

CAPÍTULO 3. COMPONENTES DEL SISTEMA

En este capítulo se hace una descripción de los distintos dispositivos que componen el sistema diseñado para la generación de MDTs.

El componente principal es el **escáner láser (ALS Airborne Laser Scanner)**, el cual es el encargado de realizar barridos de la superficie terrestre mediante pulsos láser, también llamados **scans**, y generar una nube de puntos los cuales, expresados en el sistema de coordenadas propio del dispositivo, representan las distancias desde el dispositivo hasta la superficie.

El sistema basado en la tecnología LIDAR que se ha diseñado en el proyecto, se integra dentro de la aviónica de un vehículo aéreo, por lo que es necesario tener información acerca del movimiento del propio vehículo y de su localización. De esta manera se hace necesario un **sistema de navegación inercial (INS – Inertial Navigation System)** o **Unidad de Medidas Inerciales (IMU – Inertial Measurement Unit)** que proporcione esta información.

Como es lógico, estos dispositivos deben estar controlados por algún tipo de computador que se encargue de ejecutar el software que coordina sus acciones. Para ello se necesita una **tarjeta de procesamiento o SBC (Single Board Computer)** de tamaño reducido para que pueda ser integrada junto con los otros dos componentes del sistema de generación de MDTs.

Por último se necesita un **vehículo aéreo**, el lugar donde se van a integrar los dispositivos anteriores y desde donde se llevará a cabo el proceso de la adquisición de los datos de la superficie terrestre durante los vuelos.

3.1. LD-MRS 400001

El *laser scanner LD-MRS 400001* (a partir de aquí se hace referencia al mismo como LD-MRS) es un instrumento de medida de distancias que se basa en la **tecnología LIDAR** para llevar a cabo la **detección** direccional de objetos.

El LD-MRS consiste en un **conjunto de sensores láser y un sistema de espejos**. Ambos están incluidos dentro de una encapsulado resistente, el cual dispone de una apertura frontal a modo de ventana por donde son emitidos y recibidos los pulsos láser (Figura 12). En un lateral presenta las conexiones de las que dispone, tanto para la alimentación como para la comunicación con otros dispositivos. En el otro lateral presenta una apertura para ventilación.



Figura 12. LD-MRS 400001 (18)

1-Ventana
2-Conexiones

Su función es similar a la de un radar, pero con la particularidad de usar tecnología láser en lugar de ondas de radio para la detección. De ahí viene la denominación de la tecnología como **LIDAR (*Light Detection And Ranging*)**, que es una evolución de la tecnología **RADAR (*Radio Detection And Ranging*)**. Al ser utilizado para una aplicación que se integra en una aeronave se le puede denominar también como ALS o *Airborne Laser Scanner*. Es uno de los componentes fundamentales del sistema diseñado para generar MDTs.

3.1.1. Principio de funcionamiento

El LD-MRS consta de **dos diodos láser**, los cuales emiten pulsos láser en el **rango infrarrojo** del espectro, específicamente con una longitud de onda $\lambda = (895\text{nm}, 915\text{nm})$, que se corresponde con luz infrarroja invisible. Estos pulsos son emitidos en una determinada dirección angular y se propagan por el medio circundante (rayo transmitido) hasta que encuentran en su trayectoria algún **obstáculo en el cual impactan y**

se reflejan. La reflexión crea un rayo reflejado que se propaga en sentido contrario al transmitido y regresa hacia el LD-MRS donde unos **foto-diodos receptores** lo detectan (Figura 13).

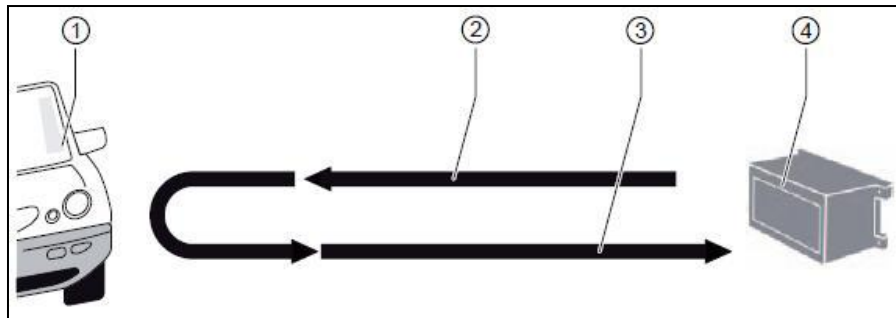


Figura 13. Tiempo de vuelo (TOF – Time Of Flight) (18)

- 1- Obstáculo
- 2- Rayo transmitido
- 3- Rayo reflejado
- 4- LD-MRS

De cada pulso láser que regresa a los foto-diodos, se recoge información acerca de la dirección en la que viajaba el mismo y del tiempo transcurrido desde que fue emitido hasta que fue recibido su rayo reflejado correspondiente, es decir el **tiempo de vuelo (TOF – Time Of Flight)**. Con esta información y, conociendo la velocidad a la que viaja la luz, es posible calcular la distancia física a la que se encontraba el objeto en el que impactó el pulso láser. Un primer procesamiento de esa información (dirección y distancia) proporciona la posición en la que se encuentra dicho objeto, expresada en el sistema de coordenadas propio del dispositivo.

El procedimiento antes descrito corresponde a la emisión de un único pulso láser, sin embargo, el proceso de medida del dispositivo se basa en la emisión periódica de pulsos a una tasa muy elevada. El conjunto de pulsos láser que el LD-MRS emite en un periodo de tiempo dado, y abarcando un área determinada delante de la parte frontal del mismo, se corresponde con un conjunto de distancias o puntos en el sistema de referencia propio del dispositivo, al cual se le conoce como **scan o barrido** (de aquí en adelante se nombrará indistintamente a este conjunto de pulsos mediante estos términos). Este conjunto de puntos se obtiene periódicamente a una frecuencia determinada, es decir, se emiten un conjunto de pulsos y se obtienen el conjunto de distancias correspondientes (*scan* o barrido), luego se vuelve a emitir de nuevo otro conjunto de pulsos y se obtiene el *scan* correspondiente a estos, y así sucesivamente. Más adelante en este capítulo se describe con más detenimiento la estructura de este conjunto de pulsos láser que emite el LD-MRS.

3.1.2. Apertura angular

Para ampliar su **campo de visión**, el LD-MRS dispone de un **sistema de espejos** que se colocan delante de las fuentes láser (diodos emisores). Estos espejos se encargan de **desviar los pulsos** láser de manera ordenada y en determinadas direcciones conocidas, para así barrer cuanta más superficie sea posible del medio que se encuentra ante la parte frontal del LD-MRS.

El sistema de espejos **desvía los pulsos** tanto en **dirección vertical como en horizontal** (aperturas vertical y horizontal), de manera que cada uno de ellos se corresponderá unívocamente con un determinado ángulo horizontal y vertical. Este proceso se realiza siguiendo un determinado **patrón**, de manera que el campo de visión será configurado con unos ciertos ángulos de apertura máximos y el LD-MRS realizará periódicamente el barrido de la misma superficie empezando por un extremo y terminando por el extremo opuesto.

La **apertura vertical del LD-MRS no es configurable** ya que se estructura siempre de la misma manera, en **cuatro planos**, desviados cada uno de ellos **0.8°** con respecto a sus consecutivos por encima y por debajo.

La disposición de los ángulos verticales se aprecia con detalle en la Figura 14, en la cual se le asigna un color a cada uno de los planos (solo con la intención de diferenciarlos).

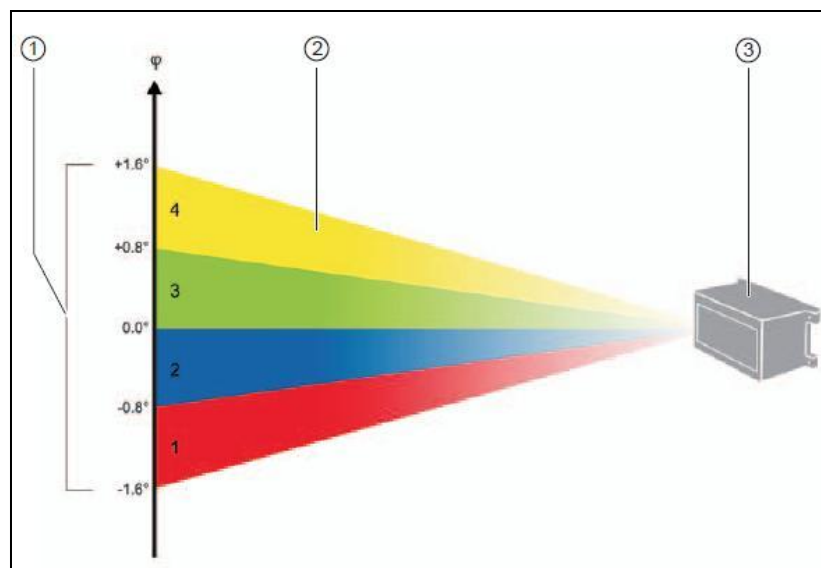


Figura 14. Apertura vertical (18)

- 1- Ángulo de apertura vertical de cada plano
- 2- Uno de los cuatro planos
- 3- LD-MRS

Por el contrario, la **apertura horizontal sí es configurable**, y se pueden decidir los ángulos máximos que van a tomar los pulsos láser tanto a la izquierda como a la derecha del centro del LD-MRS (eje x de la Figura 15).

La **apertura horizontal** comprende un ángulo total de apertura central de **85°** (visto el LD-MRS desde arriba, corresponde a **+35° a la izquierda**, que son los ángulos positivos, y **-50° a la derecha**, los negativos) para los cuatro planos que se mencionaban cuando se habló antes de la apertura vertical. Se puede **extender el rango** de +35° hasta **+50° por la izquierda** y de -50° a **-60° por la derecha**, sin embargo esto sólo es posible **para dos de los cuatro planos** de la apertura vertical.

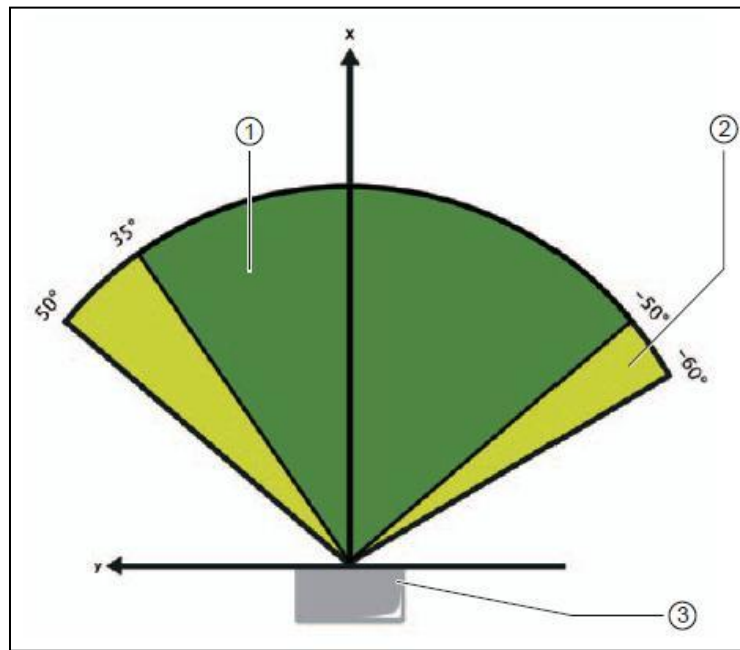


Figura 15. Apertura horizontal (18)

- 1- Rango central
- 2- Extensiones del rango
- 3- LD-MRS

Al realizar el proceso de barrido siempre **dos de los planos de la apertura vertical son medidos al mismo tiempo**, es decir, según la Figura 14 siempre se medirán las distancias de los planos rojo y azul simultáneamente. De la misma manera se hace lo mismo con los planos verde y amarillo.

3.1.3. Proceso de medida

El **proceso de medida** se realiza conforme a un determinado patrón, el cual se repite periódicamente con una **frecuencia** que se establece mediante el proceso de configuración inicial del dispositivo. Se describe a continuación una de las repeticiones de este proceso de medida para explicar los detalles del mismo.

Tal y como se dijo anteriormente, la apertura horizontal tiene definidos unos ángulos positivos (a la izquierda del eje x) y unos negativos (a la derecha). El LD-MRS **comienza un barrido** (una de las repeticiones) siempre por los **ángulos más positivos** (por la izquierda).

Póngase como ejemplo que se tiene configurado el dispositivo con una apertura de +50° hasta -60° (la apertura horizontal máxima). El LD-MRS empezaría pues emitiendo pulsos láser con un ángulo de +50°. Como se miden siempre **dos planos verticales simultáneamente**, se estaría emitiendo un pulso correspondiente al plano rojo y otro correspondiente al plano azul a la vez (cada uno con su inclinación vertical correspondiente). Una vez realizada la medida el **sistema de espejos se reconfigura** para emitir en otro ángulo menor que el anterior, por ejemplo en la dirección correspondiente a +49.5° (esta resolución angular de 0.5° entre cada dos

puntos se plantea únicamente a modo de ejemplo y para explicar el proceso de medida). El dispositivo volvería a emitir dos pulsos, uno correspondiente al plano rojo y otro correspondiente al plano azul.

El proceso seguiría así hasta llegar a los $+35^\circ$, en el cual **entran en juego los planos verde y amarillo**, que son medidos también simultáneamente, alternándose con los planos rojo y azul. Por ejemplo, si con una desviación de $+35^\circ$ medimos simultáneamente los planos rojo-azul, la siguiente medida se realizaría con una desviación de $+34.75^\circ$ que correspondería a los planos verde-amarillo (ahora la resolución angular entre puntos de los planos rojo-azul y verde-amarillo es de 0.25°). Lógicamente, la siguiente medida corresponde a $+34.5^\circ$ y a los planos rojo-azul (Figura 16). El proceso continúa así y cuando se llega a -50° , el LD-MRS vuelve a tomar medidas otra vez utilizando solo dos de los planos, esta vez con los colores verde y amarillo y con una resolución angular de 0.5° de nuevo, así se repite hasta los -60° . Cuando se termina se obtiene el *scan* completo o conjunto de distancias correspondientes a una repetición del proceso de medidas.

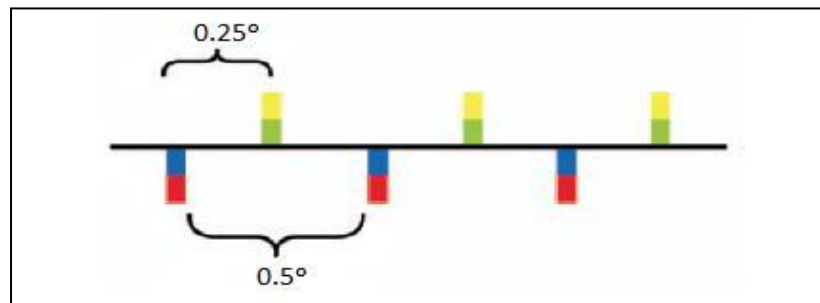


Figura 16. Diferencia angular entre medidas horizontales (18)

Esto corresponde a un barrido completo del LD-MRS. El dispositivo necesita de un pequeño periodo de tiempo para colocar de nuevo el sistema de espejos en la posición inicial. Entonces vuelve a realizar otro barrido desde el principio, tal y como se ha descrito. El proceso se repite a una frecuencia determinada, la cual puede elegirse entre un conjunto de frecuencias de funcionamiento que tiene el dispositivo, de las cuales se habla más adelante.

3.1.4. Sistema de referencia y origen de coordenadas

Los datos que proporciona el LD-MRS son **sencillamente puntos**, expresados en coordenadas cartesianas, y con un conjunto de **banderas o flags** asociadas que proporcionan información acerca de algunas características de los mismos. Estos puntos, como ya se ha dicho, se agrupan en **conjuntos llamados scans**, que son los puntos que se han medido en un mismo barrido (desde un extremo de la apertura angular hasta el otro extremo).

Es necesario un sistema de coordenadas para que los puntos puedan ser expresados en el espacio de manera unívoca. El sistema de referencia del LD-MRS queda definido en la Figura 17.

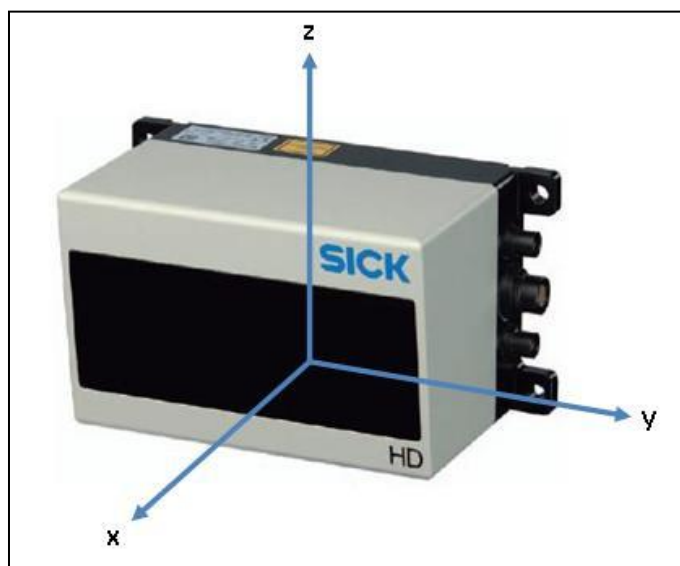


Figura 17. Sistema de referencia del LD-MRS

El **origen de coordenadas** se sitúa **en los sensores** láser de los que dispone el LD-MRS, los cuales están colocados en la posición que se detalla en la Figura 18.

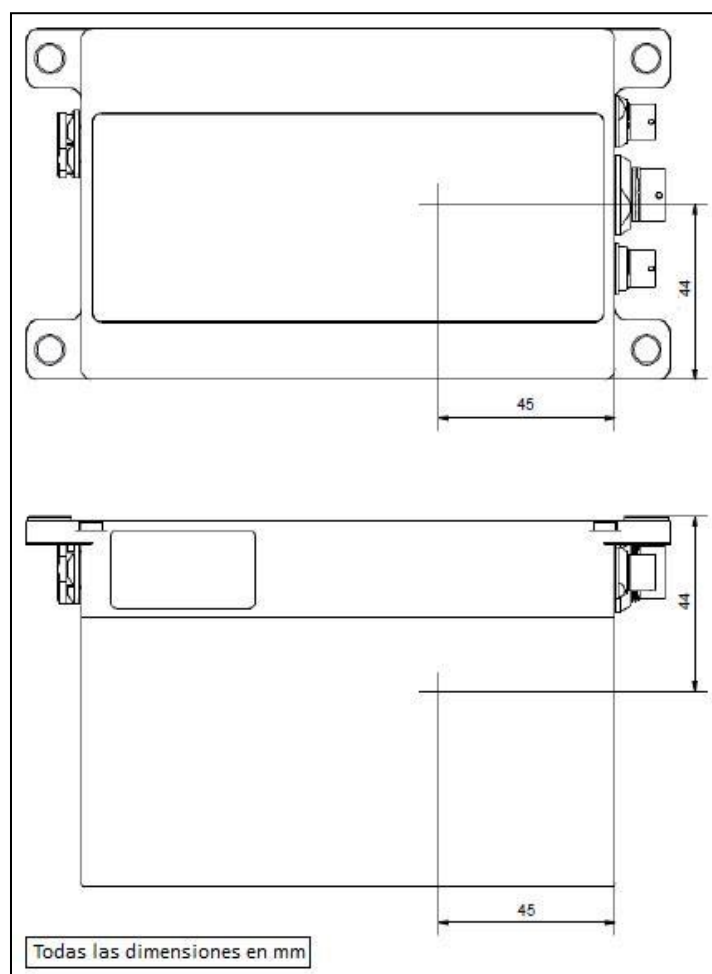


Figura 18. Origen de coordenadas y posición de los sensores (18)

3.1.5. Frecuencia de funcionamiento y resolución angular

El LD-MRS puede ser configurado con **tres frecuencias de funcionamiento** distintas, las cuales se encuentran estrechamente **relacionadas con la resolución angular** que proporciona el dispositivo en cada barrido.

Las frecuencias posibles se pueden ver en la Tabla 1. Como particularidad comentar que si se configura el LD-MRS a la **frecuencia menor (12.5 Hz)**, se puede **elegir** entre una **resolución constante** de 0.25° en toda la apertura angular, o por el contrario establecer una resolución **por sectores** (Figura 19), lo que significa tener una resolución óptima en la parte central de la apertura decreciendo ésta a medida que se entra en los sectores de la apertura que están más alejados del centro.

Frecuencia (Hz)	Resolución ($^\circ$)
12.5	Constante/Por sectores
25	0.25
50	0.5

Tabla 1. Frecuencias de trabajo del LD-MRS y resolución angular

Esta configuración por sectores es favorable en aplicaciones basadas en la tecnología LIDAR que necesiten de una resolución máxima en la parte frontal del láser. En **este proyecto** esto no es necesario sino que más bien se pretende tener una **resolución constante** (no por sectores) para todo la apertura del dispositivo. De esta manera el MDT tendrá cierta homogeneidad en cuanto a la distribución de los puntos que lo forman, y no un exceso de puntos en unos sectores y puntos muy alejados unos de otros en otros. Esto es simplemente una decisión de configuración puesto que en la distribución de los puntos influyen más factores, como se verá más adelante.

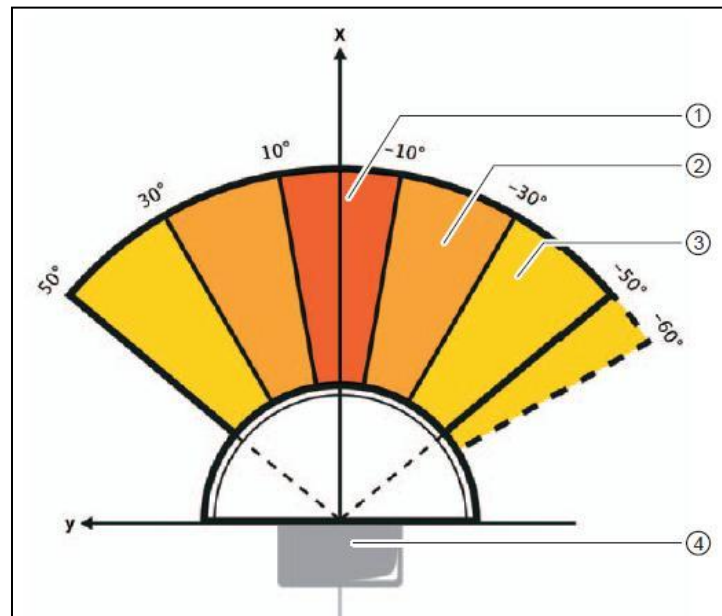


Figura 19. Resolución angular por sectores (18)

- 1- Área central, resolución angular de 0.125°
- 2- Área media, resolución angular de 0.25°
- 3- Área lateral, resolución angular de 0.5°
- 4- LD-MRS

3.1.6. Multi-eco

En cualquiera de las medidas que se realizan podría darse la situación de que uno de los pulsos láser impactara contra un objeto que reflejase sólo una parte de su potencia (primer impacto), por ejemplo un cristal parcialmente opaco, dejando así pasar el resto de la potencia con la misma dirección y sentido del rayo transmitido inicial. La potencia que se ha transmitido tras el primer impacto podría alcanzar un segundo objeto (segundo impacto) en el cual se reflejase el resto de la potencia.

Esto daría lugar a **dos rayos reflejados** distintos, los cuales **corresponden al mismo rayo transmitido** del LD-MRS. Se tienen entonces dos distancias (dos puntos en el sistema de coordenadas del dispositivo) asociadas a una misma dirección angular. Una situación similar se muestra en la Figura 20.

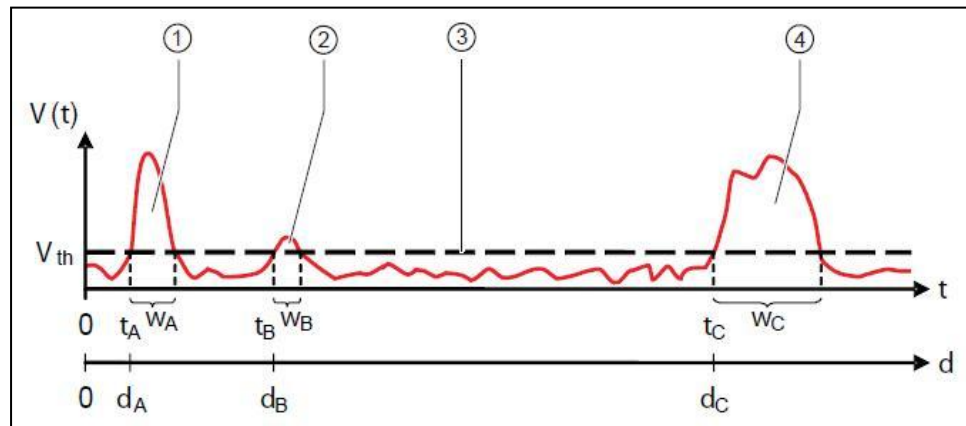


Figura 20. Ejemplo de multi-eco (18)

- 1- Eco de una ventana
- 2- Eco de una gota de lluvia
- 3- Umbral de detección (voltios)
- 4- Objeto

La situación descrita representa la capacidad del LD-MRS para **detectar múltiples ecos** de un mismo pulso láser transmitido, que en el caso del modelo utilizado en este proyecto alcanza como **máximo hasta 3 ecos**. Esta es una cualidad destacable en el caso de que se esté escaneando alguna superficie con varias capas. Un ejemplo sería el de un edificio con ventanas en el que interese saber la distancia hasta las ventanas, pero también los objetos que se encuentran dentro del edificio y tras las ventanas.

3.1.7. Alcance de los pulsos

La **sensibilidad que presentan los sensores** del LD-MRS, suponiendo que se trabaja en un medio con condiciones óptimas (condiciones meteorológicas favorables, ausencia de partículas suspendidas en el aire, etc.) se ven **influidas** por factores como el **color** del objeto y el **tipo de la superficie** del mismo.

La reflexión de un pulso láser en una superficie perfectamente difusa de color blanco se considera, por definición en el manual del dispositivo, como una reflexión del 100% del rayo transmitido (según esta afirmación, un espejo tendría una reflectividad mayor del 100%).

Según las consideraciones anteriores, el fabricante garantiza que el LD-MRS es **capaz de detectar un objeto con una reflectividad del 10% desde 0.3m hasta 50m**.

3.1.8. Conexiones e Interfaz

La comunicación del LD-MRS con otros dispositivos se realiza a través de sus **conexiones**, las cuales pueden verse en la Figura 21.

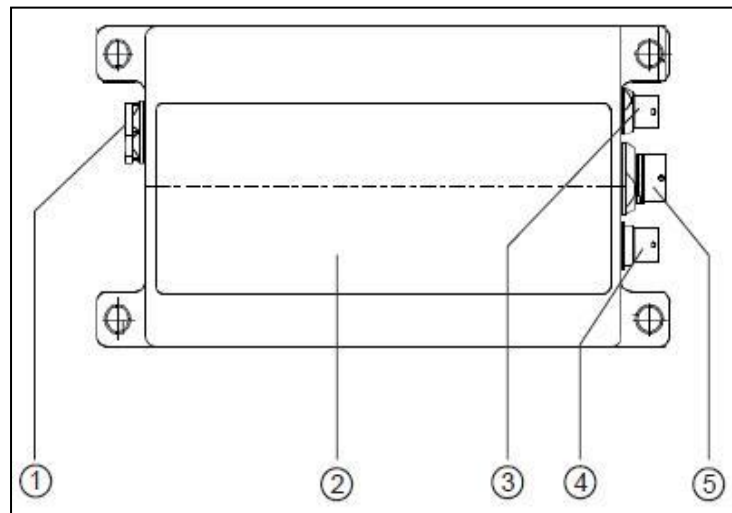


Figura 21. Conexiones (13)

- 1- Unidad de ventilación
- 2- Ventana
- 3- Ethernet
- 4- Interfaz de datos/Sincronización
- 5- Alimentación

El LD-MRS genera periódicamente conjuntos de distancias o puntos (expresados en coordenadas cartesianas) que se conocen como **scans**. Estos datos son transmitidos automáticamente a través de sus conexiones, hacia el dispositivo que esté conectado al otro lado del cable que, en el caso de este proyecto es una **tarjeta de procesamiento o SBC (Single Board Computer)**.

La conexión con la tarjeta de procesamiento se puede realizar usando tanto el estándar **Ethernet** como el **RS-232**. No obstante, ésta última se utiliza mayormente para la **sincronización** del dispositivo, dejando la **conexión Ethernet para la transmisión de datos**, la cual alcanza velocidades considerablemente mayores.

A la hora de recibir los datos en la tarjeta de procesamiento, se dispone de una amplia librería de funciones que facilitan la tarea al programador y proporcionan muchas posibilidades. Entre ellas existen funciones que permiten configurar la manera en que el LD-MRS envía los datos, pudiendo así adecuar la comunicación del LD-MRS con la tarjeta de procesamiento según las exigencias del sistema diseñado.

3.1.9. Especificaciones técnicas

En la Tabla 2 pueden consultarse las características técnicas del LD-MRS. Concretamente, el modelo utilizado en este proyecto es el LD-MRS400001. La única diferencia con el modelo superior LD-MRS400102 es que éste último está optimizado para su uso en entornos con alta densidad de partículas suspendidas en el aire (polvo, contaminación, etc.). Para el propósito general de este proyecto, el modelo utilizado proporciona unas características más que suficientes.

Tipo	LD-MRS400001
Rango de distancias mensurables	0.3 ... 50 m con un 10% de la energía
Planos de un <i>scan</i> (planos/ <i>scan</i>)	4; ángulo de apertura vertical sobre 4 planos: 3.2°
Ángulo de apertura horizontal útil (por sectores)	4 planos/ <i>scan</i> : 85° + 2 planos/ <i>scan</i> : 110°; rangos solapados
Resolución angular	Mínimo 0.125° (entrelazado)
Frecuencia de escaneado	12.5 Hz (0.125 ... 0.5°)/12.5 Hz (0.25°)/25 Hz (0.25°)/50 Hz (0.5°)
Resolución de la medida	40 mm
Error estadístico (1 sigma)	100 mm
Divergencia del haz	Horizontal 0.08°, vertical 0.8° por plano, por láser 1.6°
Ecos por medida individual	3
Retardo de encendido inicial	15 s (con una temperatura ambiente de +20°C)
Fuentes de luz	2 diodos láser, rango infrarrojo (895 ... 915 nm)
Clase del dispositivo láser	Clase 1 de acuerdo con EN 60825:2007-10, ICE 60825-1 (2007-3), 21 CFR 1040.10 y 1040.11
Configuración	Vía mensajes o mediante la herramienta LD-MRS <i>Visualization</i>
Interfaz de datos Ethernet	100 Mbit, TCP/IP, full duplex
Interfaz de datos RS-232	Interfaz auxiliar, 57.6 Kbd, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de stop
Conexión eléctrica	Ethernet: conector de 4 pines Interfaz de datos/sincronización: conector de 12 pines Alimentación: conector de 4 pines
Tensión de alimentación	DC 9 ... 27 V, típicamente 12 V / 24 V, a prueba de polaridad inversa
Consumo de potencia	Máximo 10 W, típicamente 8 W, en el inicio un transitorio de 36 W
Encapsulamiento	Aluminio; apertura: policarbonato
Dimensiones (altura x anchura x profundidad)	88 mm x 164.5 mm x 93.2 mm (incluyendo los orificios para tornillos)
Peso	1 kg aprox.
Rango de temperatura de funcionamiento	-40° ... +70°C

Tabla 2. Especificaciones técnicas del dispositivo LD-MRS

3.2. Motion Tracker MTi-G

Este dispositivo denominado **Motion Tracker** y al que se hará referencia a partir de ahora como **MTi-G**, se compone de una unidad de medidas inerciales o **IMU**, integrada con un **receptor GPS**, y un DSP que trabaja como un procesador **AHRS (Navigation and Attitude Heading Reference System processor)**. Su función principal es proporcionar información detallada acerca de la posición y de la orientación que tiene el vehículo en el que se instala en cada instante de tiempo, así como de su aceleración.

La electrónica de este dispositivo se compone de sensores inerciales **MEMS (Microelectromechanical Systems)**, y de un conjunto de **sensores complementarios** como son un magnetómetro, un sensor barométrico y un sensor de temperatura. El MTi-G ofrece una variedad de opciones de configuración así como de interfaces, por lo que facilita enormemente su comunicación con otros dispositivos.

El conjunto de sensores se integra dentro de un encapsulamiento naranja de pequeño tamaño, y de peso muy reducido, lo cual lo convierte en un dispositivo muy práctico para aplicaciones de posicionamiento y orientación de vehículos de pequeñas dimensiones (Figura 22). Teniendo en cuenta que en este proyecto el objetivo principal es integrar el sistema diseñado en una aeronave de pequeñas dimensiones, el MTi-G se convierte en la herramienta ideal.



Figura 22. MTi-G (13)

- 1- Cuerpo del MTi-G
- 2- Antena GPS

3.2.1. Principio de funcionamiento

El MTi-G dispone de numerosos sensores como se puede apreciar en la Figura 23. Hacer funcionar todos estos sensores de manera ordenada y coordinada es responsabilidad de la unidad de procesamiento de

la que dispone, que es, en este caso es un DSP tipo AHRS (*Navigation and Attitude Heading Reference System processor*).

En este DSP se implementa un algoritmo muy utilizado en la integración de medidas procedentes de sensores inerciales y de receptores GPS, el **Filtro de Kalman**. En el capítulo correspondiente a los fundamentos teóricos del proyecto ya se introdujo este concepto. En este apartado se darán detalles del filtro de Kalman específico que implementa el MTi-G.

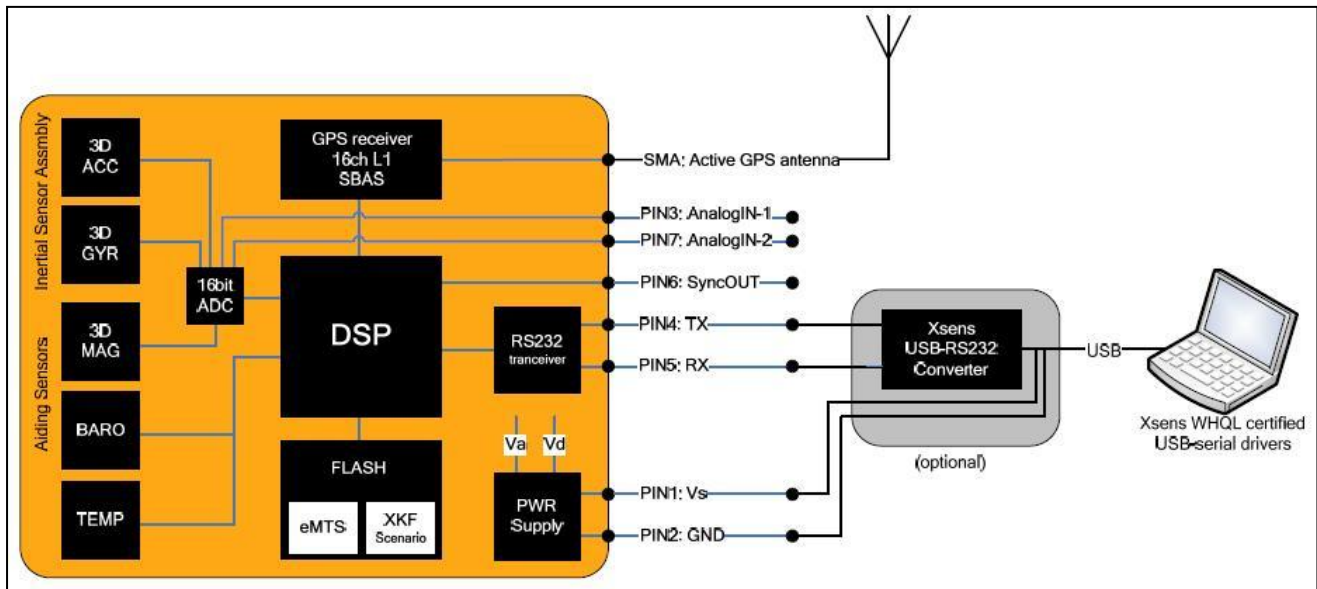


Figura 23. Arquitectura interna del MTi-G (13)

3.2.1.1. Filtro de Kalman extendido

La posición y la orientación del MTi-G se estima utilizando un **Filtro de Kalman extendido**, al que se le conoce como **Xsens Kalman Filter 6DOF GPS (XKF-6G)**. El filtro de Kalman divide su procedimiento en **dos fases**, la primera es la **fase predictiva**, en la cual hace una estimación de la posición y orientación a partir de la información que le proporcionan los sensores inerciales. Debido a pequeñas imprecisiones en los giroscopios y acelerómetros esta estimación tendrá asociado un error y una incertidumbre que crecen con el tiempo. Entonces entra en juego la **segunda etapa**, la de **corrección**, en la cual se usa el GPS y el sensor barométrico para corregir el error de la estimación de los sensores inerciales.

El filtro de Kalman no restringe sus *inputs* únicamente a las medidas de los sensores inerciales y de los receptores de GPS, sino que puede mejorar su estimación de la posición usando otros tipos de sensores. Por esta razón, además de los sensores inerciales y del GPS, el MTi-G proporciona **sensores complementarios** de temperatura, barométricos y también magnetómetros. Éstos ayudan al filtro a estimar la posición y orientación del vehículo, por lo que son incluidos como fuentes de información redundante dentro del algoritmo.

3.2.1.1.1. *Dead reckoning* utilizando sensores inerciales

La precisión de los **sensores MEMS** de los que dispone el MTi-G es muy alta, pero aun así tiene sus limitaciones, y los pequeños errores que tienen asociados pueden convertirse en errores significativos si se integran las medidas tomadas durante más de unos pocos segundos.

Los sensores inerciales MEMS se utilizan para obtener la posición y la orientación integrando en el tiempo. A este proceso se le denomina en algunas ocasiones como ***dead-reckoning***. Dada una estimación de una orientación previa del dispositivo, la velocidad angular proporcionada por el **giroscopio** es integrada para obtener una nueva estimación de la orientación. La posición se calcula en base a la posición previa; la señal del acelerómetro se integra dos veces para obtener el cambio en la posición, el cual se añade a la posición previa para así obtener la nueva estimación de la posición. El **acelerómetro** mide tanto la aceleración debida a la gravedad como la aceleración “libre” (segunda derivada de la posición), la gravedad debe primero sustraerse usando una estimación precisa de la orientación. Cuando se tienen muchos movimientos, la gravedad se convierte en una gran parte de la señal del acelerómetro. En la práctica esto significa que un pequeño error en la orientación provocará incrementos considerables en los errores de la aceleración, velocidad y posición.

3.2.1.1.2. Corrección de la posición y la orientación utilizando el GPS

La **precisión** alcanzable en las medidas de la posición y velocidad del sistema GPS **dependen** en gran medida de **ciertas condiciones** como el número de satélites “visibles”, las imprecisiones en la posición de los satélites y en la sincronización de los relojes, las condiciones atmosféricas, y otras. Los resultados también dependen de la historia, es decir, que la precisión actual depende de las medidas anteriores. El receptor GPS necesita pues un tiempo de calibración inicial para funcionar correctamente.

El MTi-G tiene un receptor de banda única (L1) preparado para GALILEO L1 *OpenService* cuando este servicio esté disponible con capacidad **SBAS**. SBAS es el acrónimo de ***Satellite-Based Augmentation System***, el cual es un sistema que mejora la precisión y fiabilidad del sistema GPS. Dadas las características del firmware proporcionado con el dispositivo las características SBAS vienen deshabilitadas por lo que no fueron utilizadas en este proyecto.

El GPS complementa al sistema inercial proporcionando unas medidas estables de posición y velocidad. Estas medidas se utilizan para corregir los errores que introduce el método *dead-reckoning*, resultando en unas estimaciones que son estables y capaces de seguir cambios de trayectoria rápidos. También es importante mencionar que el GPS no solo corrige la posición y la velocidad, sino también la orientación. El algoritmo de navegación del filtro de Kalman en el MTi-G es *loosely coupled*, lo que significa que las estimaciones de la posición y la velocidad procedentes del GPS se usan en el XKF-6G.

3.2.1.1.3. Corrección de la altitud usando un sensor de presión estática

Dada la geometría de la posición de los satélites GPS (la constelación), la estimación de la altitud utilizando el GPS, en la práctica, es mucho menos precisa que la estimación de la posición horizontal. La utilización de un sensor de presión estática o barómetro se puede incrementar la precisión vertical de la medida. Los errores del sensor de presión son altamente dependientes de la relación entre la altitud y la presión, la cual depende a su vez de otros muchos factores, siendo el más importante el tiempo atmosférica, o más técnicamente dicho, la presión barométrica P_0 a una altitud dada.

La medida de la altitud basada en la presión es una medida relativa, es decir, se compara la presión con una tabla de referencias de presión. Sin embargo la presión atmosférica estática a nivel del mar P_0 , que varía con las condiciones atmosféricas, es estimada por el XKF-6G cuando la estimación de la altitud mediante GPS está disponible. De esta manera, el sensor de presión se utiliza únicamente como un sensor de cambios de altitud (velocidad vertical) con un ancho de banda bajo. En escenarios en los que el GPS no está disponible, la presión estática se convierte en la única referencia para estabilizar la estimación de la posición vertical basada en los sensores inerciales.

Errores típicos no modelados debidos a cambios de temperatura pueden ser de aproximadamente 1.5 m desde el nivel del mar hasta los 3000 m. La linealidad de este rango es de 0.1 m aproximadamente. Esto es mucho más pequeño que los cambios en la salida causados por típicos cambios de presión atmosférica, gradientes de temperatura local y corrientes de aire.

Para grandes valores de altitud superiores a los 10 km el rendimiento del altímetro barométrico se degrada debido a que la relación señal-ruido se deteriora. En el caso de operaciones del MTi-G a esas alturas se recomienda el uso del escenario *nobaro* que prescinde del sensor de presión, como se verá más adelante.

3.2.1.1.4. Observabilidad de la orientación

En situaciones con relativamente baja dinámica, la orientación no puede siempre ser observada a partir de las medidas del GPS únicamente. Sin embargo, la orientación es una de las estimaciones más importantes como ya se ha podido comprobar en el apartado en el que se ha descrito el *dead-reckoning*.

Para mejorar la observabilidad de la orientación se pueden usar diferentes estrategias, añadiendo sensores adicionales (como los sensores de temperatura y otros) y haciendo hipótesis acerca del movimiento del objeto.

3.2.1.1.5. Gestión de la pérdida de señal GPS

El filtro XKF-6G está diseñado para operar teniendo un enlace GPS estable. Sin embargo, pequeñas pérdidas de la señal GPS pueden ser soportadas y la orientación, posición y velocidad son estimadas basadas

en los sensores restantes disponibles, excepto el GPS. Sin embargo estas estimaciones sufrirán una degradación rápida. Tras una pérdida de señal GPS de más de 10 segundos el filtro XKF-6G entrará en un modo de funcionamiento diseñado únicamente para el seguimiento de la orientación.

3.2.2. Escenarios

Dependiendo del medio en el que opere el MTi-G (aire, tierra, agua) y de otros factores, se podrá configurar el dispositivo de manera que entren en juego en el algoritmo XKF-6G más o menos sensores complementarios. Esto dependerá de si los sensores ayudarán a proporcionar una estimación más precisa de la posición y orientación, o si por el contrario su información no resultará de ayuda en el algoritmo. Todo dependerá de si el dispositivo se está usando en un vehículo aéreo o por ejemplo en uno terrestre, ya que para obtener una estimación mejor se necesitarán unos sensores u otros.

El MTi-G permite configurar los sensores que entran en juego en el algoritmo XKF-6G por medio de la **selección del escenario**. Un escenario es un modelo del medio en el que se va a utilizar el dispositivo, de manera que tiene predefinidos los sensores necesarios para obtener una mejor estimación de la posición y la orientación. Obviamente estos escenarios incluyen siempre los sensores inerciales y el receptor GPS, los sensores que se pueden incluir o no en el algoritmo son los sensores adicionales como por ejemplo el sensor de presión estática. Los escenarios predefinidos que se pueden seleccionar en el MTi-G aparecen en la Tabla 3.

Escenario	IMU	GPS	Magnetómetro	Barómetro	Holonomic
General purpose	✓	✓		✓	
General_nobaro	✓	✓			
Aerospace	✓	✓	✓	✓	
Aerospace_nobaro	✓	✓	✓		
Automotive	✓	✓		✓	✓
Automotive_nobaro	✓	✓			✓
Marine	✓	✓	✓		

Tabla 3. Escenarios predefinidos del MTi-G

3.2.3. Sistema de referencia y origen de coordenadas

Es necesario hacer referencia a **otros sistemas de coordenadas** cuando se habla del sistema de coordenadas del MTi-G, con el fin de entender mejor el proceso del cálculo de la posición. Estos sistemas de coordenadas coinciden con los que se definieron en los primeros capítulos de este documento. Cada uno de

ellos se comentará más detalladamente y se explicará en qué situaciones se utiliza uno u otro. Por seguir un cierto orden, se empezará describiendo el sistema de coordenadas más local, el ligado a los sensores del MTi-G (y por lo tanto a la aeronave), terminando por los más generales, los que se definen con respecto a la Tierra.

Las diferencias entre estos sistemas de coordenadas residen en el origen de cada uno de ellos, la orientación relativa de los ejes y el movimiento relativo entre sus planos. Por lo demás y a no ser que se diga lo contrario todos ellos son sistemas de coordenadas **ortogonales, dextrógiros y cartesianos**.

3.2.3.1. Sistema de coordenadas 'S' (MTi-G body fixed)

Es el sistema de coordenadas intrínseco a los sensores del dispositivo, ligado de forma fija al mismo. Las medidas de los sensores (acelerómetros, giróscopos y magnetómetros) se expresan con respecto a este sistema de coordenadas. Este sistema es del tipo **body (b-frame)** y la documentación del dispositivo se refiere al mismo como sistema de coordenadas 'S'.

Este sistema de coordenadas aparece dibujado sobre el encapsulamiento del dispositivo para facilitar su integración en la aviónica del mismo (Figura 24), sin embargo, el sistema de coordenadas real está centrado en la posición en la que se encuentran los sensores inerciales.

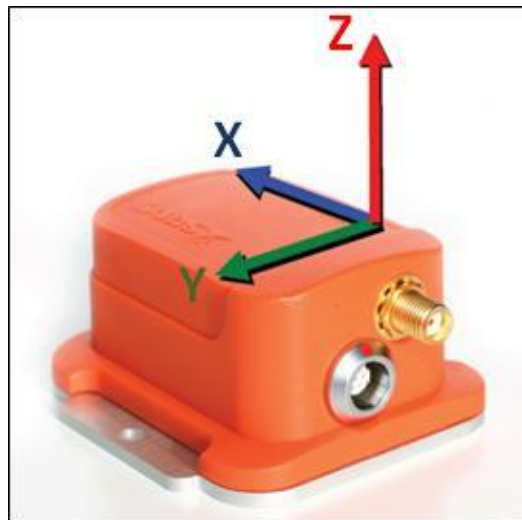


Figura 24. Sistema de coordenadas 'S' o MTi-G Body Fixed (13)

El sistema de coordenadas dibujado sobre el encapsulamiento naranja del MTi-G es sólo una referencia para que sirva de ayuda al instalar el dispositivo en la aeronave, conociendo así la posición y orientación adecuadas en la que debe ser colocado. Este sistema de coordenadas dibujado tiene la misma orientación que el **sistema de coordenadas real o 'S' (el centrado en los sensores)**, sin embargo, su origen de coordenadas se encuentra trasladado tal y como se detalla en la Figura 25.

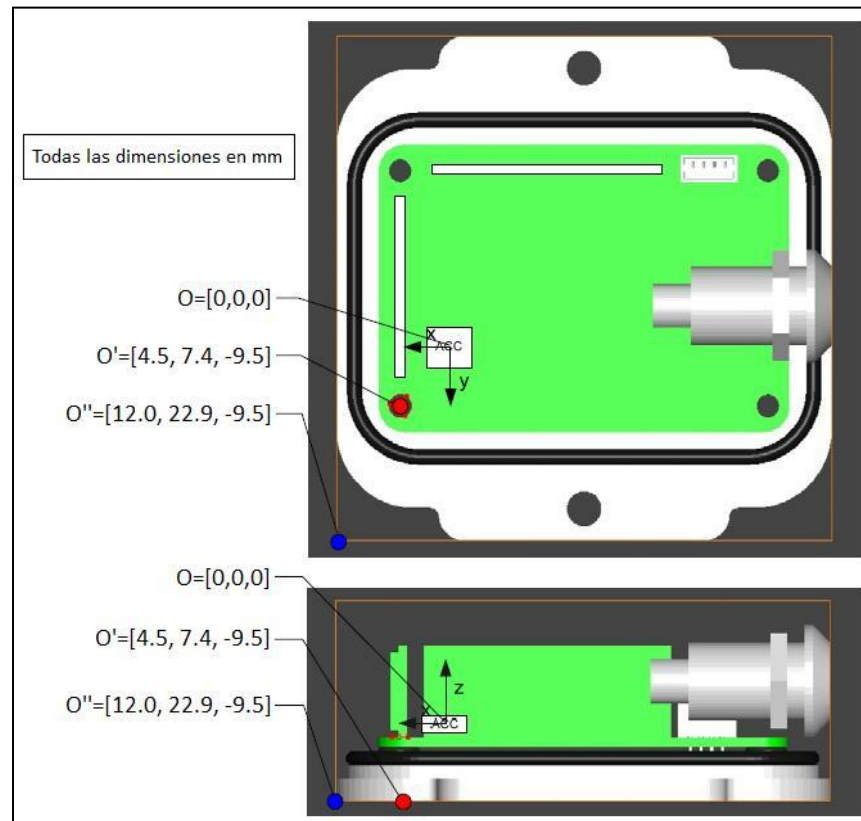


Figura 25. Sistema de coordenadas real (sensores) 'S' o MTi-G *Body Fixed* (13)

3.2.3.2. Sistema de coordenadas 'G' o de Navegación

Si se tienen en cuenta las rotaciones que miden los giróscopos, se entiende que éstos expresan los movimientos angulares del sistema de coordenadas 'S' descrito en el apartado anterior. Para ello se debe tener una referencia con la que comparar la rotación de 'S'. Esa referencia es el **sistema de coordenadas 'G'**, el cual es un sistema de coordenadas **de navegación (n-frame)**.

Este sistema de coordenadas se caracteriza por estar definido en cada punto de la superficie terrestre, siendo el plano que forman sus ejes X e Y tangente a la misma y coincidiendo el origen de coordenadas con el punto de tangencia (Figura 26). Este sistema de coordenadas se puede definir según distintas convenciones, en este proyecto se utiliza la configuración **NWU (North-West-Up)** que hace corresponder sus ejes X, Y y Z con las orientaciones Norte, Oeste y Arriba (normal saliente de la superficie terrestre).

Al estar definido en cada punto de la superficie terrestre siempre se puede encontrar un sistema de coordenadas 'G' en el cual su origen de coordenadas coincida con el del sistema 'S' o MTi-G *body fixed*; de ahí su importancia para medir las rotaciones de 'S' (Figura 27).

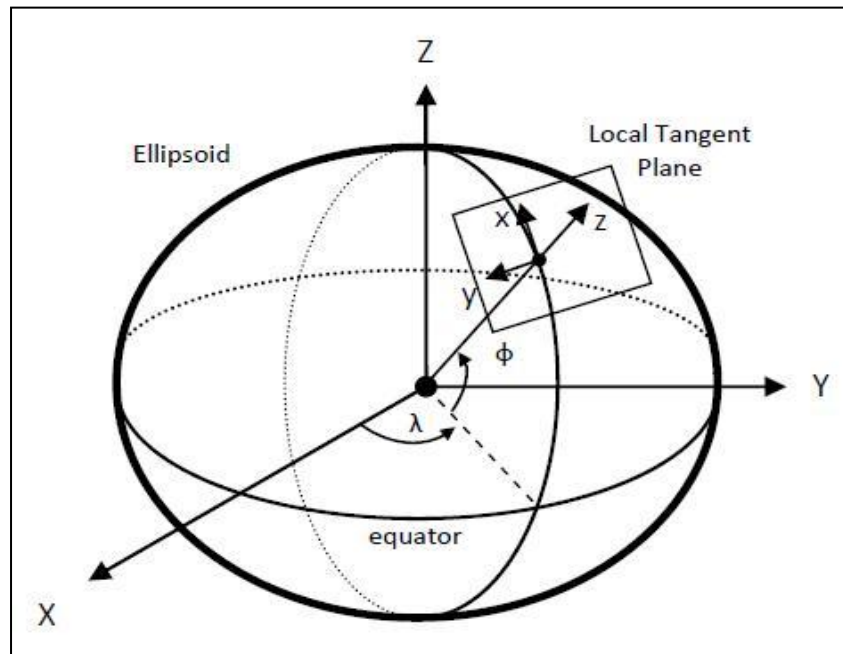


Figura 26. Sistema de coordenadas 'G' (NWU) (13)

El plano que definen los ejes X e Y del sistema de coordenadas 'G' es tangente a la superficie terrestre. A este plano se le conoce como **Plano Tangente Local o LTP (Local Tangent Plane)**, que es otra forma común de hacer referencia a este tipo de sistemas de coordenadas.

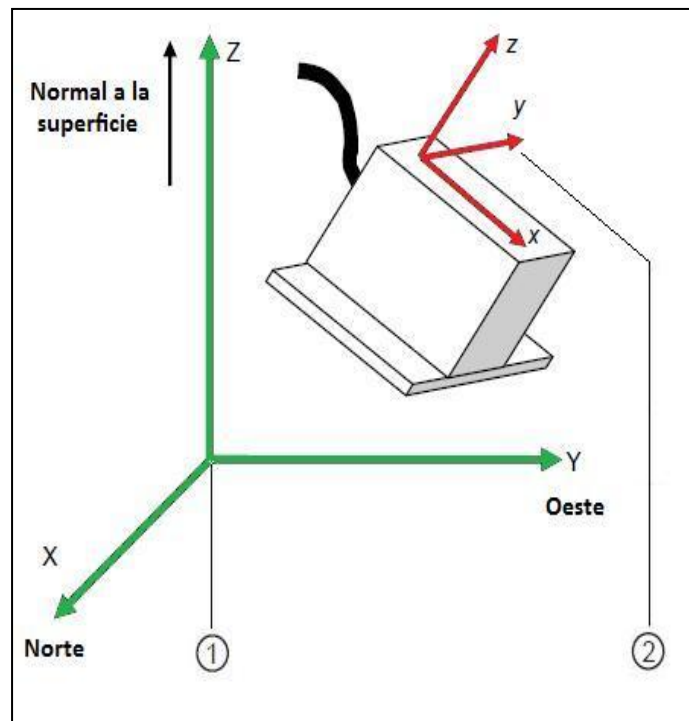


Figura 27. Rotación de 'S' con respecto a 'G' (13)

- 1- Sistema de coordenadas 'G' o de Navegación
- 2- Sistema de coordenadas 'S' o Mti-G Body Fixed

3.2.3.3. Sistema de coordenadas terrestre elipsoidal

Hasta ahora se tienen las orientaciones del MTi-G (del vehículo) bien definidas, gracias a los dos sistemas de coordenadas anteriores. Queda pues definir con respecto a qué sistema de coordenadas se expresa la posición del mismo. Aquí es donde aparecen los sistemas de coordenadas terrestres elipsoidales.

La forma de la Tierra no es uniforme y las aplicaciones GPS necesitan de un modelo de la misma para poder proporcionar la estimación de la posición. El modelo físico usado por el MTi-G para describir la superficie terrestre es un **elipsoide** que se encuentra definido en el estándar **WGS84 (World Geodetic System 1984)**, el cual incluye también información acerca de las irregularidades gravitacionales de la Tierra.

Dentro de los sistemas de coordenadas terrestres elipsoidales se puede diferenciar entre dos tipos, como ya se vio en capítulos anteriores. Al primer tipo se le conoce como **ECI (Earth Centered Inertial)**, el cual tiene el origen de coordenadas situado en el centro de masas de la Tierra y cuyos ejes apuntan en direcciones fijas con respecto a las estrellas, es decir, los ejes no acompañan el movimiento de rotación de la Tierra. Este tipo de sistema de coordenadas es muy utilizado para el cálculo de posiciones de las órbitas de los satélites.

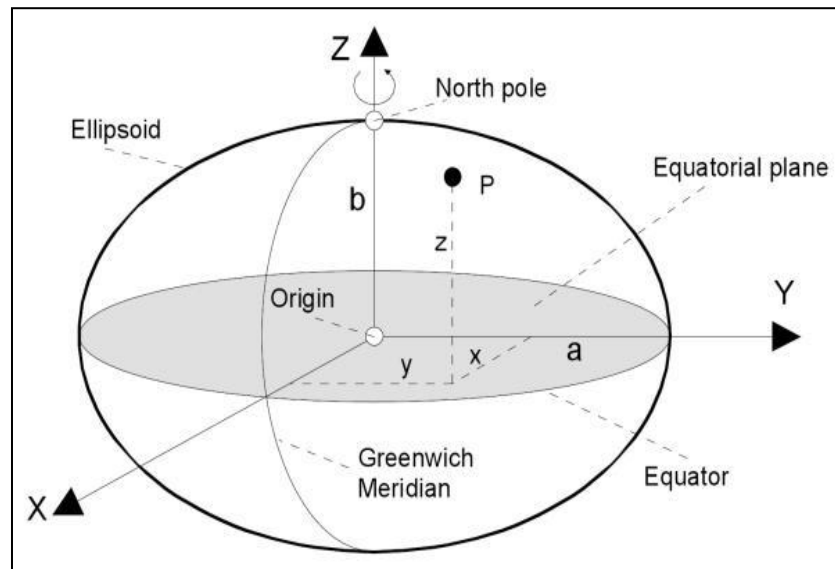


Figura 28. Sistema de coordenadas ECEF (13)

El segundo tipo es conocido como **ECEF (Earth Centered Earth Fixed)**. En este caso los ejes sí están fijos a la Tierra y giran con ella. El plano que definen los ejes X e Y coincide con el plano ecuatorial de la Tierra, el eje X apunta hacia el Meridiano de Greenwich (0° latitud, 0° longitud) y el eje Y apunta en la dirección de 90° Este. El eje Z apunta al Norte a lo largo del eje polar (Figura 28).

Es común utilizar **coordenadas esféricas** para expresar los puntos de la Tierra (**latitud, longitud y altitud**), ya que en determinadas situaciones (aunque no siempre) las coordenadas facilitan los cálculos que se realizan sobre la posición. Estas coordenadas se definen tal y como se muestra en la Figura 29.

En algunos sistemas de posicionamiento se utilizan otros **modelos locales terrestres o Datums** diferentes al WGS84, los cuales mejoran la precisión de la estimación de la posición siempre y cuando se usen dentro de sus límites de aplicación geográficos. Algunos de éstos *datums* específicos para Europa son el obsoleto ED50 (*European Datum 1950*) y el vigente desde 2007 ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*). El **MTi-G no utiliza ningún datum** específico y valiéndose únicamente del modelo terrestre WGS84.

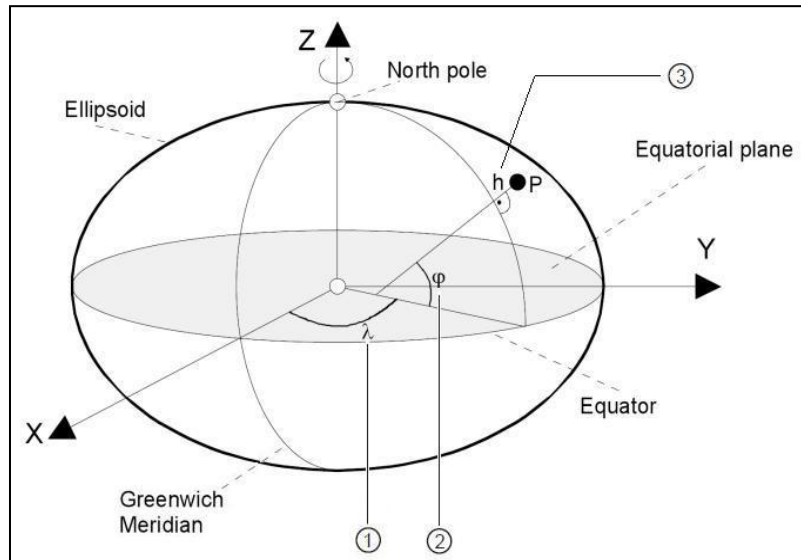


Figura 29. LATITUD, LONGITUD y ALTITUD. Definición según el modelo WGS84 (13)

- 1- Longitud
- 2- Latitud
- 3- Altitud

Como ya se comentó, un sistema de referencia inercial es un sistema de coordenadas en el que las leyes de Newton del movimiento son válidas. Los sistemas de coordenadas inerciales ni rotan ni aceleran. Ninguno de los sistemas de coordenadas descritos aquí, y con los que trabaja el MTi-G, es inercial.

Se hace pues uso de la aproximación de los sistemas de coordenadas ECI y ECEF como pseudo-inerciales. Los vuelos que se realizan con una aeronave de pequeñas dimensiones muy difícilmente van a verse influidos por el movimiento de rotación y traslación de la Tierra, por lo tanto estos movimientos pueden ser despreciados y de esta manera se pueden considerar válidas las leyes de Newton del movimiento en estos sistemas de coordenadas.

El MDT que se genera mediante el sistema diseñado toma como sistema de coordenadas una linealización del sistema de coordenadas ECEF, de manera que se corresponde con el *Local Tangent Plane* del sistema de coordenadas de navegación antes comentado. Este procedimiento será explicado más adelante con más detalle, en el capítulo relativo al procesamiento de los datos.

3.2.4. Formato de salida de la orientación: Ángulos de Euler

El dispositivo MTi-G dispone de varios formatos de salida para expresar la orientación entre los cuales se encuentran los **cuaterniones**, **las matrices de rotación** y **los ángulos de Euler**.

En este proyecto se utiliza el último de los formatos, los **ángulos de Euler**. Éstos son tres coordenadas angulares que expresan la orientación que tiene un sistema de coordenadas con respecto a otro. El concepto de los ángulos de Euler es bastante amplio, sin embargo, cuando se habla de ellos en términos de geometría se conocen como ángulos de Tait-Bryan. En términos aeronáuticos y dependiendo de cómo estén definidos se les conoce como **Roll**, **Pitch** y **Yaw**, o también ángulos de navegación. Como ya se comentó anteriormente, la definición de los ángulos de Euler utilizada por el MTi-G es equivalente a los ángulos Roll, Pitch y Yaw que aparecen definidos en la Tabla 4.

Símbolo	Nombre	Rotación alrededor de	Definido en
ϕ	Roll	X_G	$[-180^\circ \dots 180^\circ]$
θ	Pitch	Y_G	$[-90^\circ \dots 90^\circ]$
ψ	Yaw	Z_G	$[-180^\circ \dots 180^\circ]$

Tabla 4. Ángulos Roll, Pitch y Yaw

La cantidad de información representada por los ángulos de Euler es la misma que en los dos otros formatos posibles (cuaterniones y matrices de rotación), sin embargo los ángulos de Euler representan la información de manera más compacta en sólo 3 variables de tipo FLOAT (4 bytes), mientras que en el caso de los cuaterniones y de las matrices de rotación usan 4 y 9 campos FLOAT respectivamente. Es otro de los motivos por los que se ha decidido utilizar este formato en vez de los otros.

3.2.5. Byte de estado

El MTi-G dispone de un byte especial, el **byte de estado** (*status byte*). Este byte contiene banderas que representan el estado del MTi-G (Figura 30), estando disponible y actualizado cada vez que se solicita el envío de datos inerciales o de posición desde el MTi-G.

Status Byte							
Bit 7:	reserved	Bit 6:	reserved	Bit 5:	reserved	Bit 4:	No Rotation Status
Bit 3:	No Rotation Status	Bit 2:	GPS Fix (MT-G)	Bit 1:	XKF Valid	Bit 0:	Self Test

Figura 30. Byte de estado (13)

Esta información le permite al usuario determinar si los datos recibidos junto con el bit de estado son fiables o no. Cuando se habla de fiabilidad aquí es relativo a que el GPS reciba una señal de calidad y de que el filtro de Kalman esté convergiendo correctamente, es decir, haciendo una estimación precisa. Algunas de las banderas que resultan de interés se muestran en la Tabla 5.

Nombre	Descripción
Self Test	Indica si el test de encendido del dispositivo se completó exitosamente.
XKF Valid	Indica si el filtro de Kalman está generando información fiable o no. Si el rango máximo de ciertos sensores internos es excedido o el GPS no recibe una señal válida durante un largo periodo de tiempo el filtro de Kalman no puede hacer una estimación precisa de la posición y orientación, entonces este bit se pone a 0.
GPS Fix	Indica si el GPS está recibiendo una señal válida y si no tiene problemas de sincronización o retrasos.

Tabla 5. Banderas del Byte de Estado

3.2.6. Conexiones e Interfaz

El MTi-G dispone únicamente de dos conexiones. La primera de ellas utiliza un conector especial de tipo ODU L-series según el estándar RS-232 (Figura 31). Este cable dispone de un convertidor a USB, por lo que en el extremo opuesto presenta un conector tipo USB (Figura 32).

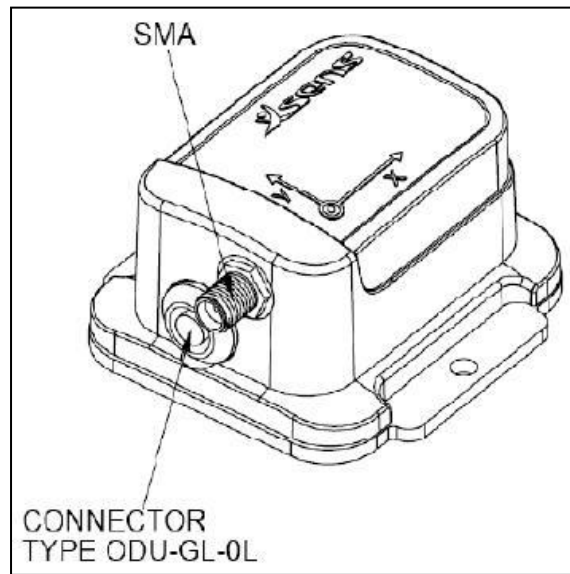


Figura 31. Conexiones del MTi-G (13)

Esta conexión es la que proporciona alimentación al MTi-G. Además sirve de medio de comunicación entre el MTi-G y el dispositivo conectado al otro extremo (en el caso de este proyecto, una tarjeta de procesamiento). Es la conexión por donde se realiza la transferencia de los datos de posición y orientación y por dónde se transmiten también las órdenes de configuración.



Figura 32. Convertidor ODU L-series (RS-232) a USB (13)

La segunda conexión corresponde a la antena receptora GPS (Figura 22), que se conecta directamente al MTi-G a través de un conector de tipo SMA.

El MTi-G viene acompañado de una amplia librería de funciones que proporciona el fabricante. Con esta librería se puede configurar el dispositivo, seleccionar los sensores que se quieren utilizar, seleccionar el

escenario y los formatos de representación de los datos. Más información acerca de la configuración utilizada en este proyecto se define en apartados posteriores.

3.2.7. Factores influyentes en la medida

Debido a la diversidad de sensores que utiliza este dispositivo, hay que hacer **varias consideraciones** a la hora de colocar el MTi-G en la aeronave y poner en marcha el dispositivo, de manera que las medidas realizadas por los sensores no se vean perjudicadas por factores externos.

Con respecto a la **aceleración centrífuga** que aparece en las rotaciones de la aeronave, ésta será de distinta magnitud dependiendo de la distancia entre el origen del sistema de coordenadas del MTi-G y el eje de rotación. Mientras más cerca se encuentre el MTi-G del eje de rotación, menor será la aceleración centrífuga experimentada y medida por los acelerómetros. Esto es lo más deseable puesto que estas aceleraciones no forman parte de la dinámica del vehículo que interesa medir. Por esto mismo, a la hora de colocar el dispositivo en el vehículo aéreo hay que procurar que esté situado lo más cerca posible del **centro de gravedad**, donde la magnitud de aceleraciones transitorias (como la centrífuga) es considerablemente menor que en cualquier otro punto.

Otra posible fuente de aceleraciones no deseadas son las **vibraciones**, las cuales pueden entorpecer, al igual que las anteriores, la correcta medida de los movimientos de la aeronave. Por ello se recomienda el **aislamiento mecánico** del MTi-G cuando se integre el mismo en la aeronave, de manera que las vibraciones que provienen de la aeronave no sean medidas por los acelerómetros.

También hay que tener en cuenta los **magnetómetros**, ya que pueden verse afectados por campos magnéticos cercanos. Por este motivo debe evitarse el uso de otros dispositivos que generen campos magnéticos intensos cercanos al dispositivo y colocarlo **lo más lejos posible de materiales ferromagnéticos**. De esta manera la medida del campo magnético terrestre será correcta y no se tendrán errores adicionales en el ángulo de navegación Yaw.

El MTi-G incluye un **sensor barométrico** el cual **necesita** estar en **contacto con la presión atmosférica**. En la medida de lo posible es necesario colocar el MTi-G en el exterior y, si está colocado en algún compartimento del vehículo, éste no deberá estar presurizado. De lo contrario, los datos de la presión atmosférica, usados para corregir la altitud del vehículo no serán correctos, pudiendo provocar estimaciones erróneas tanto de la posición como de la velocidad y la orientación.

Con respecto a la **antena GPS**, se debe procurar **evitar la cercanía de fuentes de radio frecuencia** que puedan interferir en la señal GPS. La antena está diseñada para rechazar el máximo de señales de interferencia,

pero no hay que olvidar que la señal GPS es muy débil cuando alcanza la superficie terrestre por lo que una interferencia de gran magnitud puede provocar una medida errónea de la posición.

Por último, tener en cuenta que existen **materiales** que actúan como **reflectores de la señal GPS**, como por ejemplo el agua. Por esto mismo hay que prestar especial atención por si el terreno en el que se realiza la adquisición puede verse afectado por las reflexiones, pues éstas provocarían una **disminución considerable del rendimiento**. Concretamente el rendimiento del MTi-G se ve degradado siempre que se utiliza en condiciones de alta humedad.

3.2.8. GPS (*Global Positioning System*)

El GPS es un sistema de posicionamiento global (***Global Positioning System***), y está compuesto por 32 satélites. Existen otros sistemas complementarios que permiten alcanzar precisiones en posicionamiento del orden de centímetros. Los **Sistemas GPS diferenciales o DGPS (*Differential Global Positioning System*)** son uno de estos sistemas.

El **MTi-G** dispone de capacidad para funcionar en alguna de sus versiones (no en todas) con el **sistema DGPS**, sin embargo, el firmware del MTi-G disponible para la versión con la que se trabaja en este proyecto **no proporciona esa opción**. Esto implica que el error de la estimación de la posición con la que se trabaja es del orden de metros.

3.2.9. Especificaciones técnicas

Las principales características del MTi-G y sus especificaciones se recogen en la Tabla 6.

Especificaciones del receptor GPS		Actitud y Heading del XKF-6G	
Tipo de receptor:	50 canales GPS L1, C/A code GALILEO OpenService L1	Rango Dinámico:	
Tasa de actualización del GPS:	4 Hz	Pitch:	$\pm 90^\circ$
Tasa de actualización Posición/Velocidad:	120 Hz	Roll:	$\pm 180^\circ$
Precisión Posición SPS:	2.5 m CEP	Heading:	$\pm 180^\circ$ (0...360°)
SBAS:	2.0 m CEP	Resolución angular:	0.05°
Tiempo de inicio en frío:	29 s	Precisión estática:	
Re-adquisición:	<1 s	Roll/Pitch:	<0.5°
Sensibilidad de seguimiento:	-160 dBm	Heading:	<1°

Precisión temporal:	30 ns RMS	Precisión dinámica:	
Límites Operacionales:		Roll/Pitch:	1° RMS
Altitud máxima:	18 km	Heading:	2° RMS
Velocidad máxima:	600 m/s (2160 km/h)	Máxima tasa de actualización autónoma:	120 Hz
Dinámica máxima del GPS	4 g	Datos PC/Raw	512 Hz

Tabla 6. Especificaciones del dispositivo MTi-G

3.3. Tarjeta de procesamiento ISIS

Los dos dispositivos descritos anteriormente (LD-MRS y MTi-G) se integran dentro de la aviónica de un vehículo aéreo. El control y la coordinación de ambos dispositivos corren a cargo del software que se ha desarrollado para este proyecto y que se describe en capítulos posteriores. Por lo tanto se requiere de un dispositivo de procesamiento que se ocupe de ejecutar el software que coordina tanto al LD-MRS como al MTi-G y que constituya el corazón del sistema diseñado basado en tecnología LIDAR.

Figura 33. Tarjeta de procesamiento ISIS de EUROTECH⁴

Concretamente, el dispositivo que utilizado es el modelo **ISIS** del fabricante **EUROTECH** (Figura 33), el cual también se conoce como **Intel Atom Low Power PC/104 Plus (PCI and ISA bus) CPU Module**. Éste

⁴ Fuente: Eurotech S.p.A

pertenece a las tarjetas de procesamiento conocidas como **SBC (Single Board Computer)**, las cuales integran la gran mayoría de las funcionalidades de un computador en una sola placa. Estas tarjetas proporcionan numerosas opciones de conectividad y, en el caso del modelo ISIS, presenta compatibilidad con el **estándar PC/104** (controlado por el *PC/104 Consortium*), el cual define las características del *form factor* (características físicas de la placa) y de los buses utilizados. Las principales características de esta tarjeta de procesamiento se encuentran en la Tabla 7.

Procesador	Intel Atom (1.6GHz)
Consumo	<8W
Memoria	RAM - 1GB DDR2, FLASH - 2GB o 4GB.
Sistemas Operativos	Windows XP, Linux.
Interfaces	USB 2.0, VGA, LVDS, HD-Audio, RS232/422/485, Ethernet, GPIO e IDE.

Tabla 7. Especificaciones de la tarjeta de procesamiento ISIS de EUROTECH

El bajo consumo de esta tarjeta es una característica primordial si se tiene en cuenta que al integrar todo el sistema en la aeronave (LD-MRS, MTi-G y tarjeta ISIS), todo el conjunto tendrá que ser alimentado con baterías. Cuanto menos consuman los dispositivos más autonomía se tendrá para el proceso de adquisición de datos y se podrán realizar vuelos de más tiempo.

La variedad de interfaces que presenta el módulo PC/104 facilita en gran medida su comunicación con el LD-MRS y el MTi-G. De entre las conexiones disponibles se utiliza la conexión **Ethernet** para comunicarse con el **LD-MRS** y la conexión **USB** para el **MTi-G**. El sistema operativo instalado en la tarjeta ISIS es una distribución Linux.

La gran cantidad de información que tiene que manejar una aplicación basada en tecnología LIDAR hace necesario el uso de una unidad de almacenamiento masivo, ya que la tarjeta ISIS dispone de una memoria no volátil de tamaño limitado. Con vistas a esta cuestión se ha instalado en la placa una **tarjeta de memoria SDHC** de 32GB. La tarjeta está configurada para que sea reconocida por el sistema operativo cada vez que se inicia el mismo (auto-montaje).

3.4. Vehículos aéreos

Los vehículos utilizados en el proyecto han sido dos, un avión y un helicóptero, ambos de pequeñas dimensiones y pilotados por radiocontrol. Aunque durante la ejecución de este proyecto estos vehículos aéreos han sido pilotados por una persona mediante control remoto, éstos han sido utilizados como UAVs en otras

ocasiones, disponiendo de aplicaciones para el pilotaje automático. Sin embargo, las aplicaciones de pilotaje automático y la aplicación diseñada en este proyecto no se han llegado a utilizar conjuntamente.



Figura 34. Avión radiocontrol Pilatus Porter⁵

Algunas de las características principales del modelo **Pilatus Porter** (Figura 34) se recogen en la Tabla 8.

Envergadura	3.2 m
Longitud	2.52 m
Capacidad de carga	5 kg
Motor	Eléctrico (Desde 80cc hasta 150cc)

Tabla 8. Características de la aeronave Pilatus Porter

El helicóptero utilizado ha sido el **modelo CB-5000** (Figura 35) y sus características se describen en la Tabla 9.

Rotor	1.8 m
Longitud	1.65 m
Capacidad de carga	De 5 a 7 kg
Motor	Gasolina (22.5cc con 3.5 CV)

Tabla 9. Características del helicóptero CB-5000

⁵ Fuente: www.icare-rc.com



Figura 35. Helicóptero radiocontrol modelo CB 5000

La gran diferencia entre ambos a la hora de ser los portadores de un sistema basado en tecnología LIDAR radica en la velocidad de vuelo. El avión necesita de una velocidad mínima para conseguir sustentación, por lo tanto, una aplicación basada en tecnología LIDAR para un avión debe tener en cuenta esto a la hora de elegir la frecuencia de funcionamiento del escáner láser. La adquisición de datos debe realizarse a una frecuencia suficientemente alta, para que así la superficie del terreno que se sobrevoló tenga continuidad y no presente saltos entre un barrido y otro.

El helicóptero por el contrario es capaz de sustentarse en una misma posición sin tener que estar desplazándose. Esto es una gran ventaja porque permite escanear la superficie terrestre a una velocidad de vuelo inferior que la del avión, lo que se traduce en que se puede utilizar la aplicación basada en tecnología LIDAR con una tasa de adquisición menor y conseguir la misma resolución del terreno. Esto tiene repercusiones directas en la programación del LD-MRS y del MTi-G, dando lugar a unos requerimientos de sincronización entre ambos más relajados.

3.5. Integración del sistema

Se han descrito hasta ahora los dispositivos que componen el sistema para la generación de MDTs que se ha construido. Ahora bien, es importante decir algunas palabras acerca de la integración de los distintos componentes entre sí, ya que el **montaje a realizar es distinto en los dos vehículos aéreos** que se han utilizado.

En el caso del avión **Pilatus Porter**, toda la **aviónica se integra dentro de la bodega**, donde el espacio es reducido. Se necesita pues de una distribución estudiada para que todos los componentes del sistema se

coloquen de la forma más adecuada, siguiendo las recomendaciones descritas en el apartado de **factores influyentes en la medida**. En la Figura 36 se puede apreciar la disposición de los componentes del sistema dentro de la bodega del avión.

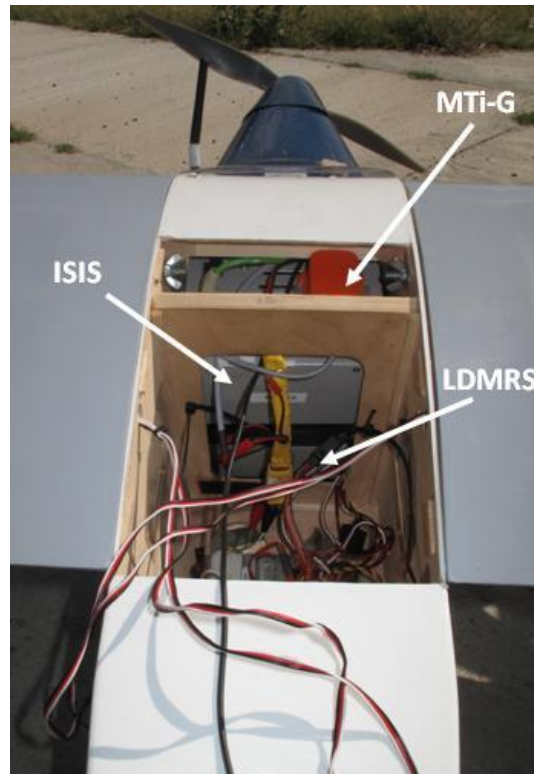


Figura 36. Integración del sistema en el avión Pilatus Porter

El avión dispone de una **abertura en la panza** que tiene las dimensiones necesarias para que la ventana del LD-MRS tenga un campo de visión adecuado de la superficie terrestre cuando se realiza un vuelo.

Las **distancias entre los sistemas de coordenadas *b-frame*** del LD-MRS y del MTi-G han sido tenidas en cuenta para los posteriores procesamiento (traslaciones y rotaciones) que se les aplica a los datos adquiridos.

En el caso del **helicóptero CB 5000** no se dispone de bodega, por lo tanto se realiza la integración del sistema en una placa metálica fijada a la parte baja del vehículo. El montaje puede apreciarse con detenimiento en la Figura 37.

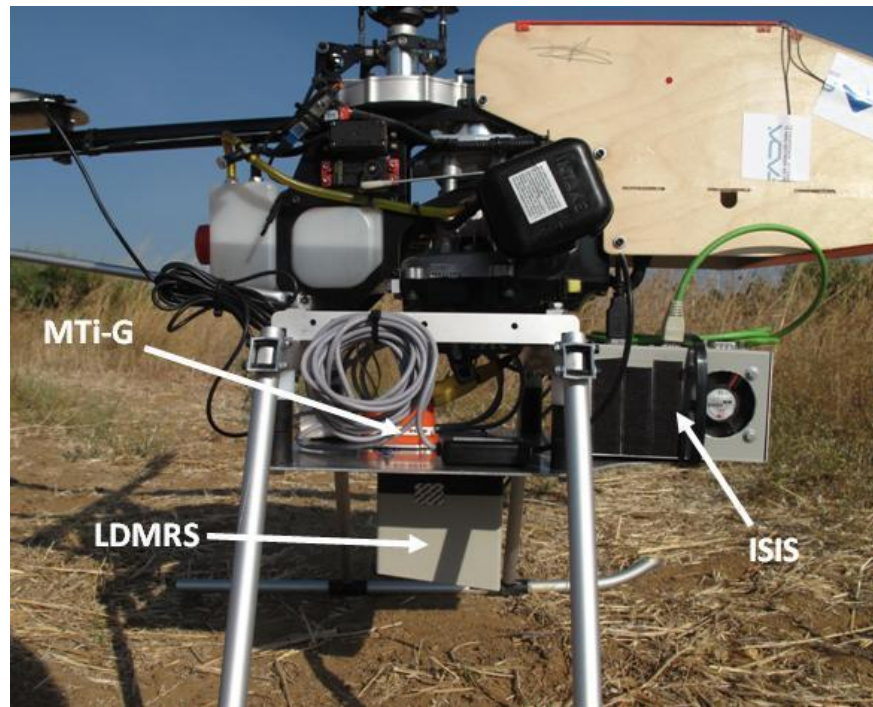


Figura 37. Integración del sistema en el helicóptero CB 5000

De la misma forma que con el avión, han sido tenidas en cuenta las distancias existentes **entre los sistemas de coordenadas *b-frame*** del LD-MRS y del MTi-G. Sin embargo, y debido a la distinta colocación de los componentes, estas distancias son distintas que las que se tienen en el caso del avión. Otro aspecto a tener en cuenta es la importancia de **aislar los sensores de vibraciones indeseadas**. Por ello la placa utilizada para el montaje dispone de arandelas de goma a modo de **amortiguadores** de las posibles vibraciones que puedan aparecer.

En ambos montajes se ha colocado el MTi-G lo más cercano al centro de gravedad del vehículo con vistas a reducir lo máximo posible las aceleraciones que no pertenecen a la dinámica que interesa. De la misma forma, en ambas situaciones la antena receptora de la señal GPS está situada en el exterior para que se facilite la recepción de la señal de posicionamiento.