



UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO

Implementación de controladores embebidos

Juan Felipe Medina Lee

Por una Universidad
PERTINENTE CREATIVA INTEGRADORA

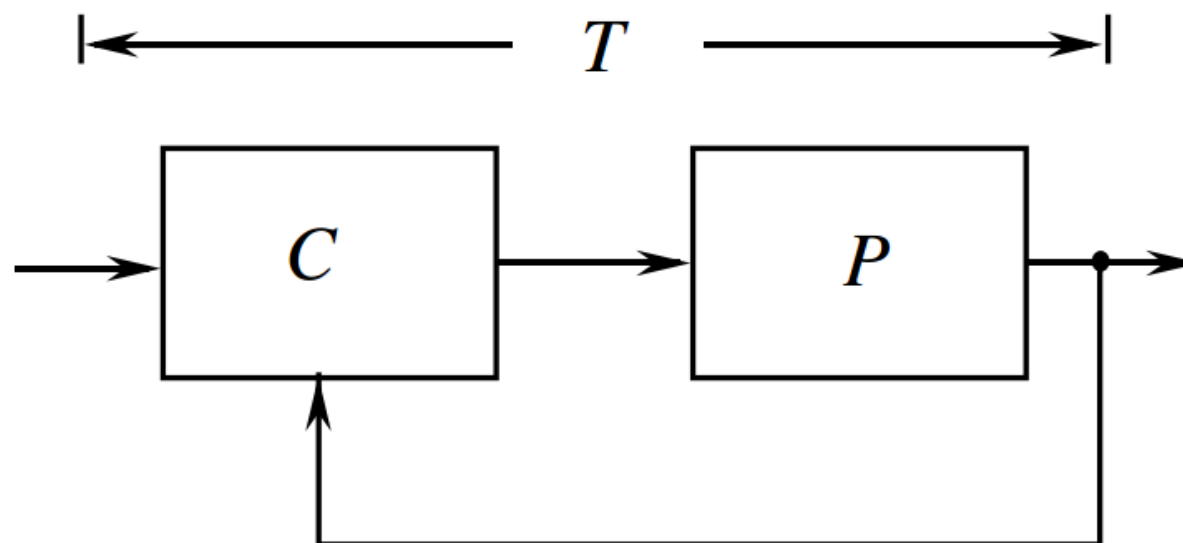
www.uniquindio.edu.co

Sistema de control típico

Un sistema de control típico es un sistema realimentado que conoce la salida y realiza acciones para corregirla. Las tres señales importantes en un sistema son:

- Referencia
- Entrada al sistema
- Salida del sistema

¿Qué es el bloque 'P'?



Objetivos en el desempeño

1. Insensibilidad a la variación de parámetros
2. Estabilidad
3. Tiempo de establecimiento
4. Sobre-impulso
5. Error de estado estable

Todos estos son parámetros muy técnicos del desempeño de un controlador.

Otras características importantes

- Costo
- Complejidad computacional
- Manufacturabilidad
- Confiabilidad
- Mantenimiento
- Adaptabilidad
- Facilidad de entendimiento

¿Cuál técnica de control selecciono?

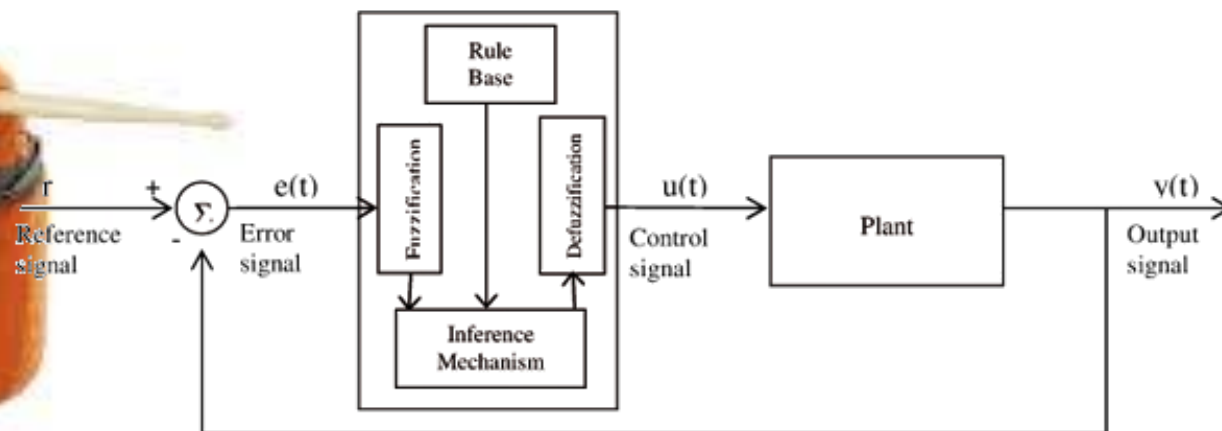
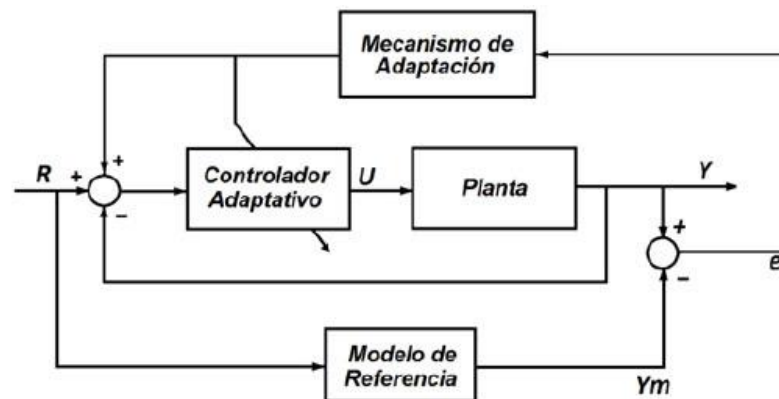
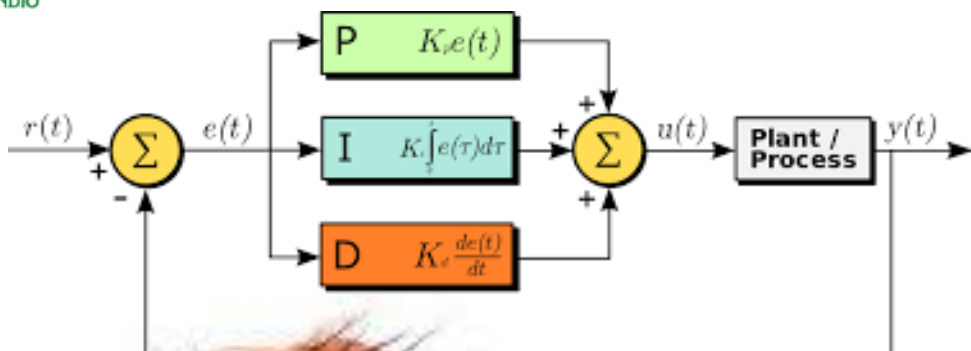
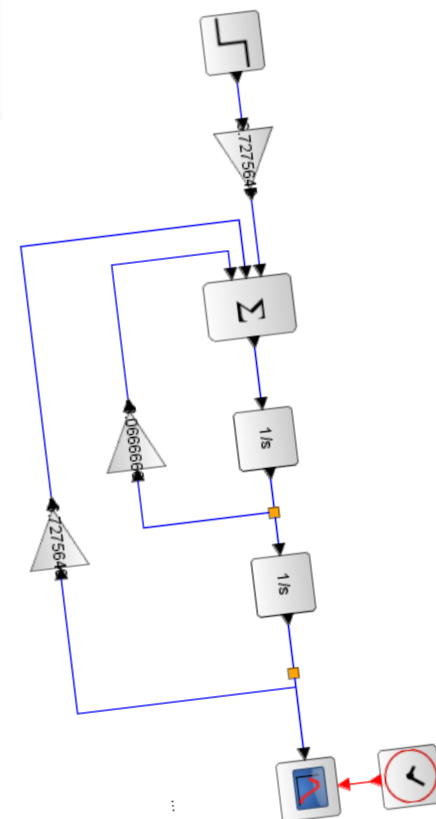
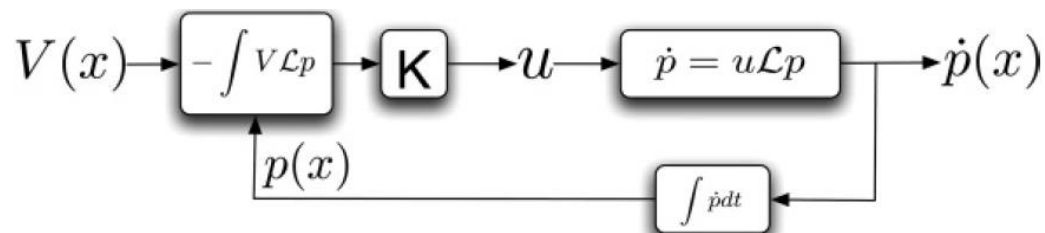


Figure 2 Detail of a control system with a Fuzzy controller.



2

Control Fuzzy

Por una Universidad
PERTINENTE CREATIVA INTEGRADORA



¿Por qué utilizar control difuso (fuzzy)?

- Por la dificultad de tener un modelo matemático.
- Porque a los ingenieros se nos da bien la “heurística”.
- Se intenta implementar en el controlador “lo que haría un operario humano”

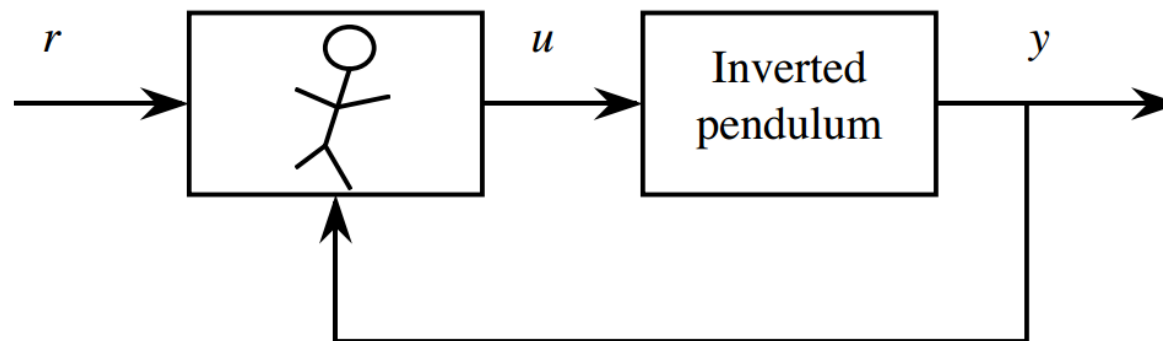
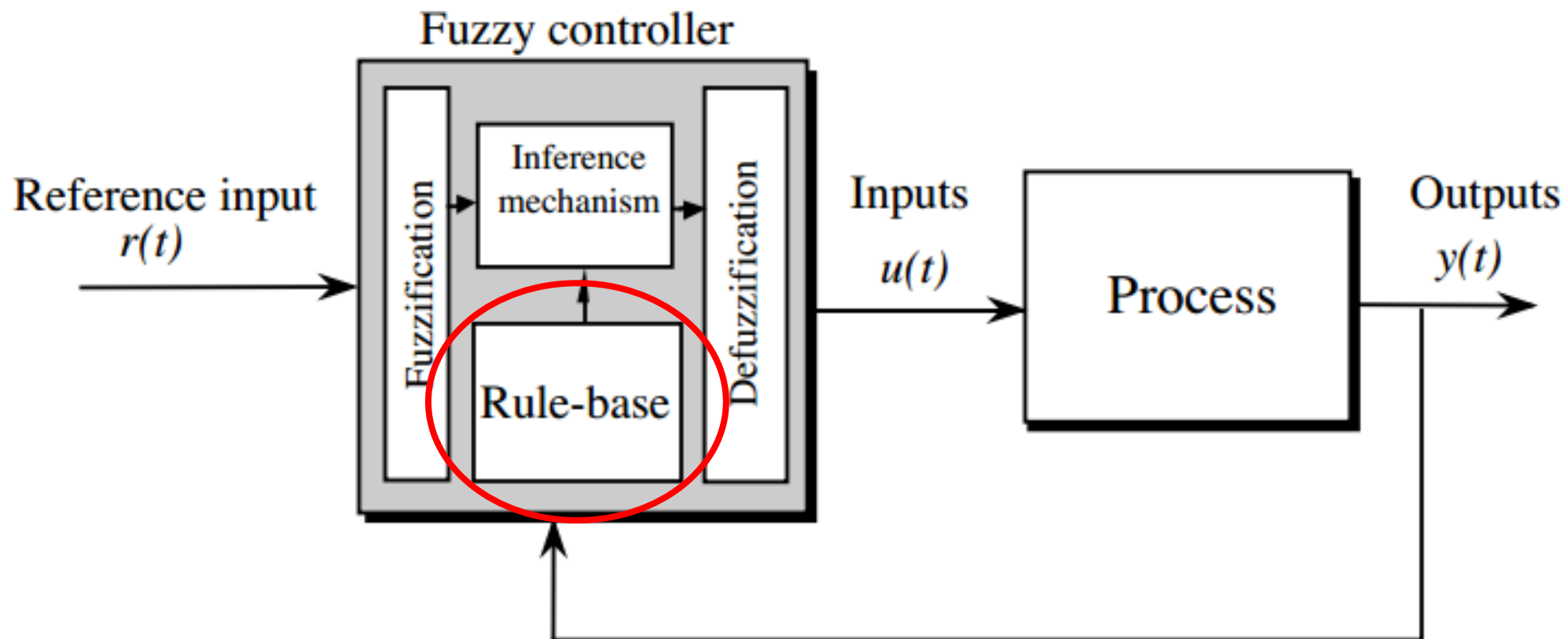


Diagrama de un control Fuzzy

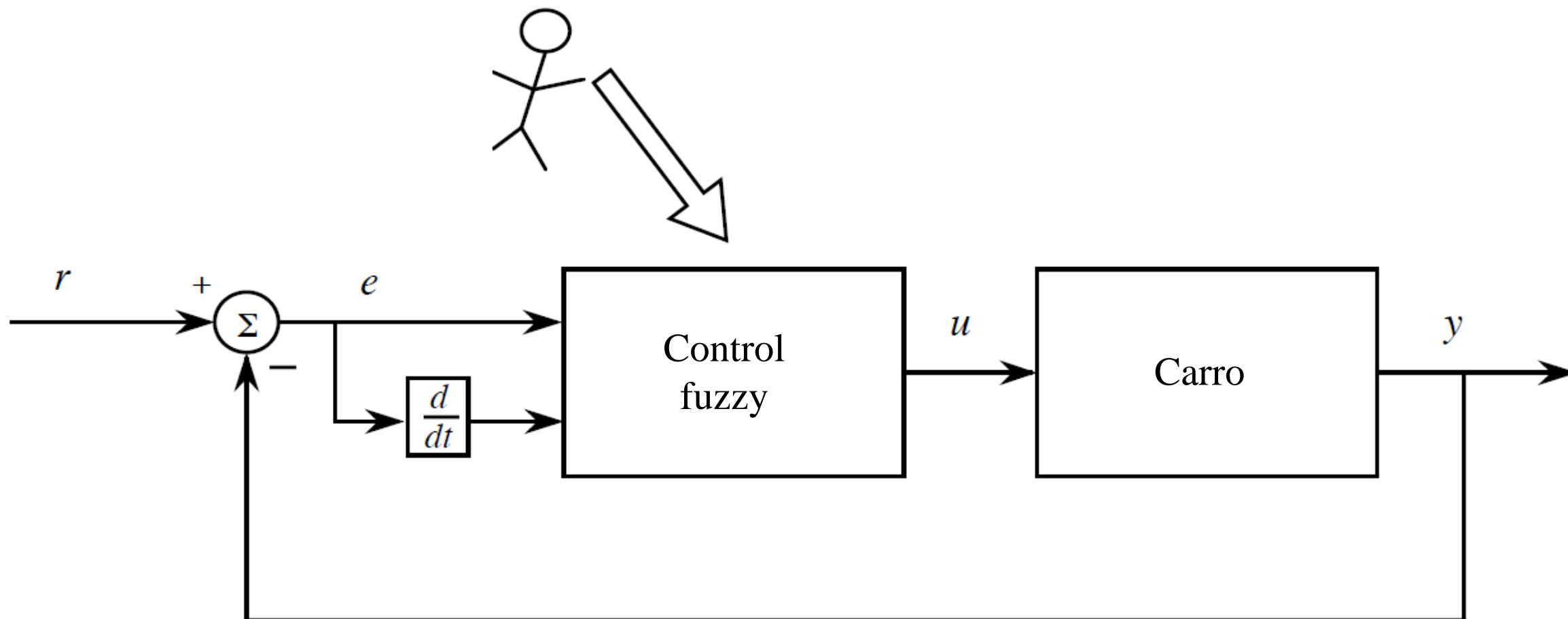


Caso ejemplo – velocidad crucero carro



¿Qué son físicamente $R(t)$, $U(t)$ y $Y(y)$?

Caso ejemplo – velocidad cruceo carro



Posibles desventajas del control fuzzy

¿Puede el experto humano:

- considerar TODOS los posibles casos que puede tener la planta?
- Tener en cuenta diferentes problemas del lazo cerrado como inestabilidades y demás?
- Conocer precisión los diferentes parámetros como tiempo de establecimiento, sobre impulso y demás?

Aplicación del control fuzzy. Paso 1: entradas y salidas

Si se le pregunta a ‘un experto’ sobre las variables a medir para realizar el control de la velocidad crucero de un carro, estas podrían ser:

- La diferencia entre la velocidad actual y la deseada.

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

- ¿Qué representa la derivada del error? ¿cómo lo explico en palabras sencillas?

$$\frac{d}{dt}e(t)$$

Paso 2: descripciones lingüísticas

Lo primero que hay que hacer es darle niveles lingüísticos a los posibles valores que pueden tomar las variables, algo muy fácil de visualizar.

Unos niveles lingüísticos que podrían utilizarse son:

- Positivo grande
- Positivo pequeño
- Cero
- Negativo pequeño
- Negativo grande

O también

2
1
0
-1
-2

Valores lingüísticos



Nota sobre la cuantificación

Quantifying the process dynamics with linguistics is not always easy, and certainly a better understanding of the process dynamics generally leads to a better linguistic quantification. Often, this will naturally lead to a better fuzzy controller provided that you can adequately measure the system dynamics so that the fuzzy controller can make the right decisions at the proper time.

Reglas

Acá es donde se pone en práctica el conocimiento del experto en como controlar la planta. Formulando una serie de reglas de como controlaría él la planta (reglas lingüísticas). Por ejemplo:

1. SI el error es negativo_pequeño Y el cambio en el error es negativo_grande ENTONCES el cambio en el acceso de gasolina es negativo_grande.
2. SI el error es cero Y el cambio en el error es positivo_pequeño ENTONCES el cambio en el acceso de gasolina es positivo_pequeño.
3. SI el error es positivo_pequeño Y el cambio en el error es negativo_pequeño ENTONCES el cambio en el acceso de gasolina es cero.

Todas las reglas lingüísticas tienen la siguiente forma general:

SI premisa ENTONCES consecuencia

Las premisas por lo general están asociadas con las entradas al controlador y las consecuencias (acciones) están asociadas con las salidas de control.

La cantidad de reglas posibles depende de la cantidad de variables y la cantidad de valores lingüísticos planteados. En este caso se tienen $5^2 = 25$ posibles reglas.

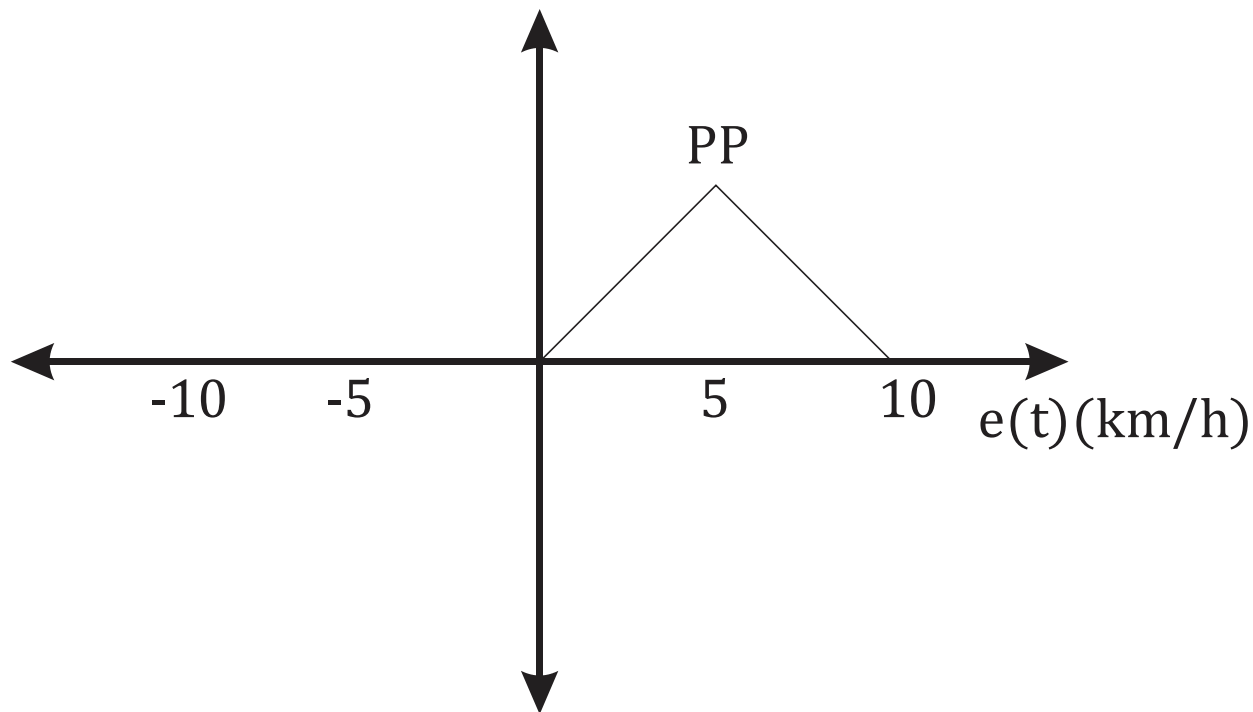
Representación Tabular

Cuando se tienen 2 o 3 variables de entrada al controlador, una forma fácil de representar las reglas es por medio de una tabla, en donde se utilizan los valores lingüísticos, tanto en las entradas como en las salidas del controlador.

Gasolina $U(t)$		$d e(t)/dt$				
		-2	-1	0	1	2
$e(t)$	-2	-2	-2	-2	-1	0
	-1	-2	-2	-1	0	1
	0	-2	-1	0	1	2
	1	-1	0	1	2	2
	2	0	1	2	2	2

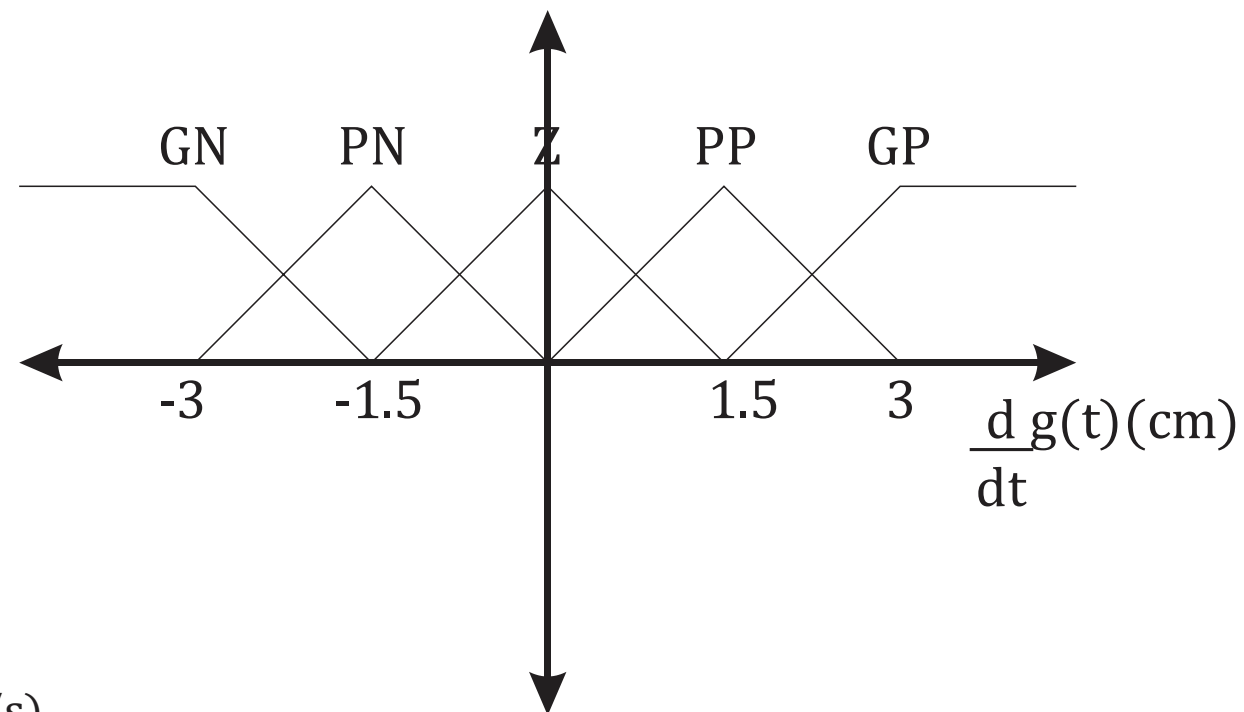
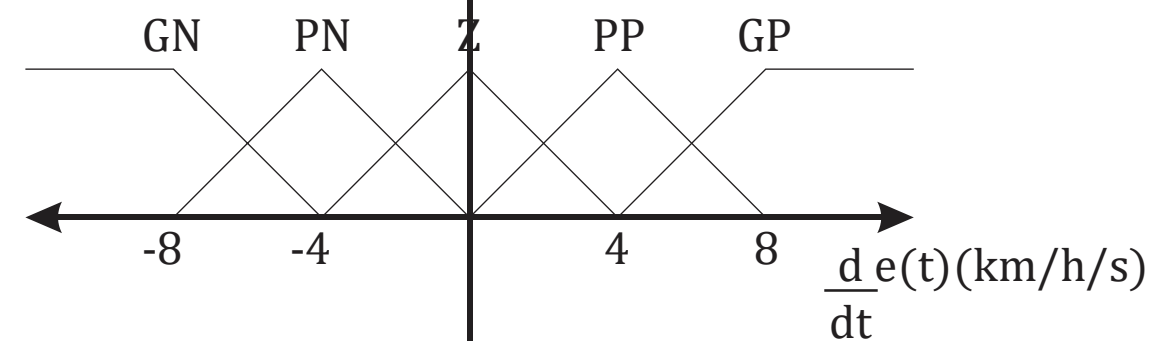
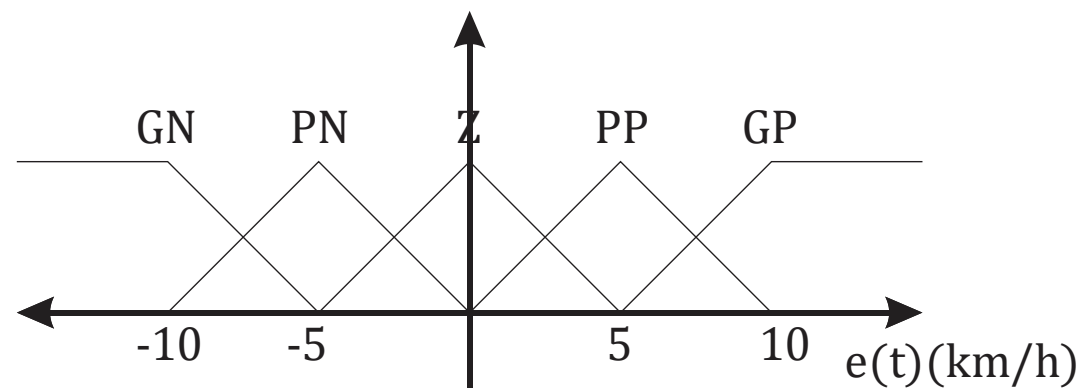
Funciones miembro

Las funciones miembro indican la certeza de que un valor de una entrada pertenece a una regla. Existen funciones miembro de diferentes formas



- Si el error es 5, estoy completamente seguro que el error es positivo pequeño.
- ¿Si el error es 8?
- A esta función miembro se le denomina μ_{PP}

Combinación de funciones miembro



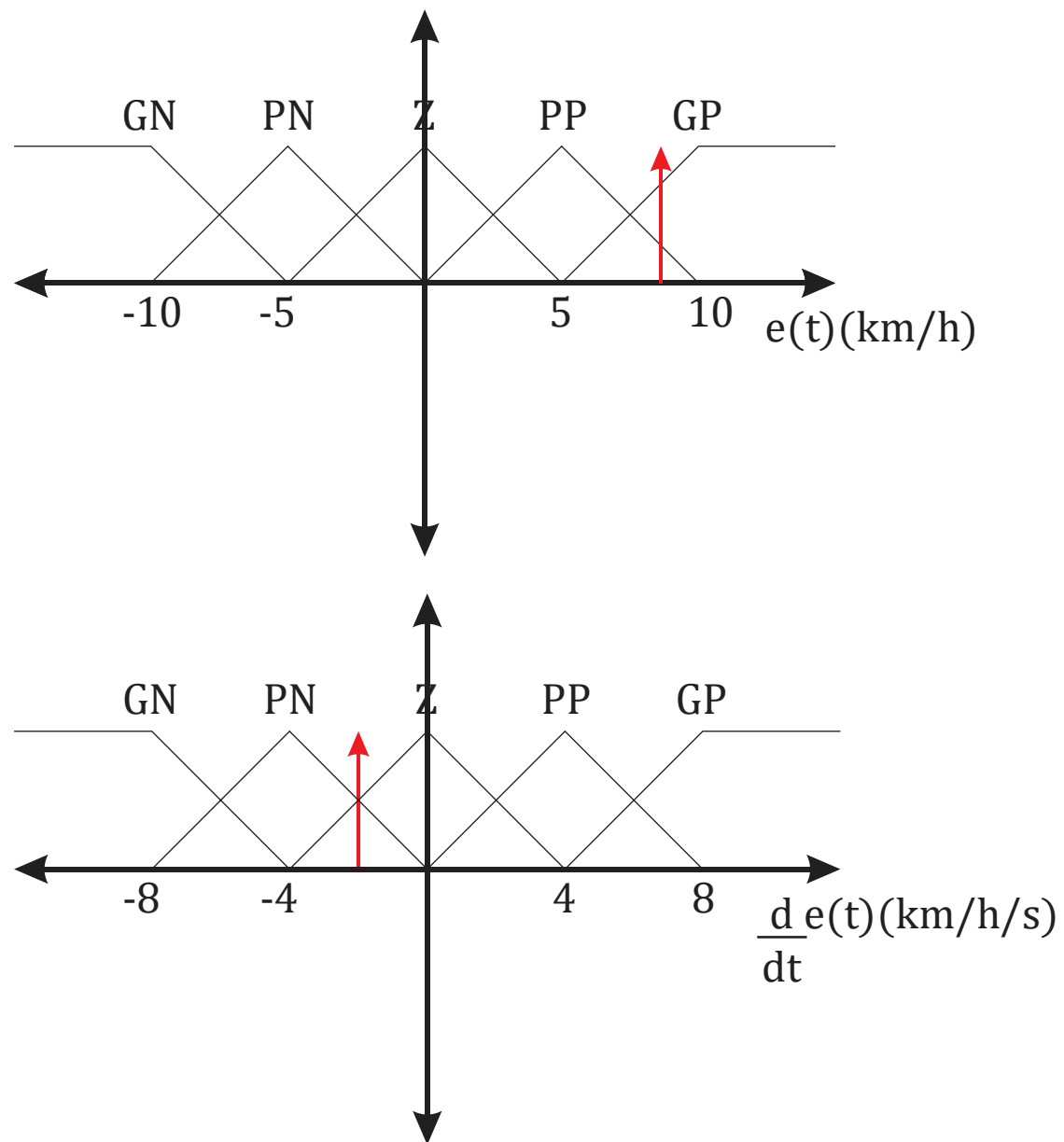
En este momento se evalúan las entradas en las diferentes funciones miembro, y se almacenan las funciones que se activaron y con cuánta certeza se activaron, teniendo en cuenta que se pueden activar un máximo de 4 funciones miembro (dos por cada variable).

Ejemplo: Evaluar las funciones miembro si:

$$e(t) = 8 \text{ km/h}$$

$$\frac{d}{dt} e(t) = -2 \frac{\text{km}}{\text{h}} / \text{s}$$

Fuzzyficación



En el ejemplo tenemos que se activaron cuatro funciones miembro (dos por cada variable).

- $\mu_{pp}(e(t)) = 0.4$

$$\mu_{gp}(e(t)) = 0.6$$

- $\mu_{pn}\left(\frac{d}{dt}e(t)\right) = 0.5$

$$\mu_z\left(\frac{d}{dt}e(t)\right) = 0.5$$

Inferencia: Determinar cuáles reglas están encendidas

Como ya tenemos las funciones miembro que fueron mayor que cero, entonces solo se activan las reglas que contengan estas premisas:

- El error es positivo pequeño
- El error es positivo grande
- El cambio del error es negativo pequeño
- El cambio del error es zero

Inferencia: Determinar cuáles reglas están encendidas

Una forma fácil de analizar cuáles reglas están activas es utilizar la representación tabular.

Gasolina $U(t)$		$d e(t)/dt$				
		-2	-1	0	1	2
$e(t)$	-2	-2	-2	-2	-1	0
	-1	-2	-2	-1	0	1
	0	-2	-1	0	1	2
	1	-1	0	1	2	2
	2	0	1	2	2	2

Certeza de activación de las reglas

Se dice que una regla está encendida en un tiempo t , cuando

$$\mu_{premise} \left(e(t), \frac{d}{dt} e(t) \right) > 0$$

La certeza de una regla en específico se calcula combinando las dos funciones miembro con la función “mínimo”.

Si el error es positivo_pequeño **Y** el cambio en el error es cero

$$\mu_{premise} = \min\{0.4 \ 0.5\} = 0.4$$

Determinar las conclusiones

Resulta que cada regla me dice que haga una cosa diferente, entonces, ¿que valor toma la salida del controlador?

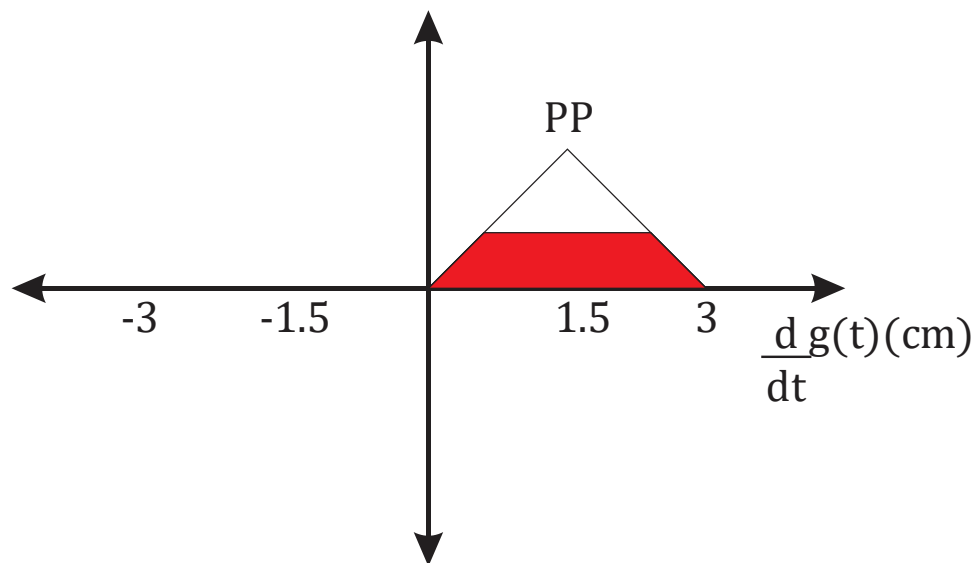


Recomendaciones de las reglas

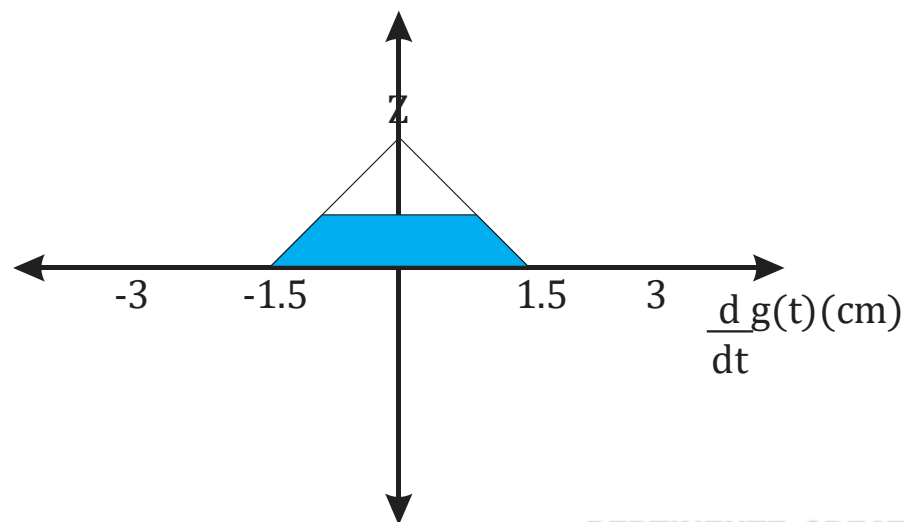
Primero tomo la recomendación de cada regla de manera individual.

- Analizo la salida de esa regla, y evalúo su pertenencia a la función miembro de salida, para las reglas anteriores tenemos:

Regla : PP && Z => 1

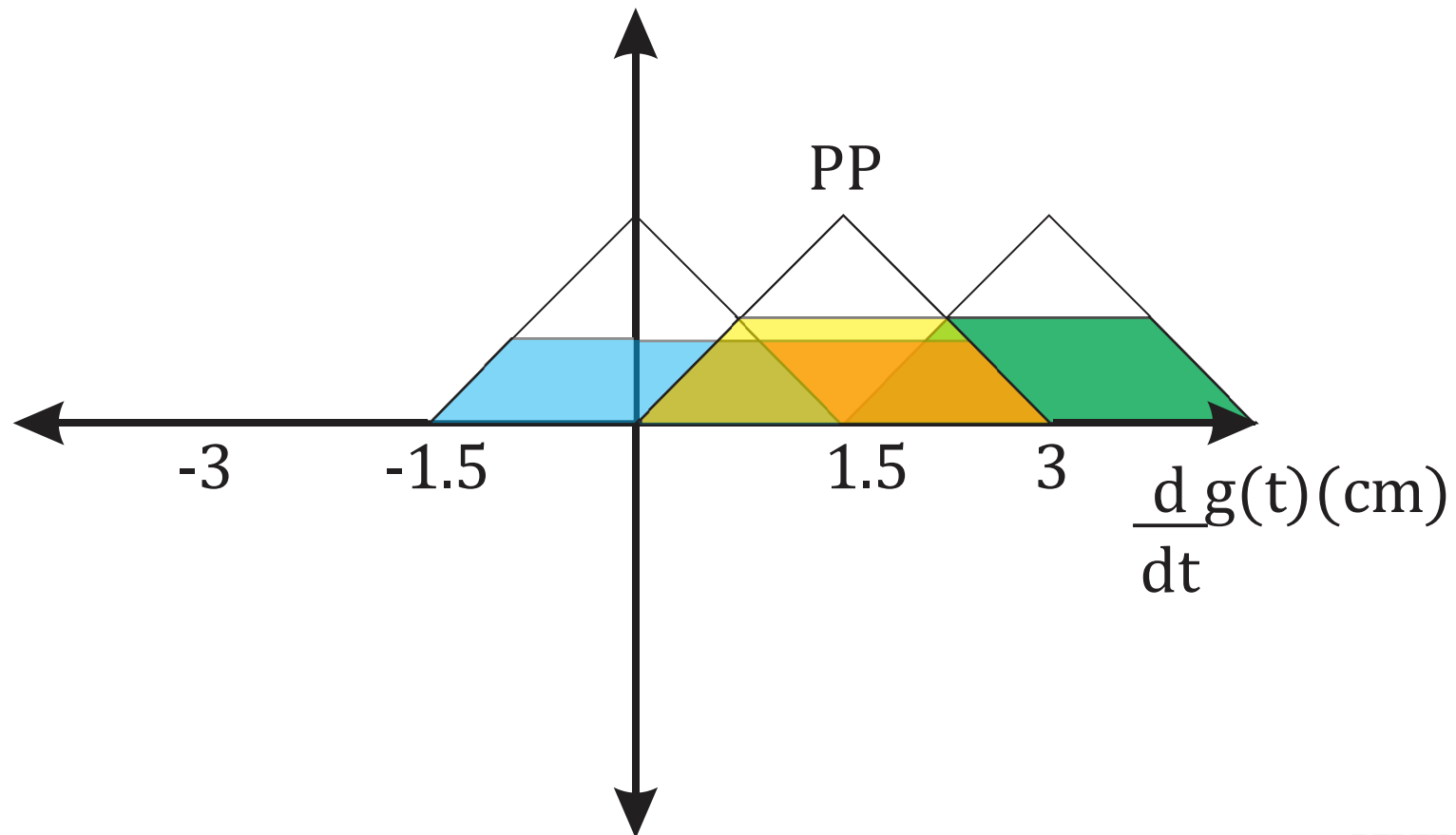


Regla : PP && PN => 0

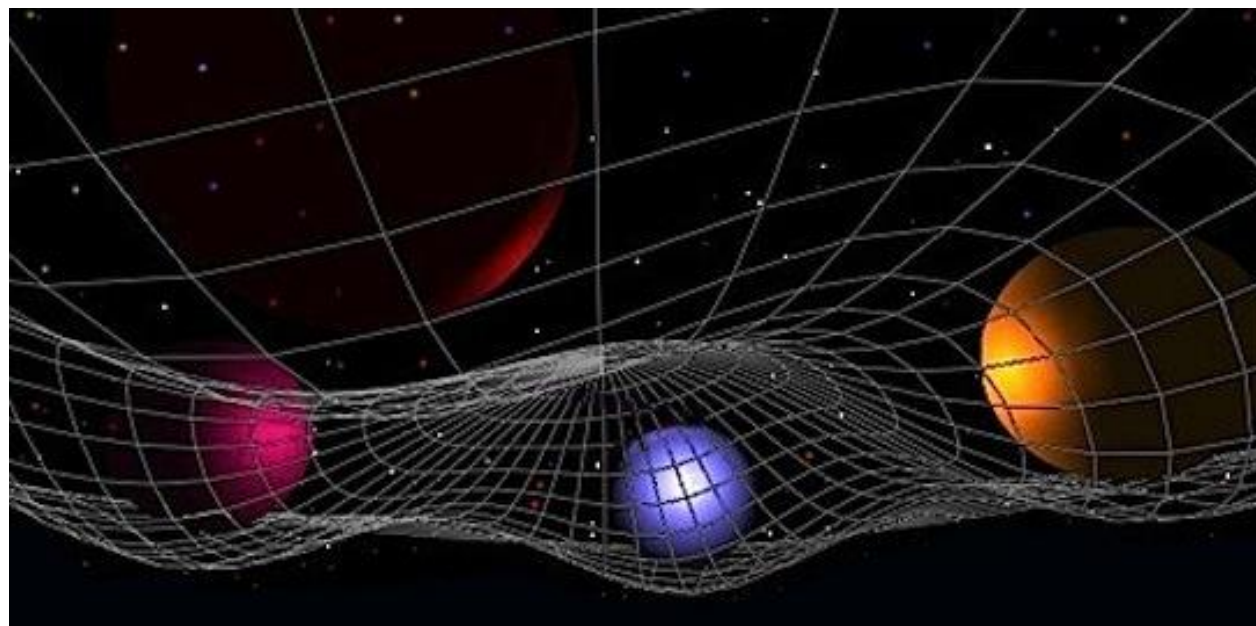
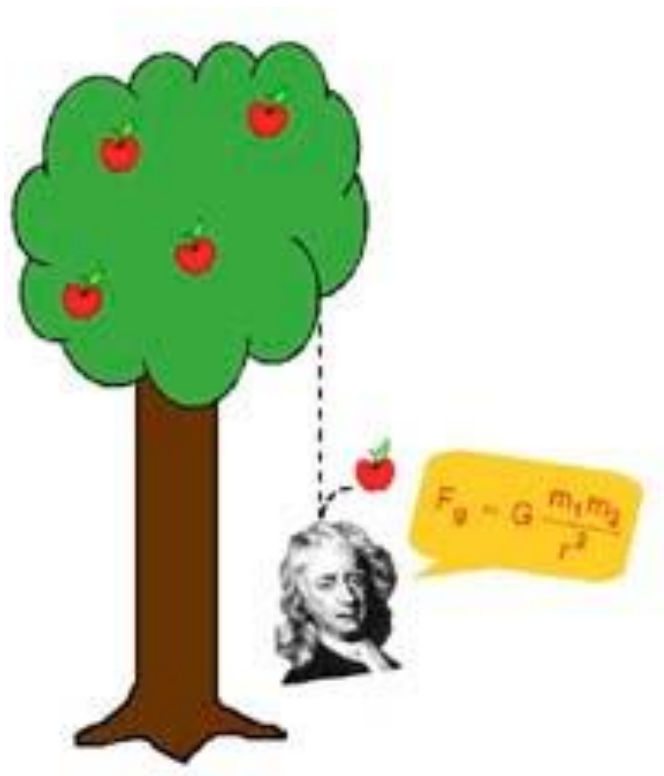


Recomendaciones de las reglas

Si tenemos todas las reglas juntas, se tiene:



Teoría de la masa de los cuerpos



Combinación de las reglas

- Cada regla “atrae” el valor final de la salida hacia ella, dependiendo del área de la regla, atrae mas o menos la decisión final.

$$salida_{final} = \frac{\sum_i b_i \int \mu(i)}{\sum_i \int \mu(i)}$$

- Donde b_i es el centro de cada regla y $\int \mu(i)$ es el área de esa regla.

$$area = ancho * \left(h - \frac{h^2}{2} \right)$$

Ejercicio de validación

Si se muestrea la velocidad cada segundo, y la velocidad deseada es 70km/H indique cuánto vale la salida si:

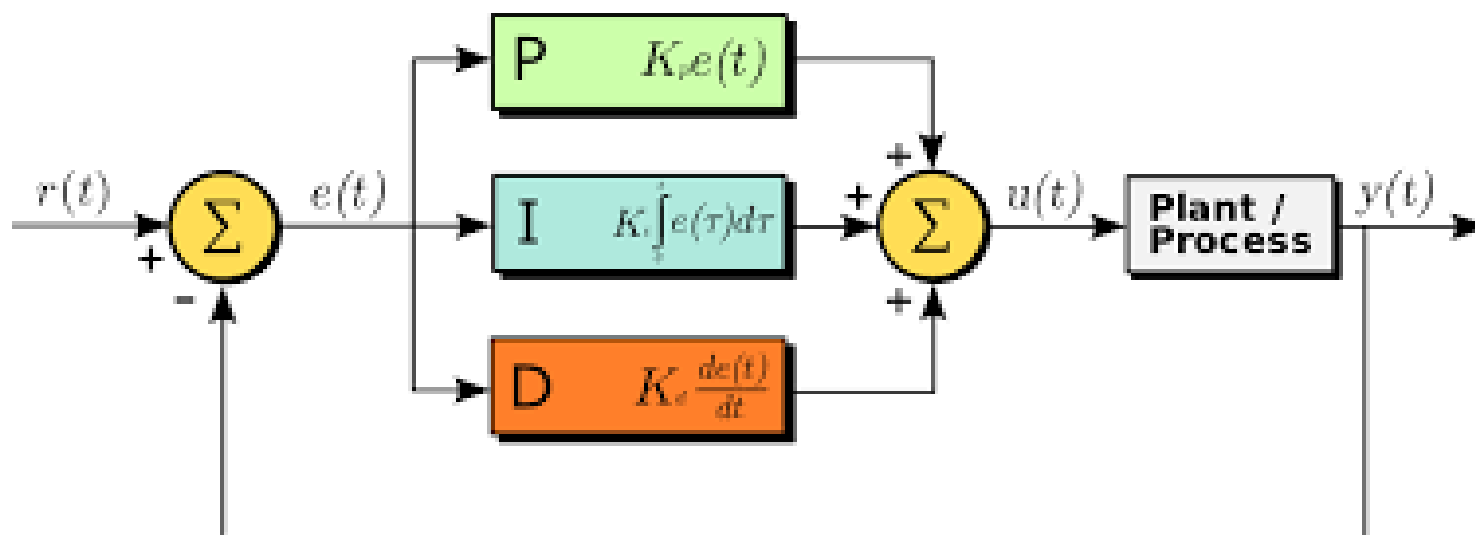
$$t = 1, v_{act} = 30$$

$$t = 2, v_{act} = 60$$

Pasos a seguir

1. Calcular el error y su derivada
2. Evaluar el error y su derivada en las funciones miembro
3. Hacer inferencia (sacar la función *min* en las premisas)
4. Mirar las reglas que se activaron en la tabla
5. Obtener las recomendaciones de las reglas con las funciones miembro de la salida (en la tabla)
6. Obtener el área de las reglas
7. Combinar las recomendaciones

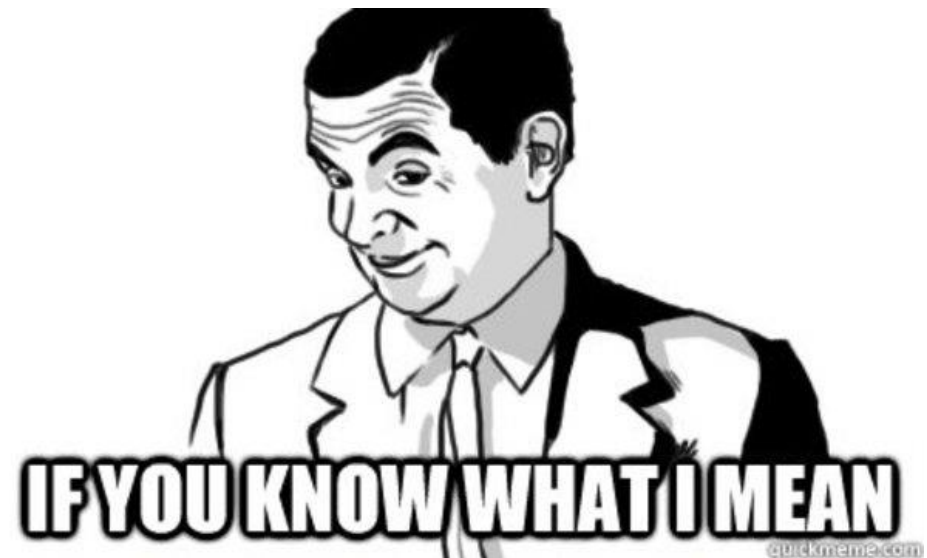
“El viejo y confiable”



Consideraciones de implementación

Se pueden calcular las constantes a partir de la función de transferencia de la planta y los requerimientos del control.

O se pueden calcular Heurísticamente



Algoritmo de calibración de PID

- Establecer primero los valores de I y D a cero.
- Incremente P hasta que la salida del lazo oscile. Luego establezca P a aproximadamente la mitad del valor configurado previamente.
- Después incremente I hasta que el proceso se ajuste en el tiempo requerido (aunque subir mucho I puede causar inestabilidad).
- Finalmente, incremente D, si se necesita, hasta que el lazo sea lo suficientemente rápido para alcanzar su referencia tras una variación brusca de la carga.

Implementar PID en un microcontrolador

- Definir un TIMER para el tiempo de muestreo.
- Dentro del timer calcular el error, su derivada y su integral
 - $error = ref - out_{planta}$
 - $D_{error} = (error - error_{ant})/ts$
 - $I_{error} = I_{error} + error * ts$
 - $Salida = K_p * error + K_i * I_{error} + K_d * D_{error}$



UNIVERSIDAD
DEL QUINDÍO

Por una Universidad
PERTINENTE CREATIVA INTEGRADORA



Facultad de Ingeniería

Tel: (57) 6 7 35 9300 Ext 350
Carrera 15 Calle 12 Norte
Armenia, Quindío - Colombia
ing@uniquindio.edu.co