

Control de bajo nivel: Lógica borrosa

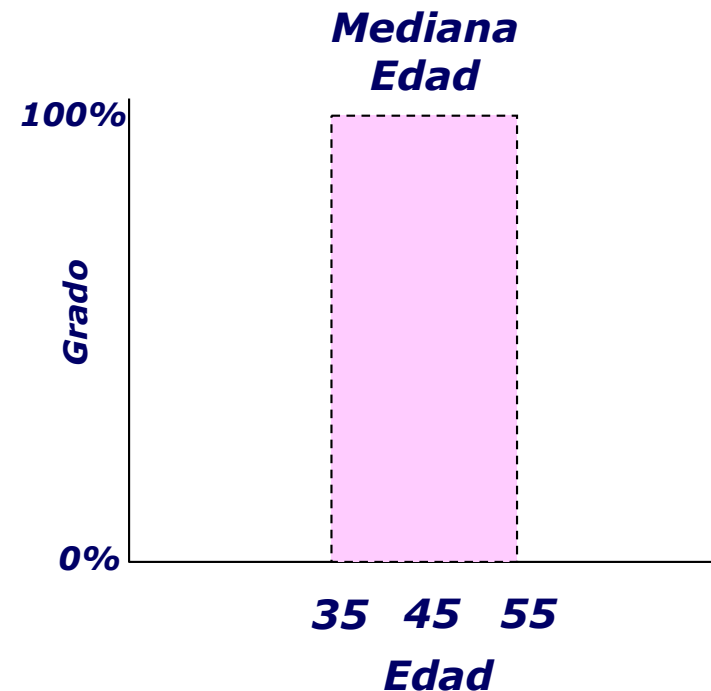
- ❖ Hay una gran cantidad de incertidumbres en el mundo real y la lógica borrosa es un método eficiente de manejar esa incertidumbre.
- ❖ La lógica borrosa relaciona la manera en que las personas pensamos y hablamos con las operaciones que se desean realizar, de una manera muy cercana al lenguaje natural.



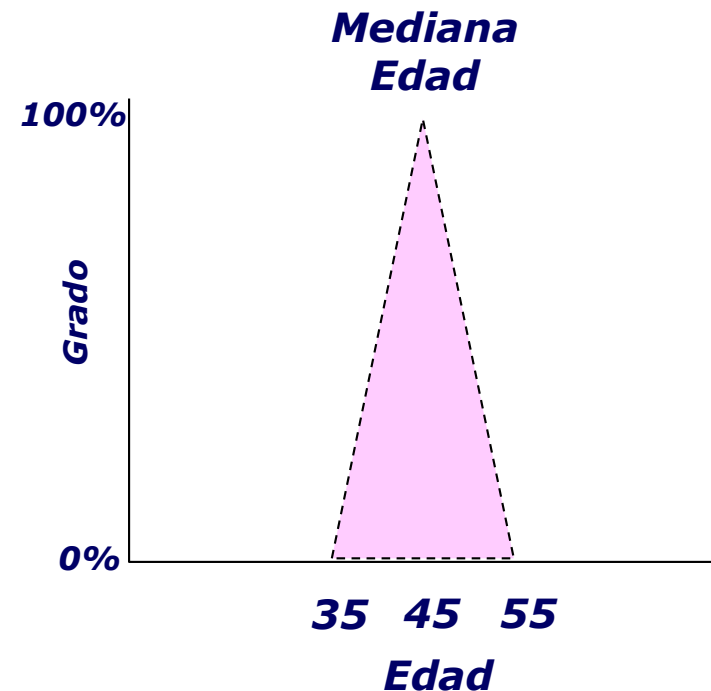
Control de bajo nivel: Lógica borrosa

❖ Conjuntos Borrosos (fuzzy sets)

- Lógica Convencional. Conjuntos discretos.



❖ Conjuntos Borrosos (fuzzy sets)

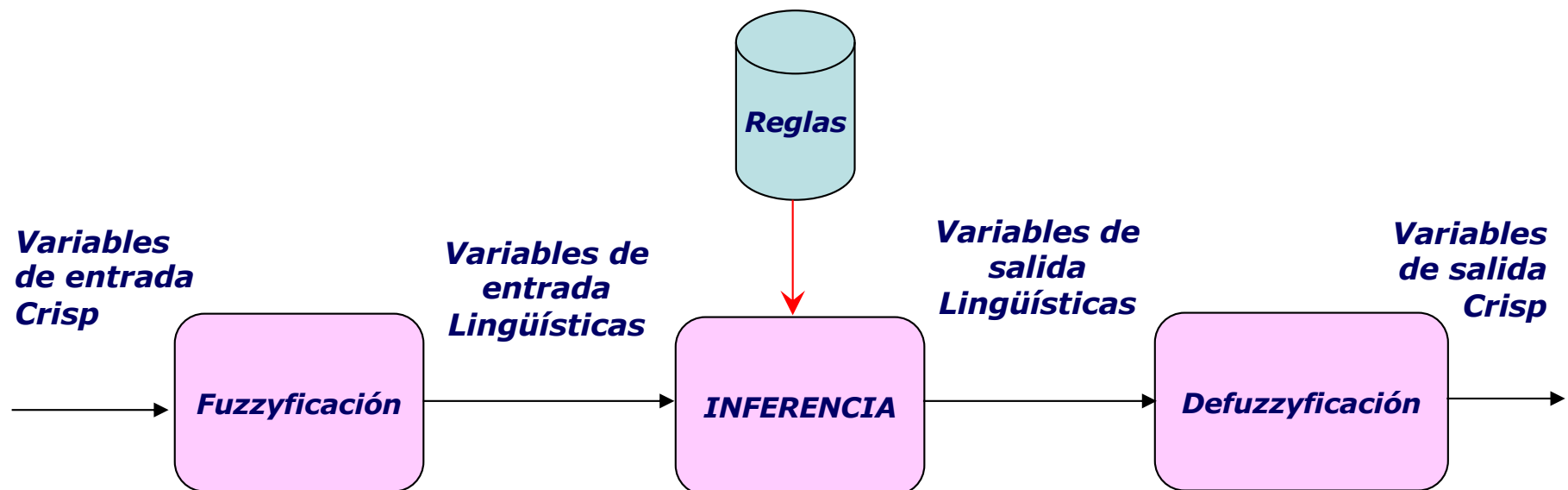


- ❖ Principios básicos de razonamiento en lógica difusa.
- ❖ **Razonamiento aproximado:** Obtención de conclusiones borrosas a partir de proposiciones borrosas utilizando la teoría de conjuntos borrosos como principal herramienta
- ❖ **Modus ponens generalizado:**
 - SI x es A ENTONCES y es B
 - x es A'
 - y es B'

Control de bajo nivel: Lógica borrosa

❖ Estructura de un sistema borroso

- Conjuntos borrosos
- Variables lingüísticas
- Reglas
- Inferencia
- Fuzzyficación y Defuzzyficación



Control de bajo nivel: Lógica borrosa.

Conjuntos borrosos

- ❖ Un conjunto borroso A en un dominio D , viene caracterizado por una función de pertenencia que asocia a cada elemento del dominio, un valor en el intervalo $[0; 1]$ que determina su grado de pertenencia a ese conjunto.

- Se define la función de pertenencia $\mu_A(x) \in [0,1] \forall x \in D$

- Valores extremos:
$$\begin{cases} 0(\text{no pertenencia a } A) \\ 1(\text{pertenencia total a } A) \end{cases}$$

- Cada función de pertenencia tiene asociadas una serie de etiquetas lingüísticas, que diferencian los diferentes intervalos dentro del dominio.

- ❖ Conjuntos Clásicos: Caso particular de los conjuntos borrosos

- ❖ Función de pertenencia discreta:
$$\mu_A(x) \begin{cases} 1 \text{ si } x \in A \\ 0 \text{ si } x \notin A \end{cases}$$

Control de bajo nivel: Lógica borrosa .

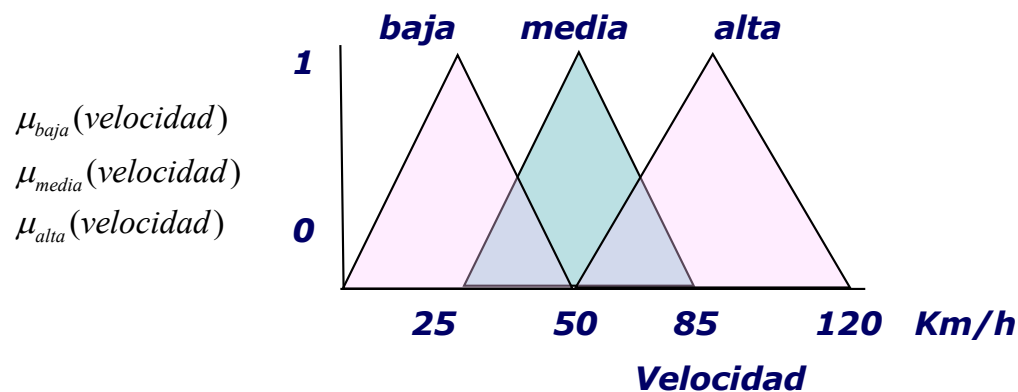
Conjuntos borrosos

❖ Representación de conjuntos borrosos mediante función de pertenencia $\mu_A(x)$

- Dependen del concepto a definir, del contexto, de la aplicación...
- Preferible funciones simples \rightarrow (simplifican cálculos, no pierden exactitud)
- Se suelen definir gráficamente para facilitar la representación de los conceptos

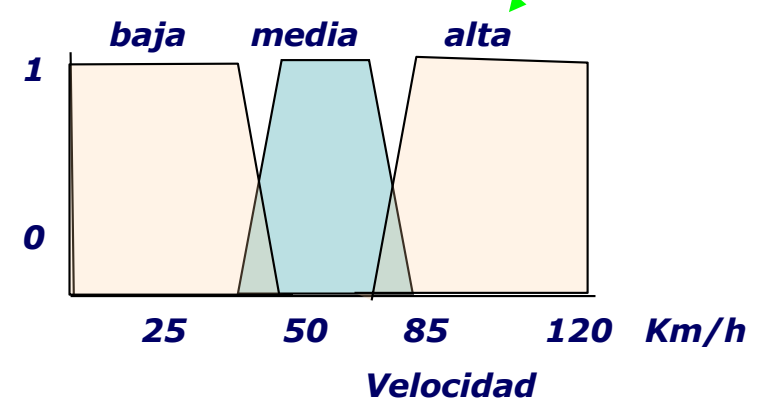
❖ Funciones de Pertenencia Típicas:

❖ TRIANGULAR



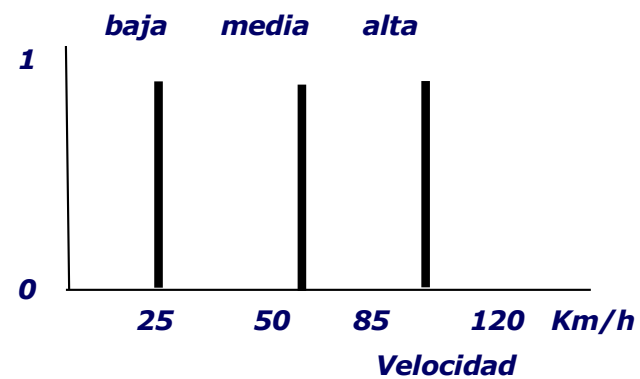
Etiquetas lingüísticas

TRAPEZOIDAL



Control de bajo nivel: Lógica borrosa . Conjuntos borrosos

❖ SINGLETON (Takagi-Sugeno).



*Fundamentalmente
para variables de
salida*

Control de bajo nivel: Lógica borrosa .

Conjuntos borrosos

❖ Operaciones sobre conjuntos borrosos

▪ Operaciones binarias

▪ Unión (OR) - TConorma

$$A \cup B : \mu_{A \cup B}(x) = \max \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

▪ Intersección (AND) - TNorma

$$A \cap B : \mu_{A \cap B}(x) = \min \{ \mu_A(x), \mu_B(x) \}$$

▪ Complemento (NOT)

$$\neg A : \mu_{\neg A}(x) = \max \{ 1 - \mu_A(x) \}$$

▪ Otras funciones de combinación posible:

- Unión (OR) – TConorma → Suma ponderada
- Intersección (AND) – TNorma → Producto

Control de bajo nivel: Lógica borrosa. Reglas

- ❖ La base de reglas borrosas es la parte de la arquitectura donde se almacena el conocimiento en forma de reglas **SI-ENTONCES**, donde los antecedentes y consecuentes son conjuntos borrosos previamente definidos.
- ❖ Representa de forma estructurada el conocimiento procedimental del experto
- ❖ Se deben considerar los siguientes aspectos:
 - Qué variables de estado y de control se consideran
 - Qué estructura tendrá la regla borrosa
 - Qué conjunto de reglas se utilizará
- ❖ Posibilidades de elección de las variables:
 - Imitar los controladores PD, PI, PID.
 - Usar variables propias del proceso de las que se puede conseguir su valor a través de una medición.

Control de bajo nivel: Lógica borrosa. Reglas

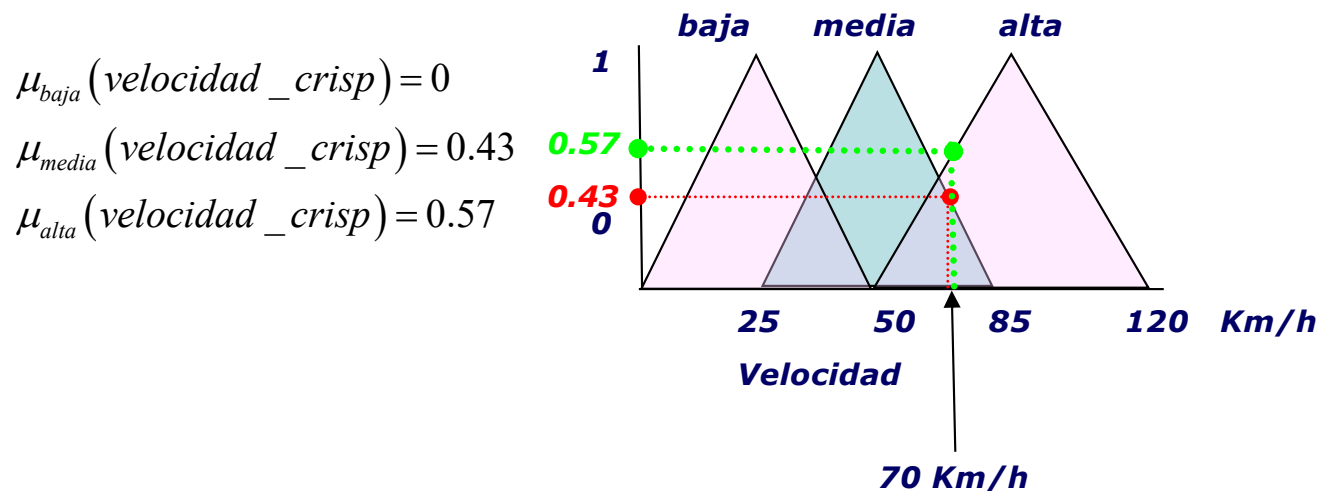
- ❖ SI temperatura fría ENTONCES motor parar
- ❖ Si humedad alta ENTONCES motor parar
- ❖ SI temperatura fría O humedad alta ENTONCES motor parar

- ❖ SI velocidad alta Y tráfico denso ENTONCES distancia_seguridad amplia

Control de bajo nivel: Lógica borrosa.

Fuzzificación

- ❖ Consiste en transformar la señal discreta de entrada x en su valor lingüístico correspondiente, que pueda ser utilizado en el proceso de inferencia borrosa.
- ❖ Valor de entrada crisp: $velocidad_crisp = 70$ Km/h



Control de bajo nivel: Lógica borrosa.

Inferencia

- Lógica Borrosa pretende formular reglas de razonamiento aproximado
 - En Lógica Clásica la inferencia sólo es posible si los datos coinciden exactamente con las premisas.
- Inferencia borrosa: Proceso mediante el cual se obtiene como conclusión un conjunto borroso a partir de unas premisas también borrosas
- Principal regla de inferencia: Modus Ponens Borroso
 - Generalización Modus Ponens de lógica clásica

Control de bajo nivel: Lógica borrosa. Inferencia

- Se pretende soportar inferencias del tipo:
 - Si la curva es cerrada, reducir la velocidad.
 - La curva es ligeramente cerrada
 - -----
 - Reducir un poco la velocidad

Control de bajo nivel: Lógica borrosa.

Inferencia

- ❖ Proceso de inferencia borrosa:
 1. Establecer el grado de pertenencia de los valores de entrada en función de los conjuntos borrosos situados en los antecedentes de las reglas.
 2. Se ejecutan las reglas cuyos antecedentes tengan un grado de pertenencia > 0 para los valores de entrada.
 3. Para cada conjuntos borrosos de salida, se aplicará la TConorma (max) entre aquellos cuya etiqueta lingüística coincida.
 4. El resultado de la inferencia es un conjunto borroso que contiene la suma de resultados de las ejecuciones de las reglas. Es un resultado lingüístico.
 5. Una vez calculado el resultado se aplica un método de defuzzyficación para obtener el resultado numérico de este proceso de inferencia.

Control de bajo nivel: Lógica borrosa. inferencia

- Métodos de inferencia:
 - Mamdani → el consecuente de las reglas es un conjunto borroso representado por una función de pertenencia triangular, trapezoidal o gaussiana.
 - Takagi – Sugeno → El consecuente de las reglas es un conjunto borroso cuya función de pertenencia es una función monótona (Singleton).

Control de bajo nivel: Lógica borrosa.

Defuzzyficación

- Método del centroide (centro de áreas)

$$out = \frac{\int x_i \cdot u(x_i) dx}{\int u(x_i) dx}$$

- Método de Centro de sumas
- Método de la Media Ponderada

$$out = \sum_{i=1}^n x_i \cdot u(x_i)$$

Sugeno

$$out = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot u(x_i)}{\sum_{i=1}^n u(x_i)}$$

Mamdani

Control de bajo nivel: Control Borroso

- ❖ El control borroso consiste en llevar la salida del proceso a un valor deseado con las acciones de control calculadas tomando la decisión en base a una descripción borrosa del proceso. El control es el mayor campo de aplicación de la lógica borrosa. Es realmente útil en el caso de problemas de control complejos donde no existe un modelo preciso del proceso y la información disponible es de carácter cualitativo.
- ❖ La idea en la que se basa el control borroso consiste en usar la experiencia de operación de control de un operador humano para el diseño de un sistema de control automatizado.

Control de bajo nivel: Control Borroso

❖ Proceso de diseño de controladores borrosos

- Diseñar equivale a escribir las reglas, determinando antecedentes y consecuentes.
- Para diseñar **antecedentes** debemos:
- Seleccionar la información de entrada que se va a incluir.
- Fijar las particiones borrosas.
- Fijarla forma y parámetros de las funciones de pertenencia.
- Sin embargo, para el diseño de **consecuentes**:
- Fijar los parámetros de las funciones de pertenencia. (Normalmente la salida del controlador borroso es ya el propio actuador).
- El problema en el diseño de controladores borrosos reside en determinar los antecedentes. Para evitar estos problemas hay que recurrir a expertos, intentando que concreten el conocimiento mediante reglas **SI... ENTONCES...** entendibles para el sistema.

❖ Útil para representar:

- Conceptos que tengan imprecisión/incertidumbre y operar con ellos
- Procesos complejos, procesos no lineales.
- Manejar experiencia basada en conceptos imprecisos
- Partes del sistema desconocidas o que no pueden medirse de forma fiable

❖ Principales aplicaciones:

- Sistemas Expertos Borrosos
- Control de sistemas (tráfico, vehículos, electrodomésticos,...)

Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo

- ❖ Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo
- ❖ Desarrollar un controlador que genere la presión que debe ser realizada sobre el pedal del acelerador de un coche para que se mantenga una velocidad prefijada por el usuario.

- ❖ Variables de entrada:

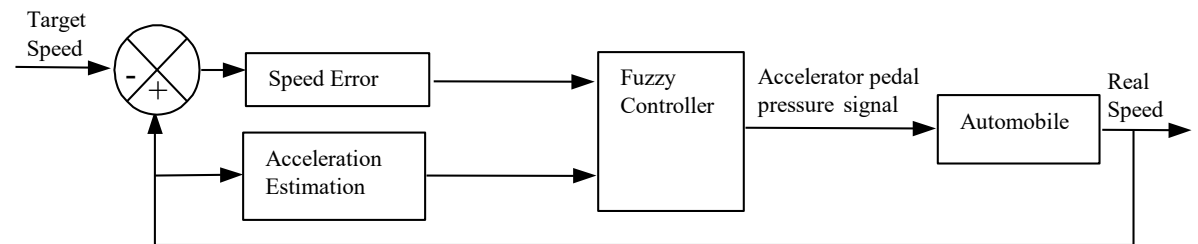
- Error de velocidad
- Aceleración

$$Error_vel = velocidad_real - consigna_vel$$

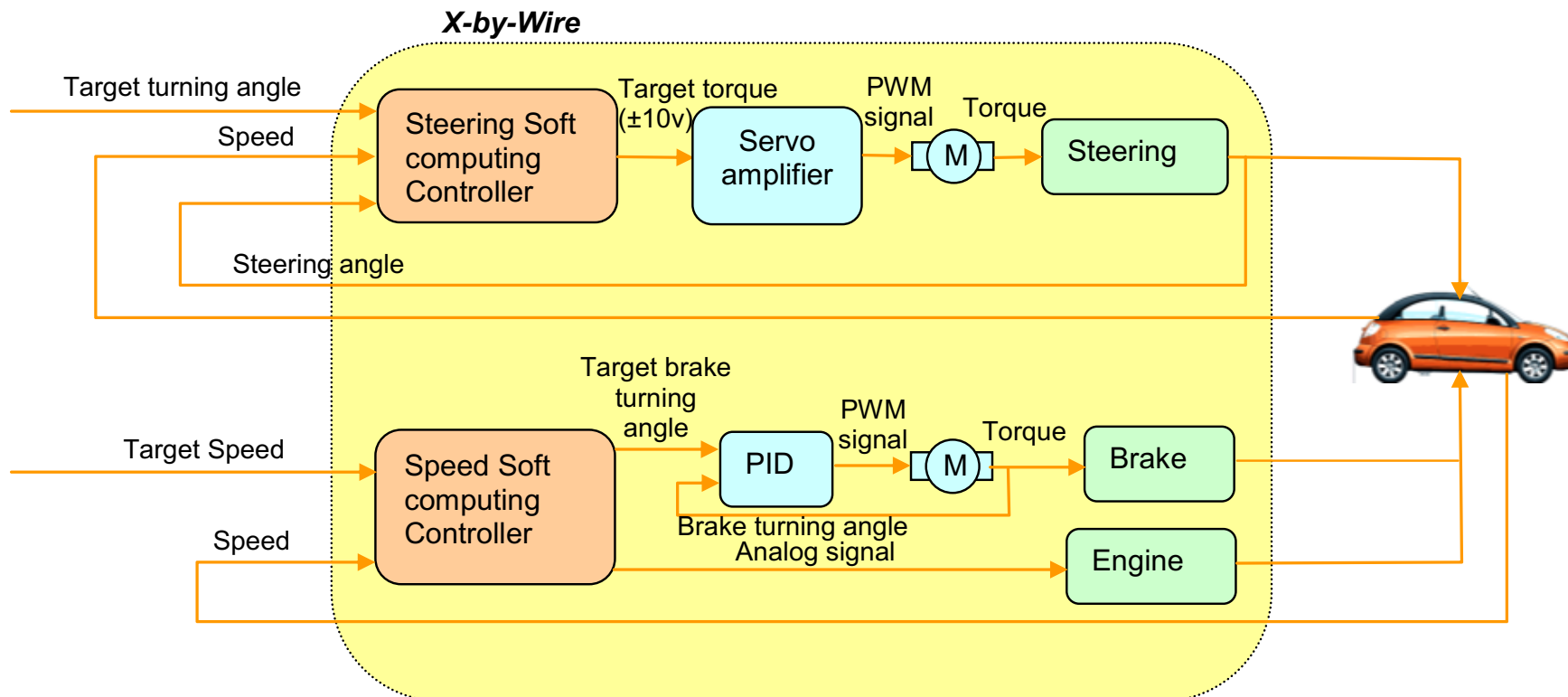
$$Aceleración_t = \frac{\partial velocidad}{\partial t} = \frac{velocidad_t - velocidad_{t-1}}{\Delta t}$$

- ❖ Variables de salida:

- Acelerador



Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo



Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo

❖ Definición de los conjuntos borrosos de entrada:

- Error_vel

❖ `Error_vel { negativo -200 -200 -7 5 positivo -5 7 200 200 }`

- Aceleración

❖ `Aceleracion { negativa -100 -100 -50 50 positiva -50 50 100 100 }`

❖ Definición del conjunto borroso de salida:

- Acelerador

❖ `Acelerador { levanta -1 pisa 1 }`

❖ Reglas:

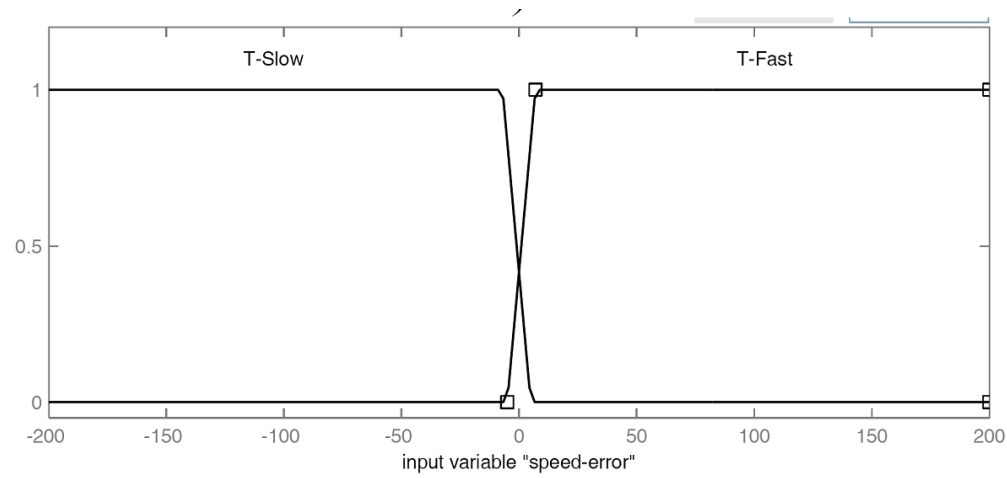
❖ `SI Error_vel positivo ENTONCES Acelerador levanta`

❖ `SI Error_vel negativo ENTONCES Acelerador pisa`

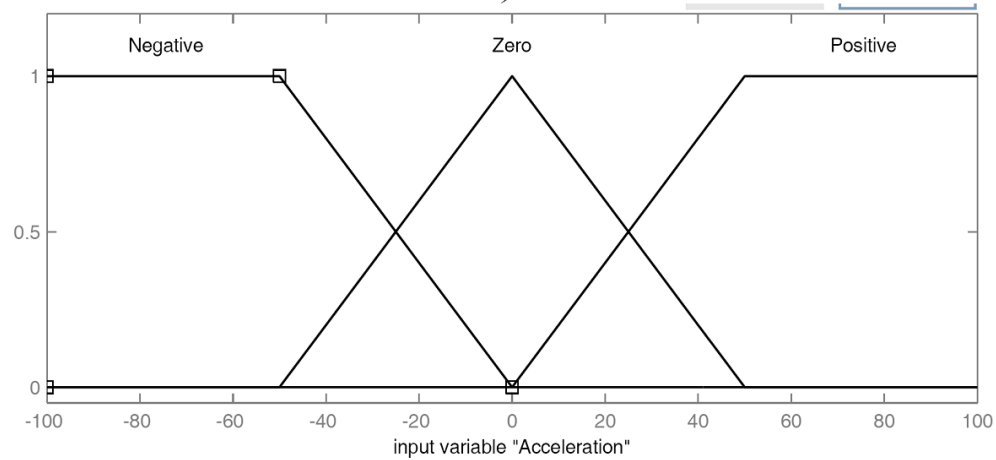
❖ `SI Aceleracion positiva ENTONCES Acelerador levanta`

❖ `SI Aceleracion negativa ENTONCES Acelerador pisa`

Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo

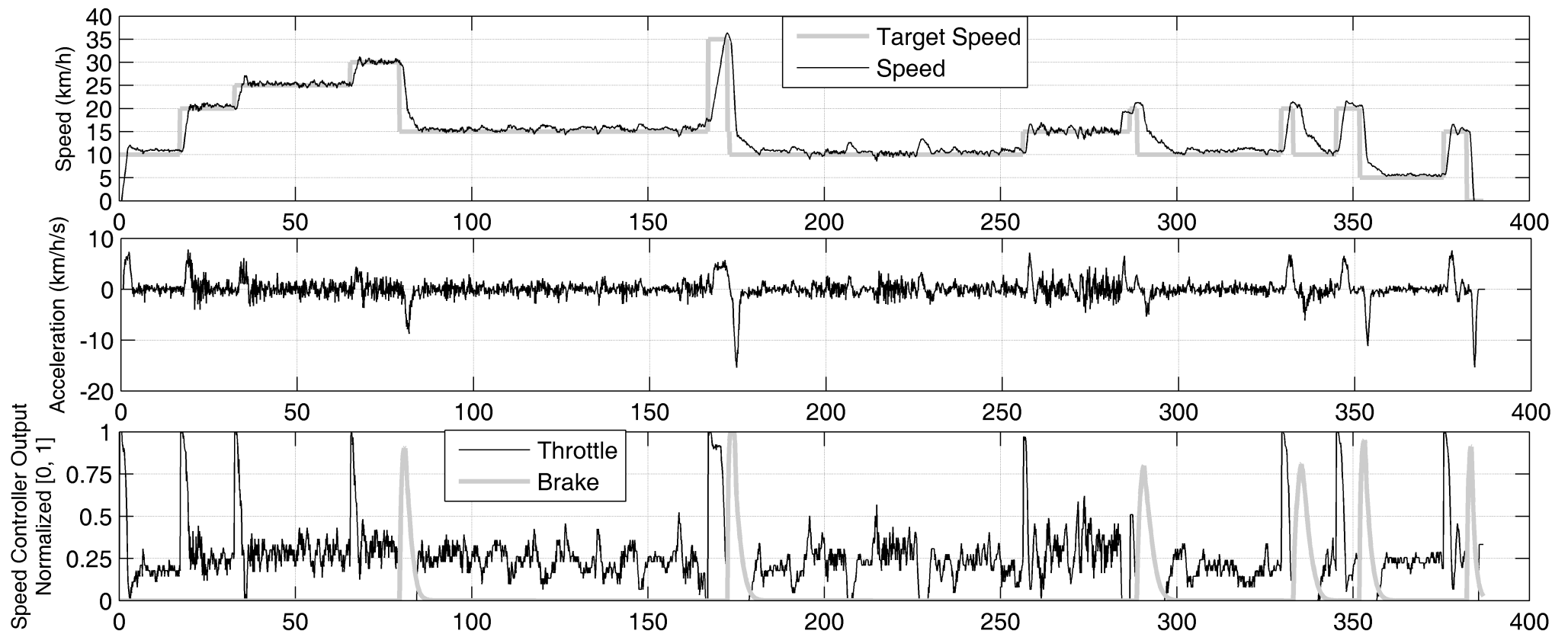


c)

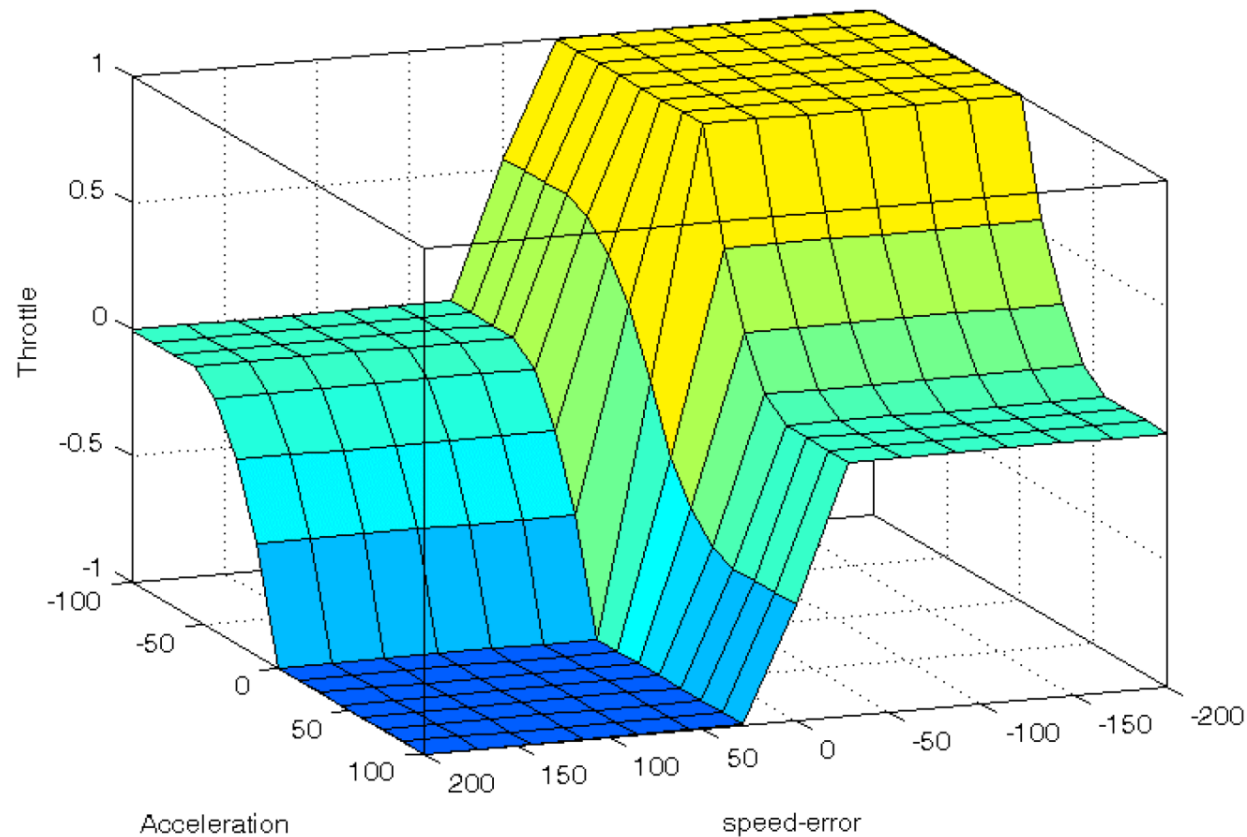


e)

Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo



Ejemplo: Control de crucero de un vehículo autónomo



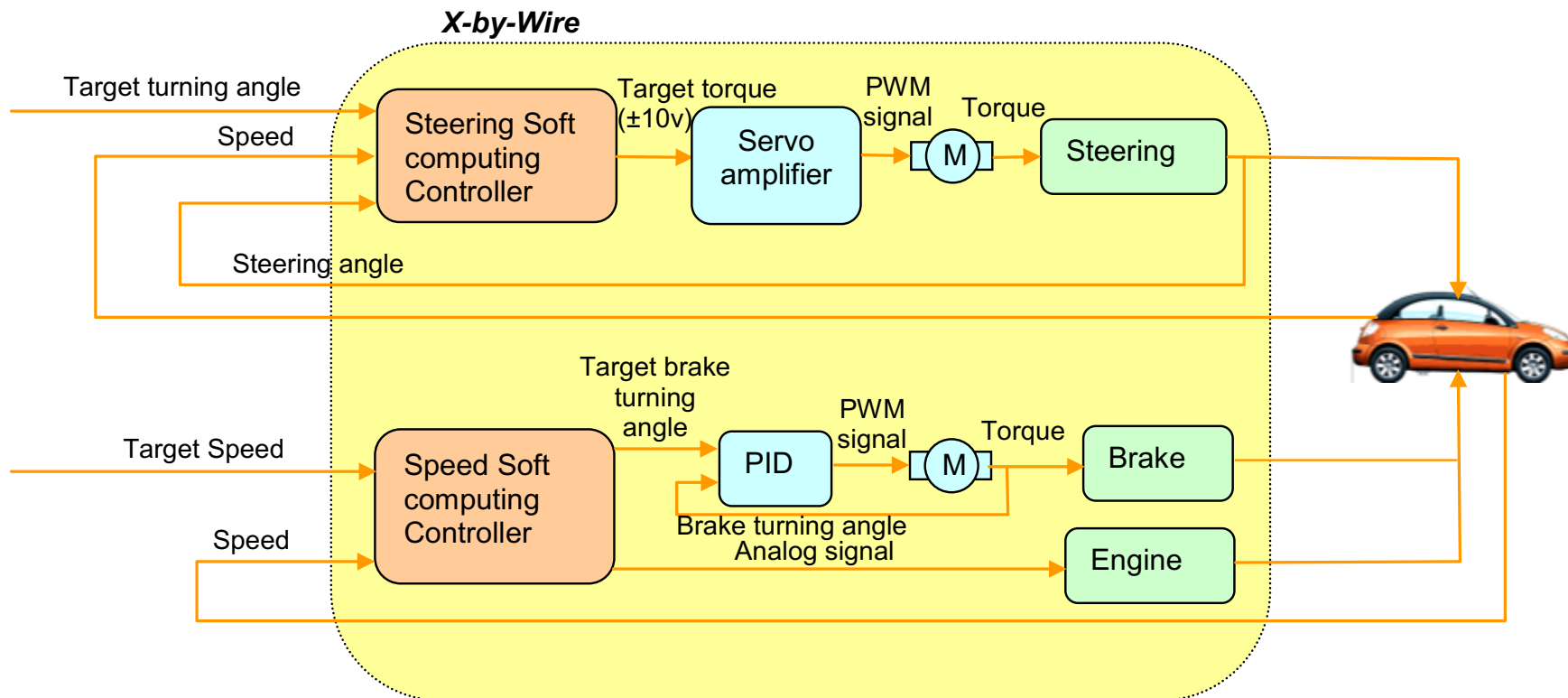
Ejemplo: Control de la dirección de un vehículo autónomo

- ❖ Ejemplo: Control de la dirección
 - ❖ Desarrollar un controlador que decida el par que el motor del EPS debe aplicar sobre la barra de dirección para mover el volante un ángulo determinado.

- ❖ Variables de entrada:
 - Error de posición de volante $Error_vol = posición_real - posición_deseada$
 - Ángulo de volante

- ❖ Variables de salida:
 - Par a ejercer sobre el volante

Ejemplo: Control de la dirección de un vehículo autónomo



Ejemplo: Control de la dirección de un vehículo autónomo

- ❖ Control de la dirección de un vehículo autónomo

- ❖ **Definición de los conjuntos borrosos de entrada:**

- **Entradas:**

```
ErrorAngulo { izquierda -1080 -1080 -40 40 derecha -40 40 1080 1080 }  
AnguloVolante { MN -540 -540 -330 -100 PN -330 -100 -100 100 PP -100 100 100  
330 MP 100 330 540 540 }
```

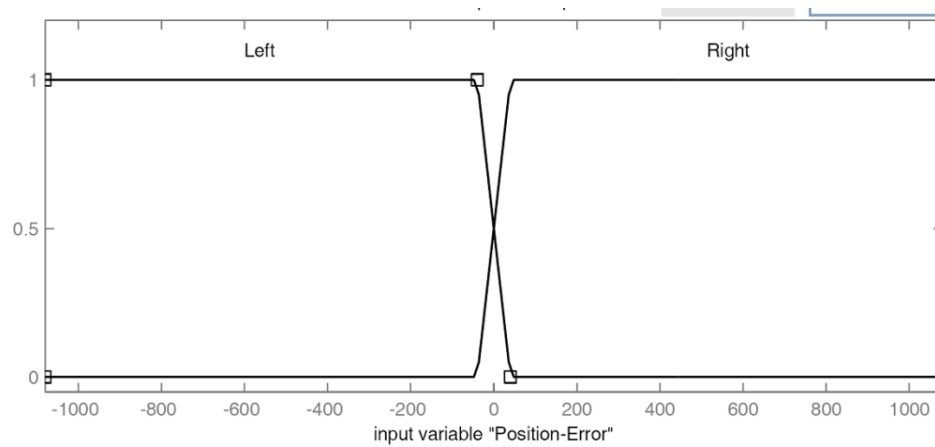
- **Salidas:**

```
Volante { MMN -1 MN -0.5 MP 0.5 MMP 1 }
```

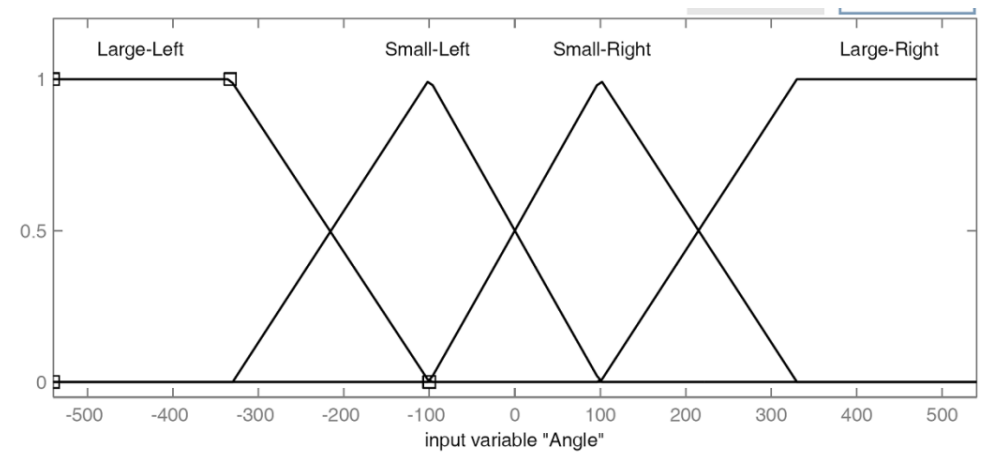
- **Reglas Direccion**

```
SI AnguloVolante PN ENTONCES Volante MP  
SI AnguloVolante PP ENTONCES Volante MN  
SI AnguloVolante MN ENTONCES Volante MMP  
SI AnguloVolante MP ENTONCES Volante MMN  
SI ErrorAngulo derecha ENTONCES Volante MMN  
SI ErrorAngulo izquierda ENTONCES Volante MMP
```

Ejemplo: Control de la dirección de un vehículo autónomo

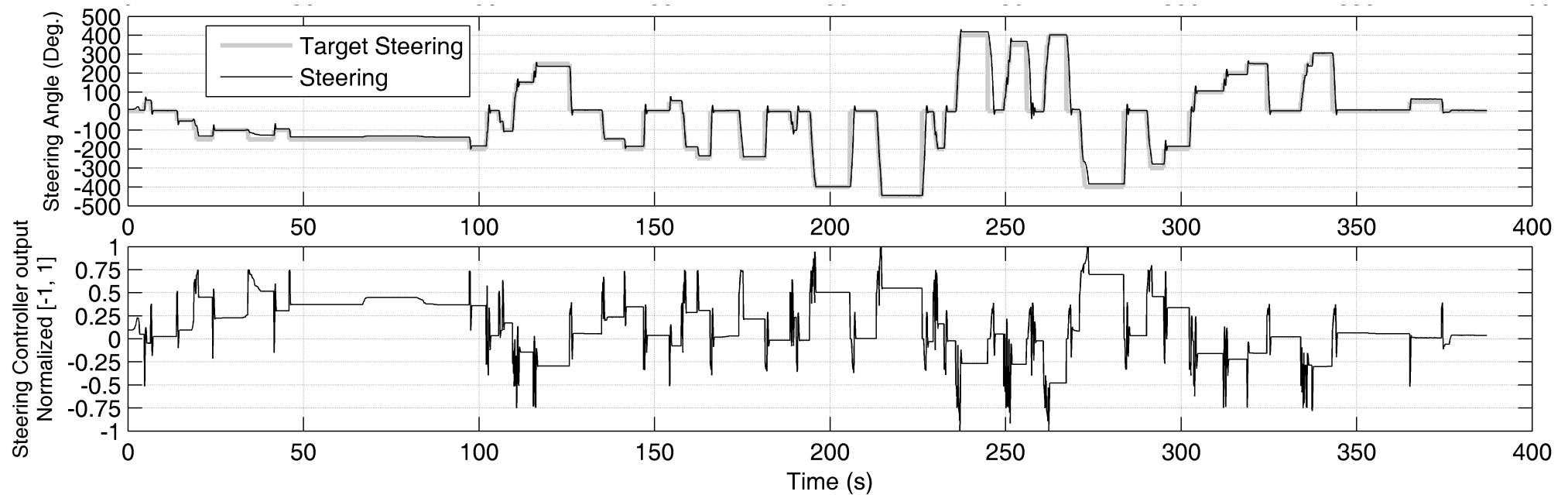


a)

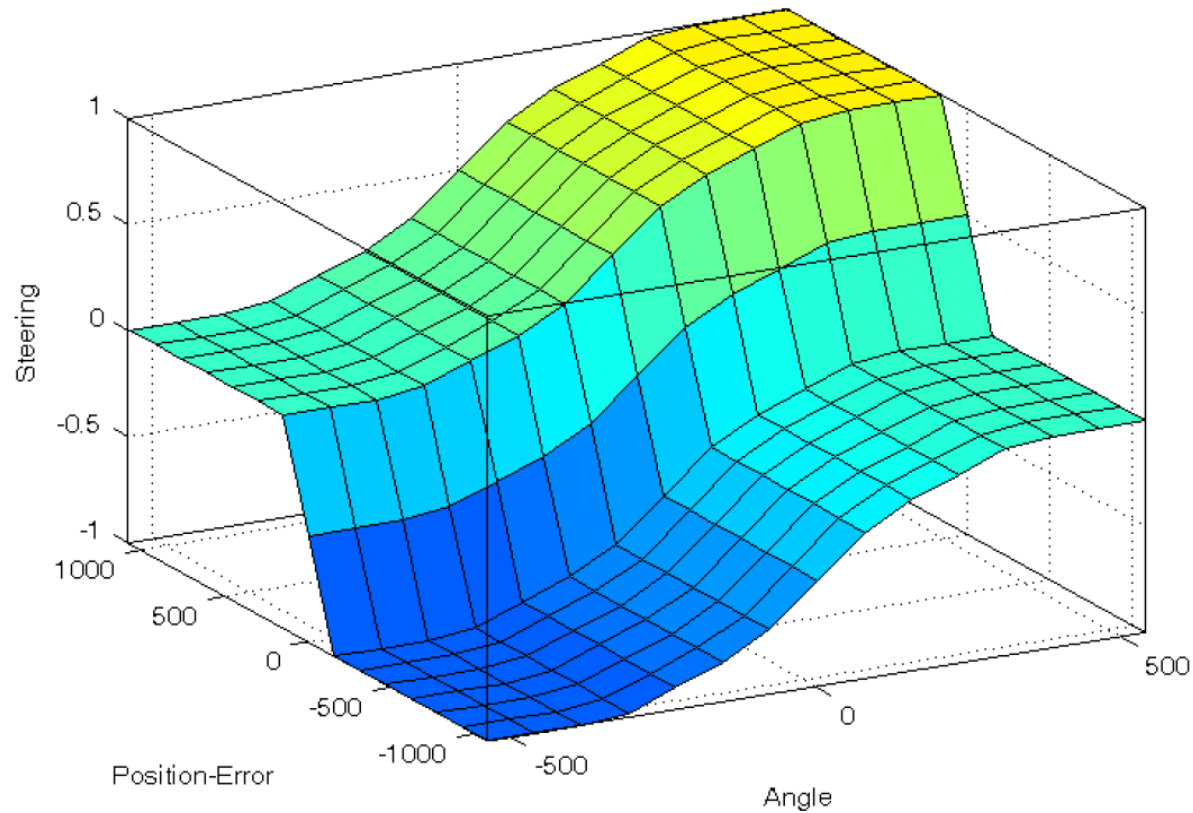


b)

Ejemplo: Control de la dirección de un vehículo autónomo



Ejemplo: Control de la dirección de un vehículo autónomo



Soluciones de automatización de dirección y velocidad

José Eugenio Naranjo
joseeugenio.naranjo@upm.es

Soluciones de automatización

- ❖ Vehículos diseñados para conducción autónoma



Soluciones de automatización

- ❖ ¿Hacen falta soluciones para la automatización?



Soluciones de automatización



Soluciones de automatización

Hoy Sí



❖ Un coche, en cifras

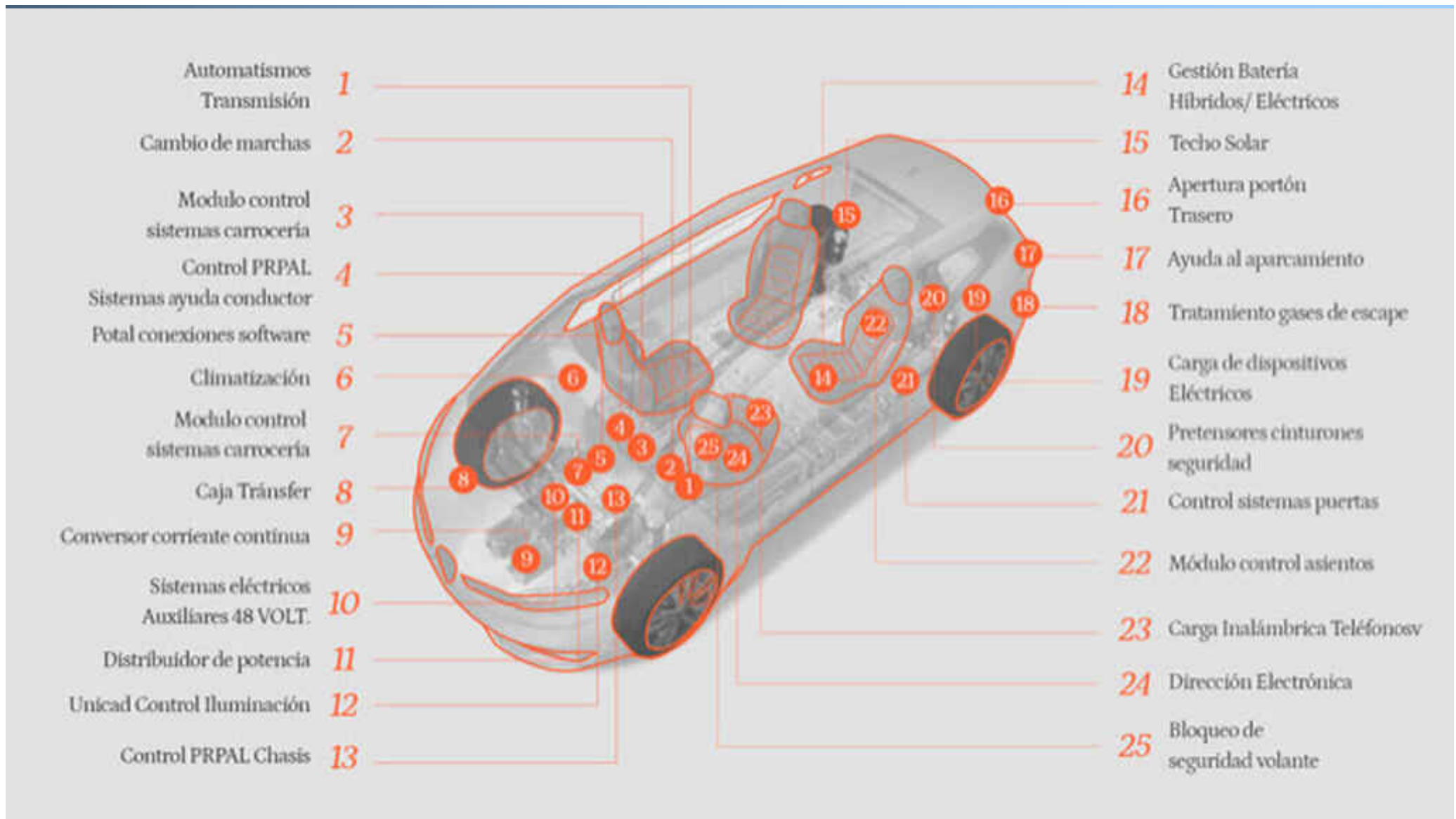
- 100 centralitas electrónicas
- 3000 chips en cada vehículo
- 550 euros en chips
- 100 millones de líneas de código de software
- El 70% de los chips viene de Taiwan

Soluciones de automatización

❖ Casi todos los componentes necesarios para la automatización de un vehículo ya existen de serie:

- ADAPTIVE BRAKE con función HOLD, ayuda al arranque en pendientes, llenado anticipado y frenos secos al conducir sobre calzadas húmedas
- Luz de freno adaptativa, intermitente
- Airbags para conductor y acompañante con adaptatividad ampliada en el airbag del acompañante
- Capó activo para protección de peatones
- Equipo de frenos de alto rendimiento AMG con discos de material compuesto de 390 x 36 milímetros delante y discos de freno de 360 x 26 milímetros detrás
- Sistema antibloqueo de frenos (ABS)
- Sistema de control de tracción (ASR)
- ATTENTION ASSIST
- Servofreno de emergencia BAS que activa la fuerza de frenado máxima si detecta frenadas de emergencia
- Indicador de advertencia por desgaste de las pastillas de freno
- COLLISION PREVENTION ASSIST PLUS
- Programa electrónico de estabilidad ESP®
- Asistente dinámico en curvas ESP®
- Conexión automática de las luces de cruce
- Freno de estacionamiento eléctrico con desactivación automática al ponerse en marcha
- Grupos ópticos traseros con técnica LED
- Retrovisores izquierdo e interior con sistema antideslumbramiento automático
- Fijación ISOFIX para silla infantil en la parte trasera con TopTether
- Faros LED High Performance
- Luz trasera antiniebla de técnica LED, centrada en el faldón trasero
- PRE-SAFE® impulso
- Sistema PRE-SAFE®
- Control de la presión de neumáticos
- Asistente para viento lateral

Soluciones de automatización

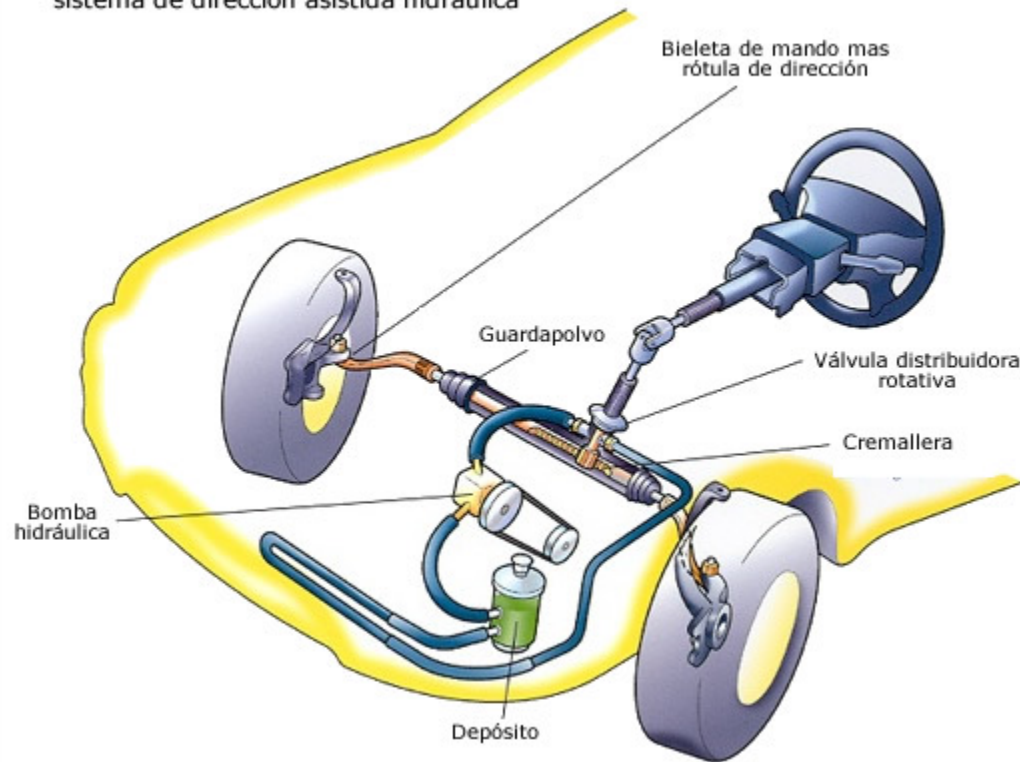


Soluciones de automatización

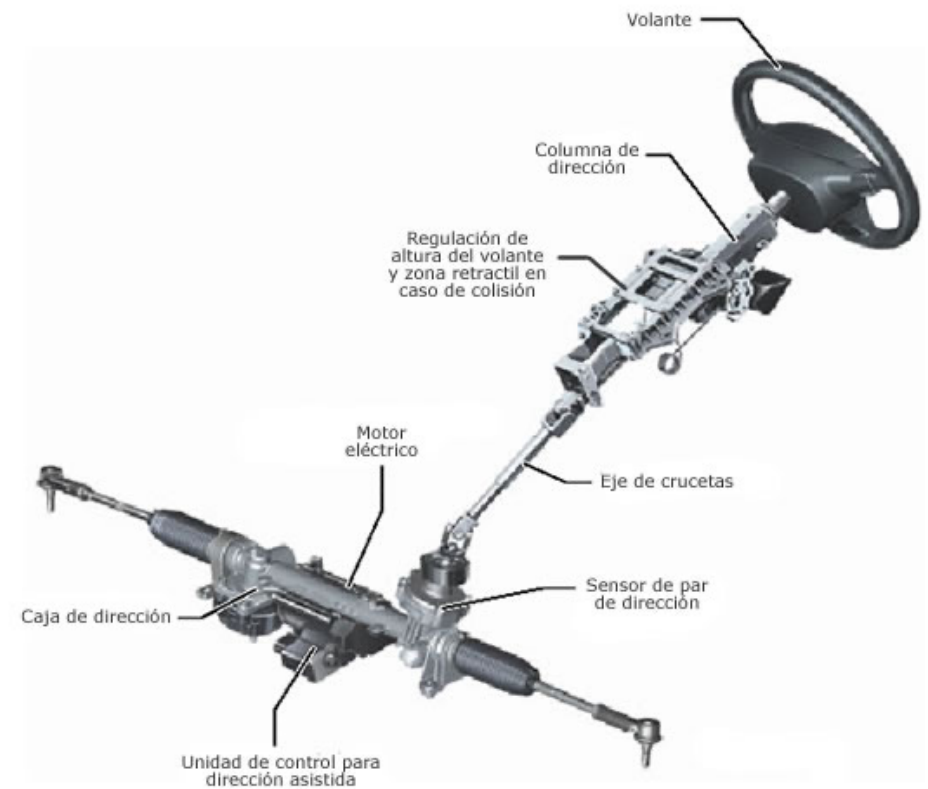
- ❖ Fundamentalmente hacen falta 4 actuadores manejados desde el control autónomo:
- ❖ Dirección
- ❖ Acelerador
- ❖ Freno
- ❖ Cambio de marchas

Soluciones de automatización: Dirección

Situación de los elementos que componen un sistema de dirección asistida hidráulica



Componentes de la dirección electromecánica

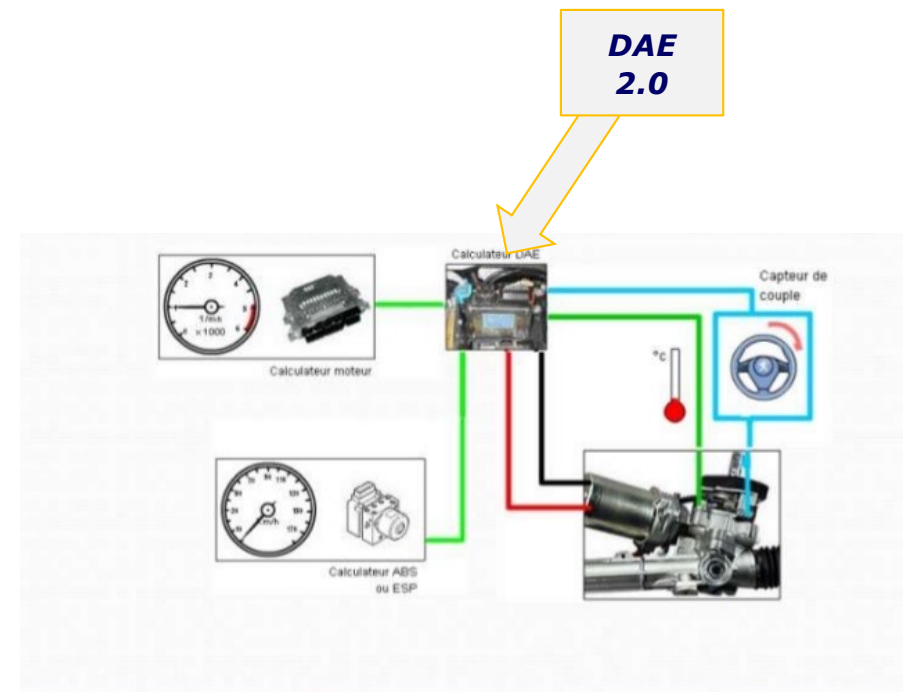


www.mecanicavirtual.org

Soluciones de automatización: Dirección

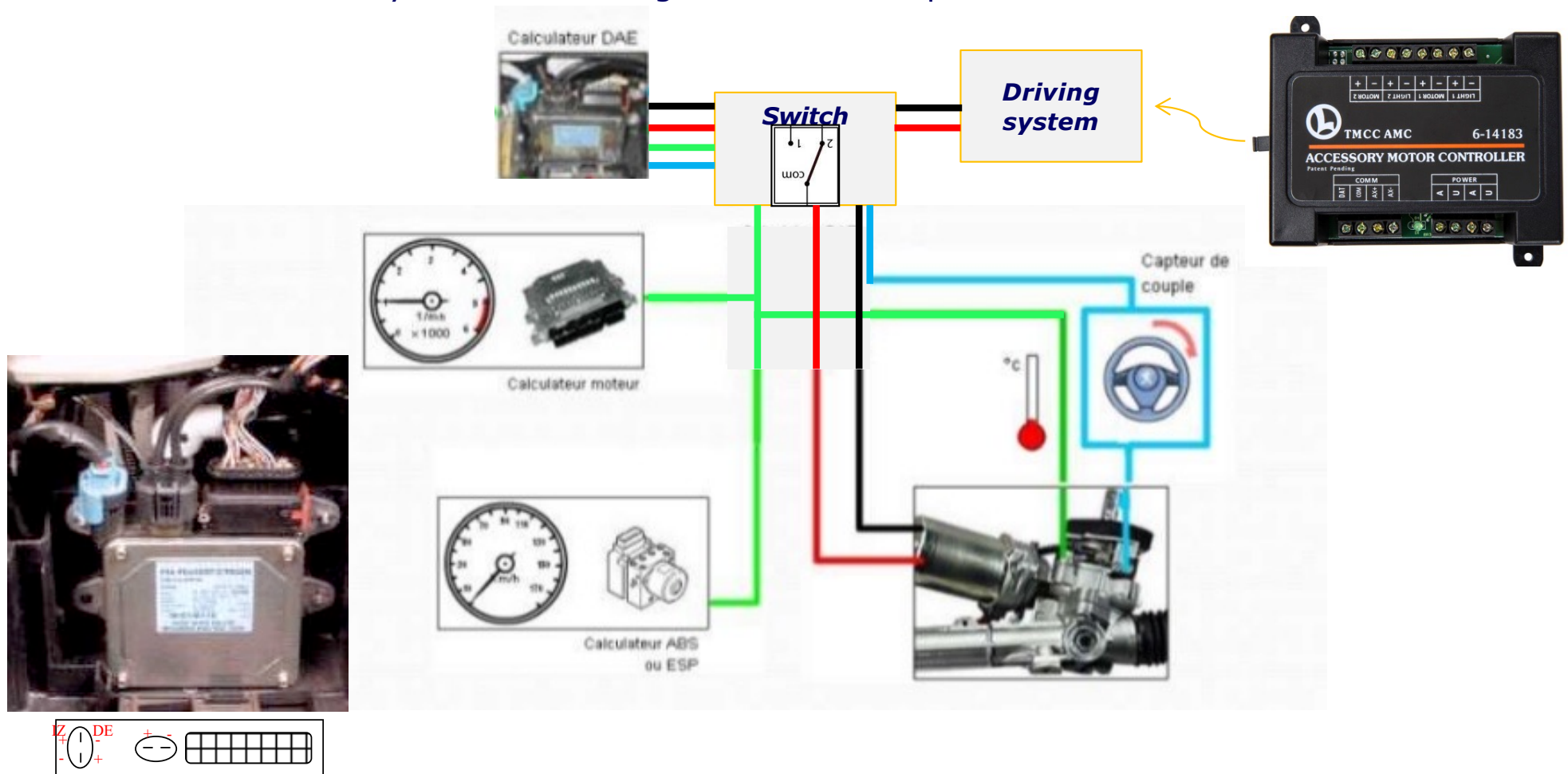
❖ Electric Power Steering (EPS)

- Hay 2 maneras de abordar su manejo:
 - Modificando la ECU
 - Sustituyendo la ECU original cuando se quiere hacer conducción autónoma.



Soluciones de automatización

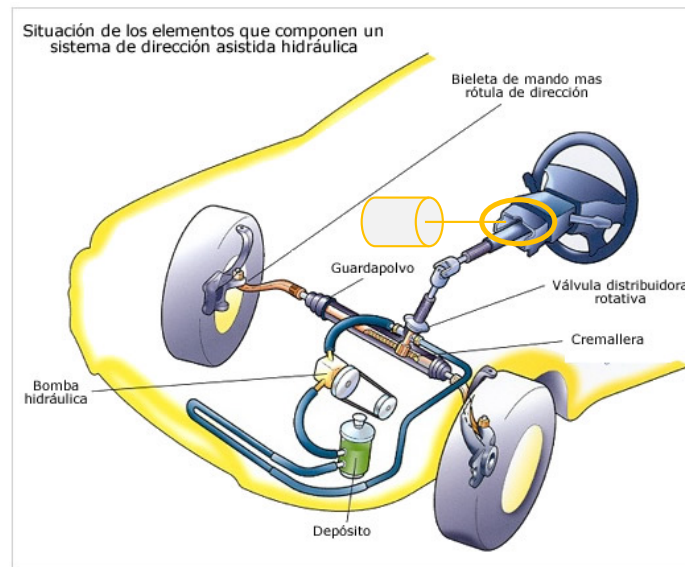
- Sustituyendo la ECU original cuando se quiere hacer conducción autónoma



Soluciones de automatización

❖ Hydraulic power steering

- El sistema de asistencia hidráulica no se puede modificar, con lo que es necesario añadir actuadores adicionales para llevar a cabo la automatización de la dirección.
- Habitualmente, se actúa sobre la barra de dirección mediante poleas o engranajes, movidos por motores eléctricos.



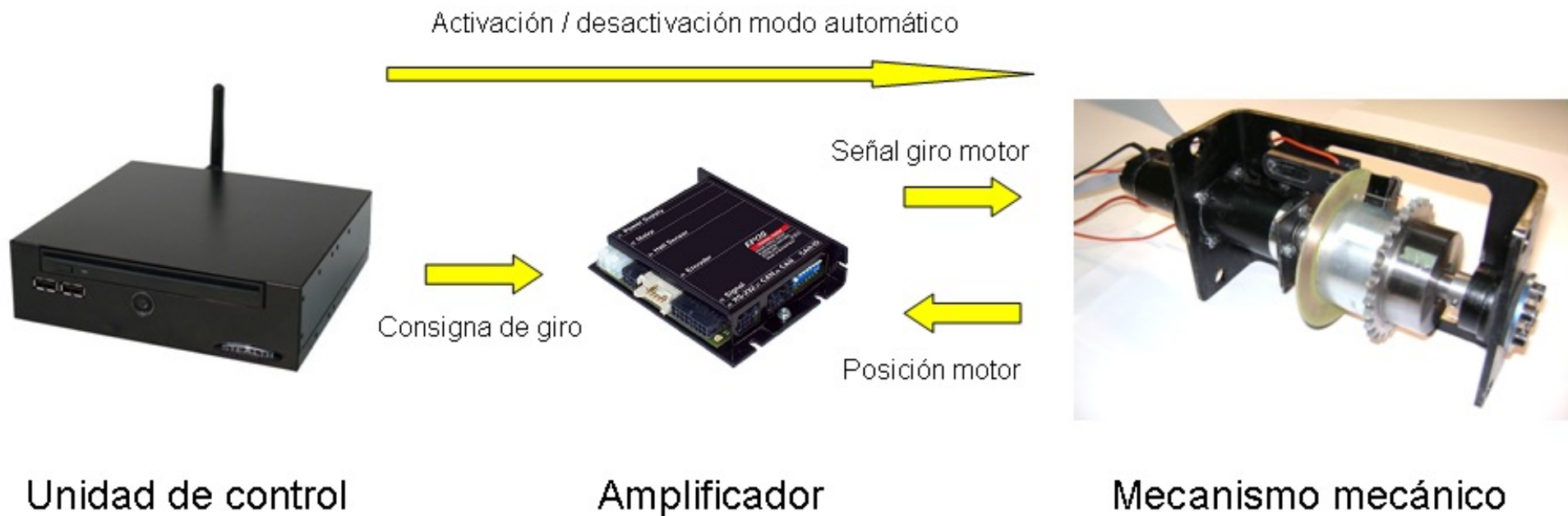
Soluciones de automatización

- ❖ Hydraulic power steering
 - Solución 1: Polea movida por un motor hidráulico.



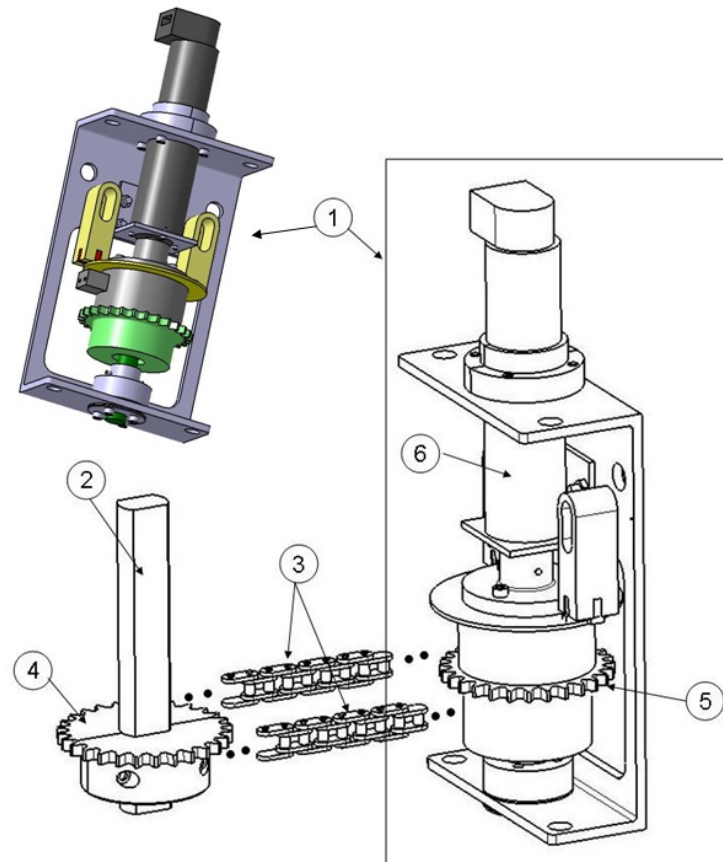
Soluciones de automatización

- ❖ Hydraulic power steering
 - Solución 2: Sistema electro-mecánico.



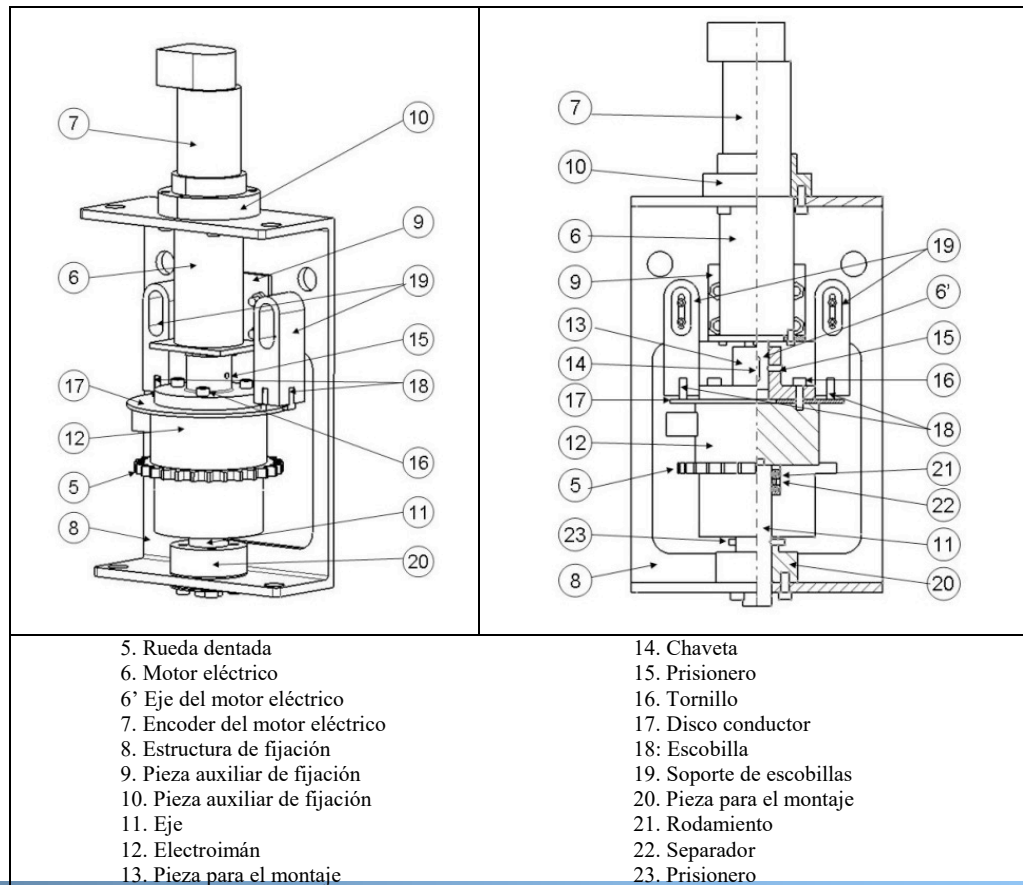
Soluciones de automatización

- ❖ Hydraulic power steering
 - Solución 2: Sistema electro-mecánico.



Soluciones de automatización

- ❖ Hydraulic power steering
 - Solución 2: Sistema electro-mecánico.



Soluciones de automatización

❖ Acelerador

