

---

---

# CAPÍTULO 1

---

## CALIBRACIÓN DEL MAGNETÓMETRO

### 1.1. Objetivos

El objetivo de estas pruebas es comprender y caracterizar el magnetómetro de 3 ejes Honeywell HMC5583, incorporado para asistir en la determinación de la orientación absoluta del cuadricóptero.

### 1.2. Procedimiento

El modelo adoptado para relacionar las medidas de campo magnético sin calibrar con las medidas calibradas es idéntico al utilizado a la hora de calibrar el acelerómetro y el giróscopo. Se trata de realizar una transformación lineal de las medidas obtenidas para transformarlas en los valores de campo magnético. Se propone un modelo de la forma:

$$\mathbf{C}^p = K_m(\tilde{\mathbf{C}}^m - \mathbf{b}_m)$$

Las principales distorsiones que sufre un magnetómetro son debidas a los efectos de *hard iron* y *soft iron*. El primero es debido a la presencia de imanes permanentes, mientras que el segundo se debe a la distorsión producida por elementos metálicos como por ejemplo tornillos o conectores. Idealmente el campo magnético terrestre medido en diferentes direcciones es constante, por lo tanto la representación de dichas medidas es una esfera centrada en el origen. Sin embargo, el resultado de los efectos mencionados es que la representación sea una elipsoide (debido al efecto de *soft iron*) centrada en un punto diferente al origen (debido al efecto de *hard iron*). Por esta razón la calibración del sensor, a diferencia de la realizada para el acelerómetro y el giróscopo, debe ser dentro del cuadricóptero con todos los sistemas operando en condiciones normales<sup>1</sup> a fin de poder compensar dicho efecto.

El metodo de calibración propuesto en [?] consiste en tomar una serie de medidas de campo magnético terrestre en la mayor cantidad de orientaciones posibles.

---

<sup>1</sup>Incluso con los motores encendidos. Se quitaron las hélices.

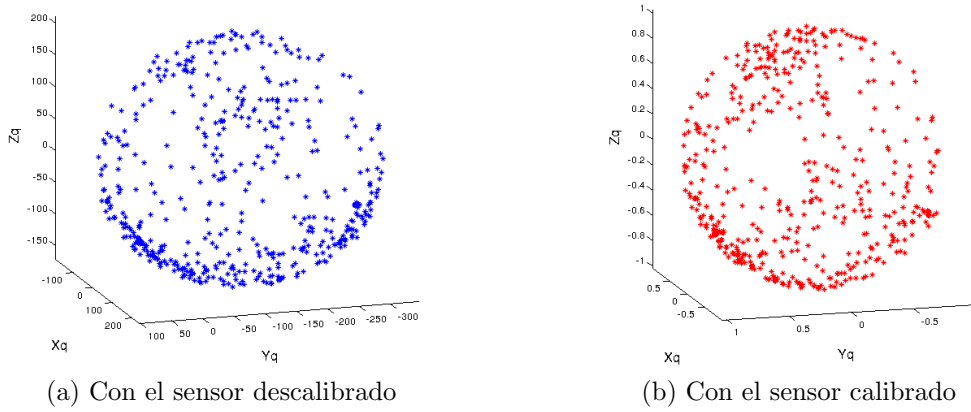


Figura 1.1: Medias de campo magnético Terrestre

Para asegurar la calidad de los datos es recomendable tomar medidas distribuidas uniformemente en todas las direcciones. Se utilizó un algoritmo desarrollado por *Alain Barraud* para realizar la calibración, dicho algoritmo no es otra cosa que la implementación de la minimización presente en el método propuesto por [?]. El resultado que se obtiene es la matriz y el vector que hacen que las medidas tomadas aproximen una esfera de centro el origen y radio unitario.

### 1.3. Resultados y Análisis

Los parámetros obtenidos son los siguientes:

$$\begin{aligned}
 \blacksquare K_m &= \begin{pmatrix} 4,08 \times 10^{-3} & 2,54 \times 10^{-5} & 5,36 \times 10^{-4} \\ 04,04 \times 10^{-3} - 1,13 \times 10^{-4} & & \\ 004,77 \times 10^{-3} & & \end{pmatrix} \\
 \blacksquare \mathbf{b}_m &= \begin{pmatrix} -63,16 \\ -209,61 \\ -38,62 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

En la figura 1.1a se observan graficadas las medidas de campo magnético con el sensor descalibrado en los ejes solidarios a la plataforma. Como era de esperarse, debido a los efectos nombrados anteriormente, con el sensor descalibrado no se obtiene una esfera. En la figura 1.1b tenemos las medidas de campo magnético con el sensor calibrado. La magnitud que medimos luego del proceso de calibración se encuentra normalizada. Dado que utilizaremos dicho sensor para determinar una orientación, nos interesan simplemente las relaciones entre las componentes medidas en cada eje del sensor, por lo tanto trabajar con las medidas normalizadas arroja el mismo resultado que trabajar con las medidas de campo magnético expresadas en Teslas o Gauss.

Para verificar que la calibración es exitosa se debe analizar con mayor detalle las características de la “esfera” obtenida. Con los datos convertidos se procede a realizar

una minimización gracias a los mínimos cuadrados para obtener las coordenadas del centro de la esfera y su radio.

Los resultados que se obtienen son:

- Centro de la esfera:  $(-3,65 \times 10^{-3}; -9,40 \times 10^{-3}; 1,67 \times 10^{-3})$
- Radio de la esfera: 0,996
- Desviación estándar de la medida del radio:  $\sigma = 1,54 \times 10^{-2}$

A partir de dichos resultados se puede concluir que el resultado de la calibración es exitoso, ya que la representación de las medidas es prácticamente una esfera de radio 1 centrada en el origen.