

Antenas de GPS y sistemas GPS mejorados

Francesc Daura, Ingeniero Industrial, experto en compatibilidad electromagnética. Director de LEEDEO / CEMDAL
 Enrique Martínez, Ingeniero de Telecomunicaciones, experto radio y directiva RED en LEEDEO / CEMDAL



Autor: Francesc Daura Luna, Ingeniero Industrial. Director de la Consultoría Leedeo Engineering



Autor: Enrique Martínez, Ingeniero de Telecomunicaciones - LEEDEO / CEMDAL

El uso de sistemas de posicionamiento global (GNSS – “Global Navigation Satellite System”) en los dispositivos de comunicación cada vez es más frecuente por las múltiples aplicaciones y utilidades del mismo como un servicio de localización en tiempo real. La combinación de GNSS con otros sistemas de comunicación terrestre como la telefonía móvil (Telefonía + GNSS) es de gran utilidad para muchas aplicaciones como la llamada de emergencia en vehículos, ayudas a la conducción, control de flotas, dispositivos IoT, etc ..

Cuando tenemos que enfrentarnos a incorporar en nuestro nuevo dispositivo los servicios de localización, básicamente tendremos que prever la instalación de una antena y su correspondiente receptor tal y como muestra la figura 1. En este artículo vamos a explicar los principios básicos de funcionamiento de la recepción de señal GNSS y como el tipo de antena que se elija puede influir en las prestaciones finales del sistema. Finalmente, acabaremos describiendo sistemas adicionales de mejora de prestaciones (sistemas de aumentación) que nos permitirán que el módulo de posicionamiento tenga mayores prestaciones.

Frecuencia de operación

Las portadoras del sistema de posicionamiento global se encuentran

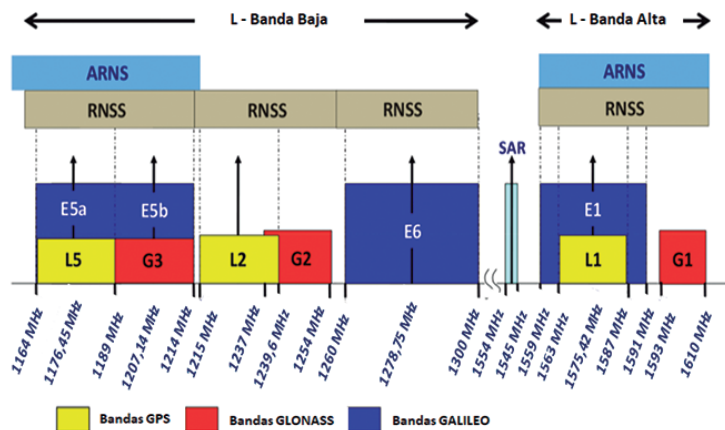


Figura 2. Bandas de uso para los sistemas de localización por satélite (Bandas GNSS).

en la banda L (1-2 GHz) que incluye diferentes bandas y constelaciones de satélites.

Actualmente las 3 constelaciones con mayor número de satélites son el GPS de los Estados Unidos de América, GLONASS sistema de navegación Ruso y GALILEO sistema de navegación Europeo.

Si bien, la constelación de satélites de GPS en la banda L1 (@1.575,42 MHz) sigue siendo la mayoritaria en uso en todas las aplicaciones de posicionamiento, la aparición de receptores multi frecuencia y multi constelación, permite mejorar las prestaciones de precisión de los receptores. Esto ha hecho que la gama de antenas de GNSS en el mercado sea mucho mayor y que su selección en función

de la aplicación que busquemos sea más compleja. Como punto de partida, siempre deberemos tener claro en nuestro receptor para qué constelaciones y bandas está diseñado (figura 2), así como los requisitos de precisión que esperamos obtener.

Impedancia de antena (ROE)

Los receptores de GNSS se diseñan con una impedancia de entrada de 50Ω. Por tanto las antenas de GNSS a utilizar también se han de optimizar para presentar una impedancia de 50Ω en las bandas de operación.

El factor que nos indicará lo bien adaptada que está la antena para transferir la señal a la impedancia de referencia será la ROE (Relación de Onda Estacionaria), también conocido en inglés como VSWR (“Voltage Standing Wave Ratio”). A valores de ROE menores, mejor adaptación y mayor transferencia de energía entre la antena y el receptor. Normalmente para el uso en sistemas de GNSS, aunque son antenas receptoras, es adecuado esperar que la antena que seleccionemos tenga un valor de ROE < 2 en la banda de operación. Esto significará que la antena entregará un 90% de toda la energía recibida al receptor (figura 3).

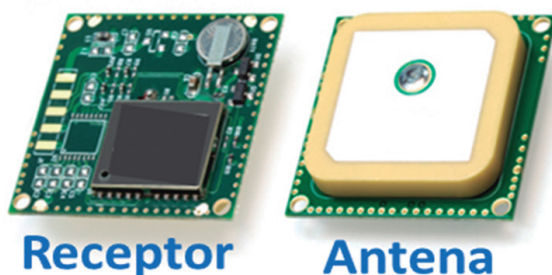


Figura 1. Imagen módulo antena más receptor GNSS.

Diagrama de radiación

Entendemos como diagrama de radiación de una antena la forma en cómo la energía radiada por la antena se distribuye en el espacio. Tal y como se muestra en la figura 4, existen 3 formas básicas de radiar de una antena: Isotrópica, Omnidireccional y Directiva. Es importante tener en cuenta que las propiedades de una antena son iguales tanto en recepción como en transmisión.

La isotrópica es una forma teórica, imposible de realizar a nivel práctico, pero nos sirve como referencia para definir uno de los parámetros más característicos de una antena, como es la directividad $D(\text{dBi})$.

La omnidireccional es aquella que, como mínimo en un plano, consigue la característica isotrópica. La forma "donut" del diagrama es un ejemplo típico del diagrama de radiación de los dipolos y las antenas elementales, que consigue en el plano horizontal un diagrama equipotencial en los 360°. Este tipo de diagrama es el que nos interesará para aquellas antenas "embarcadas" o instaladas en dispositivos móviles con comunicación terrestre, donde la señal del transmisor nos viene del horizonte y la posición del receptor respecto al transmisor cambia en el tiempo.

La directiva, sin embargo, es aquella forma de radiar que focaliza toda la potencia en una dirección concreta del espacio. Para el caso de las antenas receptoras de GPS, ésta será la forma deseada del diagrama de radiación, ya que toda la señal que recibimos proviene de los satélites situados en el cielo (Zenith, punto más alto en el cielo con relación al observador) y la mejor manera de optimizar la comunicación de nuestro receptor con los satélites la obtendremos con los diagramas de radiación directivos hacia el cielo. La figura 5 muestra un ejemplo de diagrama de radiación típico de una antena GPS.

Polarización

En una onda electromagnética, tanto el campo eléctrico como el magnético son oscilantes y con orientación en el espacio, son perpendiculares entre sí y a la dirección de propagación de la onda electromagnética. Por convención, el plano

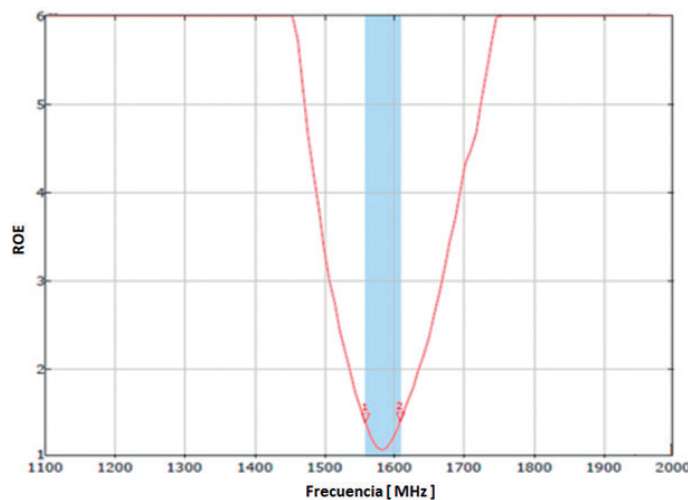


Figura 3. ROE (Relación de Onda Estacionaria) en frecuencia para antena GPS L1.



Figura 4. Formas del diagrama de radiación.

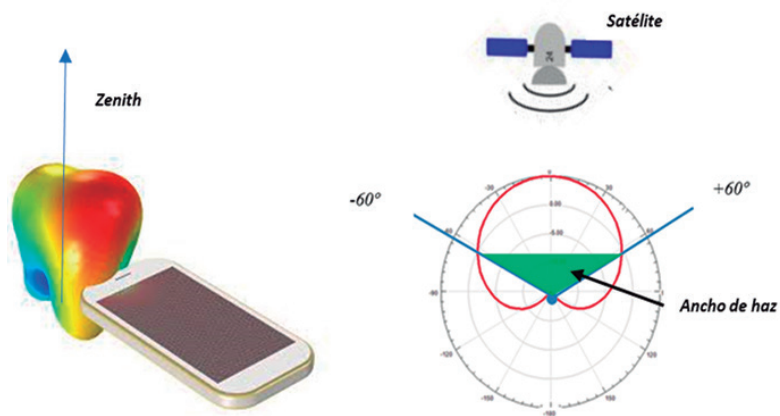


Figura 5. Diagrama de radiación de antenas GPS.

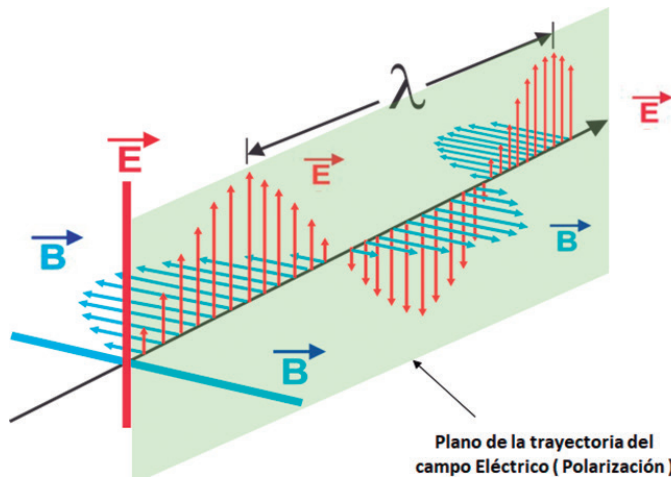


Figura 6. Plano de polarización de una onda electromagnética.

de polarización de una onda electromagnética se define como el plano que describe en su trayectoria el campo eléctrico (figura 6).

La trayectoria descrita por el campo eléctrico radiado por la antena en el tiempo puede ser lineal, circular o elíptica. Esto significa que la trayectoria que describe el campo eléctrico en el tiempo puede ser constante y con una orientación fija (polarización lineal). Puede también ir moviéndose, siguiendo la forma de un círculo y con un sentido de giro a derechas o a izquierdas (polarización circular), o puede ser una trayectoria elíptica, entendida como una polarización

circular distorsionada (figura 7).

Todos los sistemas de comunicación terrestre como radio, televisión y telefonía usan transmisiones con polarización lineal. Los sistemas GNSS trabajan con polarización circular a derechas (RHCP – “Right Hand Circular Polarization”), evitando el problema de la rotación variable que introducen las capas de la ionosfera sobre las señales que la atraviesan. Si la transmisión estuviera polarizada linealmente, las señales alcanzarían los receptores con una polarización rotada respecto a la transmisión con un valor impredecible, función de la inclinación de la línea satélite-receptor y

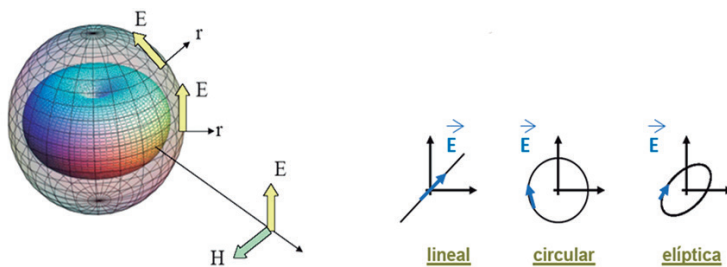


Figura 7. Diferentes tipos de polarización.

$$RHCP = \frac{(Eth + iEph)}{\sqrt{2}} \quad LHCP = \frac{(Eth - iEph)}{\sqrt{2}}$$

$$AR = \frac{|LHCP| - |RHCP|}{|LHCP| + |RHCP|}$$

Eth : Componente Vertical

Eph : Componente Horizontal

Figura 8. Definición del parámetro “Axial Ratio”.

del grado de ionización de la columna de aire atravesada.

En el resumen de especificaciones de una antena GNSS, el parámetro que cuantifica la calidad de la polarización circular de la antena es el “Axial Ratio” (AR), que se calcula según la ecuación de la figura 8.

Con la ecuación descrita, a partir de la medida de las componentes horizontal (Eph) y vertical (Eth) radiadas por la antena, se puede calcular el valor de AR. Cuanto mayor sea el nivel de polarización circular radiado por la antena, menor será el AR.

Tipos de antena GNSS

Aunque existe toda una variedad de topologías de antenas para aplicaciones de GNSS, según las bandas a cubrir y constelaciones soportadas, podemos clasificar 3 grandes grupos: antenas tipo parche, antenas tipo hélice y antenas tipo chip o lineales.

Antena Parche. Es el tipo de antena más común, de forma plana, construida con un dieléctrico cerámico de elevada constante dieléctrica y una geometría de antena aproximadamente rectangular en su parte superior (figura 9). Son ideales para su instalación sobre superficies planas y son de bajo coste, dada su elevada producción.

Es una antena que puede obtener altas prestaciones, con un diagrama de radiación directivo, con el máximo de radiación en el zenith. Obtiene una ganancia de 5dB y valores de “Axial Ratio” menores a 3dB en la dirección del máximo. Sus prestaciones son altamente dependientes de las dimensiones del plano de masa donde se instala. Normalmente las dimensiones mínimas requeridas del plano de masa son de 70mm x 70mm. La reducción de este plano de masa provoca una caída brusca en sus valores de ganancia y “Axial Ratio”.

Otro de los puntos a tener en

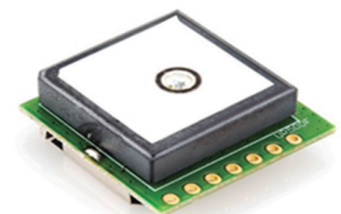


Figura 9. Antena tipo parche.

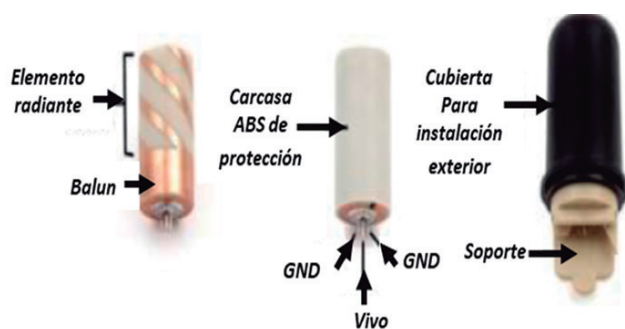


Figura 10. Antena tipo hélice.

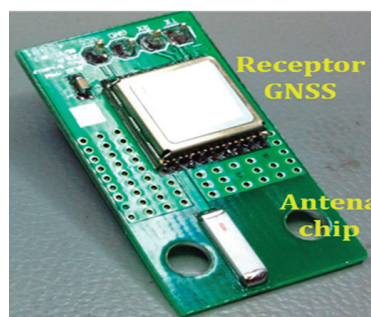


Figura 11. Antena chip o lineal.

cuenta es su reducido ancho de banda, si bien se puede optimizar para su correcto funcionamiento para la banda de operación del receptor GNSS.

Antena Hélice. El tamaño geométrico real de esta antena depende del dieléctrico que llena el espacio entre las partes activas de la antena y sus hélices (figura 10). Si la antena tiene un núcleo de aire, será comparativamente grande (60 mm de longitud y 45 mm de diámetro), si el núcleo es cerámico y de alta constante dieléctrica dará como resultado un factor de forma mucho más pequeño, y como siempre, su elección será un compromiso entre dimensiones y prestaciones.

En general, con la antena helicoidal se pueden obtener prestaciones en Ganancia y Axial Ratio similares a una antena parche, con ventajas en el ancho de banda y el ancho de haz del diagrama de radiación. Su mejor característica es su independencia de las dimensiones del plano de masa donde está instalada. Por el contrario, sus dimensiones, proceso de fabricación y coste siempre serán mayores que en el caso de la antena parche. Son antenas robustas que demuestran una buena exactitud de posicionamiento y calidad de la señal recibida.

Antena Chip o lineal. Estas antenas son cada vez más populares en los diseños de GNSS por su bajo coste y su tamaño extremadamente pequeño (hasta 3,2 x 1,6 x 1,1 mm) (Figura 11). Por el contrario, a nivel de prestaciones eléctricas, difieren en gran medida de las antenas parche y helicoidal.

Son diseños de antena en polarización lineal (AR infinito), lo que conlleva que tengan una pérdida de 3dB en ganancia respecto las antenas

helicoidales y parche. Sus patrones de radiación al instalarse directamente en el plano del circuito impreso son omnidireccionales, con lo que la antena no tan sólo radia hacia el zenith, sino que también presenta radiación hacia el suelo. Esta pérdida de directividad, junto con la pérdida de polarización, puede hacer que se obtengan diferencias de hasta 6 dB en ganancia entre una antena lineal y una antena parche o la antena helicoidal.

Debido a su tamaño tan pequeño, una variedad de factores influyen en el rendimiento de las antenas chip. Estos factores incluyen la huella de la antena en el circuito impreso, el tamaño del plano de masa, la distancia a los vértices del circuito impreso (5 mm típicos) y el montaje de la antena chip y el receptor GNSS. La huella de instalación de la antena en la placa puede tener un impacto importante en la eficiencia de la antena y, por lo tanto, en el rendimiento del GNSS, y

por ello debe considerarse cuidadosamente en los diseños. El plano de masa disponible tiene un impacto significativo en el rendimiento de una antena chip. Por lo tanto, no sólo el tamaño del chip, sino también el plano de masa debe considerarse en el diseño.

Para diseños con un plano de masa suficientemente grande, una antena chip puede proporcionar un rendimiento de GNSS satisfactorio. Sin embargo, en los diseños con un plano de masa y una disposición del dispositivo inadecuados, su rendimiento es insuficiente para un correcto posicionamiento.

La mejor selección de antena

En la tabla de la figura 12 podemos ver un resumen de las diferentes opciones con sus ventajas e inconvenientes.

Antenas Hélice		Antenas Parche		Antenas Chip / Lineales	
Ventajas	Inconvenientes	Ventajas	Inconvenientes	Ventajas	Inconvenientes
Alta Ganancia y bajo AR	Mayor dimensiones y volumen de antena	Alta Ganancia y bajo AR	Antena de banda estrecha y menor Ancho de haz	Bajo coste	Antenas de polarización lineal
Mayor Ancho de Haz del lóbulo principal	Mayor coste de fabricación	Bajo coste	Alta dependencia con las dimensiones del plano de masa de instalación	Dimensiones reducidas	Menor ganancia y diagrama no directivo
Menor dependencia con la orientación de la antena	Necesidad de un circuito adicional de polarización	Antena de bajo perfil y fácil instalación			Alta dependencia con las dimensiones del plano de masa de instalación
Menor dependencia con las dimensiones del plano de masa de instalación					Huella de instalación en el circuito impreso y posición en el plano de masa afectan al rendimiento de la antena

Figura 12. Tabla resumen de prestaciones.

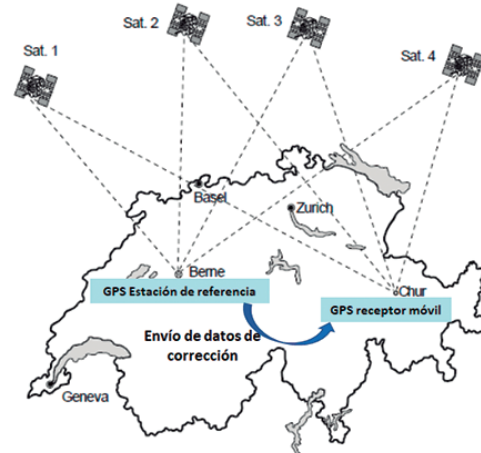


Figura 13. Principio funcionamiento DGPS con estaciones de referencia de GPS.

La elección de la antena juega un papel crucial en las prestaciones finales del receptor y del sistema completo. Dado que el GPS para uso civil no se consideró inicialmente como una aplicación que necesitara alta precisión, ha provocado que a lo largo de los últimos años se hayan desarrollado diversos métodos para mejorar sus prestaciones, incluso su funcionalidad en zonas cerradas y de difícil cobertura. Estos sistemas, aunque no son perfectos, permiten que el dispositivo mejore sus prestaciones, independientemente de la selección de la antena GPS.

GPS mejorado (sistemas de aumentación)

Existen varios métodos de mejora de prestaciones de GPS. También conocidos como “sistemas de aumentación”. Entre ellos, los más utilizados son:

- GPS diferencial (DGPS). Mejora de la precisión del posicionamiento.
- SBAS (“Satellite Based Augmentation System”). Mejora de la precisión del posicionamiento y la integridad de la señal. EGNOS o WASS son ejemplos de implementación en Europa y América respectivamente.
- Assisted-GPS (A-GPS). Mejora las prestaciones en recepción para sitios cerrados, reduciendo el tiempo de adquisición para obtener un valor correcto de posición.
- Receptores GPS multifrecuencia. Las prestaciones de los receptores de GPS se están mejorando conti-

nuamente, especialmente con el uso de receptores de doble frecuencia y alta sensibilidad.

El uso de los sistemas de aumentación adquiere especial relevancia cuando la precisión que esperamos obtener está próxima a 1 m o valores menores. Hemos de tener en cuenta que un sistema GPS que no usa sistema de aumentación puede llegar a tener errores en la posición de 1 a 5 m en buenas condiciones de recepción de señal.

GPS diferencial (DGPS)

Una estación de GPS de referencia se sitúa en una posición conocida y calibrada de forma precisa. Esta estación de referencia determina su posi-

ción usando los satélites disponibles. Teniendo en cuenta que la posición de esta estación de referencia se conoce de forma exacta, la desviación entre la posición medida y la posición real, nos permite estimar el error de posicionamiento que se obtiene por la medida de la señal de cada uno de los satélites utilizados.

Estas correcciones nos serán válidas para todos los receptores GPS situados próximos a la estación de referencia en un rango de hasta 200 km. Es importante entender que las correcciones se basan en la información enviada por los satélites visibles en esta área y no en el error o desviación obtenido en la estación de referencia. De esta forma, con los datos enviados por las estaciones de referencia, cada receptor podrá mejorar su precisión hasta llegar a niveles de precisión de centímetros (fig. 13).

Los servicios DGPS recogen la información de las estaciones de referencia y la transmiten vía radio a los receptores móviles. Hay toda una variedad de canales disponibles por los que se transmiten todos estos datos de corrección. Cada uno de estos servicios usa una banda específica de radio con sus respectivas ventajas y desventajas. En la tabla de la figura 14 se muestra un resumen de los diferentes sistemas de transmisión de radio para enviar las correcciones diferenciales, con el rango de frecuencias donde opera y un resumen de prestaciones.

Las estaciones DGPS de referencia transmiten las correcciones según el

Sistemas de radio difusión	Rango de frecuencias	Ventajas	Desventajas	Standard Transmisión
Trasmisores de Onda media y Onda Larga (LW, MW)	100 – 600 KHz	Largos rangos de cobertura (1000 km)	Baja velocidad de transmisión de datos	RTCM SC104
Radio Baliza marítima	283 – 315 KHz	Largos rangos de cobertura (1000 km)	Baja velocidad de transmisión de datos	RTCM SC104
Radio Baliza de aviación	255 – 415 KHz	Largos rangos de cobertura (1000 km)	Baja velocidad de transmisión de datos	RTCM SC104
Trasmisor de Onda corta	3 – 30 MHz	Amplia cobertura	Calidad de señal dependiente en el tiempo y frecuencia	RTCM SC104
VHF y FM	30 – 300 MHz	Mayor velocidad de transmisión datos. Infraestructura existente.	Rango de cobertura limitado por la propagación terrestre.	RTCM SC104
Comunicaciones móviles (GSM, GPRS)	450,900,1800 MHz	Infraestructura existente. Mayor cobertura	Problemas de sincronismo. Servicios de pago.	RTCM SC104

Figura 14. Métodos de transmisión para las correcciones diferenciales (DGPS).

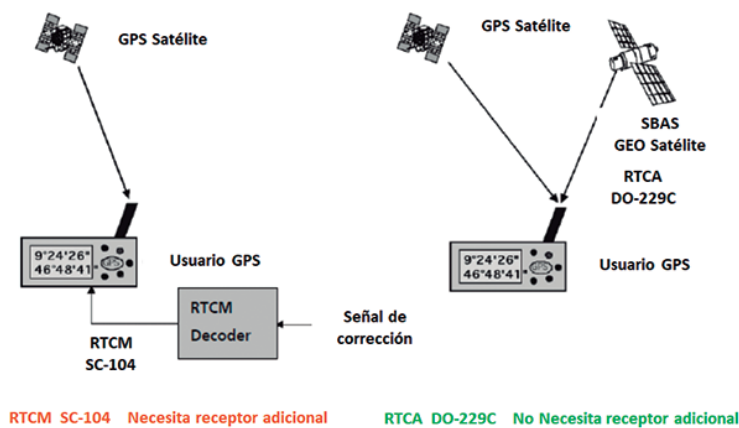


Figura 15. Comparación del envío de correcciones GPS según estándares RTCM o RTCA.

estándar de comunicaciones RTCM SC-104, esto significa que nuestro receptor de GPS deberá incorporar un decodificador adicional para recibir y procesar las correcciones enviadas. Esto provocará que el coste y la complejidad del receptor de GPS se eleve y por tanto es un factor a tener en cuenta en la fase de diseño. La decisión final para incorporar estos sistemas en nuestro receptor dependerá del nivel final de precisión que queramos obtener.

SBAS ("Satellite based augmentation systems")

El SBAS es un sistema de aumento de amplia cobertura, donde las correcciones no se basan sólo en las medidas de una estación de referencia terrestre, sino que se utiliza toda una red de estaciones de referencia de una zona o región.

El punto fuerte de los sistemas SBAS es que todas las correcciones para mejorar la precisión del receptor se envían por satélites geoestacionarios que usan la misma frecuencia de GPS (L1), siguiendo el estándar conocido como RTCA DO-229. Esta característica nos permite poder usar el mismo receptor y no tener que hacer grandes cambios en el hardware ni en las antenas seleccionadas para poder tener una precisión mejorada (figura 15).

Los sistemas SBAS a parte de conseguir mejorar la precisión en la posición dan mayor integridad y seguridad a las señales GPS que llegan a nuestro receptor. Ya que todas las estaciones terrestres de SBAS moni-

torizan continuamente todos los satélites y corroboran si la información enviada por cada satélite es válida o no, y así se la retransmiten a todos los receptores.

Actualmente la cobertura SBAS es bastante amplia (figura 16), con 2 sistemas mayoritarios: WAAS y EGNOS. WAAS cubre toda el área de Norte América (USA, Canadá y México) y EGNOS toda la zona de Europa. Siempre son sistemas compatibles entre sí, ya que usan el mismo estándar de transmisión (RTCA DO-229C).

Assisted-GPS (A-GPS)

Ha habido un incremento del número de dispositivos en el mercado que combinan funciones de teléfonos móviles (GSM, 3G,4G, etc..) con la navegación por satélite. Se ha de asumir que estos dispositivos no están siempre con el GPS activo, y así evitar limitar la vida de la batería y su tiempo de operación.

Como consecuencia de que el dispositivo de GPS se usa poco, es probable que no exista información disponible sobre la posición de los satélites. Un receptor de GPS normalmente requiere como mínimo de 18-36 segundos para poder conseguir toda la información orbital y hacer un cálculo de la primera posición (este parámetro se refiere como el "Time to first Fix: TTFF"). Bajo condiciones de difícil recepción (p.ej. zonas urbanas con grandes edificios o espacios que bloquean la visión directa con el cielo), el cálculo de la primera posición puede necesitar minutos para ser completado. Este efecto de lenta inicialización es un problema inherente del sistema de GPS en sí mismo y no se puede solucionar con ninguna tecnología de receptor mejorada.

En ausencia de los datos orbitales, el receptor de GPS debe llevar a cabo una búsqueda completa para poder encontrar todos los satélites disponibles, bajar toda la información y calcular la posición. La búsqueda de toda la información lleva asociado un alto consumo de tiempo. Aunque una constelación de satélites como GPS puede tener en órbita más de 30 satélites transmitiendo información de forma simultánea, el receptor de GPS necesitará de al menos 4 satélites para determinar nuestra posición.

Una determinación rápida de la posición y medida durante tramos de baja señal se puede conseguir con la obtención de información orbital y otra información de GPS. Esta información se puede disponer de ella vía otros sistemas de comunicación, por ejemplo, vía GSM, GPRS, CDMA o UMTS. Esta aplicación es conocida como ayuda y se conoce como

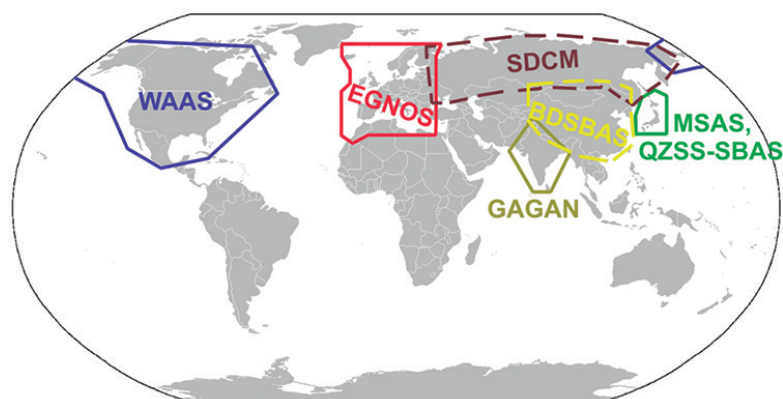


Figura 16. Áreas de cobertura SBAS.

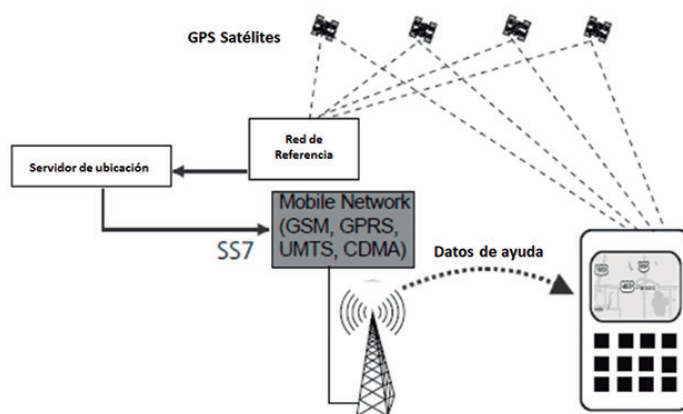


Figura 17. Sistema A-GPS.

“Assisted-GPS” (A-GPS o AGPS). A-GPS es una función o servicio que usa datos de ayuda para conseguir acelerar la determinación de la posición. El receptor de GPS recibe esta información de ayuda por el móvil o por internet. La información de ayuda incluye información como:

- Costelación de satélites.
- Datos precisos de la órbita.
- Información temporal.

Con la disponibilidad de la información de ayuda, el receptor de GPS puede determinar la posición de forma muy rápida, incluso en situaciones de mala recepción de señal (figura 17). En condiciones de baja señal, ésta es incluso la única manera de poder obtener un valor de posición. Dependiendo de la complejidad de esta información, se puede reducir significativamente el tiempo de arranque del GPS. Siempre, a mayor nivel de señal recibida, será necesario un menor tiempo para determinar la posición.

Receptores GPS multifrecuencia

La ionosfera es una capa de la atmósfera situada entre 60 a 1000 km sobre la tierra. Las moléculas de gas en la ionosfera tienen un alto nivel de ionización. Esta ionización está principalmente provocada por la radiación solar. Las señales del satélite en el vacío viajan a la velocidad de la luz, pero al atravesar la ionosfera, su velocidad se reduce y deja de poder considerarse que viajan a velocidad constante.

El nivel de ionización varía en función del tiempo y la localización, y es mucho mayor durante el día y en el Ecuador. Si el nivel de ionización es conocido, este efecto se podría corregir con modelos en el receptor. Pero, como el cambio en la velocidad de propagación es frecuente y variante en el tiempo, la mejor forma de poder compensarlo es con el uso de receptores GPS de doble frecuencia. Como se muestra en la figura anterior 2 los sistemas de navegación ya están preparados en uso civil para operar en doble banda. El GPS tiene habilitada las bandas L1@ 1575 MHz y L2@ 1227 MHz. Por tanto, otra opción para mejorar la precisión de nuestro módulo de GPS pasa por incorporar este tipo de receptores duales. Sin embargo, hemos de tener en cuenta que la complejidad de la antena y del circuito de RF aumenta, ya que tendremos que seleccionar antenas también de doble frecuencia y preparar la entrada del receptor con amplificadores y filtros en ambas frecuencias.

Conclusiones

Como siempre, la elección de la antena en un sistema GNSS es un compromiso de tres factores: prestaciones, dimensiones y coste.

Aunque las antenas de GNSS tipo chip se han convertido en una opción barata y pequeña, no es recomendable su uso para dispositivos donde la función de navegación es una prestación esencial y se requiere una elevada precisión en el posicionamiento.

En aplicaciones de alta precisión y mínimo error en la definición de la posición, el uso de antenas parche y helicoidal es obligatorio.

En los diseños donde el coste y las dimensiones tenga mayor peso, el uso de la antena parche será la mejor opción, como es el caso de la automoción.

También hemos presentado diferentes métodos, no dependientes del tipo de antena seleccionada, que nos permiten mejorar las prestaciones del sistema GPS. Desde los óptimos en prestaciones, como es el caso de los sistemas DGPS, hasta los óptimos en coste y menor complejidad como son los sistemas SBAS. Utilizando la señal de satélites geoestacionarios en la misma banda (GPS-L1) podremos aumentar la precisión e integridad de la señal recibida. Actualmente dos de los sistemas SBAS más utilizados son WAAS y EGNOS con cobertura en Norte América y Europa respectivamente.

Como una solución intermedia tenemos el uso de receptores de doble frecuencia, que sin tener que complicar el hardware con tanto nivel como los sistemas DGPS, nos permitirán mejorar las prestaciones del receptor compensando los errores de propagación en la ionosfera. 📍

REFERENCIAS

- Constantine A.Balanis. “Antenna theory. Analysis and design”, 2005, John Wiley & Sons
- John L.Volakis, “Fundamentals of Antennas, Arrays, and mobile communications”, 2007, McGraw-Hill
- Jaume Anguera i Antonio Pérez, “Teoría d’Antenas”, La Salle 2008.
- Selecting the right GNSS Antenna. www.gpsworld.com. Febrero 2016
- GPS Antennas. RF Design considerations for u-blox GPS receivers. Application note.
- Cómo obtener correcciones GPS gratuitas con SBAS. www.eos-gnss.com . Enero 2018
- U-blox 7 Receiver description. Including protocol specification V14. June 2018
- Fundamentals of GPS receivers (A Hardware Approach), Dan Doberstein. 2012. Springer Science+Business Media, LLC 2012.