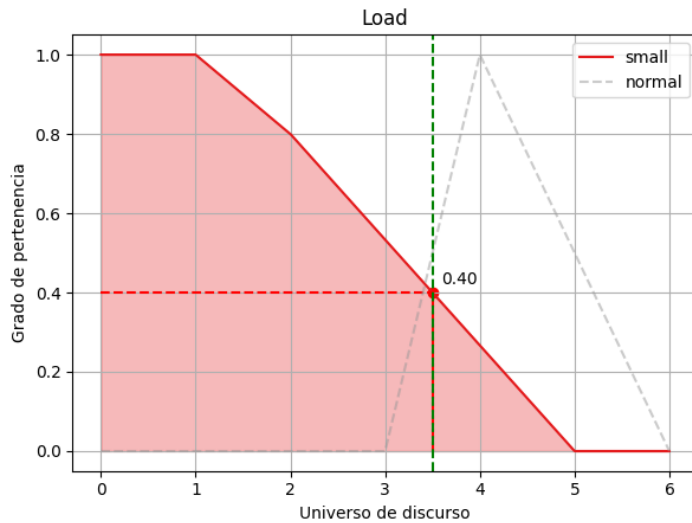
¿Qué reglas se ejecutarán?

- if Load is small and Dirt is not high then Detergent is less_than_usual
- if Load is small and Dirt is high then Detergent is usual
- if Load is normal and Dirt is low then Detergent is less_than_usual
- if Load is normal and Dirt is high then Detergent is more_than_usual
- if Detergent is usual or Detergent is less_than_usual then Cycle is short
- if Detergent is more_than_usual then Cycle is long

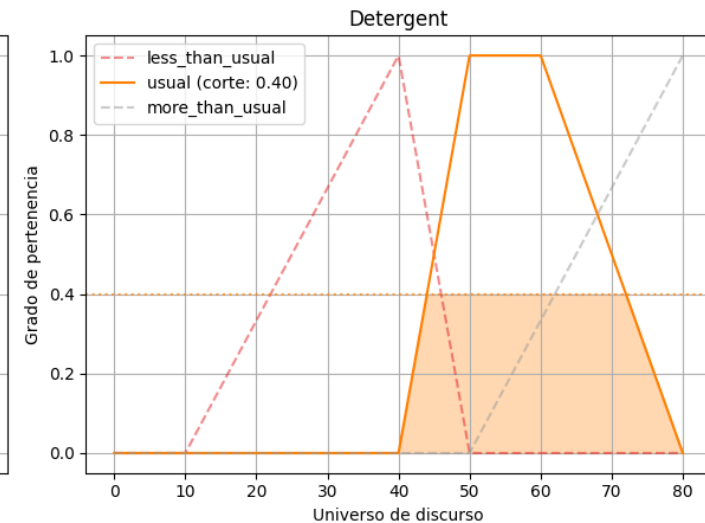
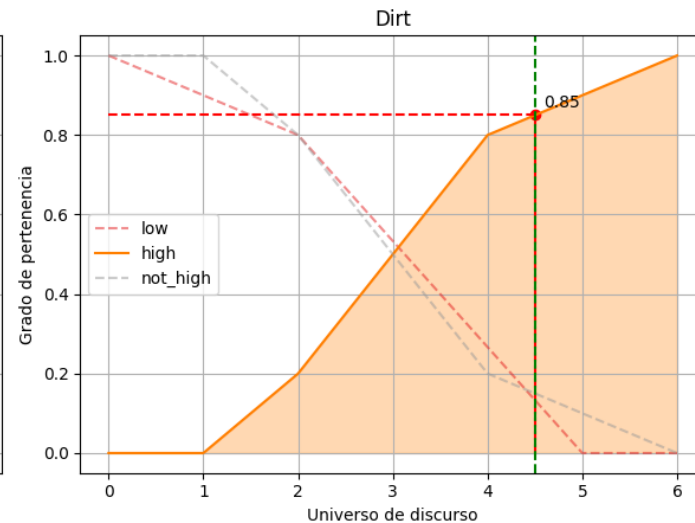
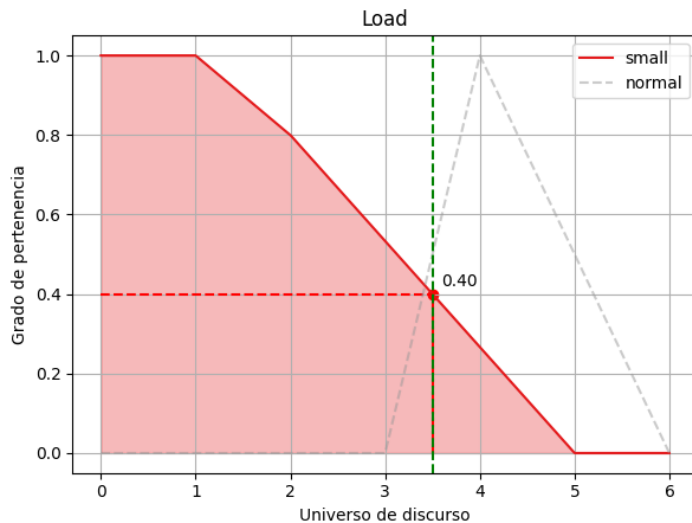
Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

AND Min

if Load is small and Dirt is not high then Detergent is less_than_usual

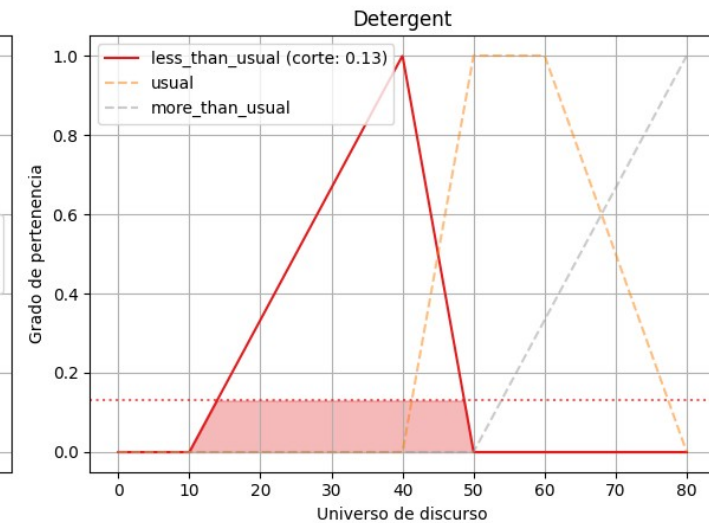
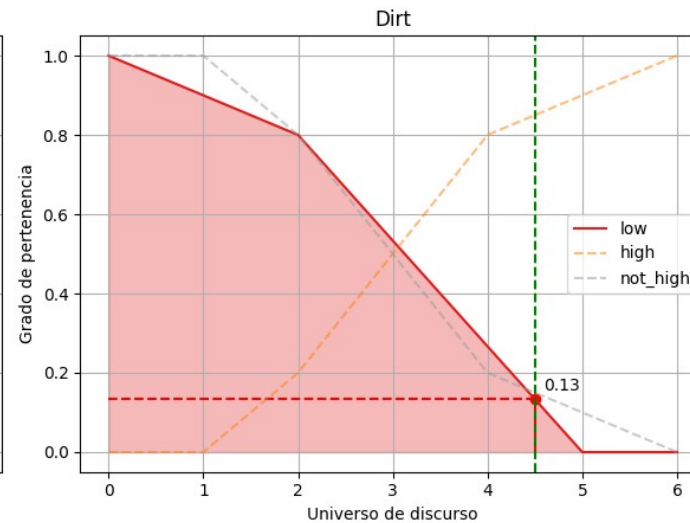
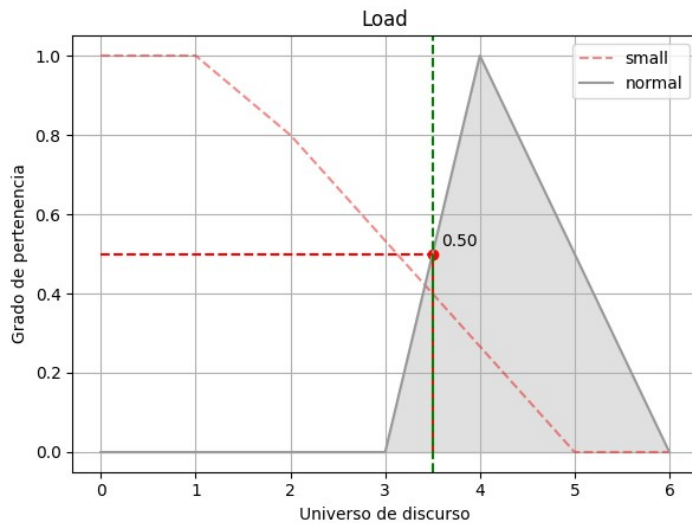


if Load is small and Dirt is high then Detergent is usual

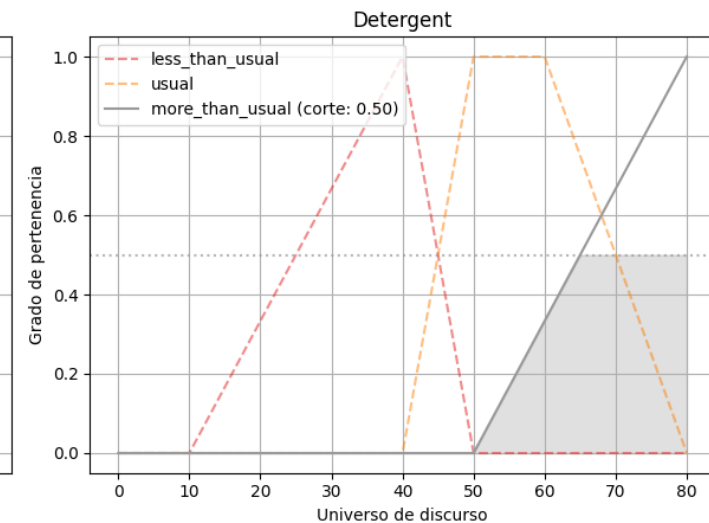
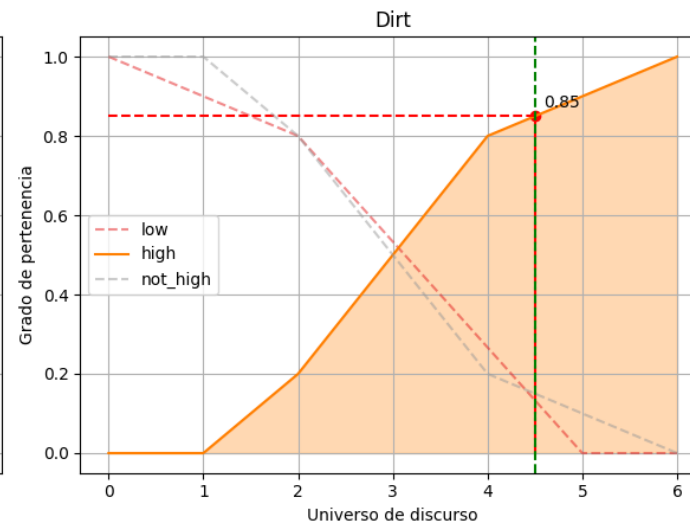
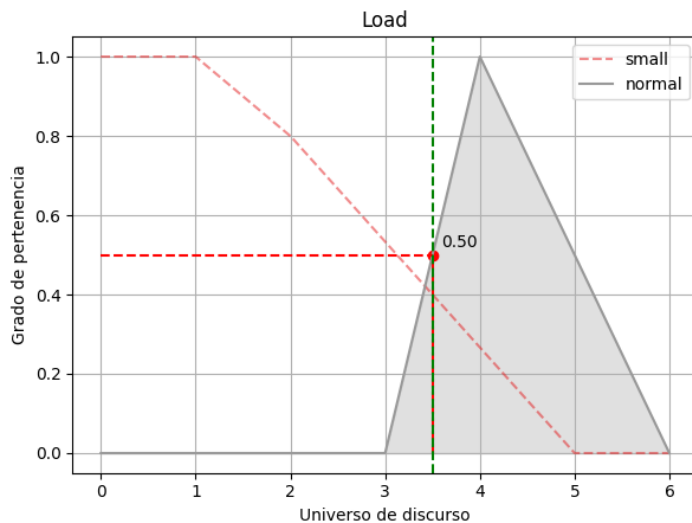


Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

if Load is normal and Dirt is low then Detergent is less_than_usual



if Load is normal and Dirt is high then Detergent is more_than_usual



Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

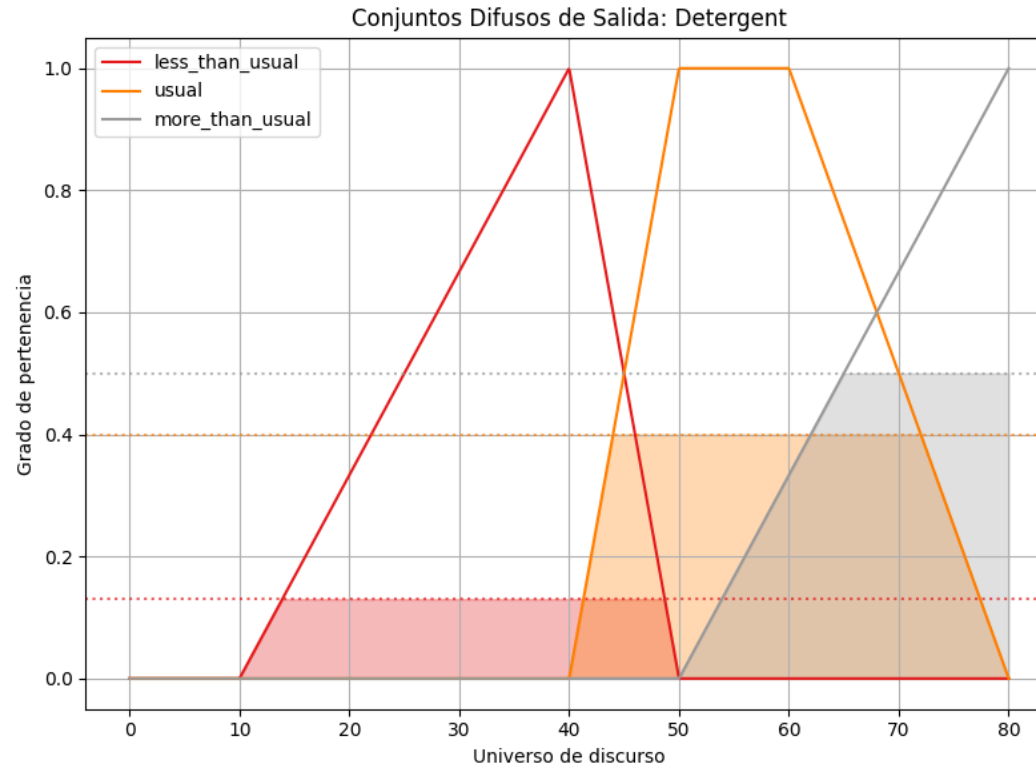
Reglas del experto:

- `if Load is small and Dirt is not high then Detergent is less_than_usual`
- `if Load is small and Dirt is high then Detergent is usual`
- `if Load is normal and Dirt is low then Detergent is less_than_usual`
- `if Load is normal and Dirt is high then Detergent is more_than_usual`
- `if Detergent is usual or Detergent is less_than_usual then Cycle is short`
- `if Detergent is more_than_usual then Cycle is long`

¡No tenemos la cantidad de detergente! Viene determinada por las reglas anteriores.
La calculamos:

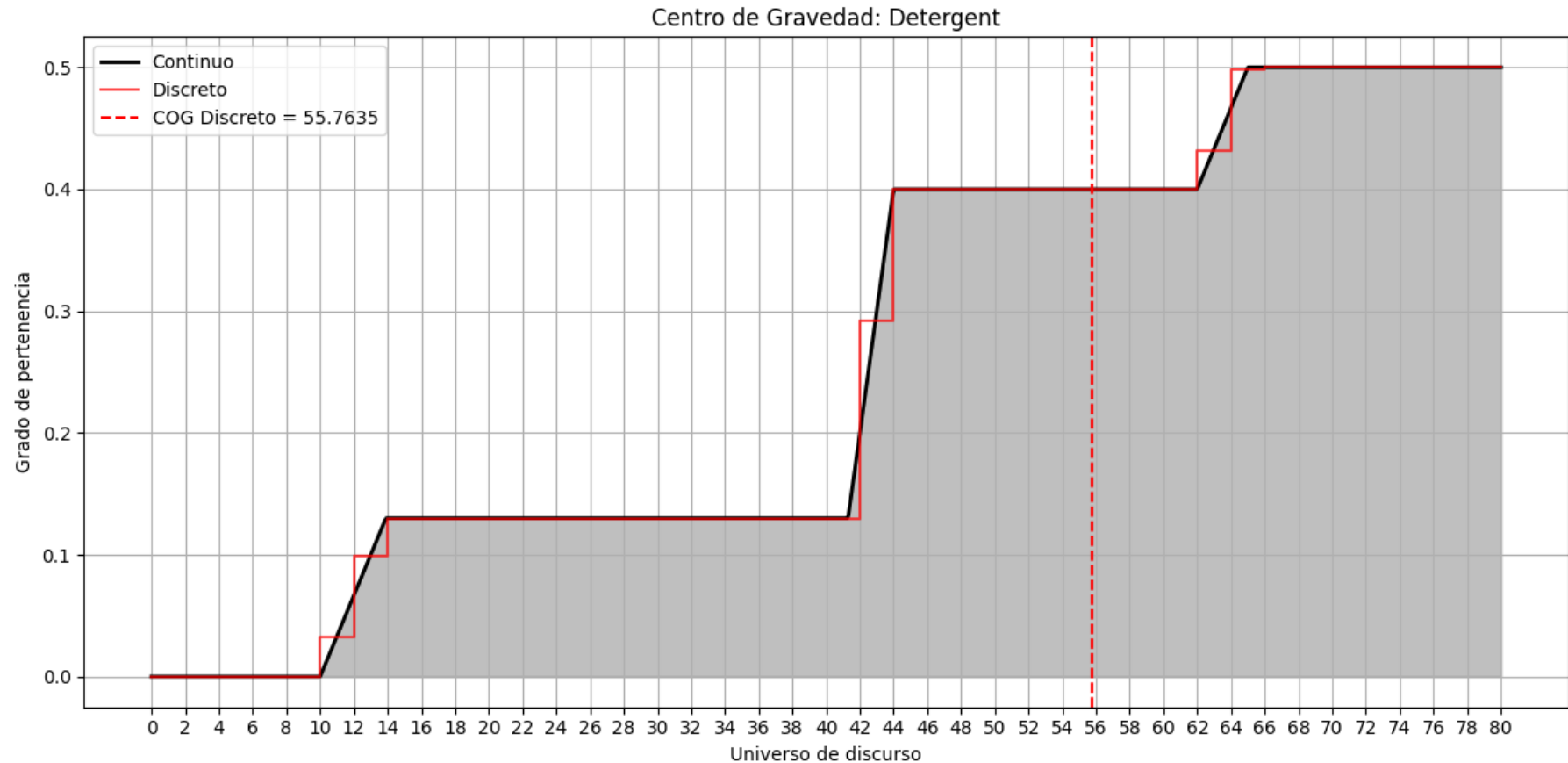
Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

Agregación para detergente:



Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

COGS:

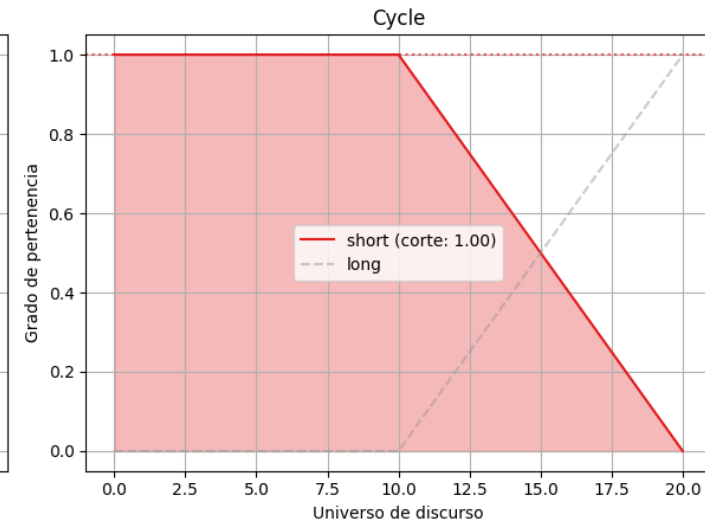
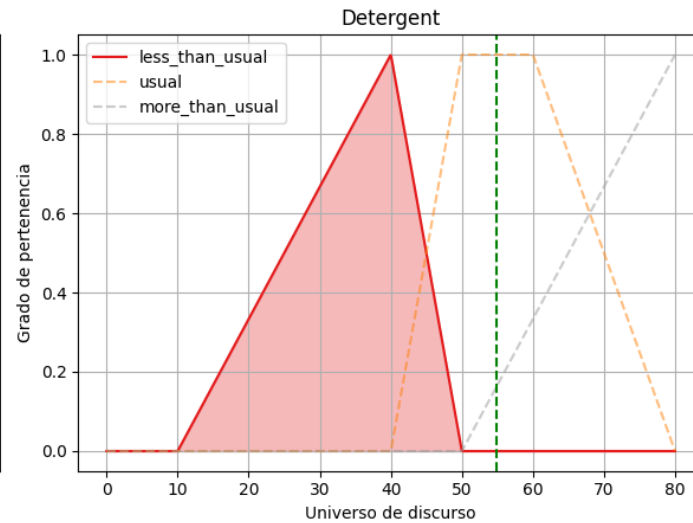
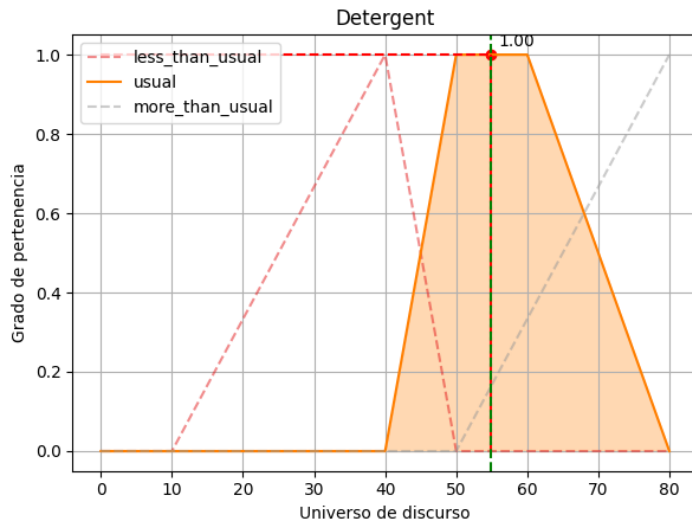


Usaremos el COG continuo: 54.86

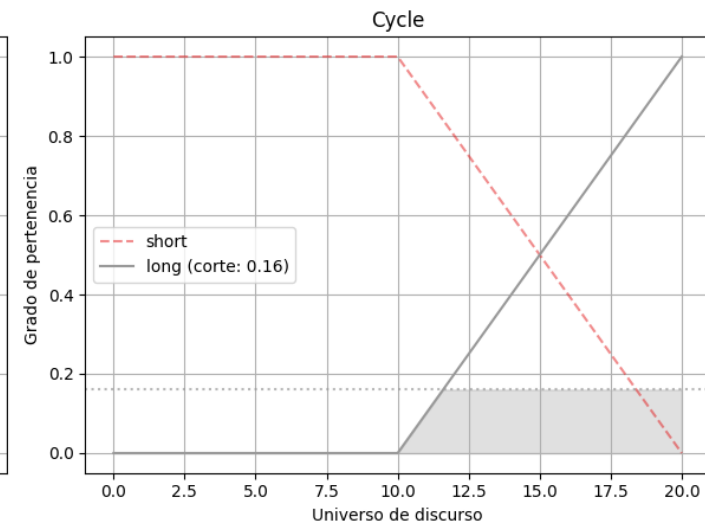
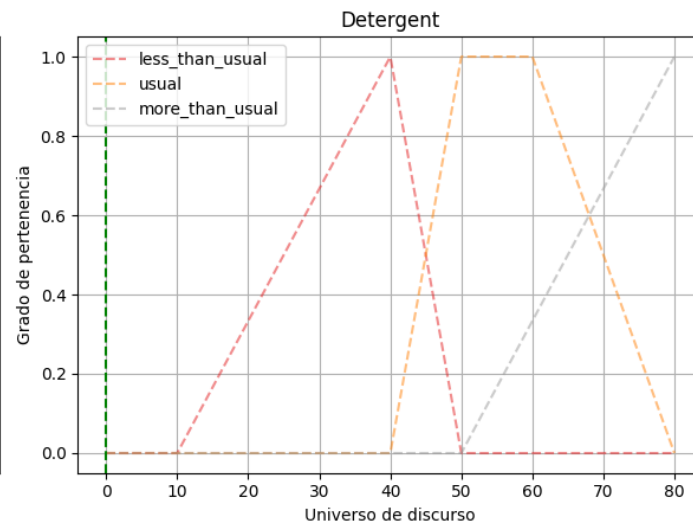
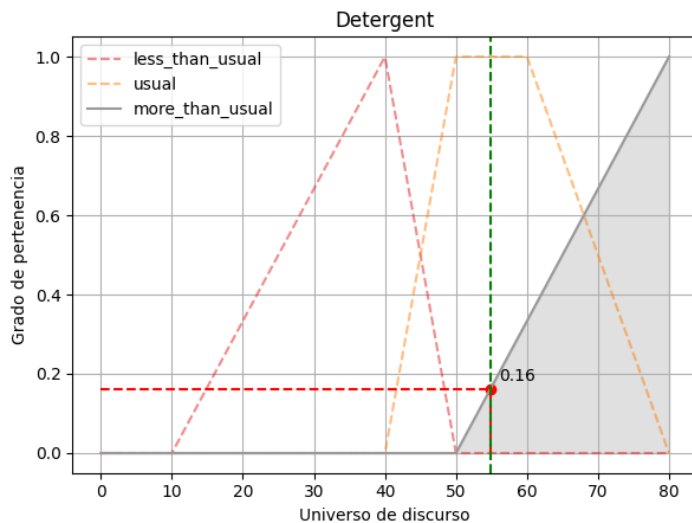
Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

if Detergent is usual or Detergent is less_than_usual then Cycle is short

OR Max

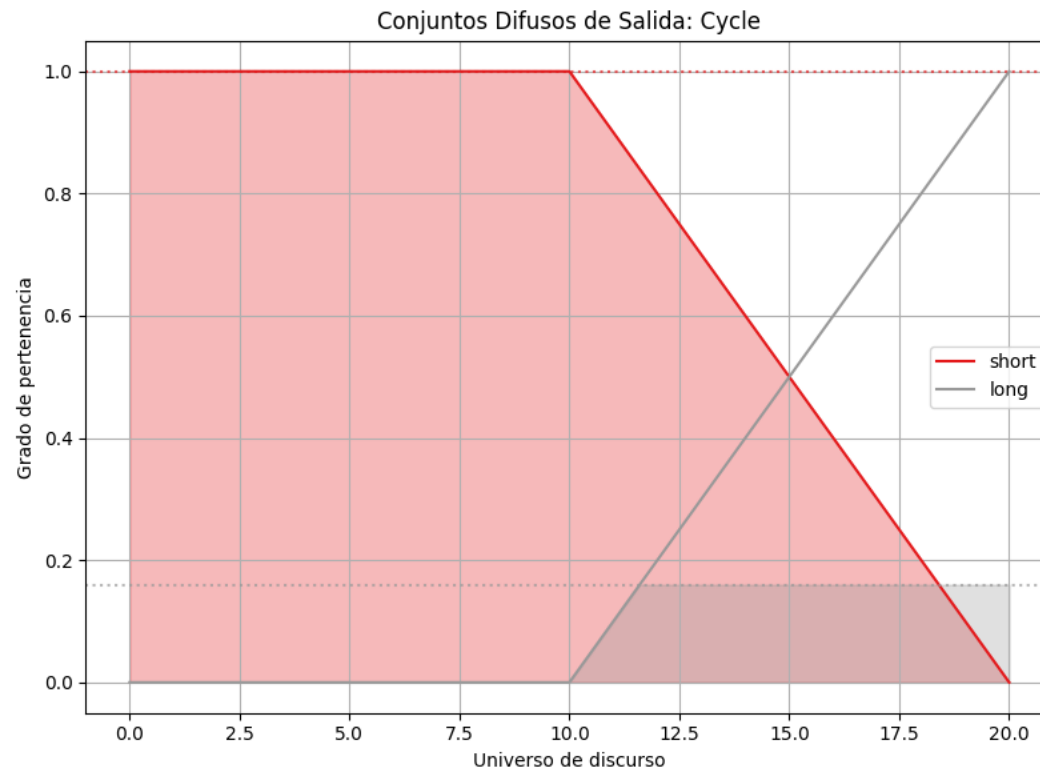


if Detergent is more_than_usual then Cycle is long



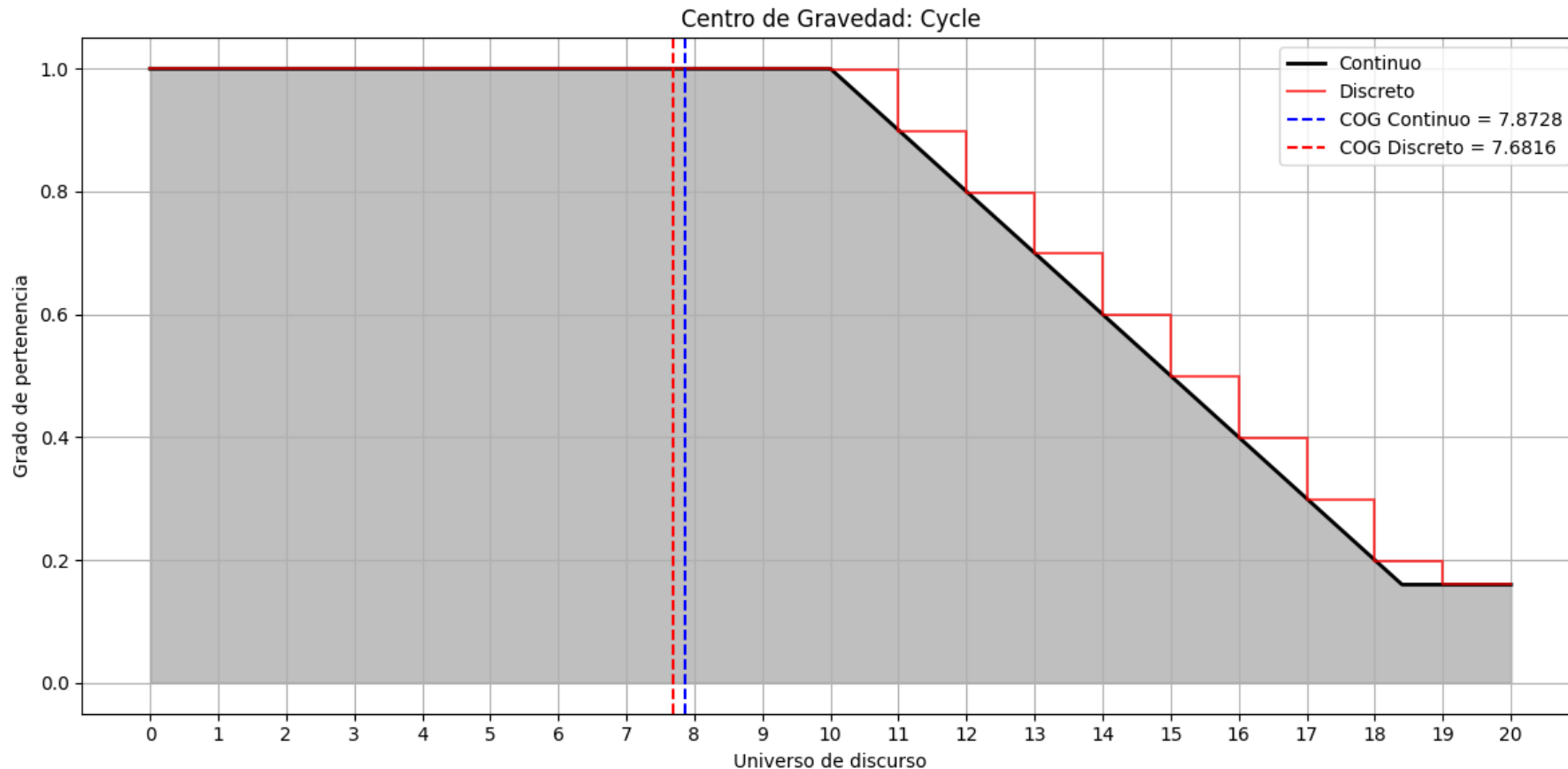
Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

Agregación para ciclo con max:



Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

COGS:



Cálculo del Centro de Gravedad (COG) discreto:

$$\text{Num} = (0+1+2+3+\dots+10)*1 + 11*0.90 + 12*0.80 + 13*0.70 + 14*0.60 + 15*0.50 + 16*0.40 + 17*0.30 + 18*0.20 + 19*0.16 + 20*0.16$$

$$\text{Den} = 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 1.00 + 0.90 + 0.80 + 0.70 + 0.60 + 0.50 + 0.40 + 0.30 + 0.20 + 0.16 + 0.16$$

$$\text{COGS} = \text{Num} / \text{Den} = 120.66 / 15.71 \text{ COGS} = 7.682$$

Ejercicio: Lavadora automática ¿Que ciclo y detergente hay que añadir para...?

load = 3.5 # Carga normal
dirt = 4.5 # Suciedad alta

Para los datos anteriores tendremos:

- Un ciclo de 7.68 minutos
- Cantidad de detergente: 54.86ml