

# IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE SEÑAL GPS EN MATLAB

Sanz, Lucas - Lopez García, Ignacio - Lorenzen, Lautaro.

Sistemas Electrónicos de Navegación y Telecomunicaciones (SENyT)  
Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Argentina  
Email: sanz.lucas@alu.ing.unlp.edu.ar

**Palabras clave:** GNSS, GPS, Matlab, Generador, Señal

## 1. Introducción

Los primeros sistemas de navegación, tales como Omega y LORAN, precursores de los sistemas satelitales de navegación global (GNSS por sus siglas en inglés) actuales, datan de 1960, y han evolucionado notablemente desde entonces. Su uso es ampliamente difundido en una vasta gama de aplicaciones, y las técnicas y tecnologías asociadas están en constante desarrollo. Existen actualmente 4 sistemas de posicionamiento global, denominados GLONASS, Galileo, BeiDou y GPS (administrados por la Federación Rusa, la Unión Europea, China y el Departamento de Defensa de los EEUU respectivamente). El presente trabajo se desarrolla en torno a este último.

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) consta de 31 satélites, los cuales transmiten información temporal y orbital a partir de la cual el receptor computa su posición mediante la técnica de trilateración, pudiendo lograr precisiones del orden de los metros, e incluso centímetros en determinadas implementaciones. Para esto, un receptor utiliza como mínimo 4 satélites de la constelación, midiendo la distancia a la que se encuentran cada uno de ellos en base al tiempo de viaje de la señal.

La comprensión de las técnicas involucradas es imprescindible para la investigación y el desarrollo de proyectos afines. Como se verá oportunamente, existe un considerable grado de complejidad en la estructura de esta clase de sistemas, y es aquí donde surge la importancia de las simulaciones. Simular nos permite modelar problemas del mundo real en un entorno seguro y de manera eficiente, proveyendo una importante herramienta de análisis sencilla de implementar, comunicar y comprender. De esta forma se facilita el desarrollo de tecnologías sin un gran despliegue de infraestructura, y la evaluación del impacto de diversos factores.

En el presente artículo se introducirán los conceptos estructurales del sistema GPS para luego abordar el desarrollo de un generador de señal GPS implementado en Matlab, donde la señal generada es exportada en un formato acorde para su lectura. Finalmente, se presentarán los resultados obtenidos validados mediante el software de código abierto *GNSS-SDR*.

## 2. Desarrollo

### 2.1. Fundamentos de GPS

Con el objetivo de simular la generación de una señal GPS resulta de interés modelarla. La señal que transmite un satélite  $k$  es de la forma

$$s^k(t) = \sqrt{2P_C}(C^k(t) \oplus D^k(t)) \cos(2\pi f_{L1}t) + \sqrt{2P_{PL1}}(P^k(t) \oplus D^k(t)) \sin(2\pi f_{L1}t) \\ + \sqrt{2P_{PL2}}(P^k(t) \oplus D^k(t)) \sin(2\pi f_{L2}t) \quad (1)$$

donde  $P_C$ ,  $P_{PL1}$  y  $P_{PL2}$  son las potencias asociadas a las señales de códigos C/A y P transmitidos.  $C^k$  y  $P^k$  son secuencias de código de expansión (en referencia a las técnicas de

espectro expandido),  $D^k$  es la secuencia de datos de navegación y  $f_{L1}$  y  $f_{L2}$  son las frecuencias de portadora (1575.42 y 1227.60 [MHz] respectivamente). Para el desarrollo del simulador nos concentraremos únicamente en la señal modulada con el código C/A a frecuencia  $f_{L1}$  con la cual ya podemos transmitir datos de navegación y definir posición y velocidad.

La secuencia de código  $C^k(t)$  también llamada Código de Adquisición Gruesa (Coarse Acquisition) es una secuencia de expansión Gold de 1023 chips (bits) única para cada satélite de la constelación. Dicha secuencia se genera a una tasa de 1.023 [MHz], de manera que una secuencia completa dura 1 [ms]. La secuencia de datos de navegación  $D^k(t)$  se genera a una tasa de 50 [bps].

La información se transmite constantemente en frames de 1500 bits (duración 30 segundos) divididos en 5 subframes de 300 bits (10 palabras con 30 bits cada una). En el primer subframe se transmite información sobre el *reloj de satélite* e indicadores de la confiabilidad de los datos. En los subframes 2 y 3 se transmiten las *efemérides* del satélite, es decir, el conjunto de parámetros orbitales que permiten *computar* la posición y velocidad del mismo en la órbita. En los subframes 4 y 5 se transmite información adicional que no resulta de interés para este trabajo.

## 2.2. Aspectos de Simulación



Para poder simular una señal GPS fidedigna, se debe partir de una posición y un tiempo de receptor conocidos. Es en base a esta información, junto con las efemérides vinculadas a los satélites, que es posible determinar la posición y velocidad de los mismos, y con ello, aquellos que estarían en vista para el receptor. Es también en base a estos parámetros que se calcula el corrimiento Doppler que experimentaría la señal a raíz del movimiento relativo entre transmisor y receptor, las correcciones por efecto *cinemático* Sagnac (asociado a la rotación terrestre), las correcciones por efectos relativistas, la influencia del *offset* y el *drift* en el reloj del satélite, efectos ionosféricos y/o troposféricos, entre otros. En este punto, conociendo la localización del receptor, es posible calcular los tiempos de viaje de señal para cada satélite.

Es evidente que para lograr generar datos relevantes es preciso contar con efemérides válidas, que representen datos realistas. Para ello, se emplean los archivos denominados **RINEX** (*Receiver INdependent EXchange*), un formato de ficheros de texto orientado a almacenar, de manera estandarizada, medidas proporcionadas por receptores de sistemas de navegación por satélite [4]. De esta forma, se dispone de efemérides “reales” válidas para un determinado momento.

Los datos de entrada del simulador, por su parte, serán la ubicación del receptor, el tiempo de interés en el cual se realiza la simulación (necesario para una correcta selección de las efemérides que correspondan), la relación entre la potencia de portadora y la densidad espectral de potencia de ruido  $C/N_0$  que se quiera considerar, y las frecuencias intermedia y de muestreo. Cabe mencionar que no se ha considerado dinámica para el receptor, es decir, su velocidad en el espacio es nula.

Por otro lado, se generan los bits de datos, en los cuales *codificamos* las efemérides seleccionadas a partir del tiempo considerado y en base a las especificaciones técnicas correspondientes [5].

Con los parámetros hasta aquí definidos y calculados, se generan las señales para cada satélite usando la expresión (1), cambiando la frecuencia de portadora *por una menor para reducir el costo computacional*. A continuación se combinan (se suman) y finalmente se añade ruido **AWGN** para simular lo “visto por la antena receptora”. La señal resultante es exportada con un formato adecuado para su lectura, la cual en este caso será realizada por el GNSS-SDR, a ser descrito en la sección siguiente.

### 2.3. GNSS-SDR

El GNSS-SDR es un receptor de señales GNSS definido por software. Es capaz de realizar todas las operaciones necesarias para demodular una señal GPS e interpretar sus mensajes, dando así una solución PVT (de Posición, Velocidad y Tiempo).

La principal ventaja es que ofrece una forma fácil y tecnológicamente poco demandante, pudiendo prescindir de un receptor GPS físico dedicado que puede resultar costoso y poco práctico según la aplicación deseada. Además, con este programa es posible observar y analizar todas las señales intermedias, lo que resultó muy conveniente.

## 3. Discusión y Resultados

### 3.1. Pre procesamiento

#### 3.1.1. Densidad espectral de potencia

En primer lugar, es de gran importancia verificar que la densidad espectral de potencia (DEP) de la señal generada tenga cierta similitud con la DEP de la señal teórica. En la Figura 1 es posible observar dicha similitud, teniendo en cuenta que la señal generada posee una frecuencia intermedia de 4 [MHz].

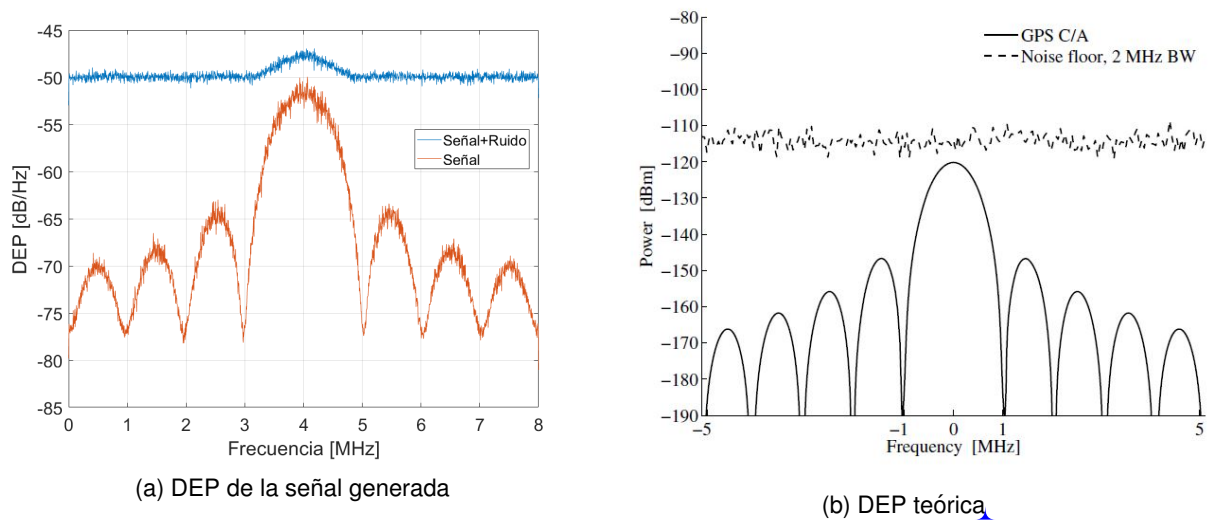


Figura 1: Comparación de densidades espectrales de potencia

#### 3.1.2. Adquisición

A la hora de comprobar si se encuentran satélites en vista, el receptor realiza una serie de operaciones que, en su conjunto, son conocidas como *adquisición*.

La adquisición consiste en encontrar un pico de correlación para un determinado satélite a una determinada frecuencia, a partir de la cual se puede inferir el corrimiento doppler y la fase de código de la señal. La correlación es realizada con una copia local del código C/A correspondiente al del satélite que se desea adquirir. Para hacerlo de manera correcta, es necesario conocer con cierta precisión ( $\pm 250$ [Hz]) la frecuencia de la señal recibida. Los resultados obtenidos son los que se muestran en la figura 2.

Un ejemplo de la adquisición resultante con la señal generada por el simulador para el satélite identificado con la secuencia PRN 7 y un doppler de 2.25 [KHz] se observa en la figura 2, donde es evidente que la adquisición fue hecha de manera satisfactoria, reflejando la visibilidad del satélite en cuestión.

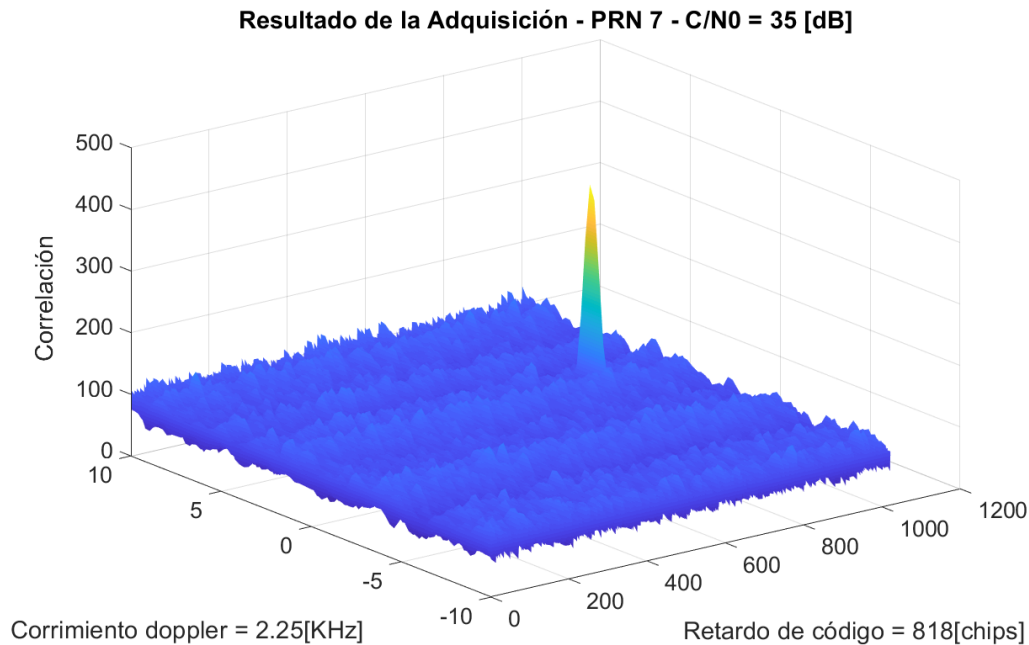


Figura 2: Resultado de la adquisición para el PRN=7

### 3.2. Obtención de posición

Una vez que las soluciones PVT son generadas por el receptor, se hizo uso de las mismas, en particular de la posición, para estimar la desviación estandar en metros respecto a la posición cargada en el generador. Esto resultó en una desviación  $\sigma_{lat} = 2,6075$  m, y  $\sigma_{long} = 1,6109$  m, usando el conjunto de datos que dieron lugar a los gráficos de las figuras 3 y 4. Es importante notar que distintas simulaciones en distintos puntos geográficos dieron lugar a desviaciones del mismo orden en metros.

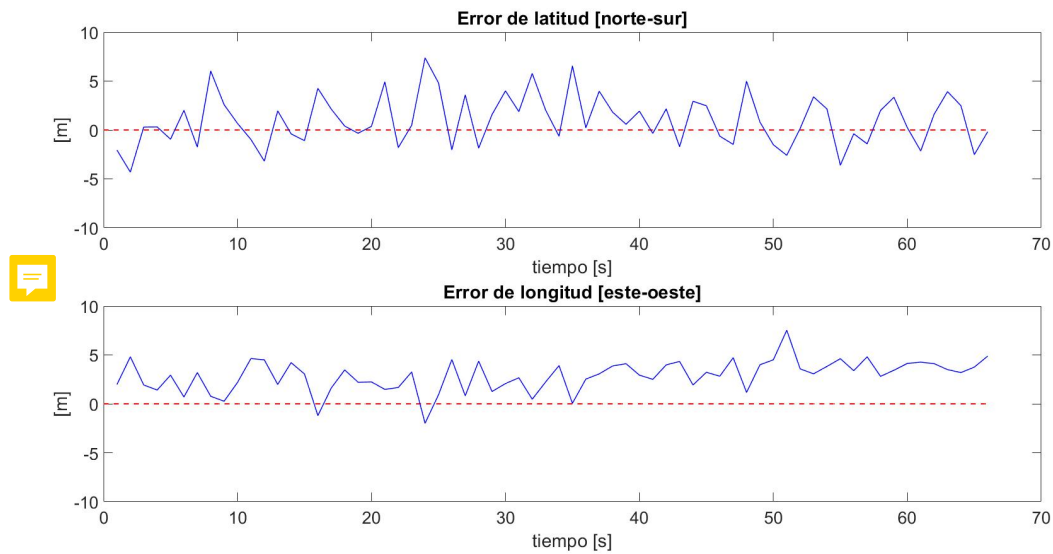


Figura 3

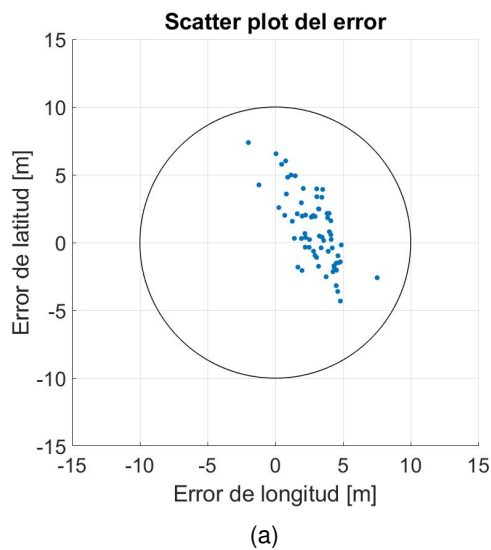


Figura 4: Comparación cualitativa del error en el mapa

## 4. Conclusiones

A partir de los resultados de simulación obtenidos, es posible concluir que el generador desarrollado cumple con los requerimientos mínimos de desviación espacial para una señal GPS-L1. Esto lo convierte en una herramienta de gran utilidad para el estudio y validación de sistemas GPS tanto en la modulación como en la demodulación de datos, dado que no resulta laborioso modificar las características de la señal ni diseccionar de una forma concreta.

En un futuro la generación de señal podría mejorarse, incorporando factores de mayor complejidad como un receptor en movimiento, retardos asociados al paso por la ionósfera y la tropósfera, estimación realista de las relaciones  $C/N_0$  de cada satélite en vista, y el efecto del multicamino. Además, se podría optimizar la implementación para generar señales de mayor

duración en tiempos de ejecución menores con el objetivo de simular transmisión y recepción en tiempo real.

## Referencias

1. Borre, K., Akos, D.M., Bertelsen, N., Rinder, P., Jensen, S.H.: A software-defined GPS and Galileo receiver. Birkhäuser, Boston, Massachusetts (2007)
2. Guo, J., Wang, W., Chao, B.: Model of GPS IF signal and its simulation. *Geo-spatial Information Science* **12**(2), 100–103 (2009). <https://doi.org/10.1007/s11806-009-0225-x>
3. Joseph, A.: GNSS Solutions - Measuring GNSS signal strength. *Inside GNSS column* pp. 20–25 (2010), <http://www.insidegnss.com>
4. NASA: [https://cddis.nasa.gov/Data\\_and\\_Derived\\_Products/GNSS/broadcast\\_ephemeris.data.html](https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/broadcast_ephemeris.data.html)
5. U.S. Government: Interface control document for GPS, <https://www.gps.gov/technical/icwg/IS-GPS-200L.pdf>