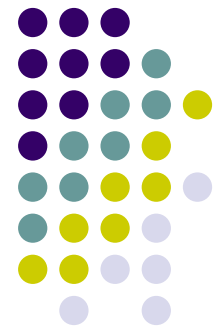


# Sistemas Difusos

Ejemplo:  
Control del Péndulo Invertido

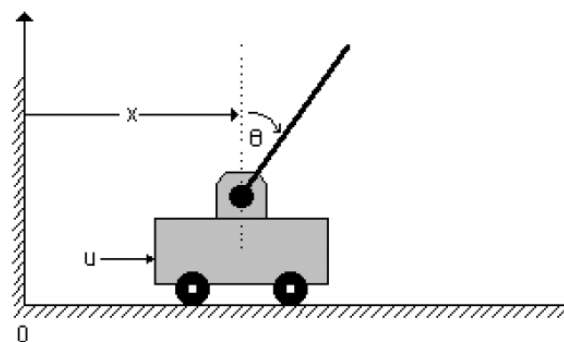


2

## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (I) – Introducción



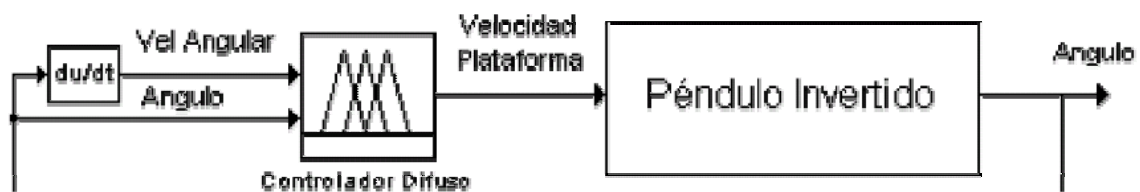
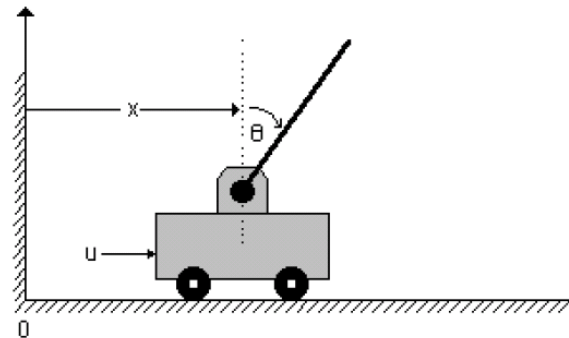
- **Problema:** Mantener equilibrada una barra rígida sobre una plataforma móvil que puede desplazarse en dos direcciones (Izquierda y Derecha).



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (II) – Introducción



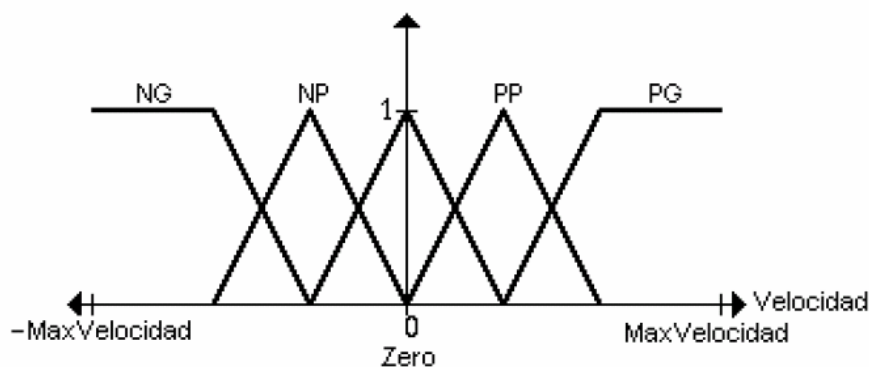
- El controlador difuso tomará como entradas el ángulo y la velocidad angular y como salida entregará la velocidad de la plataforma.



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (III) – Variables



- Primero, se definirán las diferentes etiquetas (*Alta, Baja, etc.*) de la variable lingüística velocidad (la de la plataforma):



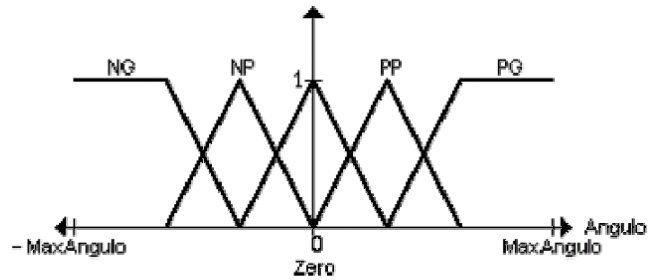
donde NG = Negativo Grande, NP = Negativo Pequeño, Zero = Cero, PP = Positivo Pequeño, PG = Positivo Grande.



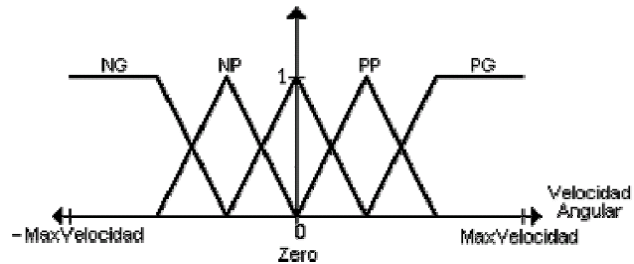
## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (IV) – Variables



- De igual manera se definen las funciones de pertenencia para el **ángulo** y la **velocidad angular**.



- Nota:** Se asumirá que el ángulo inicial del péndulo esta muy cercano a posición de Equilibrio (Cero Grados).



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (V) – Reglas



- La **Base de Reglas** de este controlador será la siguiente:

VelAng \ Ang.	NG	NP	Z	PP	PG
NG			NG		
NP			NP	Z	
Z	NG	NP	Z <sup>(1)</sup>	PP	PG
PP		Z	PP <sup>(2)</sup>		
PG			PG		



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (VI) – Reglas



- La anterior tabla se interpretaría como sigue:
  - (1) **Si** (*Ángulo es Zero*) **y** (*Velocidad Angular es Zero*)  
**Entonces** (*Velocidad de la plataforma es Zero*).
    - Ésta es la situación donde el péndulo está en equilibrio. La plataforma no se debe mover.
  - (2) **Si** (*Ángulo es Zero*) **y** (*Velocidad Angular es PP*)  
**Entonces** (*Velocidad de la plataforma será PP*).
    - En este caso, aunque el péndulo está en la posición correcta, se está moviendo lentamente en sentido positivo, por lo cual se hace necesario compensar este movimiento moviendo lentamente la plataforma en la misma dirección.



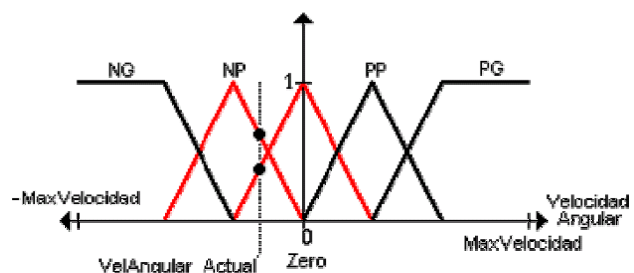
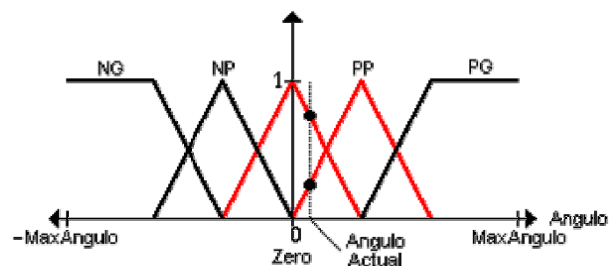
Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (VII) – Proceso de Inferencia Difusa



- ¿Cómo procesa la información de entrada (*ángulo y velocidad angular*) el controlador difuso para determinar la *velocidad de la plataforma*?
- Supongamos que en un momento dado se tienen un *ángulo* y una *velocidad angular* determinados, como se muestra en la siguiente figura:



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (VIII) – Proceso de Inferencia Difusa



- Para estos valores de entrada se disparan 4 reglas. Éstas son:
  1. **Si** (Ángulo es Zero) **y** (Velocidad Angular es Zero) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es Zero).
  2. **Si** (Ángulo es Zero) **y** (Velocidad Angular es NP) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es NP).
  3. **Si** (Ángulo es PP) **y** (Velocidad Angular es Zero) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es PP).
  4. **Si** (Ángulo es PP) **y** (Velocidad Angular es NP) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es Zero).



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido

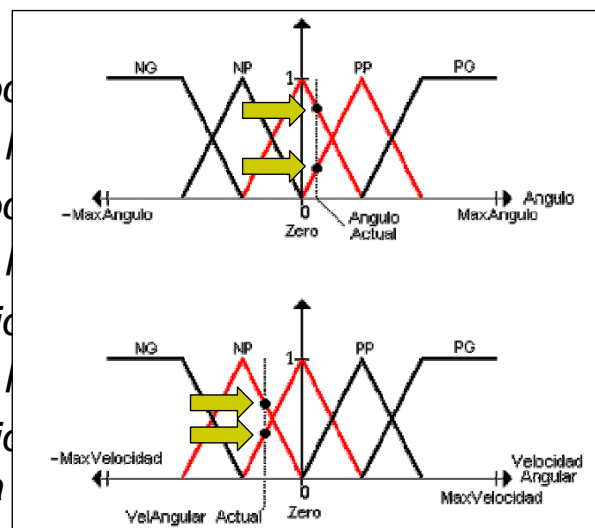


## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (VIII) – Proceso de Inferencia Difusa



- Para estos valores de entrada se disparan 4 reglas. Éstas son:

1. **Si** (Ángulo es Zero) **y** (Velocidad Angular es Zero) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es Zero).
2. **Si** (Ángulo es Zero) **y** (Velocidad Angular es NP) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es NP).
3. **Si** (Ángulo es PP) **y** (Velocidad Angular es Zero) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es PP).
4. **Si** (Ángulo es PP) **y** (Velocidad Angular es NP) **Entonces** (Velocidad de la plataforma es Zero).



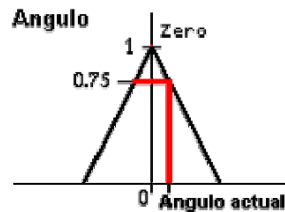
Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



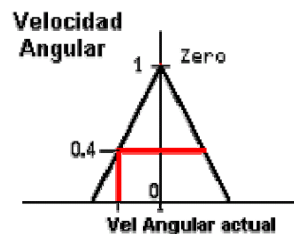
## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (IX) – Proceso de Inferencia Difusa



- Fuzzificación:
  - Evaluemos la primera regla,
    - **Si (Ángulo es Zero) y (Velocidad Angular es Zero) Entonces (Velocidad de la plataforma es Zero).**



El ángulo actual es "Zero" con un grado del 75%



La velocidad angular actual es "Zero" con un grado del 40%



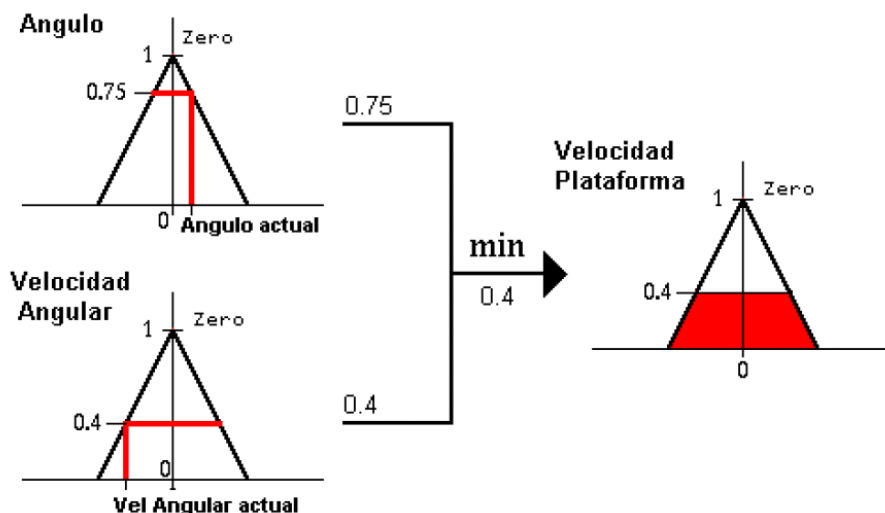
Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (X) – Proceso de Inferencia Difusa



- Aplicación del Operador Difuso e Implicación:



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (XI) – Proceso de Inferencia Difusa



- Aplicación del Operador Difuso e Implicación:
  - Como el operador en este caso es “y”, se toma el **mínimo** de los valores que entrega el proceso de fuzzificación. Con este valor se *corta* a ese nivel (**implicación difusa**) el conjunto difuso “Zero” de la variable de salida.
  - De igual manera se evalúan las otras tres reglas que se han disparado.
  - Posteriormente se superponen los conjuntos difusos resultantes de cada regla para obtener un único conjunto de salida.



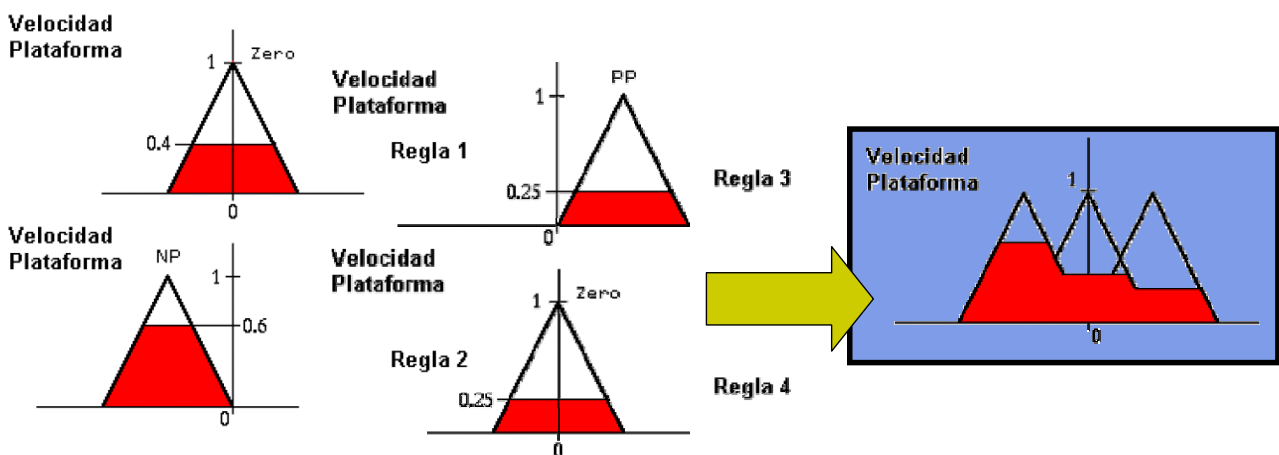
Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (XII) – Proceso de Inferencia Difusa



- Agregación:



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido

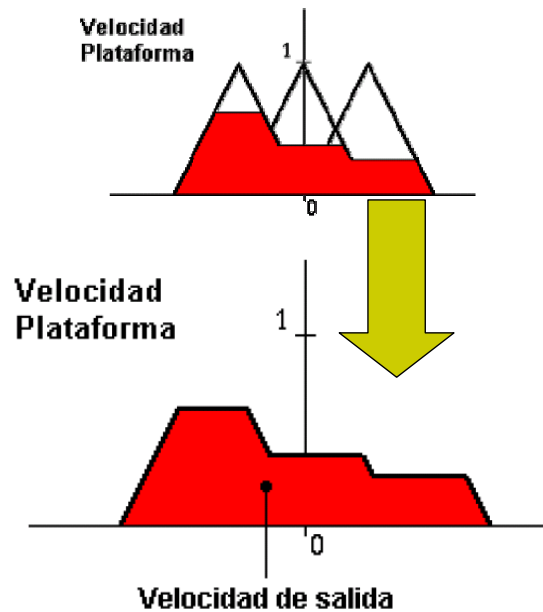


## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (XIII) – Proceso de Inferencia Difusa



- Defuzzificación:

- Hasta el momento el resultado que se tiene es un conjunto difuso de la variable de salida.
- Se debe escoger un **valor representativo** de dicho conjunto para determinar la velocidad de la plataforma.
- Hay varios métodos, entre ellos el de tomar el **centro de masa** (o **centroide**) del conjunto difuso.



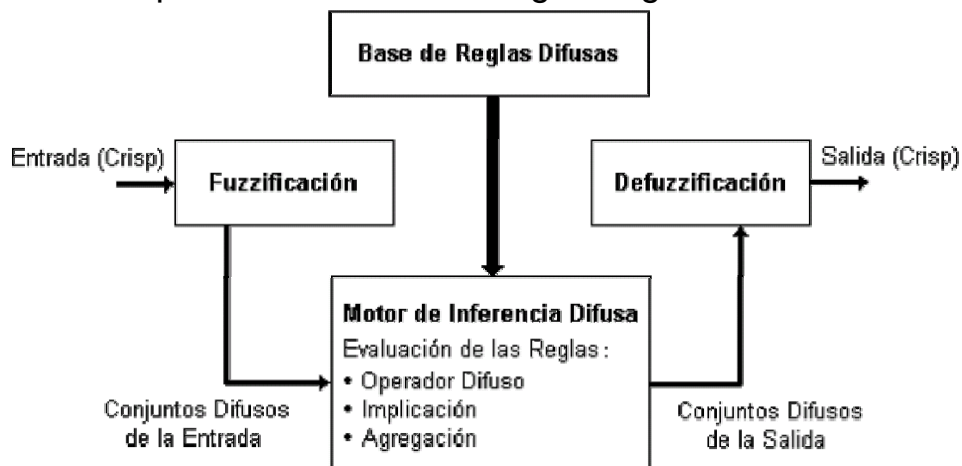
Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (XIV) – Estructura del Sistema



- El sistema difuso presentado en este ejemplo se conoce como un sistema de tipo **MAMDANI**.
- Finalmente, la estructura de un *sistema de inferencia difusa de tipo Mamdani* se puede observar en la figura siguiente:



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



# Ejemplo: Control del Péndulo Invertido (XV) – Conclusiones



- ¿En qué situaciones resulta beneficioso emplear un controlador difuso?
  - Sistemas complejos que son difíciles o imposibles de modelar por métodos convencionales.
  - Sistemas previamente controlados por expertos humanos.
  - Sistemas que utilizan la observación humana como entrada o como base de las reglas.
  - Sistemas que son confusos por naturaleza, como los encontrados en las ciencias sociales y del comportamiento.



Sistemas Difusos – Ejemplo: Control del Péndulo Invertido



## Sistemas Difusos

Ejemplo:  
Control del Péndulo Invertido

