

# Control Difuso

Este capítulo explora el control difuso, una técnica de control no convencional que ofrece una alternativa a los métodos tradicionales.



# Introducción al Control Retroalimentado

## Control Convencional

Se basa en modelos matemáticos precisos del sistema a controlar. Incluye técnicas como el control PID, compensadores de adelanto y retardo.

- Control PID (Ziegler-Nichols, LGR, Bode, Nyquist, Nichols)
- Compensador de adelanto (LGR, Bode, Nyquist, Nichols)
- Compensador de retardo (LGR, Bode, Nyquist, Nichols)
- Compensador retardo-adelanto (LGR, Bode, Nyquist, Nichols)

## Control Moderno

Utiliza métodos basados en reubicación de polos, control robusto, control LQR.

- Reubicación de polos
- Reubicación de polos con Observadores
- Regulador Cuadrático Lineal LQR
- Control Robusto)

# Introducción al Control Retroalimentado

## Control No Convencional

Utiliza métodos basados en la lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos y sistemas expertos. Estos métodos son más flexibles y adaptables a sistemas complejos.

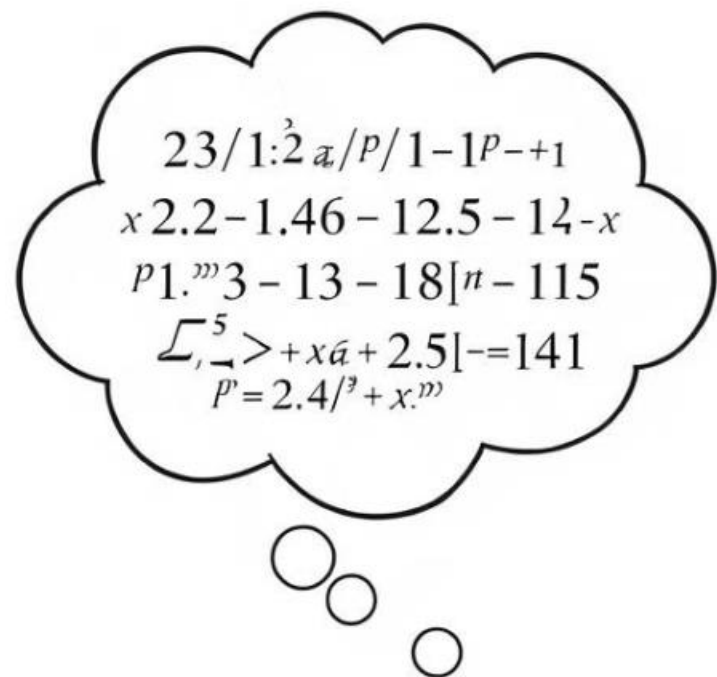
- Control Difuso
- Redes Neuronales Artificiales
- Algoritmos Genéticos
- Sistemas Expertos

# ¿En que se diferencia el control Difuso al control convencional?

- Control PID (una entrada y una salida)
- Control Difuso (múltiples entradas y salidas)

El control Difuso No requiere el modelo dinámico del sistema a controlar.  
Por tanto:

- El control Difuso no requiere identificar el sistema.
- Ni necesita aproximar el modelo.
- Ni necesita linealizarlo.
- Facilita el diseño del controlador.



# Control Difuso:

1

## Sin Modelo Dinámico

El control difuso no requiere un modelo matemático preciso del sistema.

2

## Diseño Simplificado

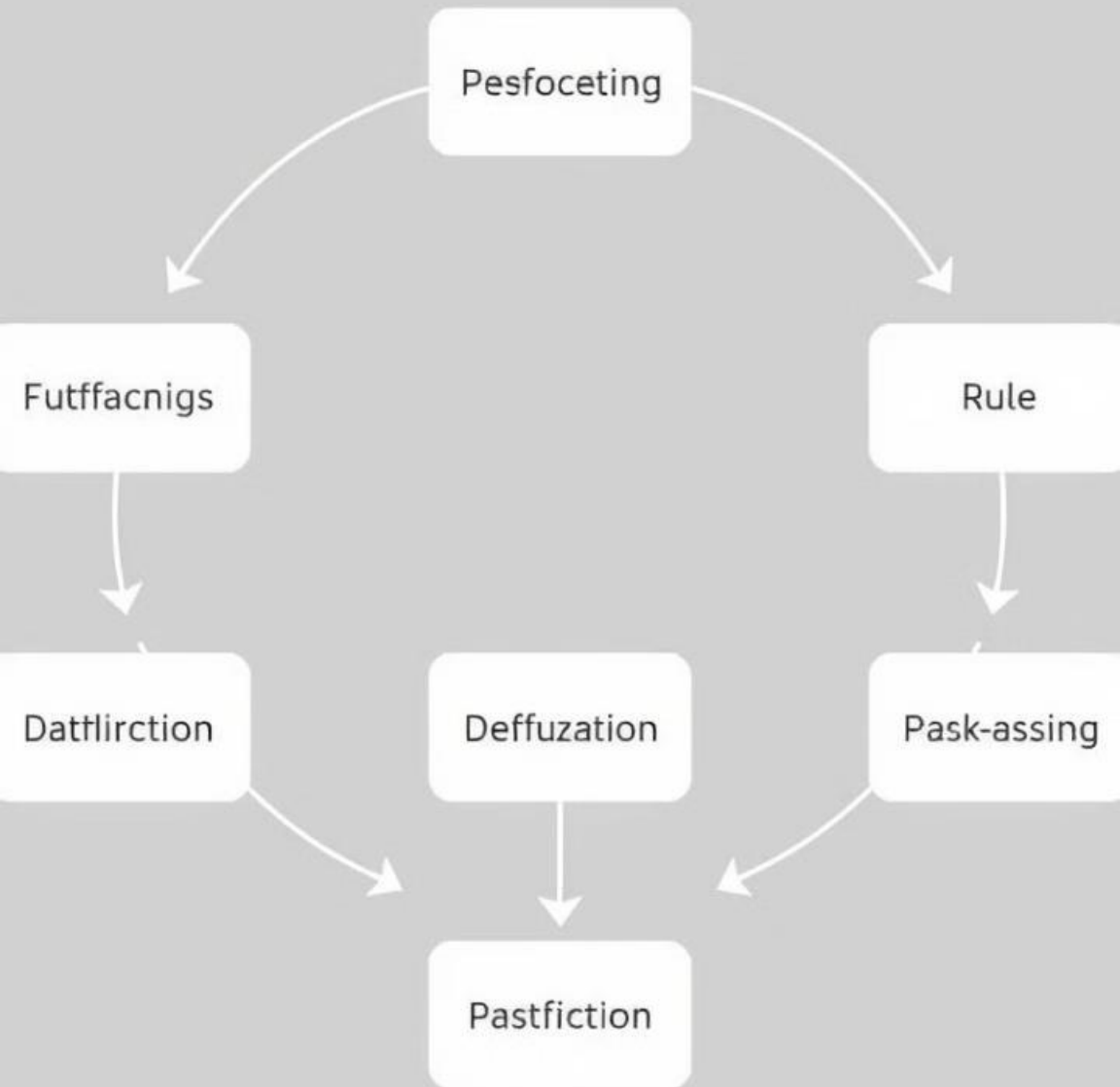
El diseño del controlador es más sencillo, ya que no se necesita identificar, aproximar o linealizar el sistema.

3

## Conocimiento Experto

Se requiere el conocimiento de las **reglas lingüísticas** de control de un experto.

# Control System

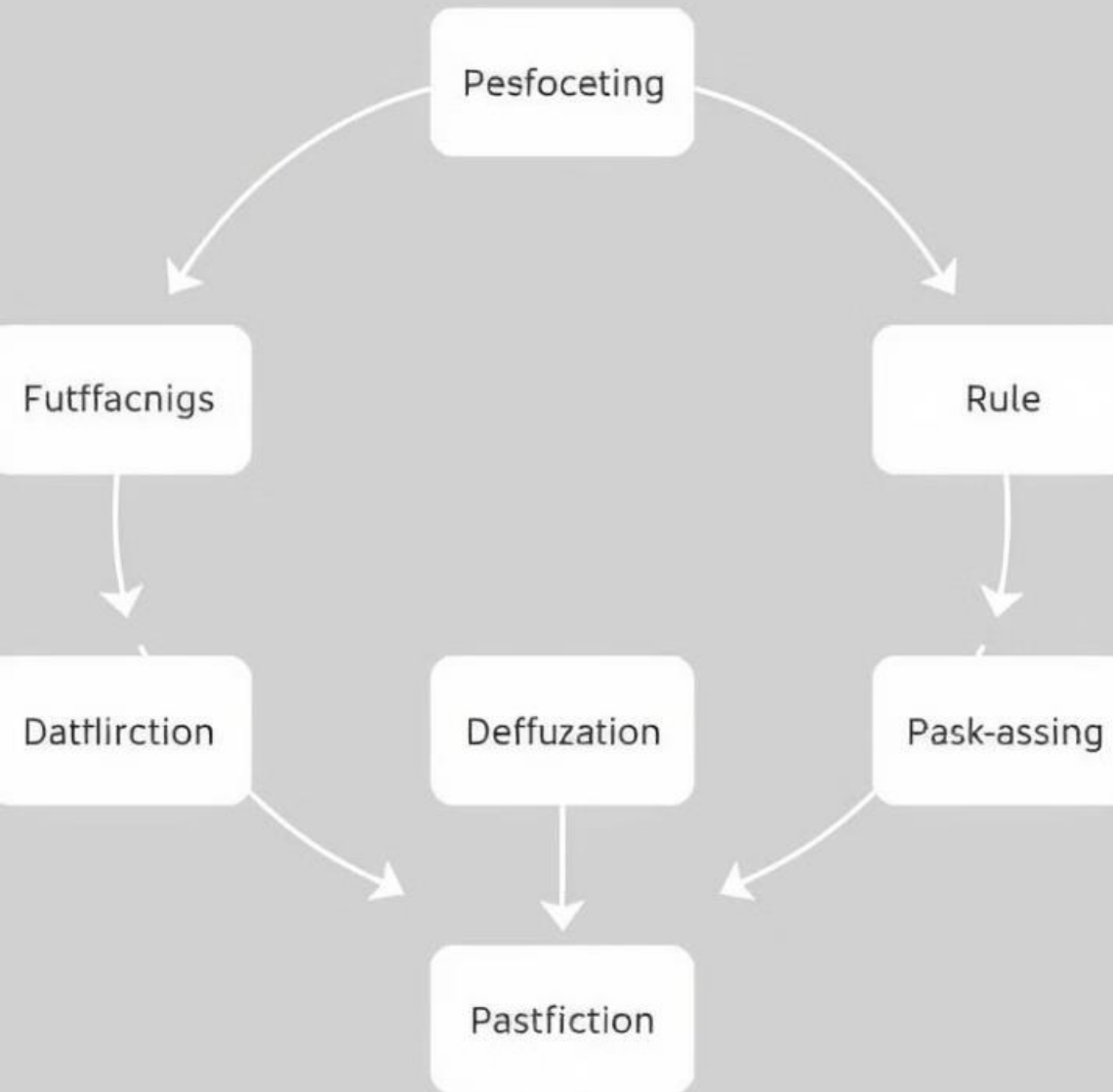


# Componentes del Control Difuso



Partes de un sistema de control Difuso

# Control System



## Componentes del Control Difuso

### Pre-procesamiento

Acondiciona las señales antes de introducirlas al procesamiento digital.

### Reglas de Control

Conjunto de reglas lingüísticas IF-THEN que definen cómo se debe controlar el sistema.

### Defusificación

Convierte el conjunto Difuso resultante de la inferencia en una cantidad certera para generar la señal de control.

### Fusificación

Convierte la magnitud de la señal en una cantidad difusa, obteniendo el valor de pertenencia en cada valor lingüístico.

### Método de Inferencia

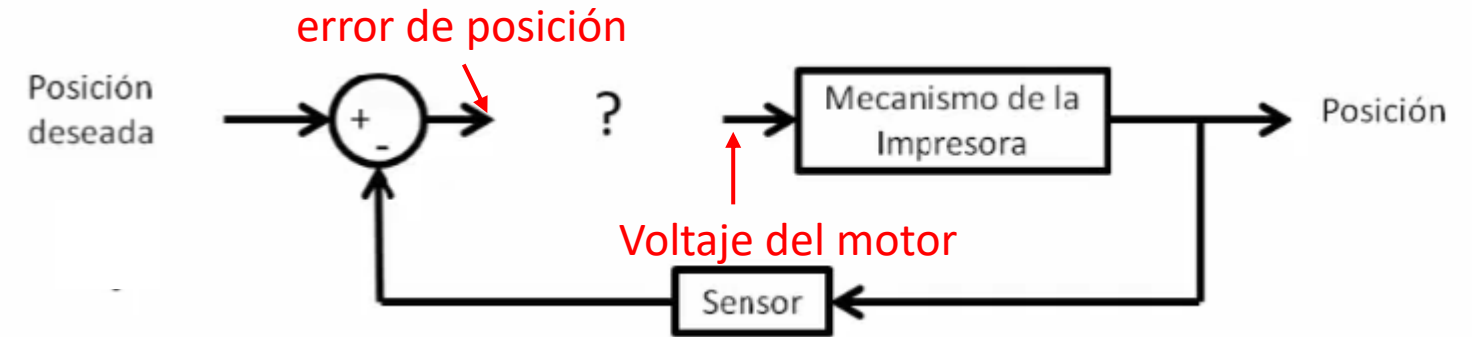
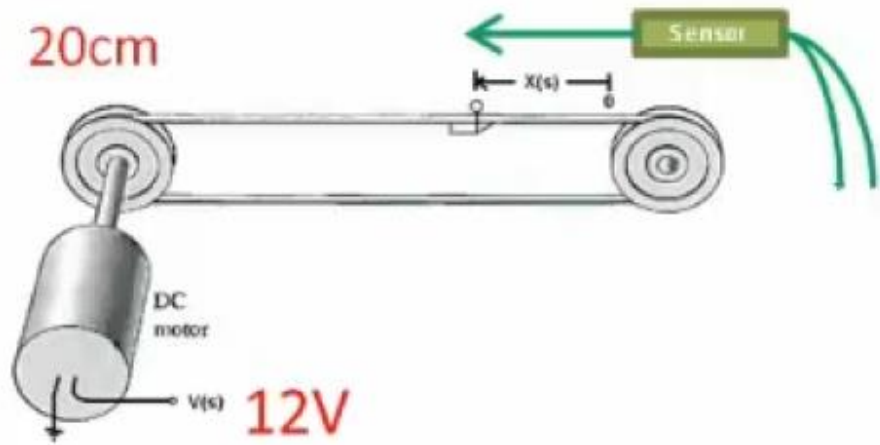
algoritmo que seguirá la computadora para inferir la conclusión a partir de las señales entrantes y las reglas de control.

### Pos-procesamiento

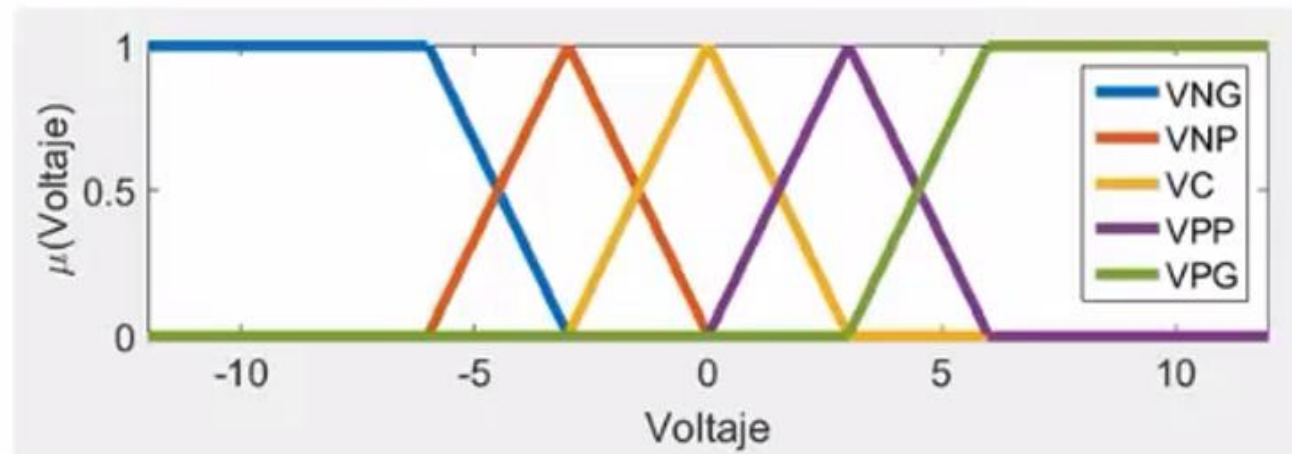
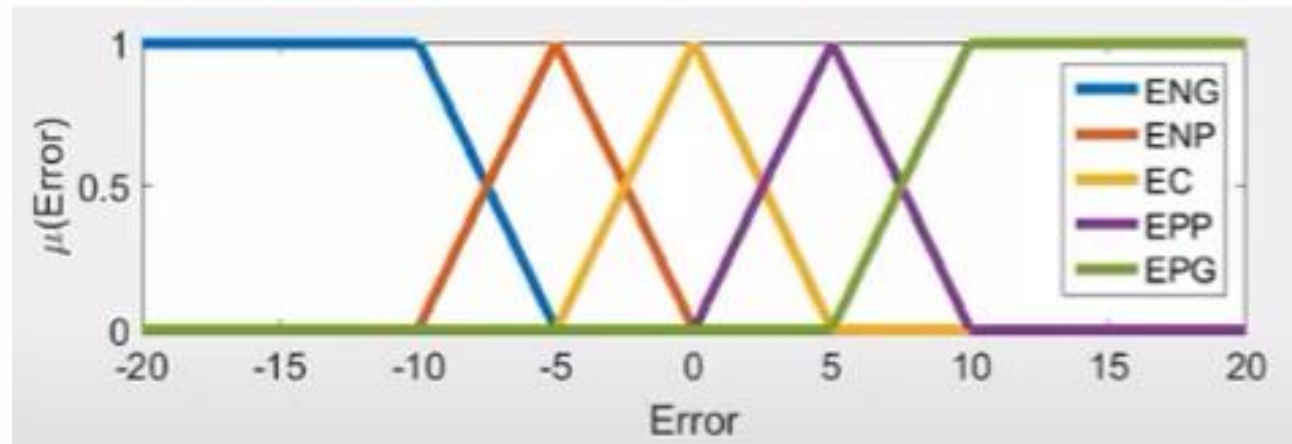
Genera la señal de control a partir de la cantidad defusificada acondicionándola al actuador.



Ejm.:



Definir las **Variables Lingüísticas**



$$M(\text{ENG}) = \text{trapmf}(e; -20, -20, -10, -5)$$

$$M(\text{ENP}) = \text{trimf}(e; -10, -5, 0)$$

$$M(\text{EC}) = \text{trimf}(e; -5, 0, 5)$$

$$M(\text{EPP}) = \text{trimf}(e; 0, 5, 10)$$

$$M(\text{EPG}) = \text{trapmf}(e; 5, 10, 20, 20)$$

donde ENG=error negativo grande, ENP=error negativo pequeño, EC=error cero, EPP=error positivo pequeño y EPG= error positivo grande.

$$M(\text{VNG}) = \text{trapmf}(e; -12, -12, -6, -3)$$

$$M(\text{VNP}) = \text{trimf}(e; -6, -3, 0)$$

$$M(\text{VC}) = \text{trimf}(e; -3, 0, 3)$$

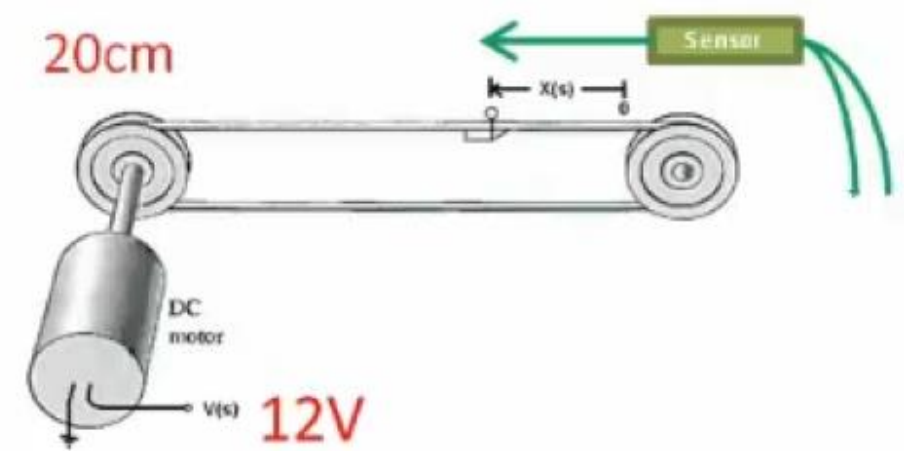
$$M(\text{VPP}) = \text{trimf}(e; 0, 3, 6)$$

$$M(\text{VPG}) = \text{trapmf}(e; 3, 6, 12, 12)$$

donde VNG=voltaje negativo grande, VNP=voltaje negativo pequeño, VC=voltaje cero, VPP=voltaje positivo pequeño y VPG= voltaje positivo grande.



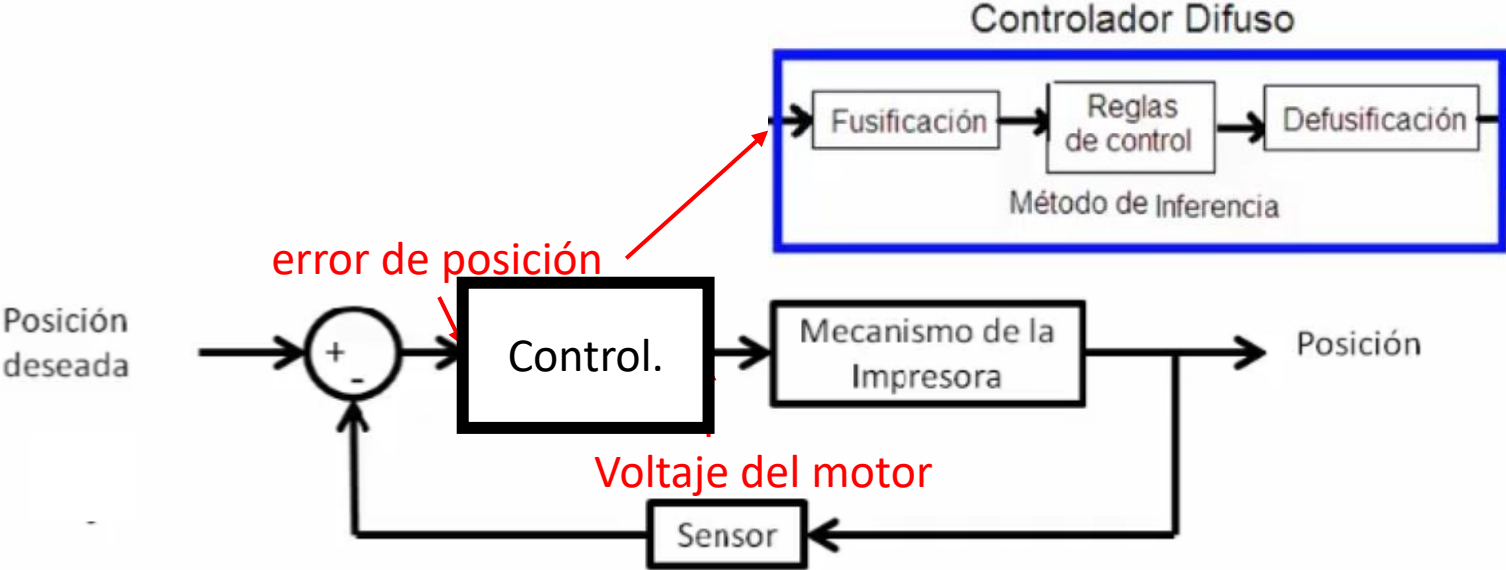
Ejm.:



Definir las **Reglas de Control**

Error	Voltaje
ENG	VNG
ENP	VNP
EC	VC
EPP	VPP
EPG	VPG

SI el error es negativo grande, ENTONCES el voltaje es negativo grande  
SI el error es negativo pequeño, ENTONCES el voltaje es negativo pequeño  
SI el error es cero, ENTONCES el voltaje es cero  
SI el error es positivo pequeño, ENTONCES el voltaje es positivo pequeño  
SI el error es positivo grande, ENTONCES el voltaje es positivo grande



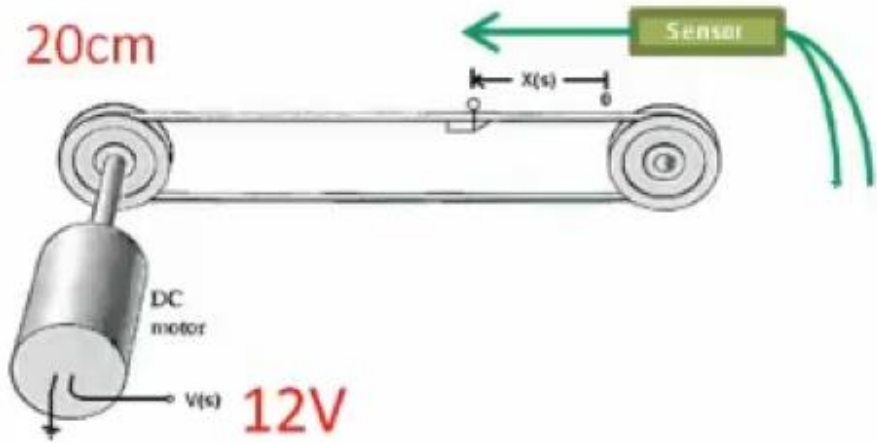
**Método de inferencia**

$x$  es  $A'$   
SI  $x$  es  $A_1$ , ENTONCES  $y$  es  $B_1$   
SI  $x$  es  $A_2$ , ENTONCES  $y$  es  $B_2$   
 $\vdots$   
-----  
 $y$  es  $B'$

Interpretación Matemática  
 $A'$   
 $B'_1 = A' \circ R_1 = A' \circ (A_1 \times B_1)$   
 $B'_2 = A' \circ R_2 = A' \circ (A_2 \times B_2)$   
 $\vdots$   
-----  
 $B' = B'_1 \cup B'_2 \cup \dots$

$$\mu_{B'_i}(y) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y)$$

Ejm.:



### Método de inferencia

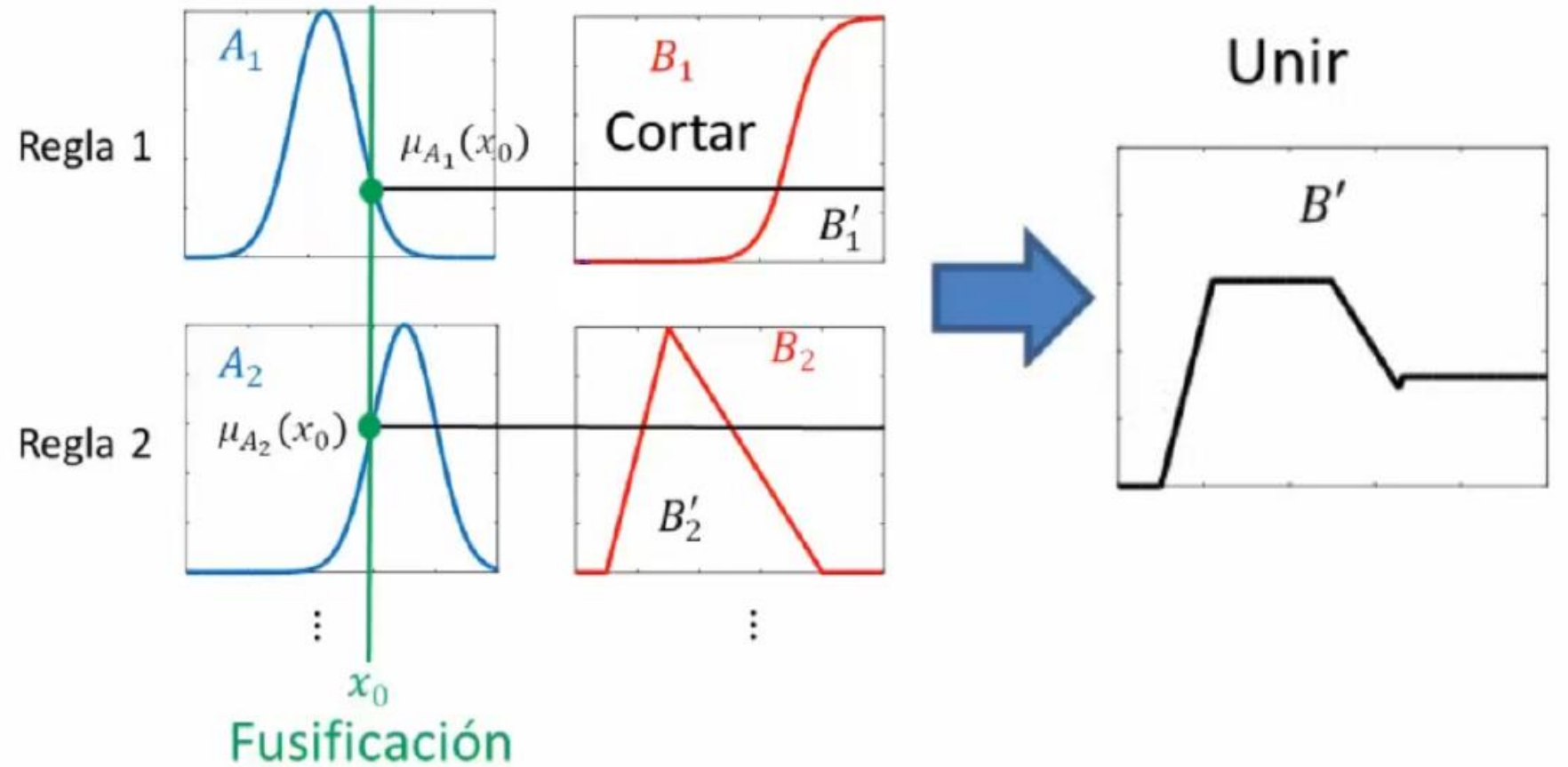
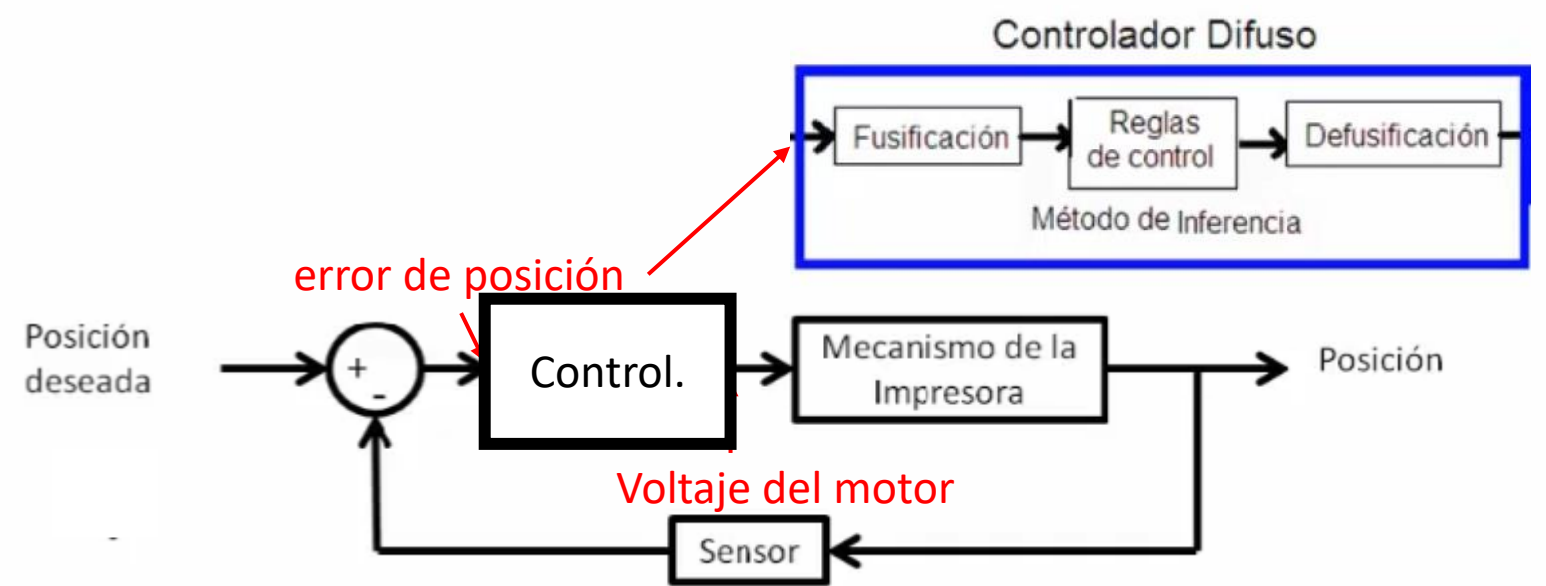
$$\mu_{B'_i}(y) = \mu_{A_i}(x_0) \wedge \mu_{B_i}(y)$$

$$\mu_{B'_1}(y) = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y)$$

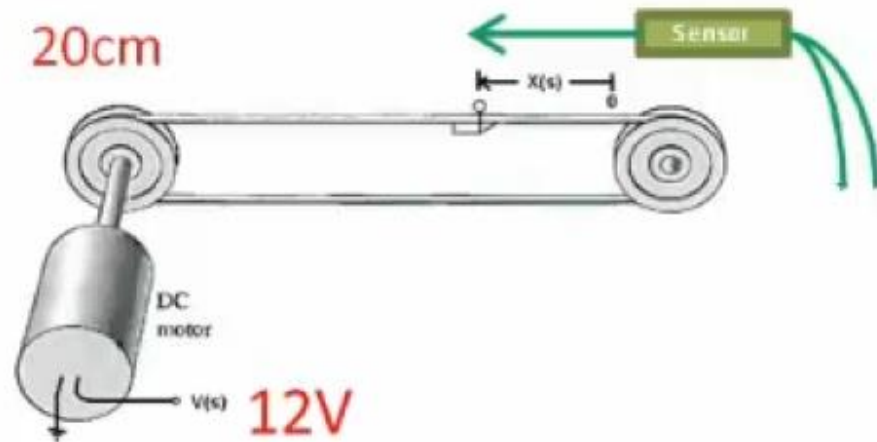
$$\mu_{B'_2}(y) = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y)$$

$\vdots$

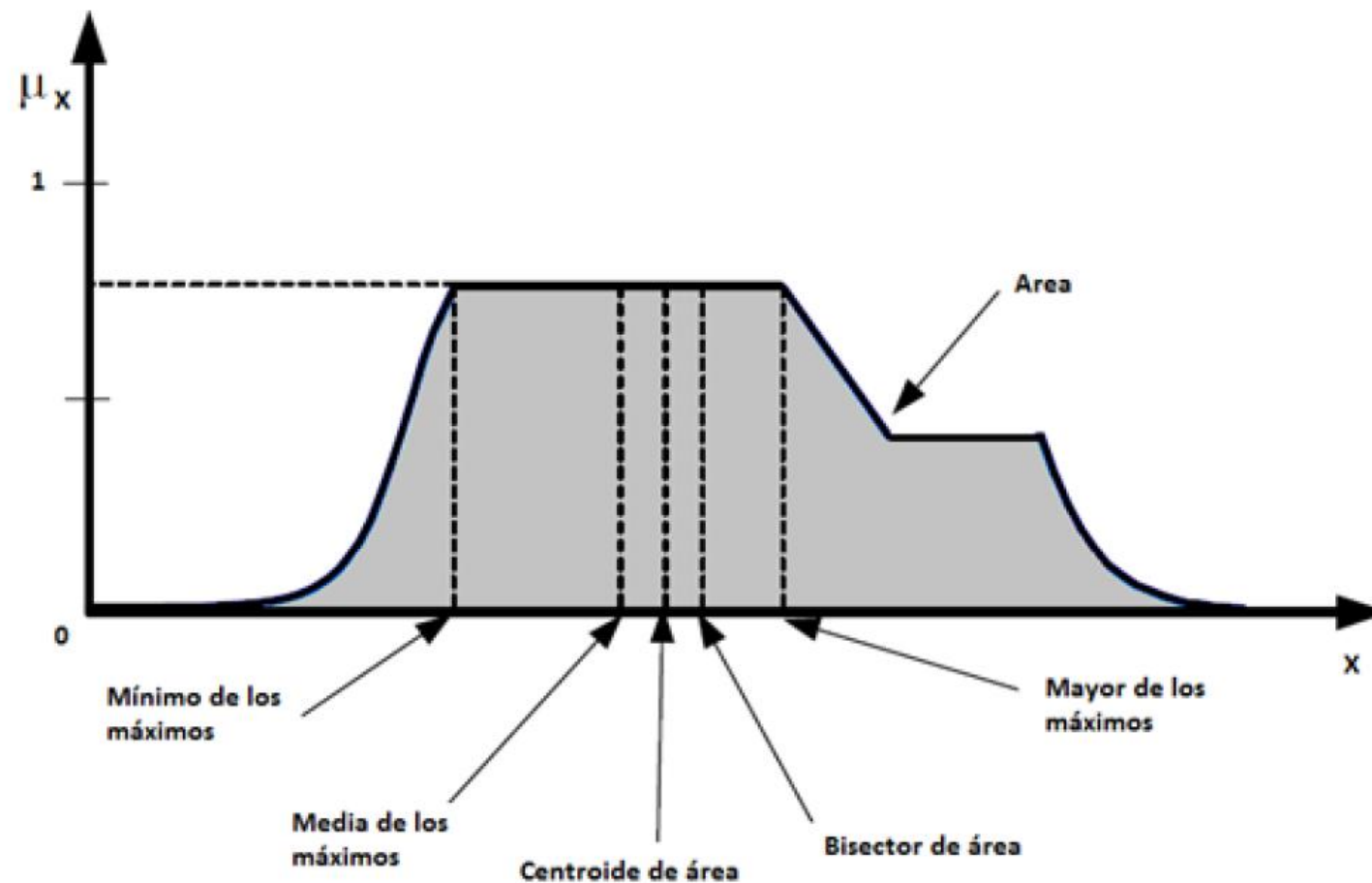
$$\mu_{B'}(y) = \mu_{B'_1}(y) \vee \mu_{B'_2}(y) \vee \dots$$



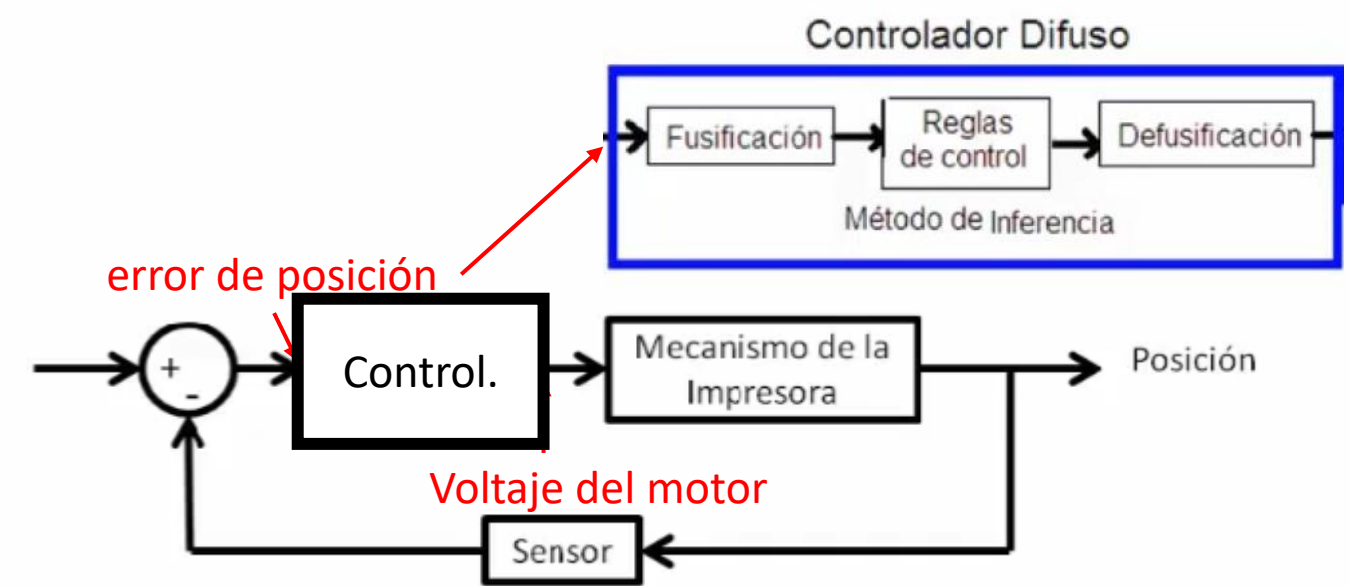
Ejm.:



## Defuzzificación



Posición deseada



Mayor de los Máximos

Toma el mayor valor (en x) de aquellos que generan el valor máximo del conjunto difuso.

Menor de los Máximos

Toma el menor valor (en x) de aquellos que generan el valor máximo del conjunto difuso.

Media de los Máximos

Toma la media (en x) de los valores máximos del conjunto difuso.

Bisector de Área

Calcula el valor que separa el área bajo la curva en dos subáreas iguales.

Centroide

Calcula el centro geométrico del conjunto difuso, utilizando una ecuación discreta o continua.

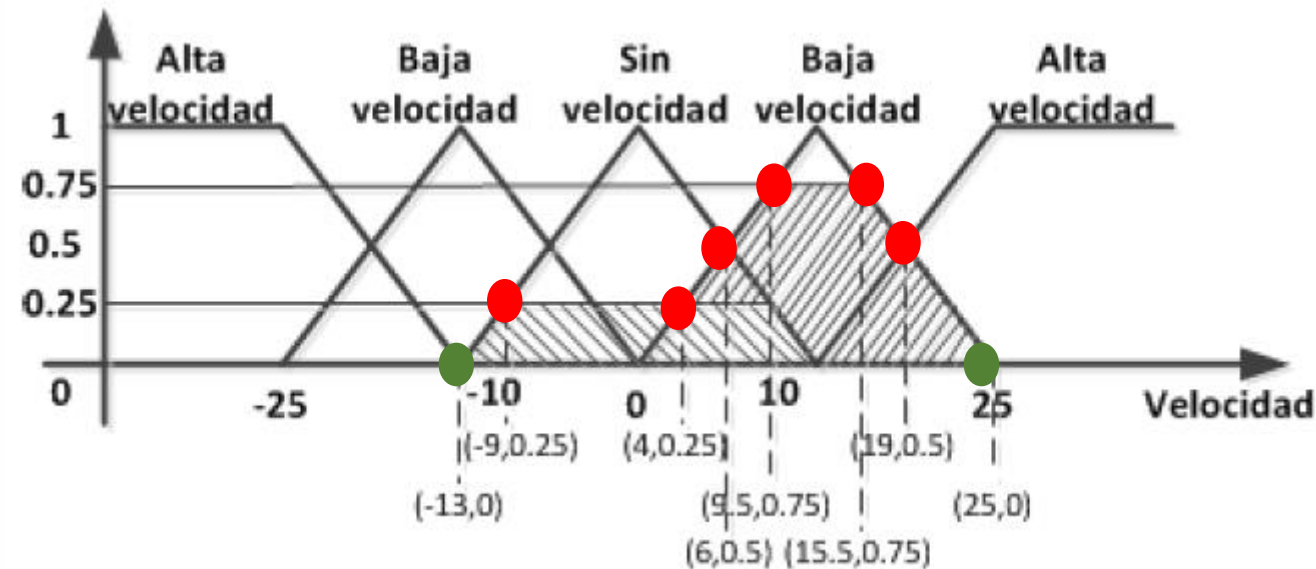
# Defusificación: Método Centroide

El centroide es un punto que define el centro geométrico de un objeto.

Este método se basa en la siguiente ecuación discreta:

$$Salida = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x).x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)} = \frac{\text{momento}(x)}{\text{Area}} = \frac{\sum_{x=a}^b (A.x)}{\sum_{x=a}^b A}$$

$$Salida = \frac{\int_a^b \mu(x).x dx}{\int_a^b \mu(x).dx}$$



$$Salida = \frac{\sum_{x=a}^b \mu(x).x}{\sum_{x=a}^b \mu(x)} = 10$$

$$Salida = \frac{(0 * -13) + (0.25 * -9) + (0.25 * 4) + (0.5 * 6) + (0.75 * 9.5) + (0.75 * 15.5) + (0.5 * 19) + (0 * 0.25)}{(0 + 0.25 + 0.25 + 0.5 + 0.75 + 0.75 + 0.5 + 0)}$$