

Sensor Fusion

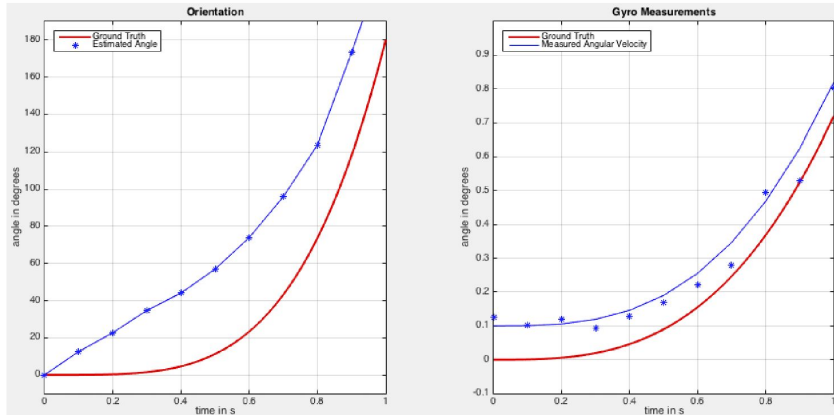
Procesamiento de señales provenientes de un IMU

Medir Roll mediante un IMU



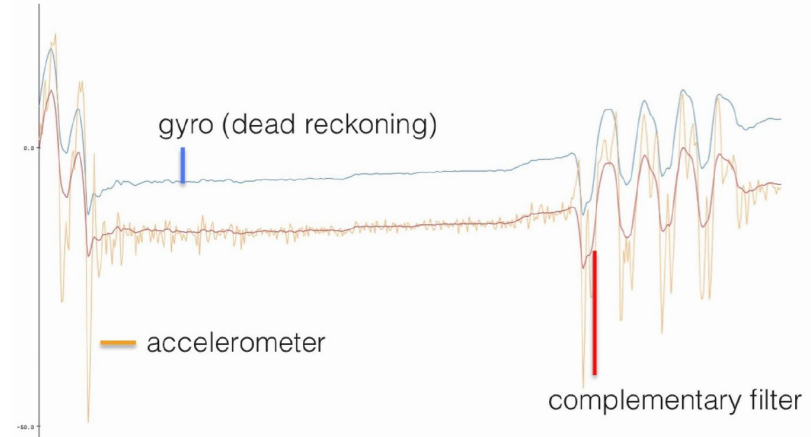
Giroscopio

Problemas al integrar la medición con polarización y ruido

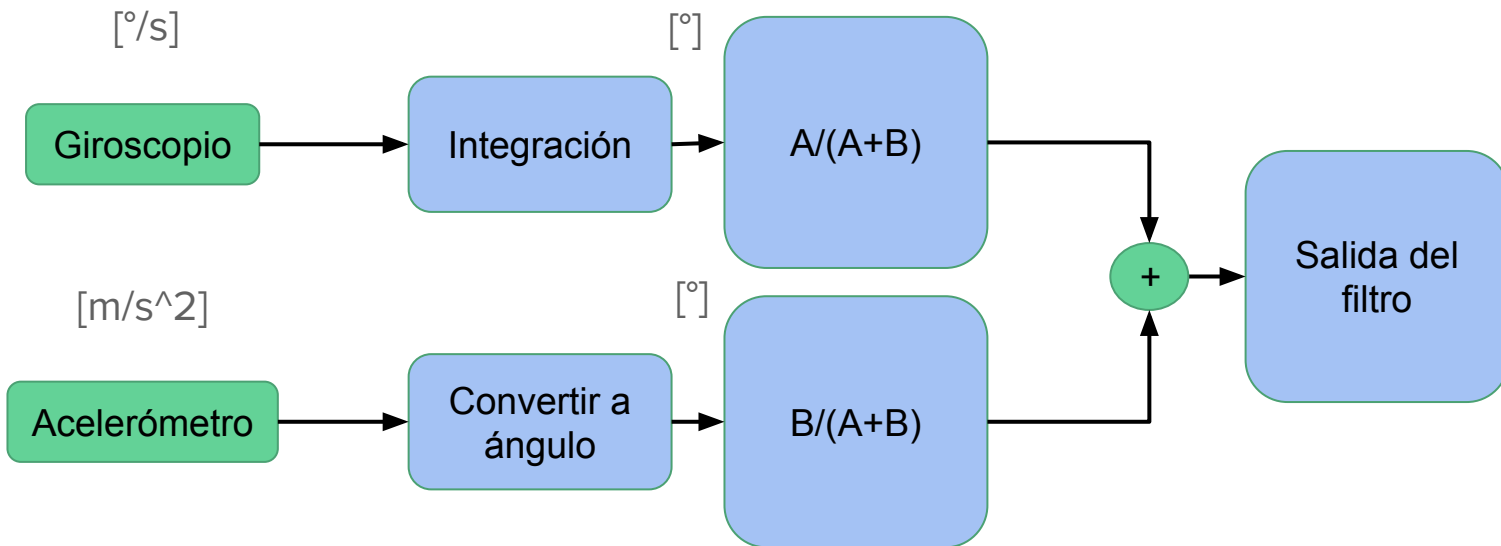


Acelerómetro

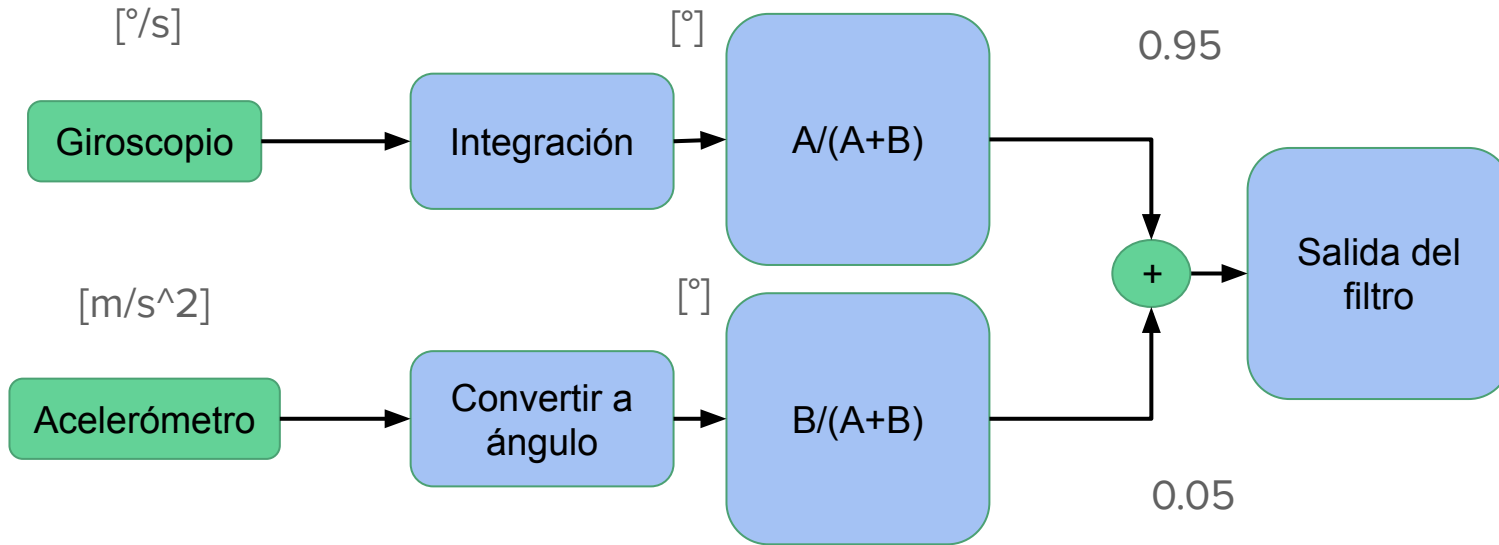
El ruido presente en la medición dificulta la lectura a corto plazo.



Complementary Filter



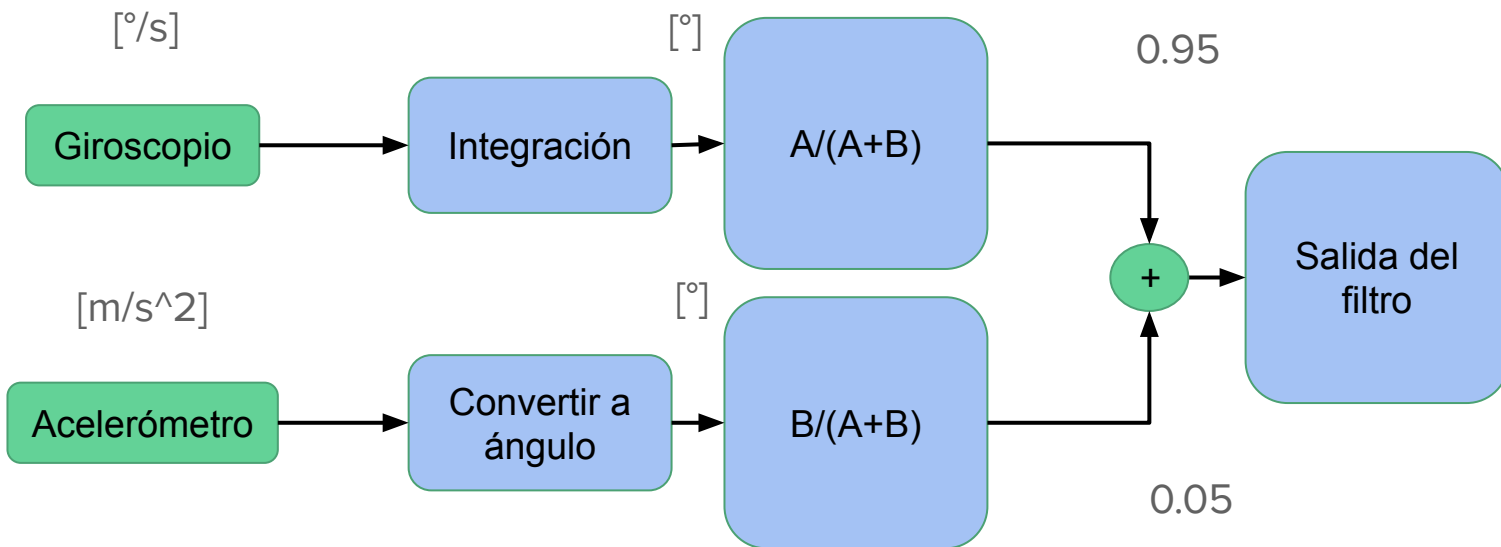
Complementary Filter



Complementary Filter

Habíamos determinado que era necesario:

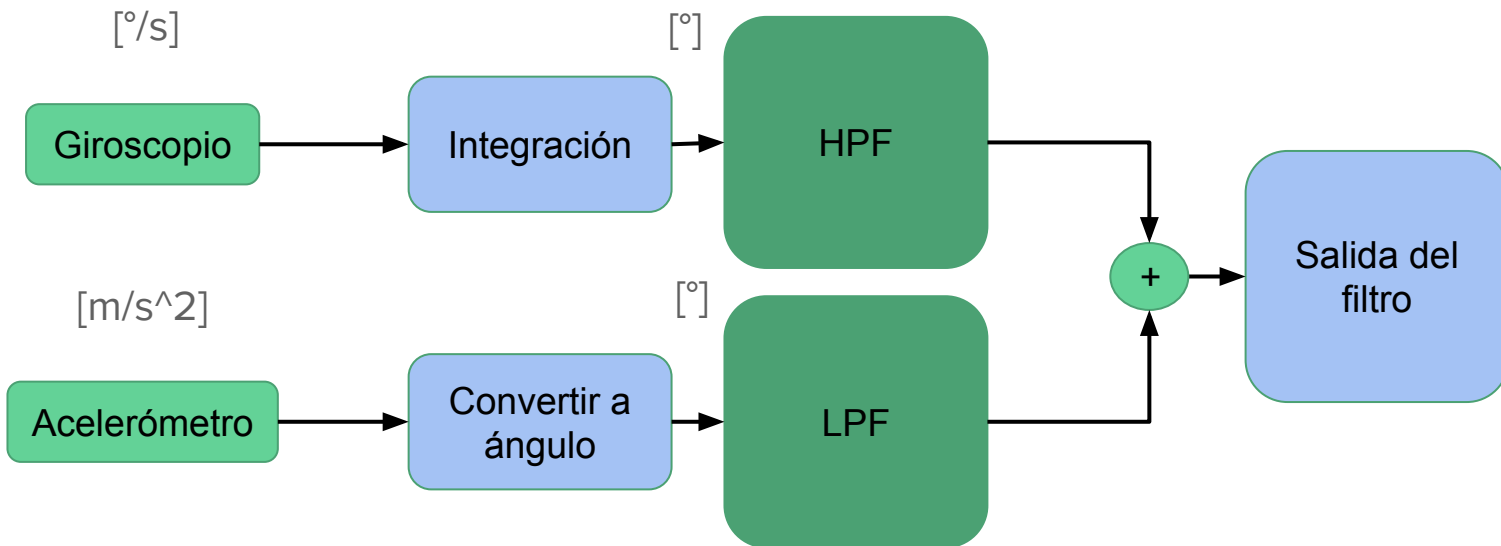
- Un LPF para el acelerómetro.
- Un HPF para el giroscopio.



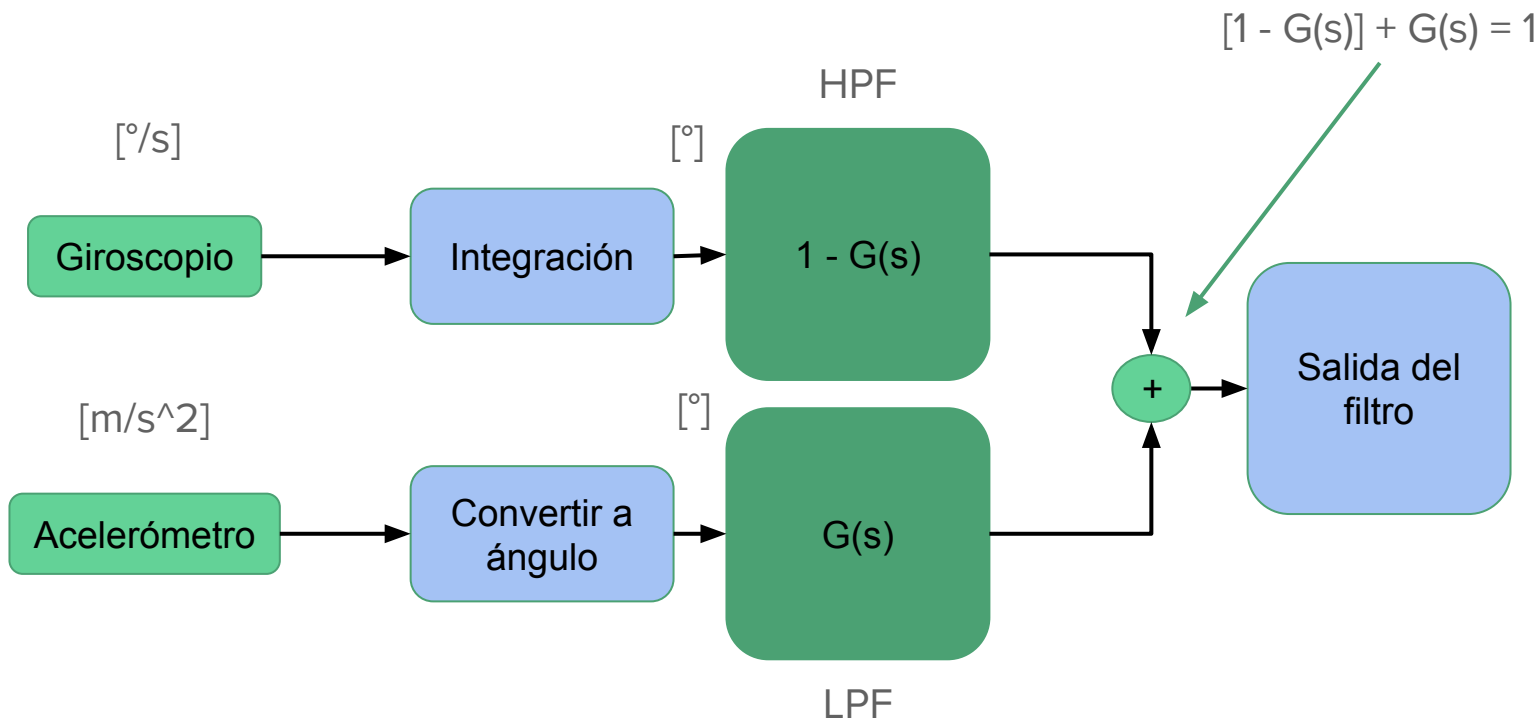
Complementary Filter

Habíamos determinado que era necesario:

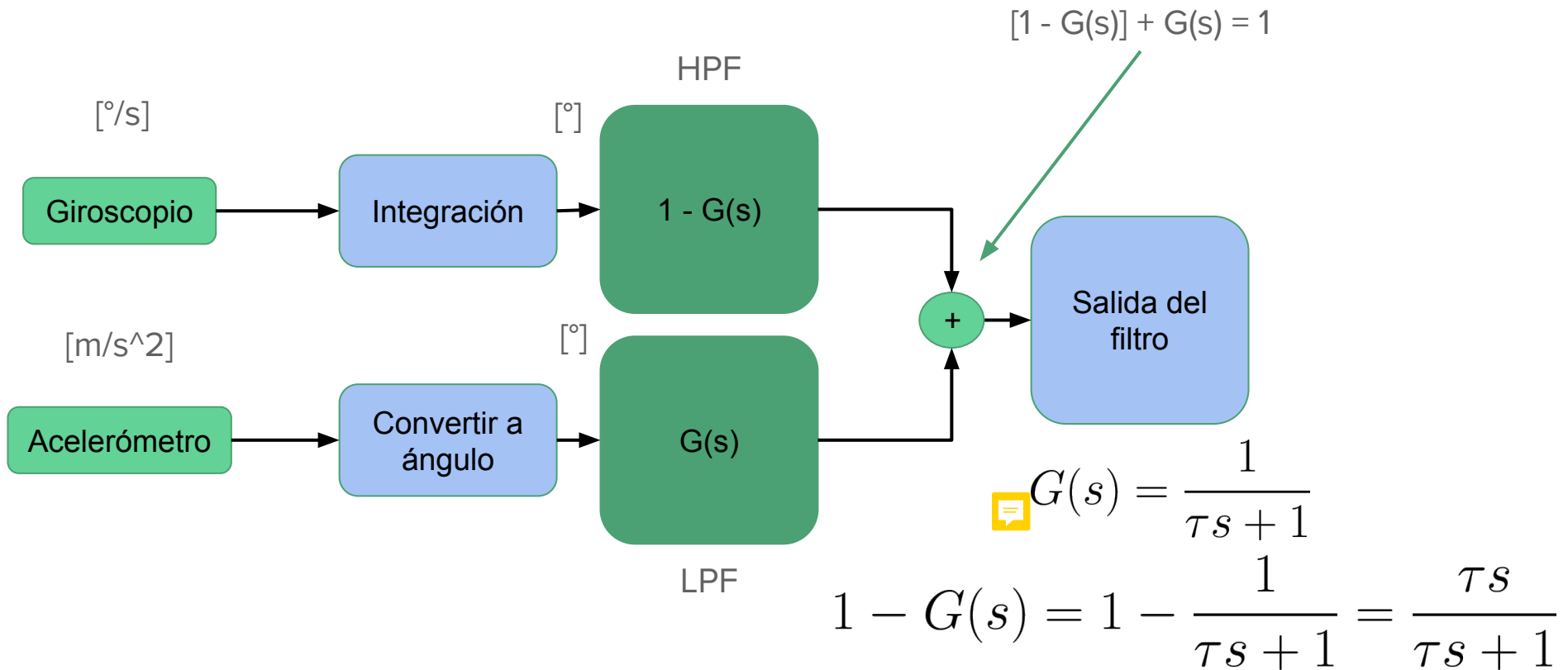
- Un **LPF** para el acelerómetro.
- Un **HPF** para el giroscopio.



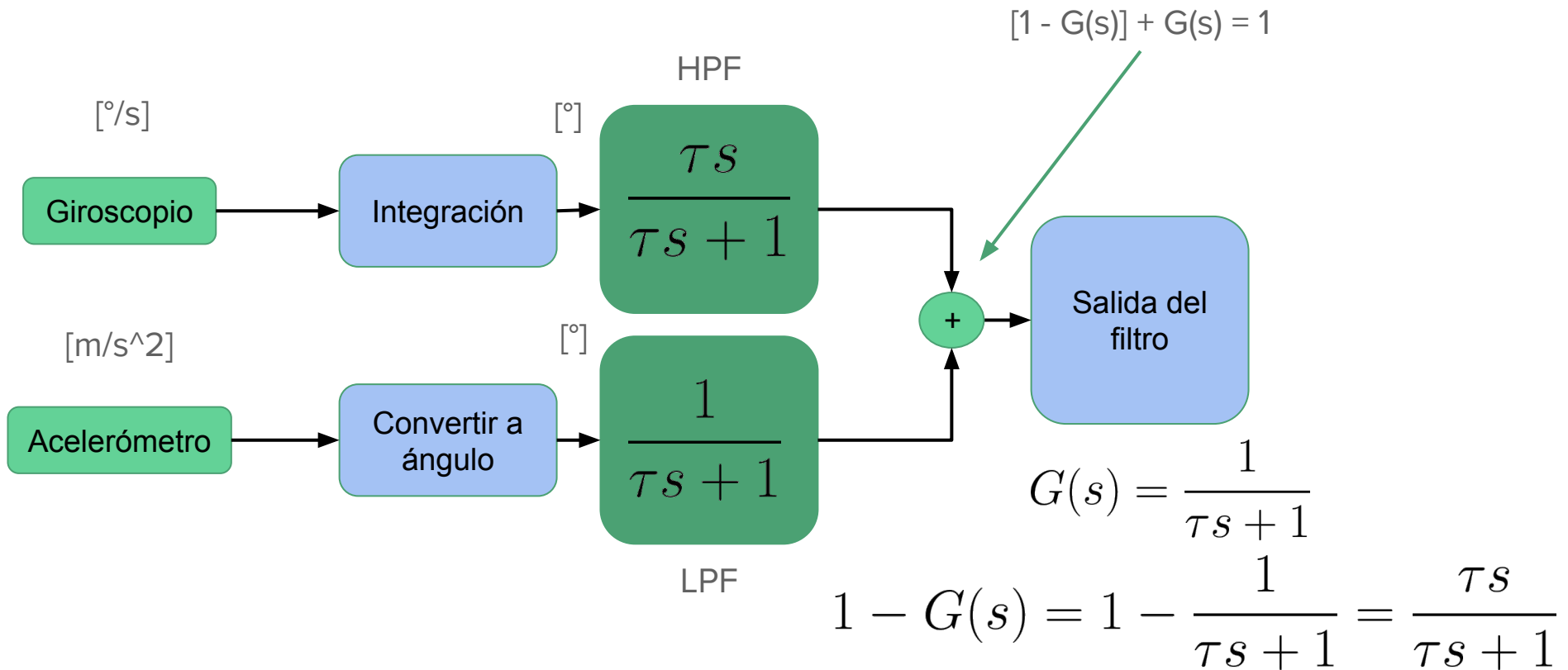
Complementary Filter



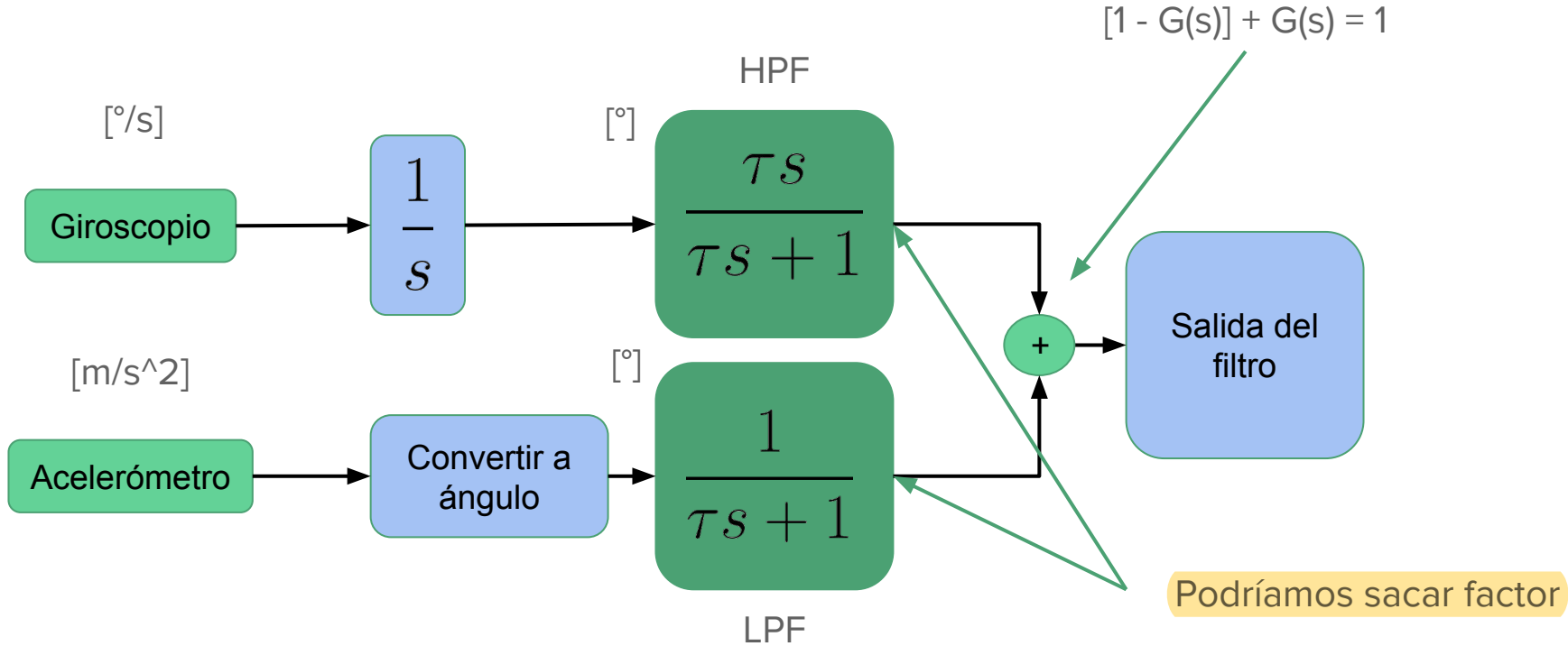
Complementary Filter



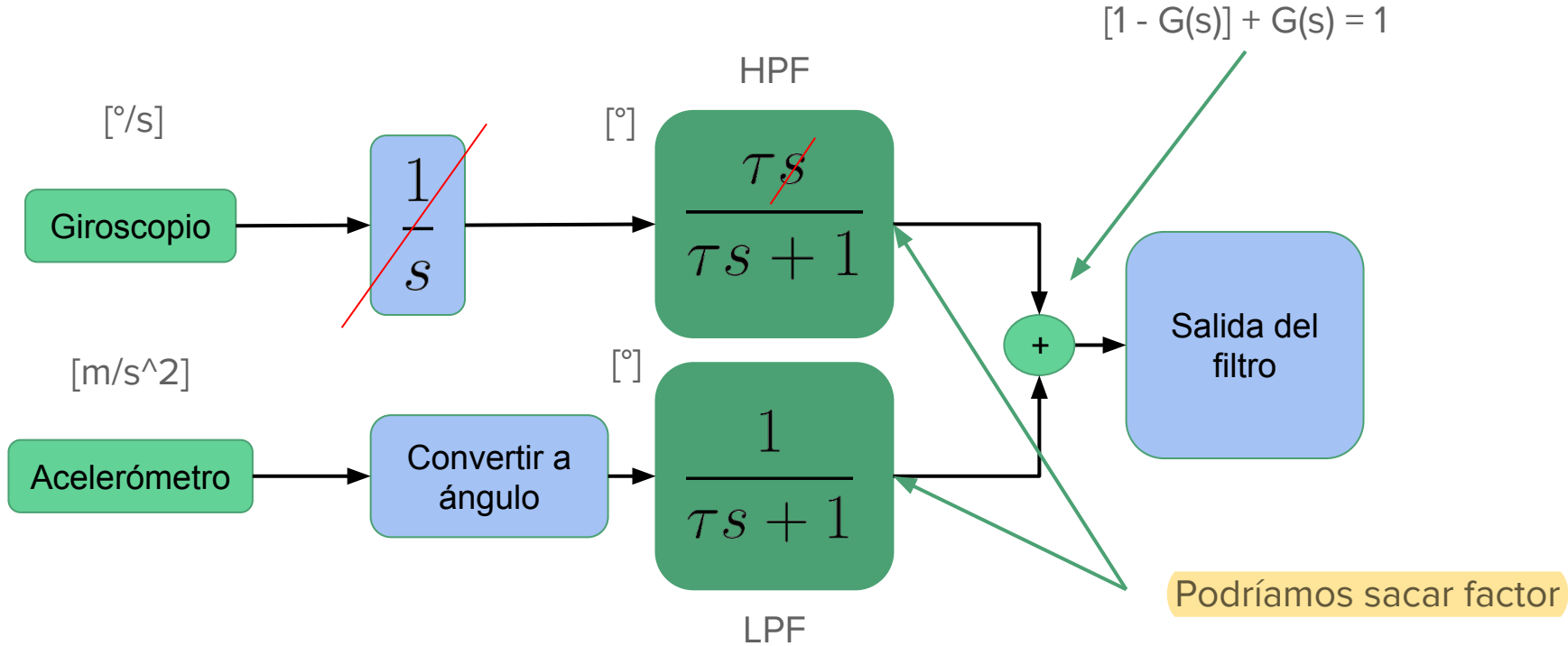
Complementary Filter



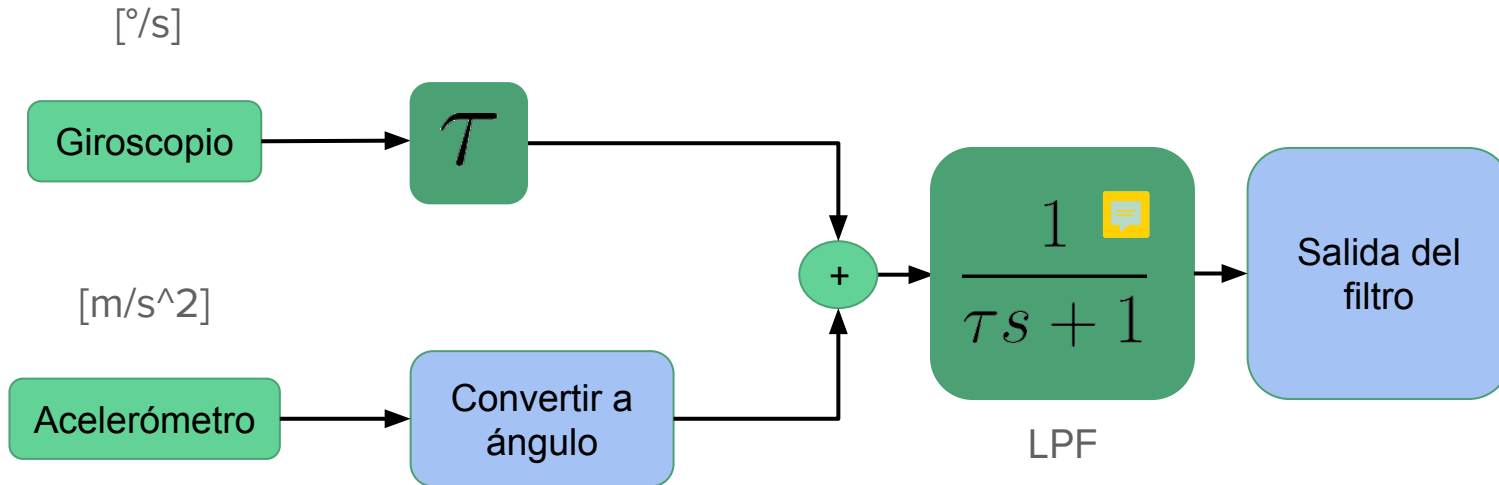
Complementary Filter



Complementary Filter



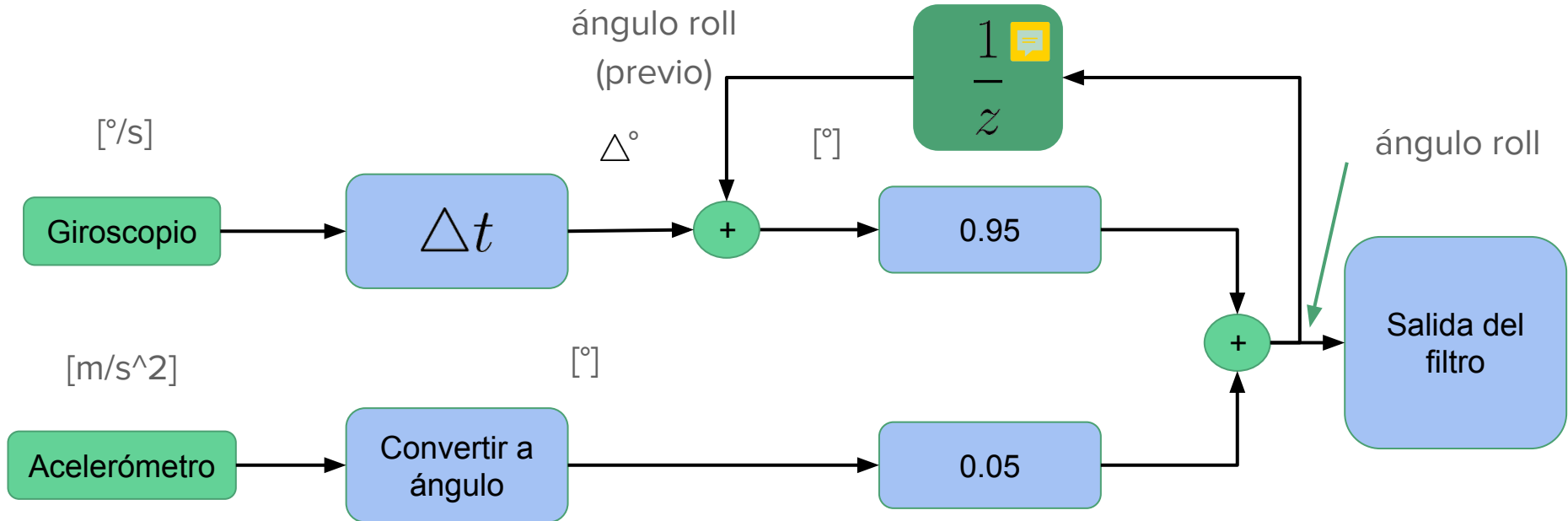
Complementary Filter



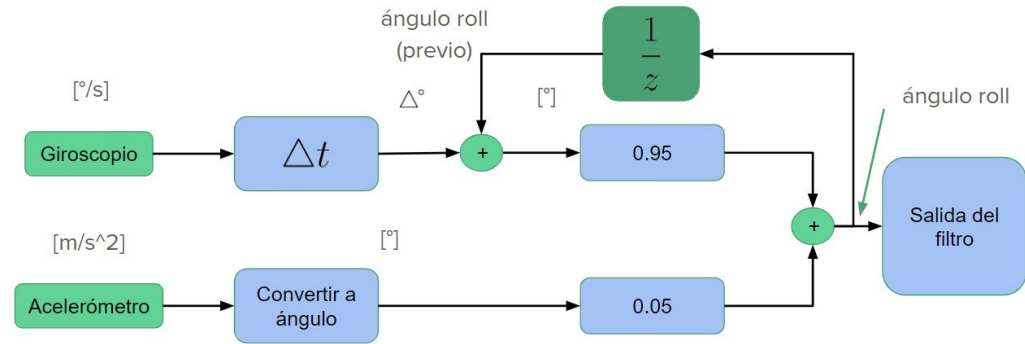
¿Cómo implementamos esto en software?



Complementary Filter



Complementary Filter



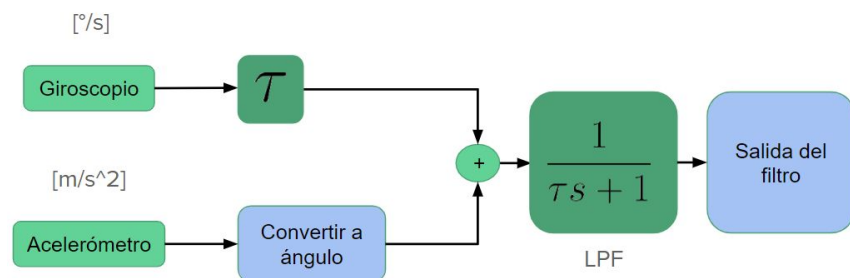
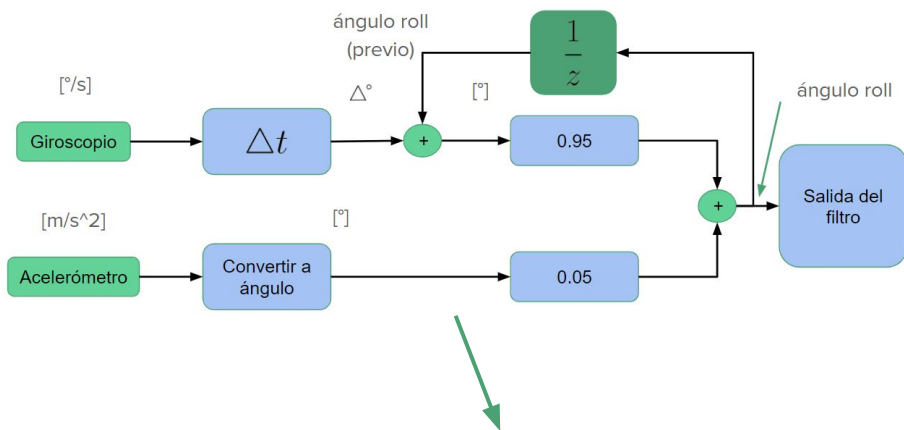
$$angRoll = angAcel \cdot 0.05 + 0.95 \cdot \left(giros \cdot \delta t + \frac{angRoll}{z} \right)$$

$$angRoll - 0.95 \cdot \frac{angRoll}{z} = angAcel \cdot 0.05 + 0.95 \cdot giros \cdot \delta t$$

$$angRoll = (angAcel \cdot 0.05 + 0.95 \cdot giros \cdot \delta t) \cdot \frac{1}{1 - \frac{0.95}{z}}$$

$$angRoll = (angAcel \cdot 0.05 + 0.95 \cdot giros \cdot \delta t) \cdot \frac{z}{z - 0.95} \leftarrow \text{LPF}$$

Complementary Filter



$$angRoll = (angAcel \cdot 0.05 + 0.95 \cdot giros \cdot \delta t) \cdot \frac{z}{z - 0.95}$$

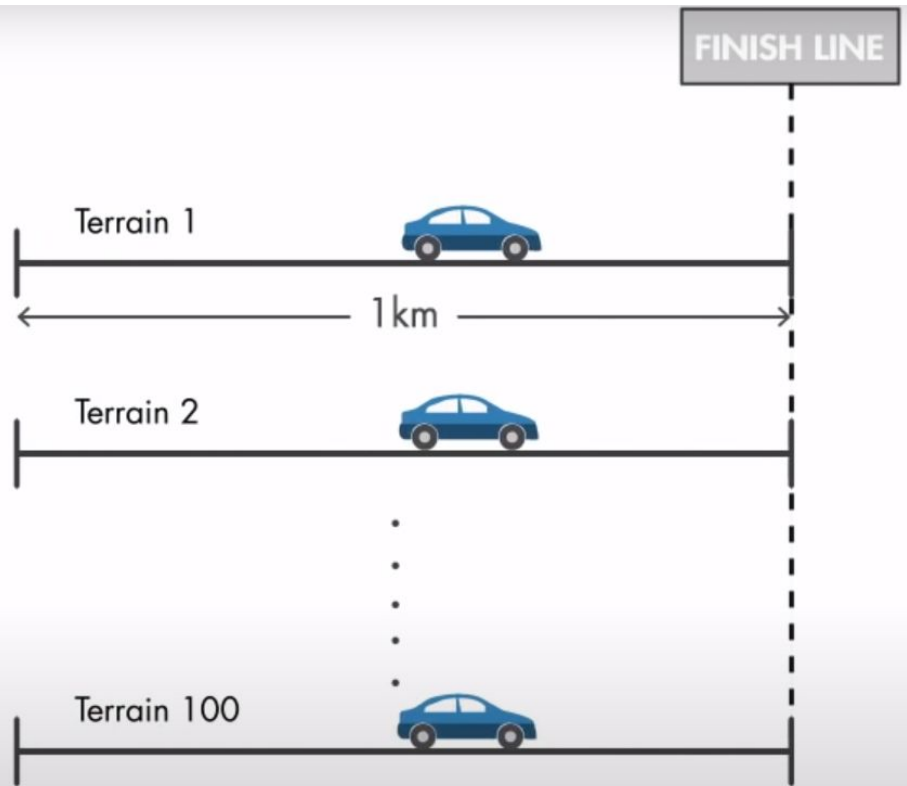
← LPF

Similar a lo analizado previamente

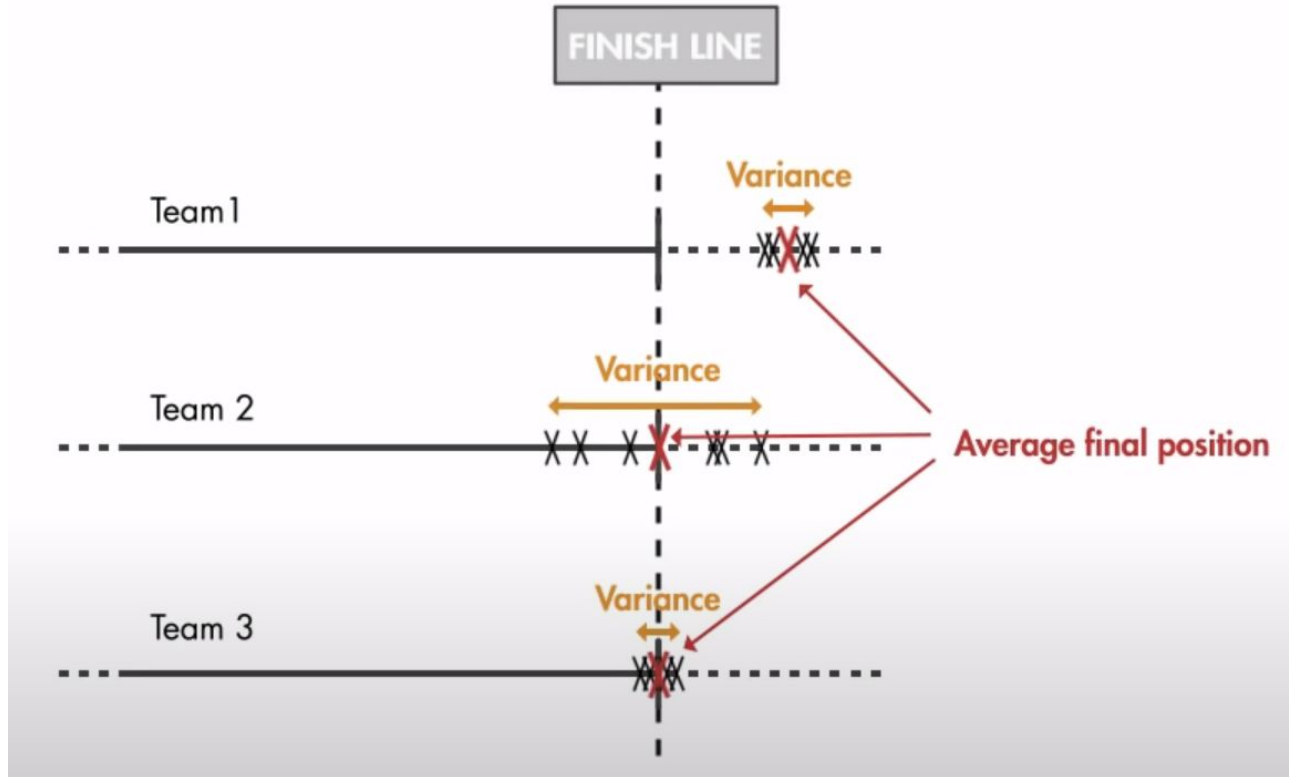
Kalman Filter



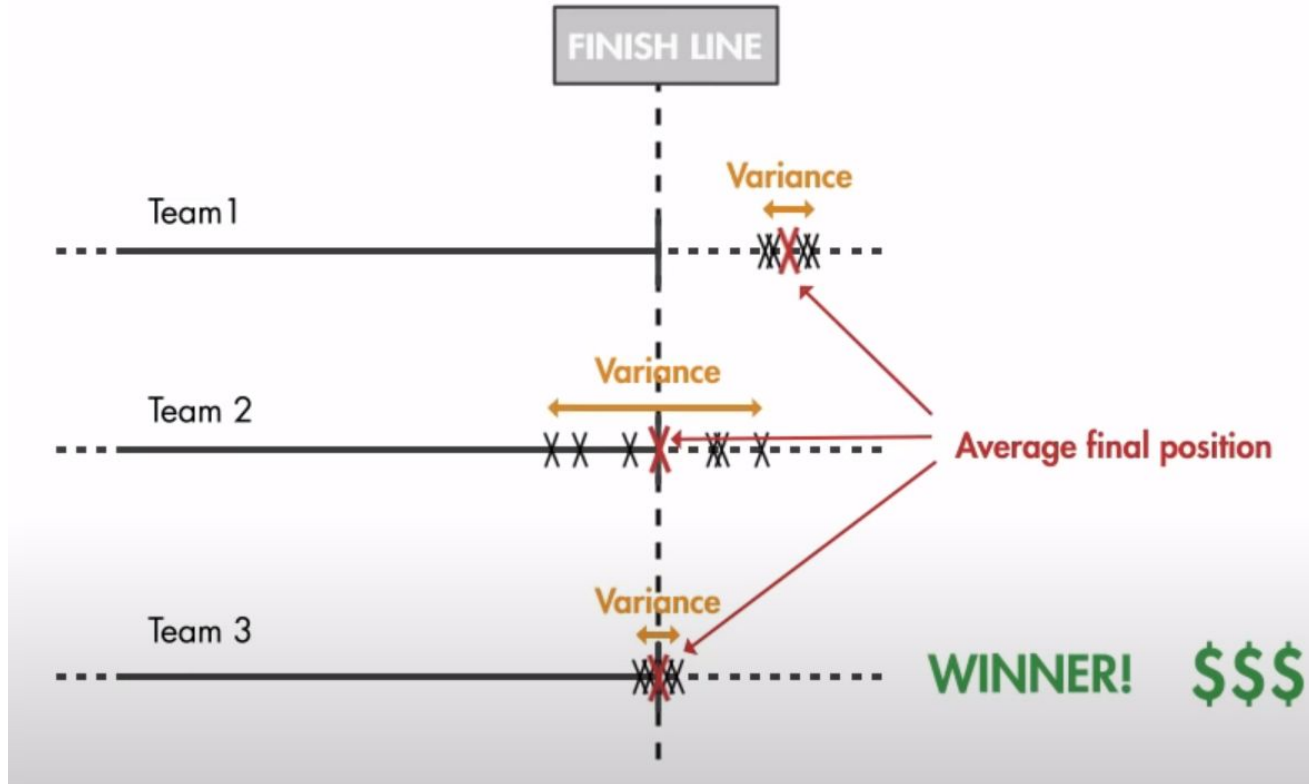
Self-driving car
locates itself using GPS



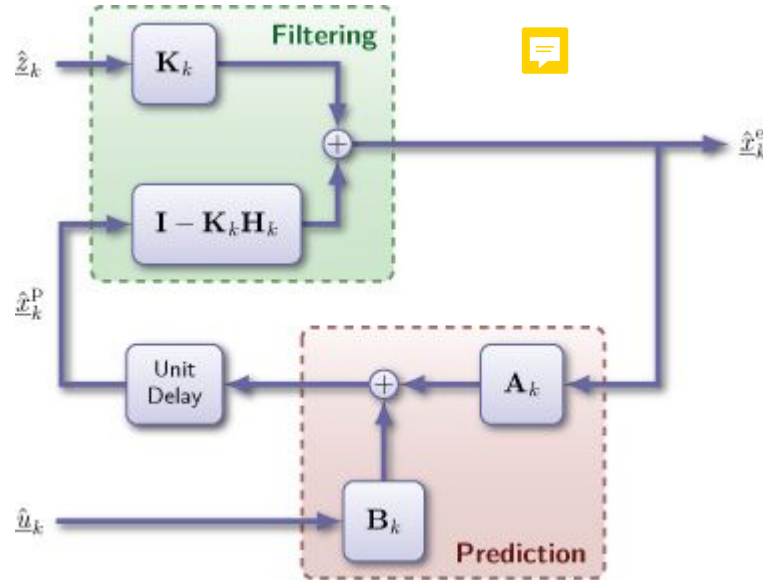
Kalman Filter



Kalman Filter

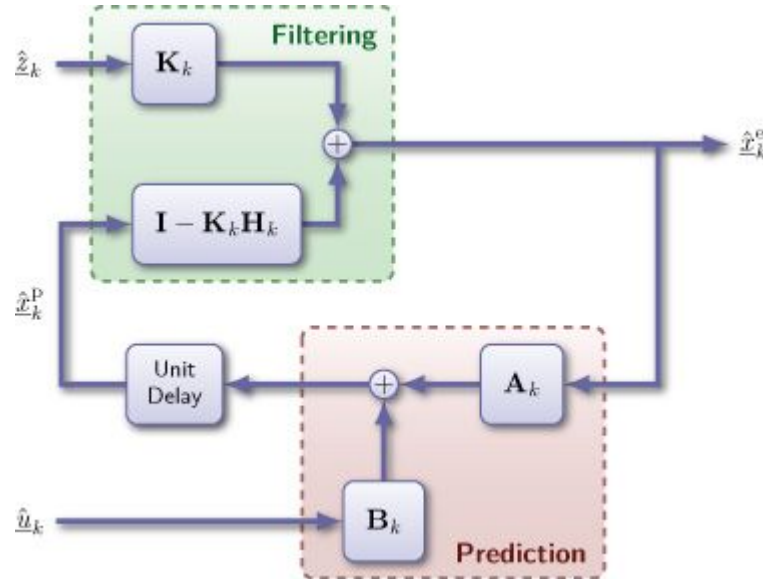


Kalman Filter

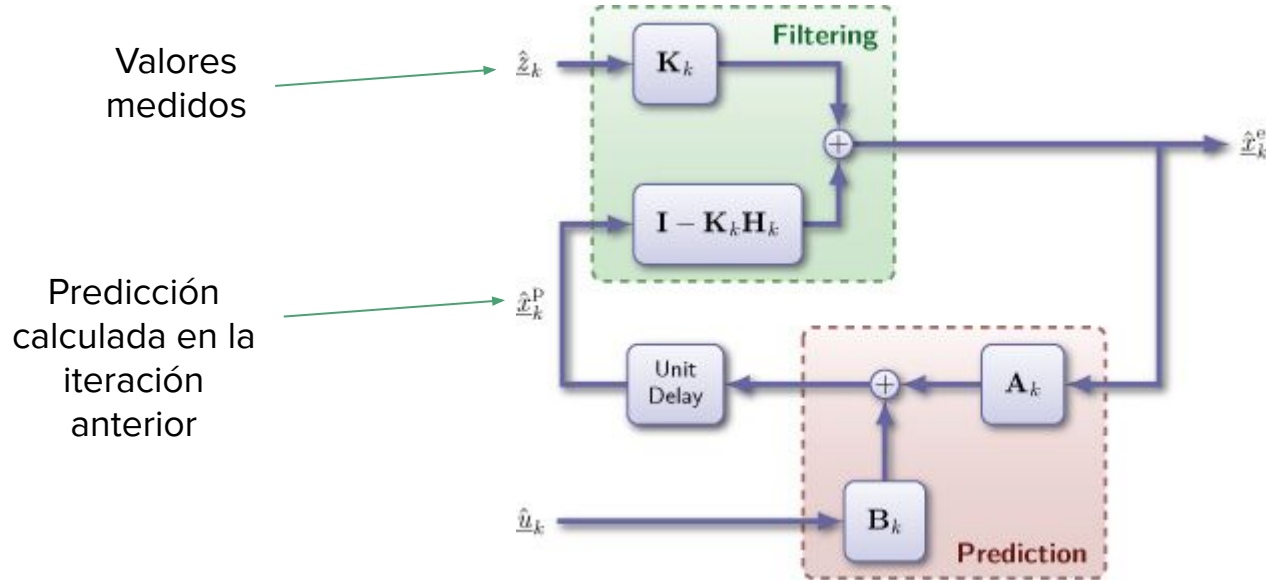


Kalman Filter

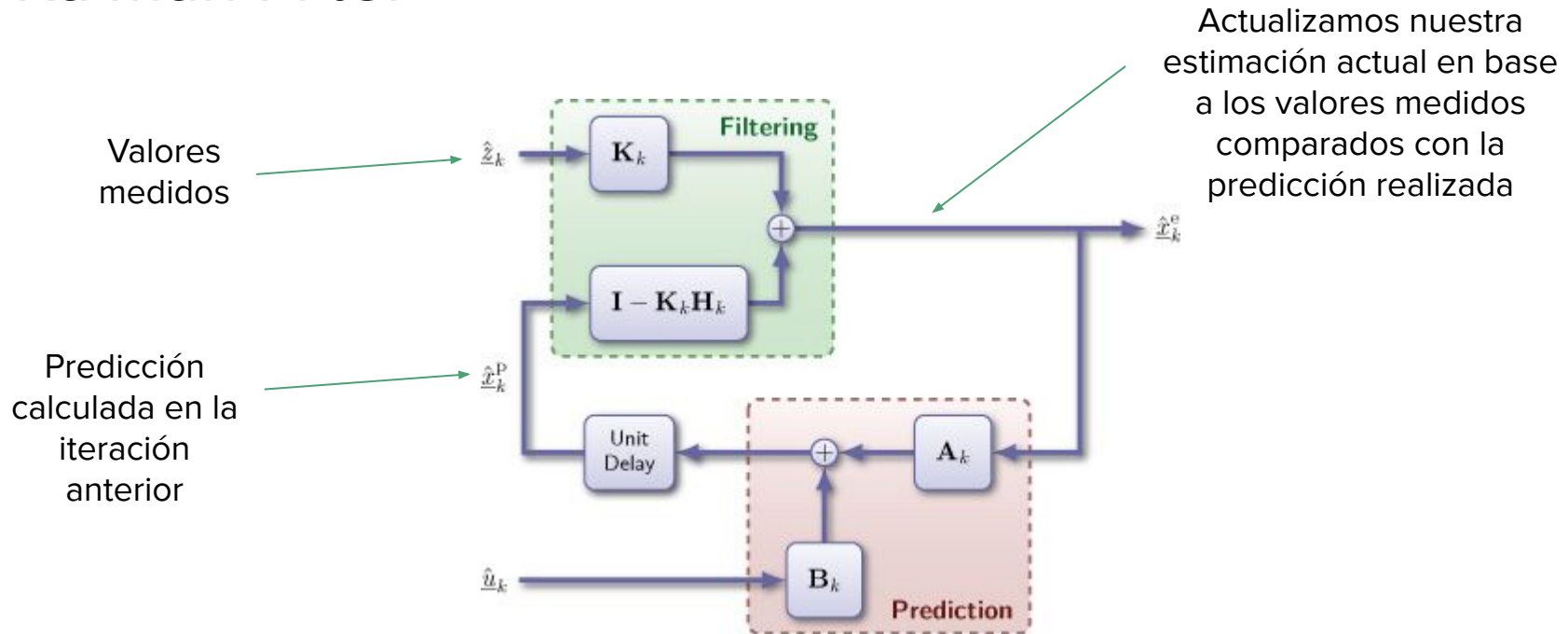
Valores
medidos



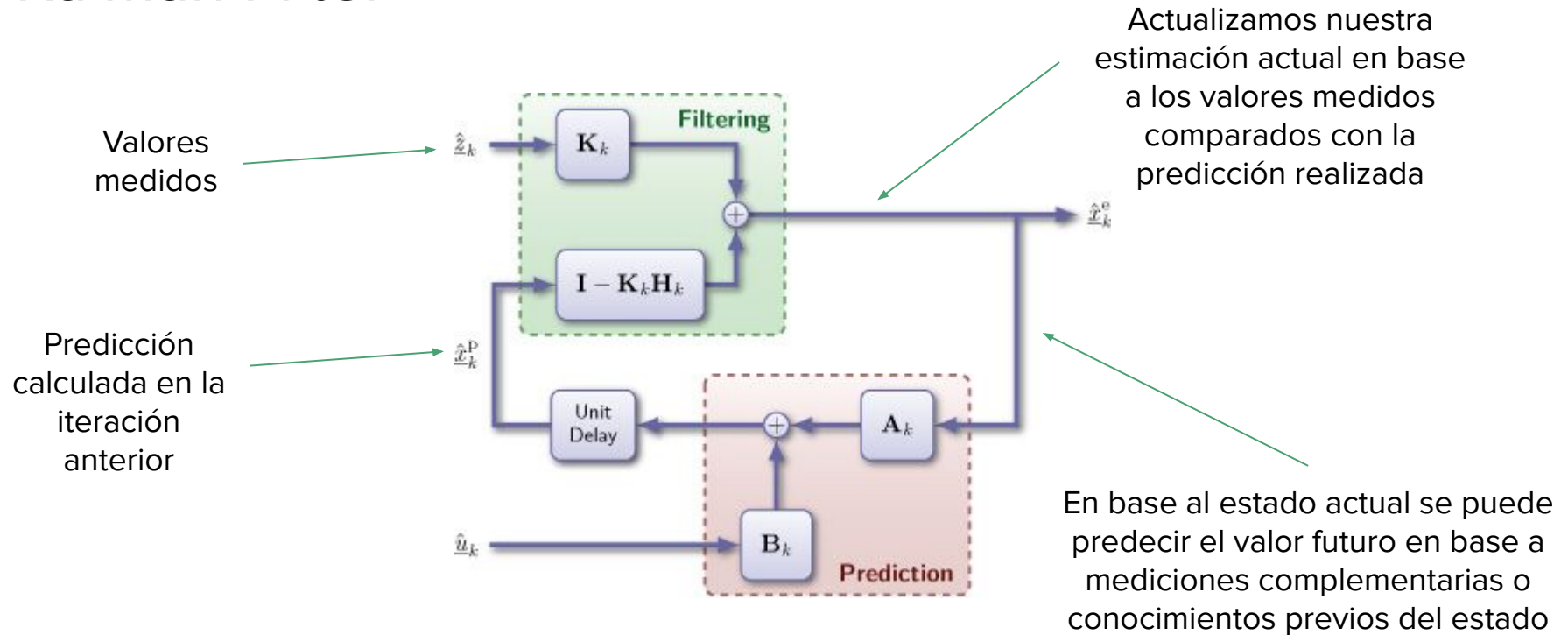
Kalman Filter



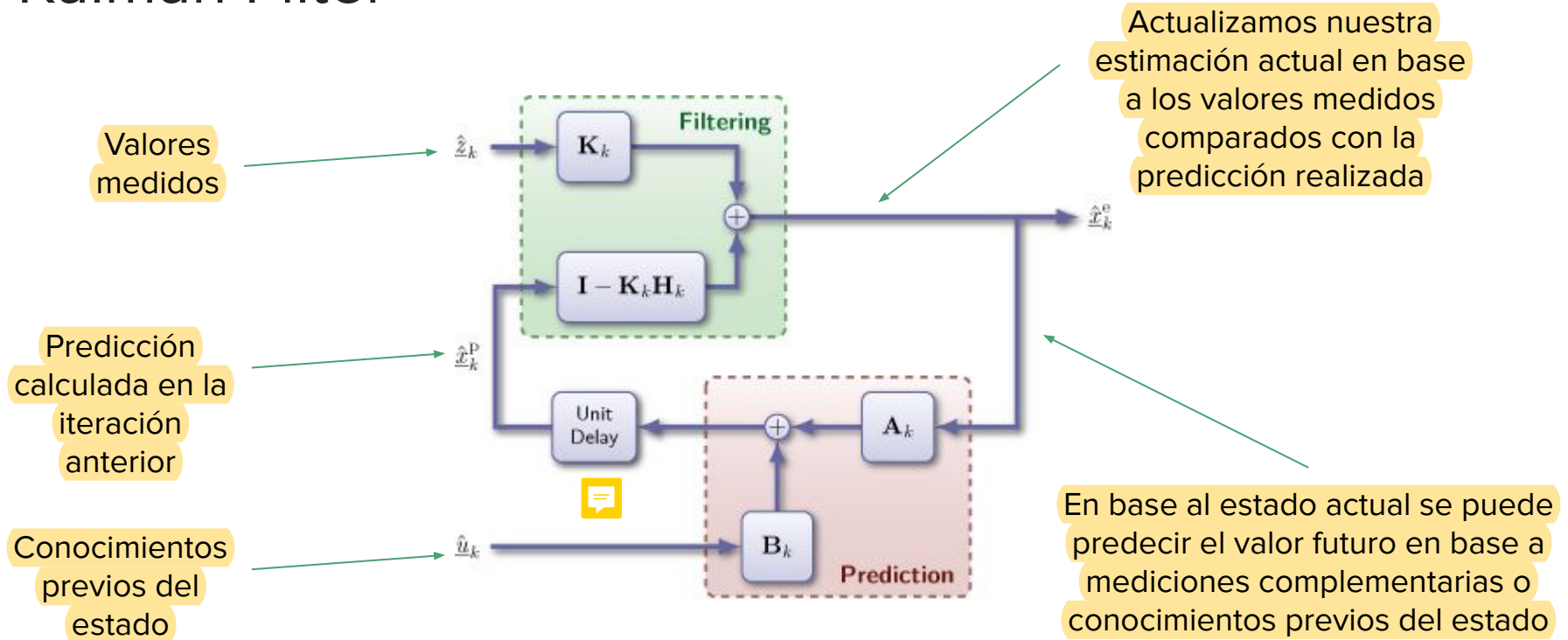
Kalman Filter



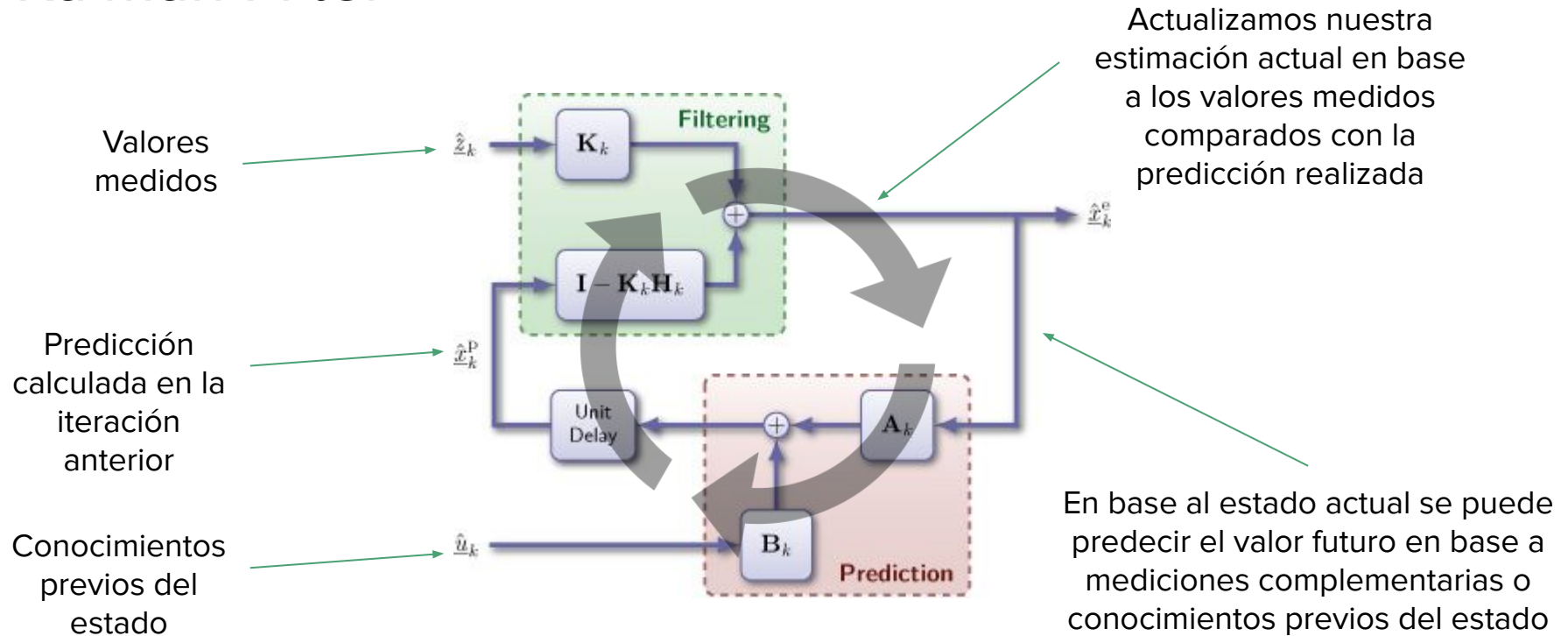
Kalman Filter



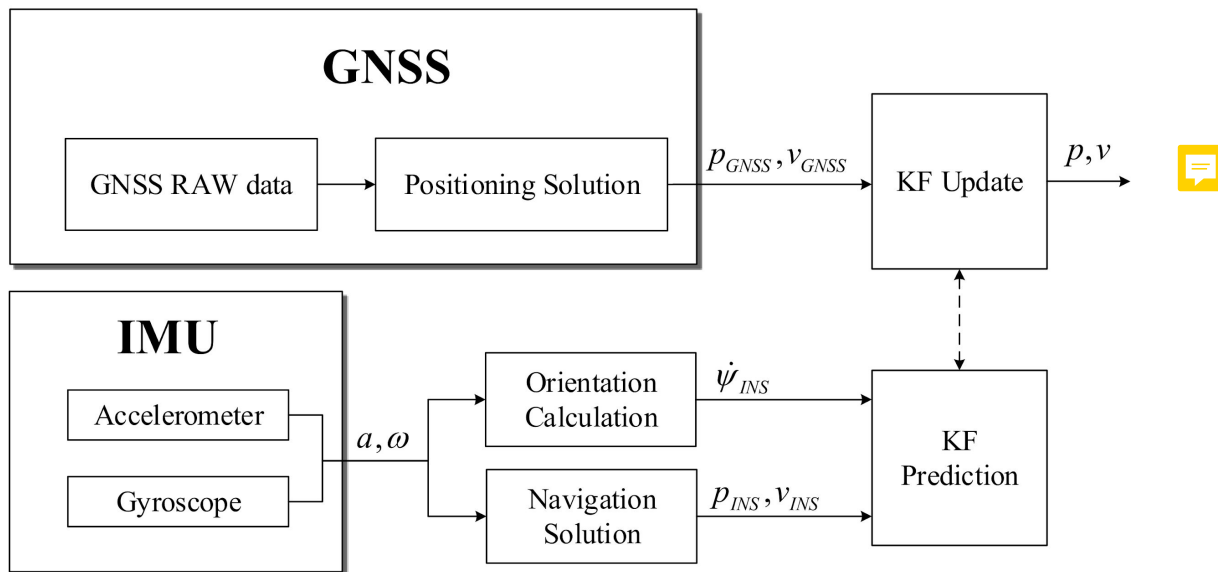
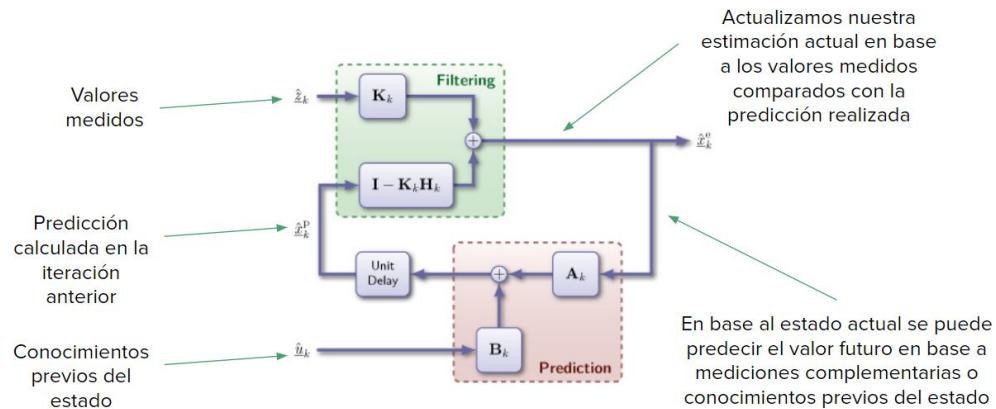
Kalman Filter



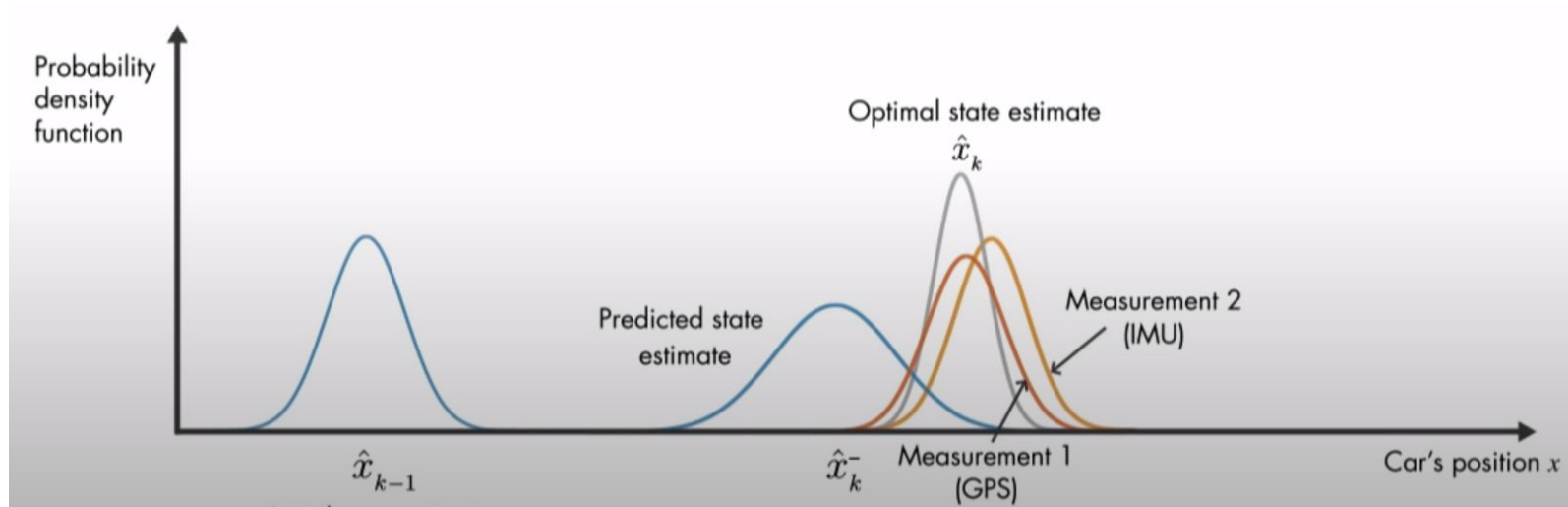
Kalman Filter





Kalman Filter



Kalman Filter




Kalman Filter

- La precisión obtenida mediante el uso del filtro Kalman es alta.
- Está basado en un modelo de espacio de estados donde necesitamos tener un modelo de la totalidad del sistema para alcanzar el desempeño óptimo. 
- Es un algoritmo que requiere gran cantidad de operaciones $O(n^3)$. 

Algoritmos de Orientación

Definiciones:



- IMU (Inertial Measurement Unit) - consiste en acelerómetros y giroscopios dando la capacidad de seguir movimiento traslacionales y rotacionales. Un IMU puede medir movimientos relativos con respecto a la dirección de la gravedad. 
- MARG (Magnetic, Angular Rate, Gravity) - consiste en un IMU al que se le agrega un magnetómetro de 3 ejes. También conocido como AHRS (Attitude and Heading Reference Systems) son capaces de proveer una orientación completa con respecto a la dirección de la gravedad y del campo magnético terrestre.

Algoritmos de Orientación

Más allá de las distorsiones generadas de estimar la orientación del giroscopio, se debe tener en cuenta que haciendo uso sólo de un giroscopio **no se puede obtener una medición absoluta de la orientación.**

El acelerómetro y magnetómetro son capaces de medir el **campo gravitacional** y el **campo magnético terrestre** respectivamente, por lo cual **dan una estimación absoluta de la orientación.**

Debemos estimar la orientación en base a la fusión óptima del magnetómetro, giroscopio y acelerómetro.

Algoritmos de Orientación

Gracias a la efectividad y precisión del filtro Kalman, es ampliamente utilizado como filtro de orientación incluso existen gran cantidad de dispositivos comerciales que los emplean. Sin embargo posee algunas desventajas:

- Son complicados de implementar.
- El algoritmo de regresión lineal para implementarlo requiere de tasas de muestreo que van desde los 512 Hz a 30 KHz.
- Las relaciones de estado que describen la cinemática rotacional en tres dimensiones normalmente **requieren vectores de estado grandes** y una implementación de filtro de **Kalman extendido** para linealizar el problema.



Algoritmos de Orientación

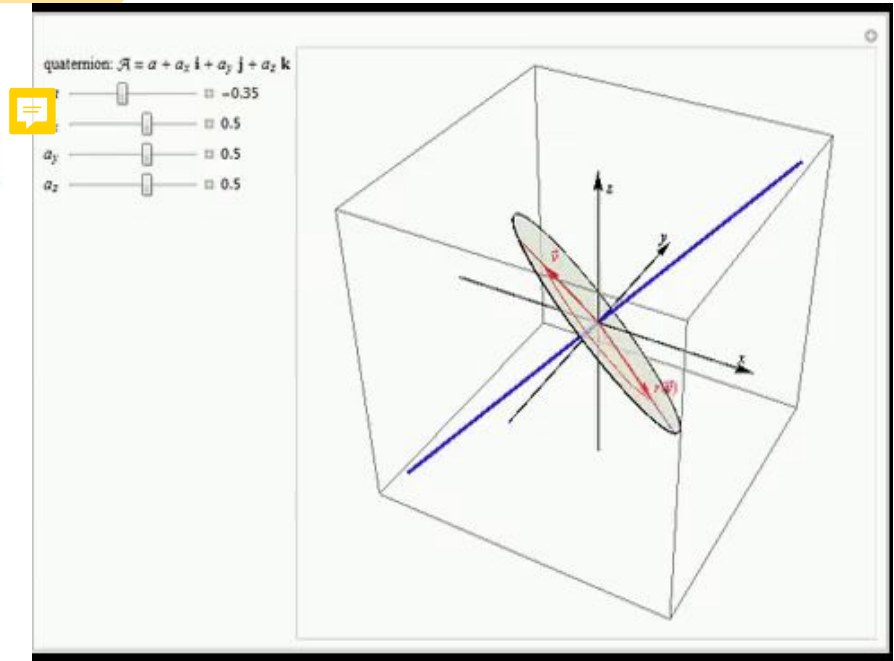
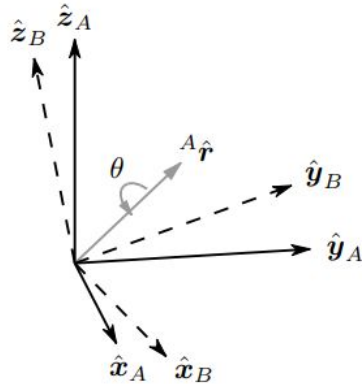
Debido a las desventajas mencionadas anteriormente, surgieron varias alternativas para reducir la complejidad del algoritmo manteniendo un buen grado de precisión:

- Mahony desarrolló un filtro complementario que es una solución eficiente y eficaz, aunque sólo se obtiene un buen desempeño con IMUs.
- Madgwick desarrolló un filtro de orientación que sirve tanto para IMUs como MARGs.

Algoritmo de Madgwick

- El filtro emplea una representación de cuaternión de la orientación para describir la orientación en tres dimensiones.

$${}^A_B\hat{\mathbf{q}} = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4] = \left[\cos\frac{\theta}{2} \quad -r_x\sin\frac{\theta}{2} \quad -r_y\sin\frac{\theta}{2} \quad -r_z\sin\frac{\theta}{2} \right]$$



Algoritmo de Madgwick

- El filtro emplea una representación de cuaternión de la orientación para describir la orientación en tres dimensiones.
- Se basa en un algoritmo optimizado en base a encontrar el descenso del gradiente que permite un buen rendimiento a tasas de muestreo bajas (10 Hz).
- Requiere de un (IMU) o dos (MARG) parámetros ajustables definidos por las características observables de los sistemas.

Algoritmo de Madgwick

Posee:

- Un algoritmo de compensación de distorsión magnética en tiempo real.
- Un algoritmo de compensación de deriva del giroscopio.



Requiere para cada actualización:

- 109 operaciones aritméticas escalares (IMU).
- 277 operaciones aritméticas escalares (MARG).

Algoritmo de Madgwick

Posee:

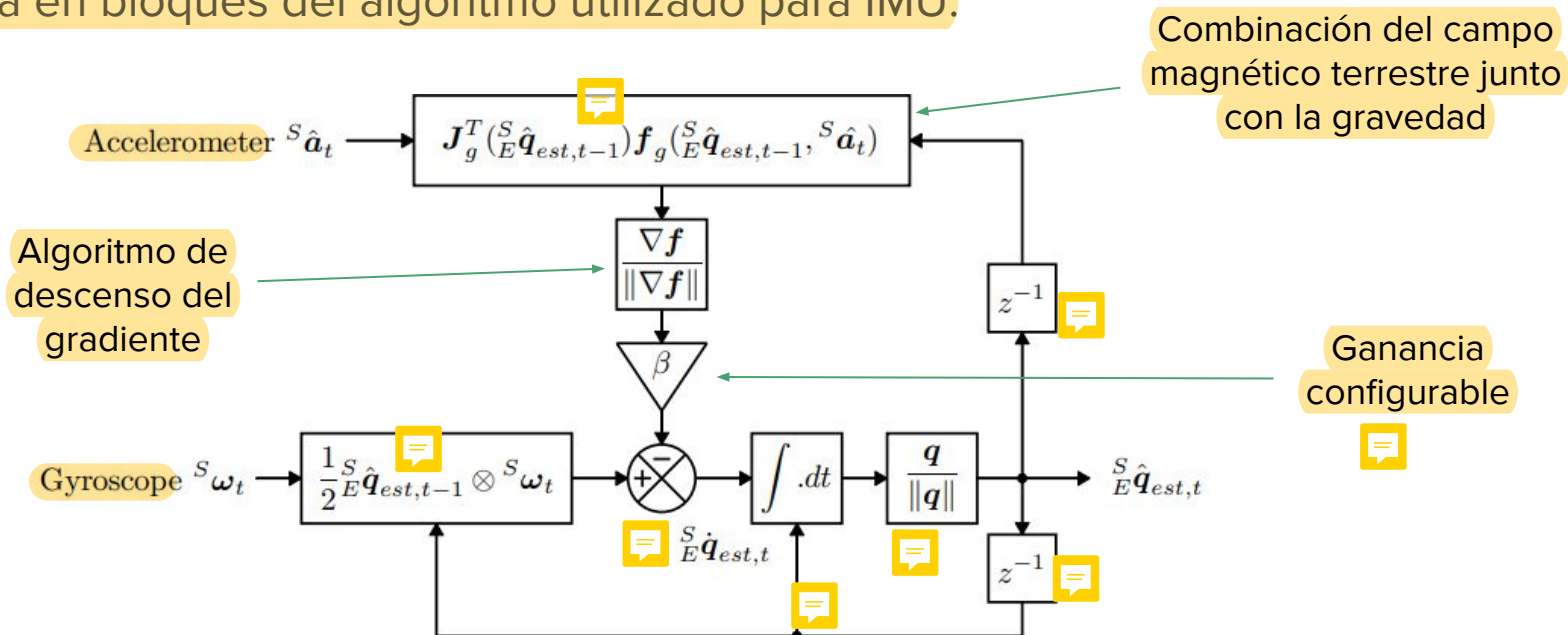
- Un algoritmo de compensación de distorsión magnética en tiempo real.
- Un algoritmo de compensación de deriva del giroscopio.

Requiere para cada actualización:

- 109 operaciones aritméticas escalares (IMU).
- 277 operaciones aritméticas escalares (MARG).

Algoritmo de Madgwick

Diagrama en bloques del algoritmo utilizado para IMU:

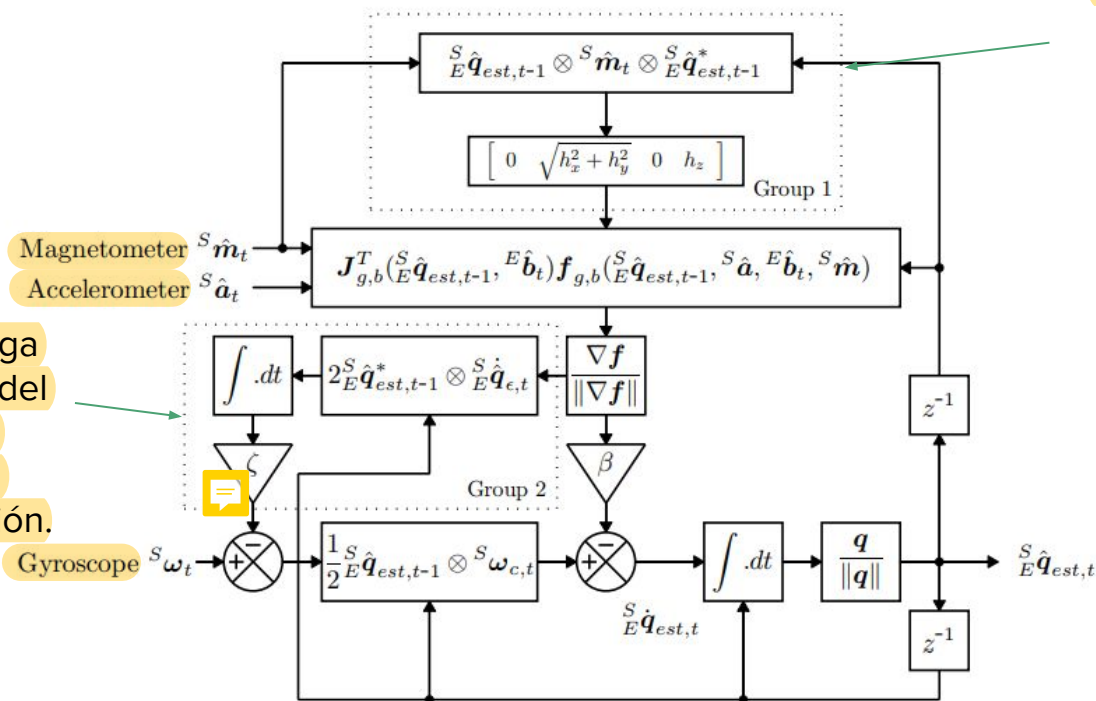


Algoritmo de Madgwick

Diagrama en bloques del algoritmo utilizado para MARG:

Grupo 1: Se encarga de corregir la distorsión magnética.

Grupo 2: Se encarga de corregir el bias del giroscopio para reducir la deriva durante la integración.

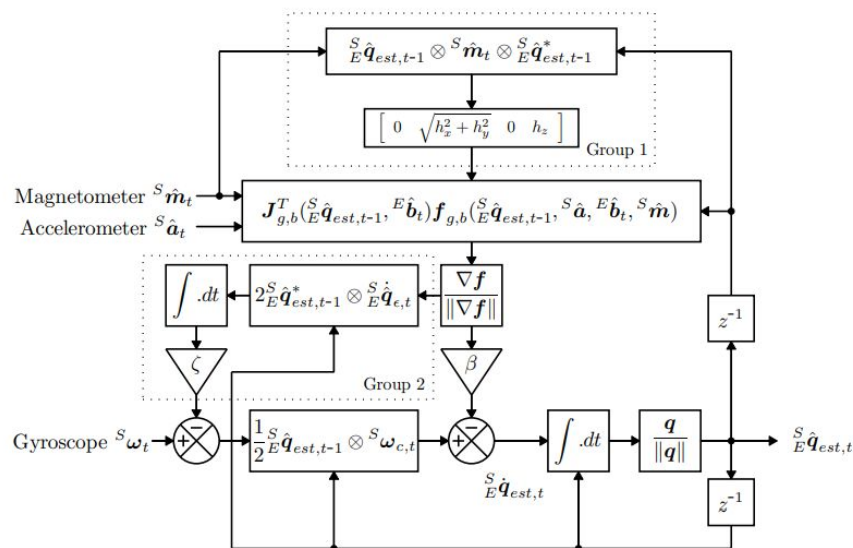


Algoritmo de Madgwick

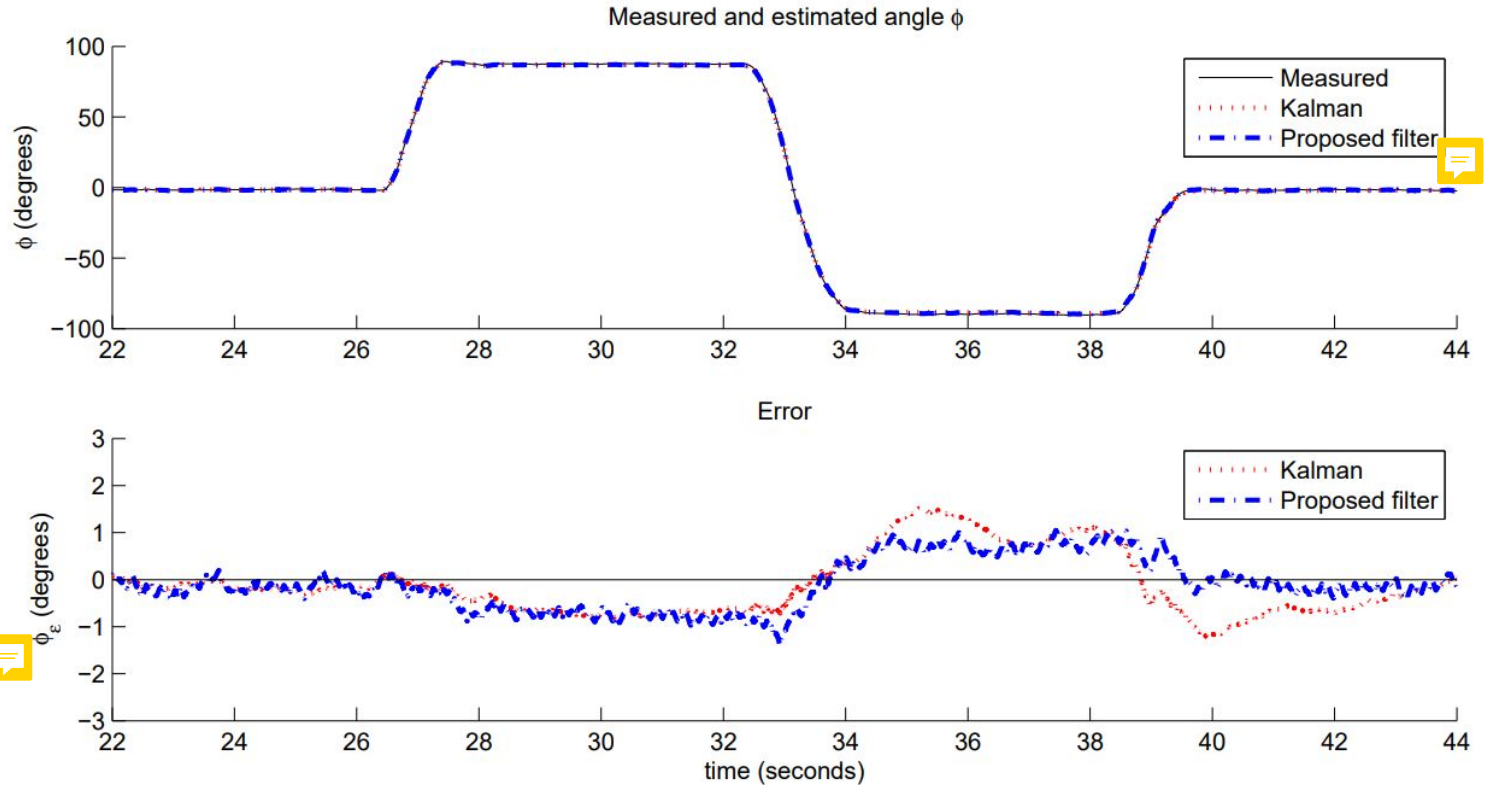
Diagrama en bloques del algoritmo utilizado para MARG:

- β representa todos los errores del giroscopio que poseen media cero.
- ζ representa la tasa de convergencia para eliminar los errores de medición del giroscopio que no son de media cero.

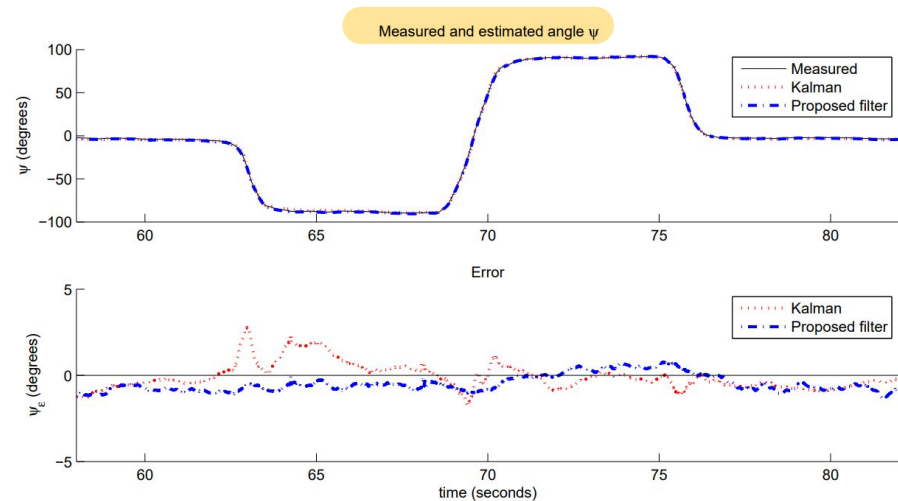
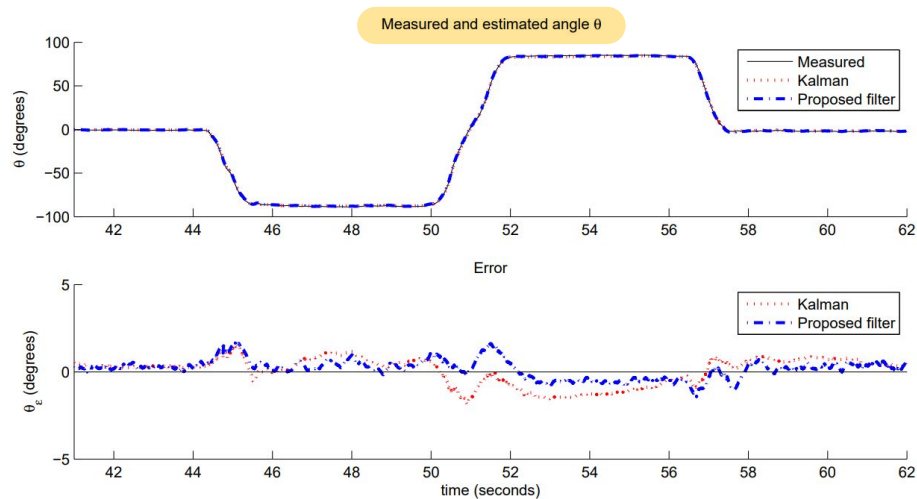
Ambos coeficientes representan los errores ocasionados por el bias del giroscopio.



Algoritmo de Madgwick - Desempeño



Algoritmo de Madgwick - Desempeño



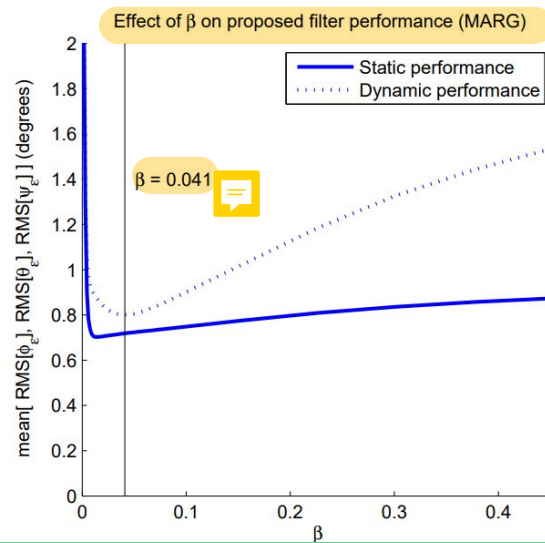
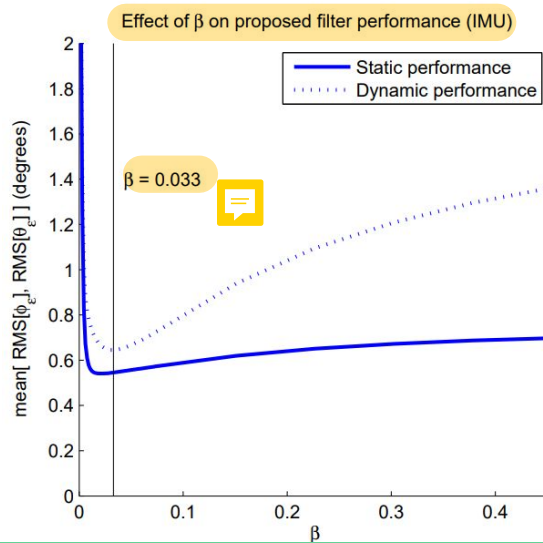
Algoritmo de Madgwick - Desempeño

Desempeño obtenido con respecto a un algoritmo basado en Kalman Filter:

Euler parameter	Kalman-based algorithm	Proposed filter (MARG)	Proposed filter (IMU)
RMS[ϕ_ϵ] static	0.789°	0.581°	0.594°
RMS[ϕ_ϵ] dynamic	0.769°	0.625°	0.623°
RMS[θ_ϵ] static	0.819°	0.502°	0.497°
RMS[θ_ϵ] dynamic	0.847°	0.668°	0.668°
RMS[ψ_ϵ] static	1.150°	1.073°	N/A
RMS[ψ_ϵ] dynamic	1.344°	1.110°	N/A

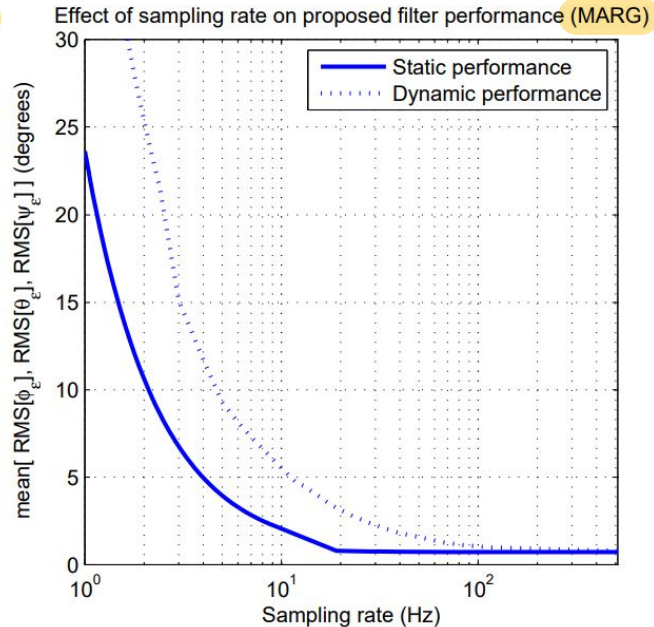
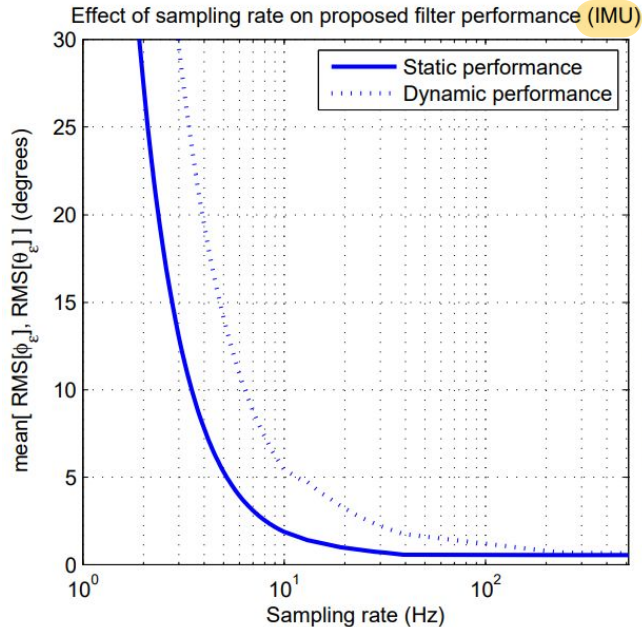
Algoritmo de Madgwick - Desempeño

El parámetro β es ajustable. Existe un valor óptimo que debe ser lo suficientemente alto para minimizar los errores debidos a la deriva integral, pero lo suficientemente bajo como para que no se introduzcan ruidos innecesarios en grandes pasos de iteraciones del descenso de gradiente.



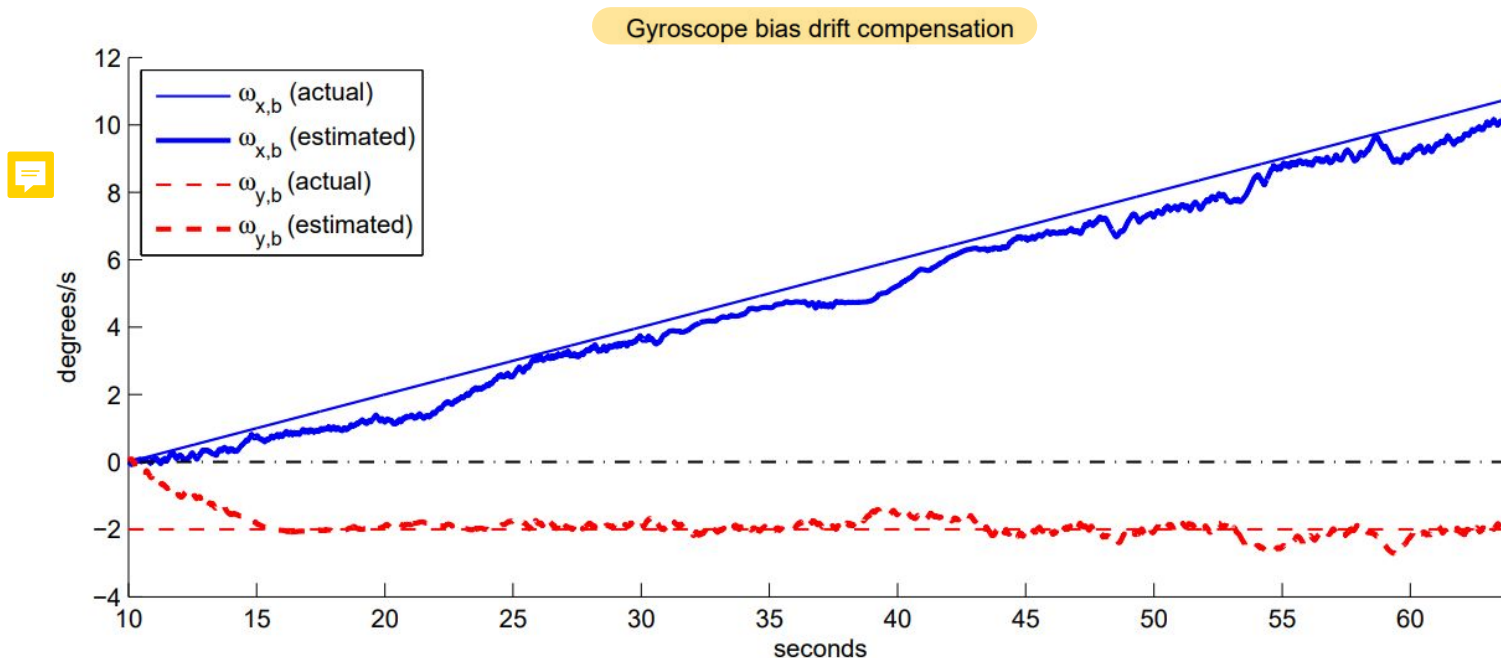
Algoritmo de Madgwick - Desempeño

Frecuencia de muestreo - A medida que la frecuencia de muestreo aumenta la performance del filtro aumenta.




Algoritmo de Madgwick - Desempeño

Deriva del giroscopio



MPU 9250

- Posee internamente un giroscopio y acelerómetro de tres ejes cada uno.
- Adicionalmente viene con un dispositivo AK 8963 que le proporciona un magnetómetro.
- Posee 9 ADCs de 16 bits para la lectura de cada uno de los 9 grados de libertad.
- Se puede utilizar tanto por I2C como por SPI. 
- Soporta Digital Motion Processing™ (DMP™)

Nosotros nos enfocaremos en leer cada uno de los datos y los filtraremos con el algoritmo de Madgwick.



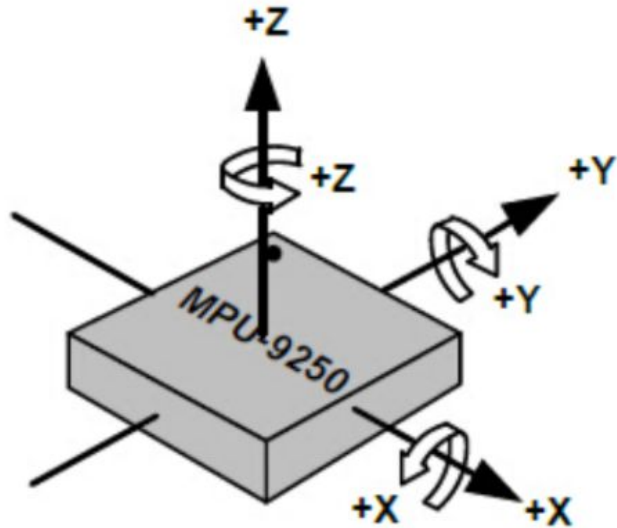
MPU 9250

Escalas configurables:

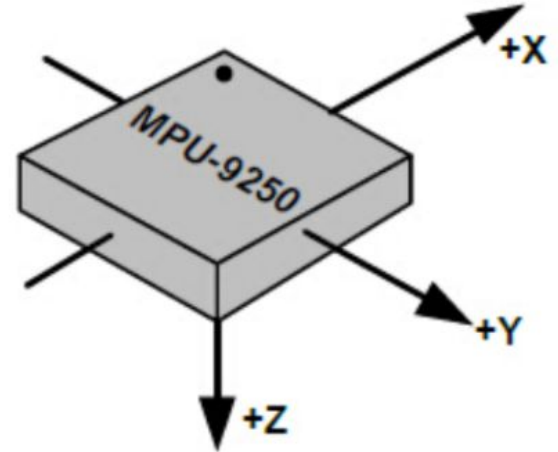
- Giroscopio: $\pm 250, \pm 500, \pm 1000, \pm 2000$ °/sec.
- Acelerómetro: $\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g.
- Magnetómetro: ± 4800 uT.

$$medicion = \frac{lecturaSensor}{2^{15} - 1} * rangoMaximo$$

MPU 9250



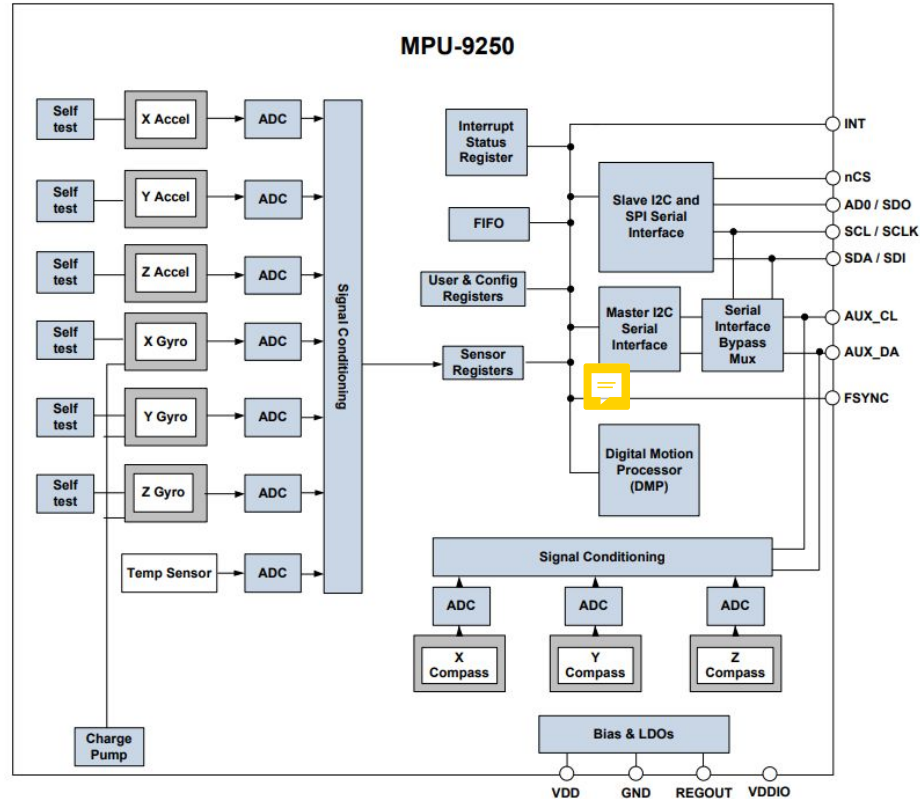
gyro & accelerometer



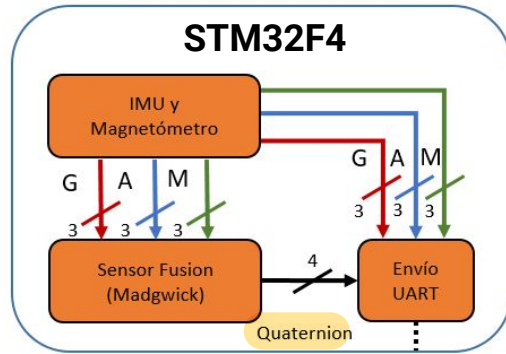
magnetometer

MPU 9250

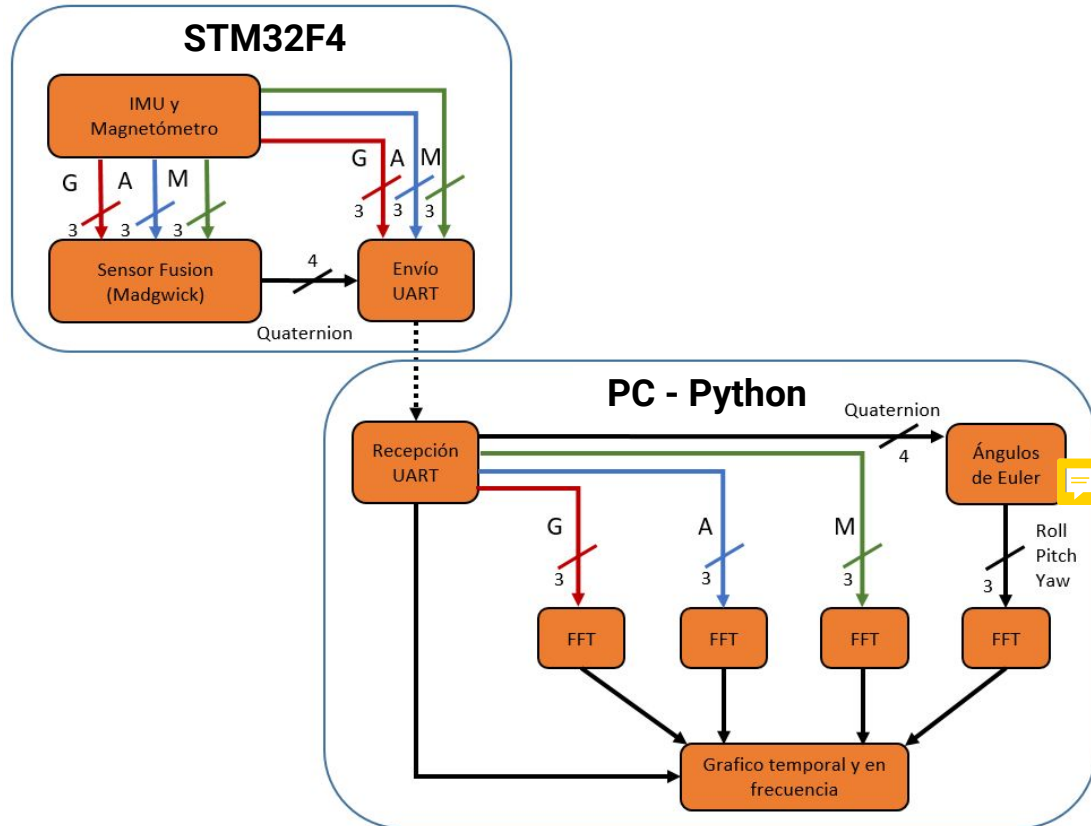
- [Datasheet](#)
- [Register Map](#)



¿En qué consiste el TP de sensores?



¿En qué consiste el TP de sensores?



Referencias

- [Google Tech Talks](#)
- [Matlab Tech Talks](#)
- [Transformar lecturas de Acelerómetro a ángulos Pitch y Roll](#)
- [MIT - Kalman Filter](#)
- [Fusion of GPS, IMU and Odometry - Kalman Filter](#)
- [Descripción gráfica - Kalman Filter](#)
- [Matlab Videos - Kalman Filter](#)

