

Cálculos de Posicionamiento Global Usando Protocolo NMEA 0183 y Google Earth

Global Positioning Calculus Using Protocol NMEA 0183 and Google Earth

Richard Junior Manuel Godínez Tello¹

Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú

Resumen— El presente trabajo presenta los factores claves del protocolo NMEA 0183 para determinar la posición geográfica de un objeto o persona, la misma que actualmente es utilizada en los receptores de GPS como estándar en los sistemas de navegación. En forma experimental, se realizó medidas comparativas utilizando el chip GPS SIRFSTAR III y Google Earth, inicialmente mediante cálculos manuales y luego de forma automática por software. Se llegó a comprobar el error de precisión estimado en los DGPS. Los experimentos fueron analizados en el Laboratorio de Procesamiento de Señales de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Abstract— This paper presents the key factors NMEA 0183 protocol to determine the geographical position of an object or person, it is currently used in GPS receivers as a standard in navigation systems. Experimentally were comparative measurements using the SIRFSTAR III GPS chip and Google Earth, initially using manual calculations and then automatically by software. It found the estimated precision error in the DGPS accuracy. The experiments were analyzed in the Signal Processing Laboratory of the Faculty of Electrical Engineering from the Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Palabras clave— GPS, DGPS, GDOP, GPRMC, RMC, Google Maps, Google Earth, timing, ASCII, NMEA 0183, GPRMC

Key words— GPS, DGPS, GDOP, GPRMC, RMC, Google Maps, Google Earth, timing, ASCII, NMEA 0183, GPRMC

I. INTRODUCCIÓN

La ubicación satelital de personas o cosas es un tema de mucho interés, ya sea por motivos de seguridad,

por motivos de control y/o monitoreo de procesos. Es por ello que en la actualidad podemos encontrarlo en coches que transportan bienes de valor, en buses de transporte público, en buques de altamar y hoy en día en sistemas integrados de rastreo en nuestros celulares que tienen la función de valor agregado de guiar mediante voz hacia un destino final. Los cálculos vistos más adelante nos permitirán entender la forma de cómo un receptor GPS (*Global Position System*) realiza la diagramación de un punto de ubicación del sujeto en estudio.

Inicialmente el Sistema de Posicionamiento Global, llamado también NAVSTAR-GPS (*NAVigation System and Ranging*) [1], fue establecido por el departamento de defensa de los Estados Unidos, en 1973, ante las limitaciones a los sistemas de navegación existentes, ello empezó con 24 satélites [2]. En 1996, los Estados Unidos formularon una declaración de política nacional sobre la gestión y uso de los servicios de posicionamiento, navegación y cronometría (PNT – *Position Navigation Timing*) con base en el espacio, que incluye el GPS y sus ampliaciones. En esa declaración se destacó el uso dual, civil y militar, del GPS y se estableció una estructura nacional conjunta civilo-militar de gestión encargada de supervisar su funcionamiento [3]. Este sistema consta de 3 partes fundamentales: el espacio segmentado, el control segmentado y el usuario segmentado [4].

Los receptores GPS nos determinan la posición, velocidad, dirección y tiempo, todo ello transmitido a través de microondas por los satélites GPS. Cada receptor GPS usa tres parámetros de locación (latitud, longitud y altitud) con el adicional del tiempo.

¹ Richard J. M. Godínez Tello. E-mail: rgodinez85@gmail.com

El espacio segmentado está compuesto de 32 satélites que orbitan alrededor de la Tierra, el control segmentado compuesto de una estación de control maestro, un control maestro alterno y un conjunto de antenas (en tierra) y estaciones de monitoreo [3], [4]. El usuario segmentado son las fuerzas militares de los Estados Unidos que brindan seguridad al sistema GPS, también está conformada por todos los usuarios que hacen uso del servicio GPS mediante sus receptores.

Los satélites hacen un *zoom* a través del cielo aproximadamente a 7000 millas por hora. A un satélite le toma cerca de 12 horas completar la órbita de la Tierra, pasando por la misma posición aprox. cada 24 horas. Los receptores GPS pueden recibir señales desde al menos seis de los satélites en cualquier tiempo y en cualquier localización en la Tierra (si nada obstruye las señales) [2]. El receptor GPS está constituido como lo muestra el siguiente diagrama:

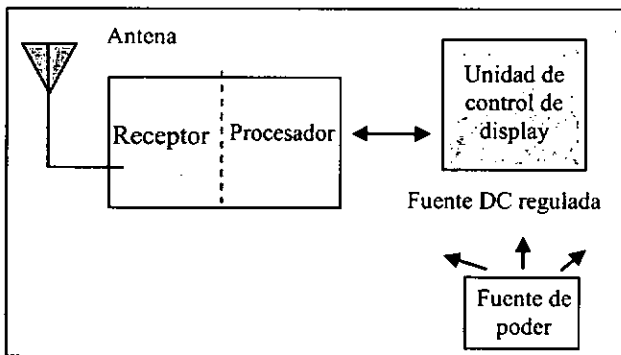


Fig. n.º 1. Principales componentes de un receptor GPS [4]

La frecuencia de recepción de una señal proveniente de un satélite GPS pueden ser de dos tipos de bandas: 1,575.42 MHz (L1) o 1,227.6 MHz (L2), moduladas por la codificación (C/A-Coarse Acquisition) a 1.023 MHz y código (P-Precision) 10.23MHz, respectivamente, ésta última exclusiva de uso militar [2], [5], [6].

Existen otros sistemas de posicionamiento global, como el Sistema de Satélites Europeo GALILEO, el sistema ruso GLONASS, el sistema chino BEIDOU 1 y BEIDOU 2 (COMPASS), y el sistema IRNSS de la India [4], [7].

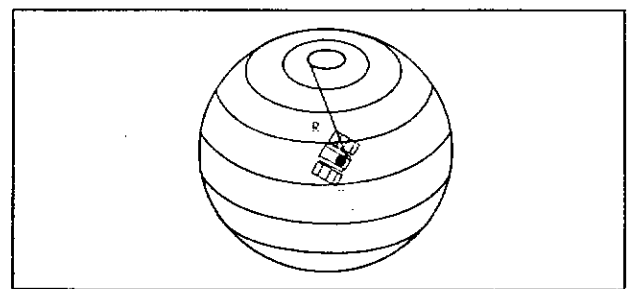
II. FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

Existen cinco pasos que nos permiten comprender el funcionamiento del sistema:

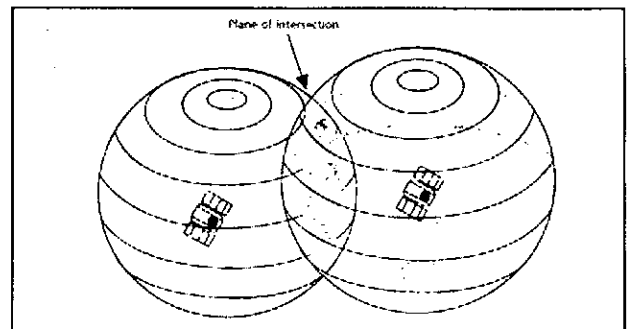
a) *Triangulación*: Este factor implica el hecho de que si queremos ubicar un punto determinado tendremos que recurrir mínimo a tres satélites. Esto es, si tenemos un satélite ubicado sobre nuestra posición (Fig. n.º 2a) requeriremos uno más para formar un

plano de intersección (Fig. n.º 2b) y luego otro más el cual genera dos puntos, que podría causar inexactitudes si es que lo vemos desde un punto de referencia distinto (fuera de la superficie de la Tierra); evidentemente será el punto que toca la superficie de la tercera esfera como se muestra en la (Fig. n.º 2c). Necesitaremos otros satélites más que nos proporcionen el tiempo y a ello otros más para así obtener datos más precisos.

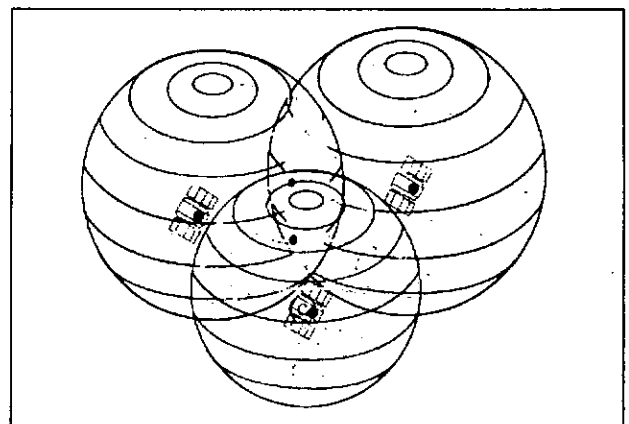
En la práctica suelen haber más satélites disponibles que los que el receptor GPS necesita para fijar una posición, de manera que el receptor toma algunos e ignora al resto.



(a)



(b)



(c)

Fig. n.º 2. Proceso de triangulación para determinar la posición geográfica de un objeto. (a) Satélite sobre el punto en estudio. (b) Dos satélites formando un plano de intersección. (c) La triangulación de tres satélites GPS nos darán la posición geográfica precisa del objeto [4]

b) *Distancias*: Usando la fórmula $\text{Distancia} = \text{Velocidad} \times \text{Tiempo}$, un receptor GPS calcula la distancia del satélite. Una señal de radio viaja a la velocidad de la luz (186000 millas por segundo). El receptor GPS necesita conocer cuánto toman la señal de radio en viajar desde el satélite al receptor para calcular la distancia. Ambos, el satélite y el receptor GPS generan una secuencia de código pseudo-randómica idéntica. Cuando el receptor GPS recibe este código transmitido, éste determina cuánto necesita el código ser desplazado (usando el principio de desplazamiento Doppler) para que las dos secuencias de código correspondan. El desplazamiento es multiplicado por la velocidad de la luz para determinar la distancia al receptor [2].

c) *Tiempo*: Es fundamental para conocer la distancia a los satélites. Y para ello, se logra con una medición adicional que corrige el desfase del timing. No es necesario que nuestros receptores GPS tengan una precisión similar a la de los relojes atómicos que poseen los satélites GPS.

d) *Posición*: La responsabilidad del control constante recae principalmente en el departamento de defensa de los Estados Unidos, cuyo trabajo garantiza que los satélites GPS se encuentren en las órbitas exactas. Utilizando radares precisos buscan mantener la altura exacta, la posición y la velocidad del satélite. Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución gravitacional del Sol, de la Luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites.

Cuando el departamento de Defensa haya corregido y encontrado la posición precisa de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. Con ello el satélite actualiza sus datos e incluye su nueva posición corregida y ésta es transmitida hacia los receptores GPS.

De esa manera la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de timing. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite. Con un timing perfecto y la posición exacta del satélite podríamos pensar que estamos en condiciones de efectuar cálculos perfectos de posicionamiento. Sin embargo, existen otros problemas que se detallarán en los siguientes párrafos [8].

e) *Corrección*: Por último, el GPS debe corregir cualquier demora en el tiempo de viaje de la señal que ésta pueda sufrir mientras atraviesa la atmósfera.

Como es lógico suponer, ninguno de los procesos realizados se trabaja al vacío. Existen muchas causas que permitirían dar cifras inexactas para el cálculo de la posición y timing. Errores, como por ejemplo, durante

el paso por la ionósfera hacia la tropósfera las señales pueden sufrir variaciones en cuanto a la velocidad, creando error de precisión de relojes. Esto se puede minimizar prediciendo cuál sería el valor típico de un día promedio. Otra manera de reducir estos errores atmosféricos sería comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores de GPS muy avanzados [8].

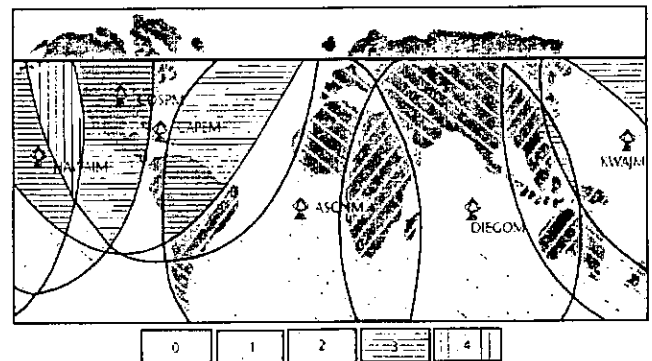


Fig. n.º 3. Cobertura de las Estaciones de Control Maestro alrededor de la Tierra [4]

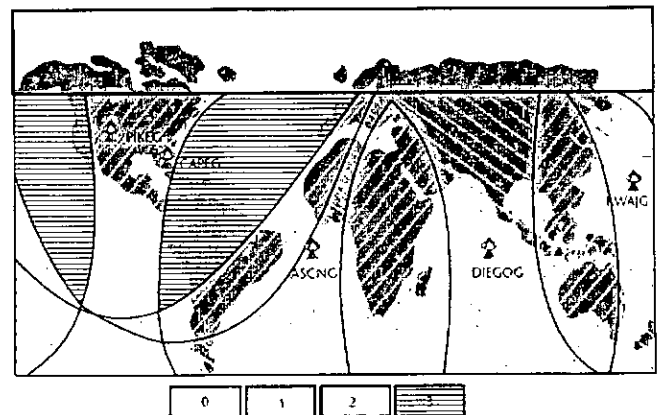


Fig. n.º 4. Cobertura de las estaciones de antenas alrededor de la Tierra [4]

La señal de GPS presenta aún problemas a su llegada a Tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS.

Pese a que el sistema posee satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores. Los relojes atómicos que utilizan son muy precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir minúsculas variaciones de posición o efemérides que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales. Y aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco puede ser controlada a cada segundo [8].

Inclusive la propia geometría puede magnificar estos errores mediante un principio denominado "Dilución Geométrica de la Precisión" (GDOP). Si el receptor toma satélites que están muy juntos en el cielo, las circunferencias de intersección que definen la posición se cruzarán a ángulos con muy escasa diferencia entre sí. Esto incrementa el área gris o margen de error acerca de una posición. Si el receptor toma satélites que están ampliamente separados, las circunferencias intersecan a ángulos prácticamente rectos y ello minimiza el margen de error [8].

Los buenos receptores son capaces de determinar cuáles son los satélites que dan el menor error por Dilución Geométrica de la Precisión.

A continuación, se presentará una fórmula para calcular el GDOP y sus componentes, como una función de la geometría de cuatro satélites GPS. Para la navegación de cuatro satélites GPS, las ecuaciones de navegación linealizadas son dadas en Jorgensen (1980) [9], [10] como:

$$H_4 \cdot \bar{x} = \bar{\rho} \tag{1}$$

Donde \bar{x} : es el vector de dimensión cuatro de las correcciones de la posición y el tiempo, $\bar{\rho}$: vector de los residuales de las pseudodistancias, y H_4 : Matriz de los cosenos directores asociados al vector de cada satélite.

La varianza de los errores de la posición y el tiempo son funciones de los elementos de la diagonal $[H_4^T \cdot H_4]^{-1}$. Esto conduce al concepto de GDOP que se define (Sturza, 1983) [10], [11] como

$$GDOP = \sqrt{\text{Traza}[H_4^T \cdot H_4]^{-1}} \tag{2}$$

De manera que

$$GDOP = \frac{\sqrt{V_x + V_y + V_z + V_T}}{\sigma_{\rho}} \tag{3}$$

GDOP se puede dividir en las diluciones de precisión en posición y tiempo, PDOP y TDOP, respectivamente:

$$GDOP^2 = PDOP^2 + TDOP^2 \tag{4}$$

Donde PDOP

$$PDOP = \frac{\sqrt{V_x + V_y + V_z}}{\sigma_{\rho}}$$

$$y \quad TDOP = \frac{\sqrt{V_T}}{\sigma_{\rho}} \tag{5}$$

A su vez, el PDOP se puede dividir en HDOP y VDOP, diluciones de precisión en planimetría y altrimetría, respectivamente, de manera que

$$PDOP^2 = HDOP^2 + VDOP^2$$

$$HDOP = \frac{\sqrt{V_x + V_y}}{\sigma_{\rho}} \tag{6}$$

$$y \quad VDOP = \frac{\sqrt{V_z}}{\sigma_{\rho}}$$

El HDOP se puede resolver más a fondo en sus componentes X e Y. Si el eje de las X se orienta en una dirección de Oeste a Este, un "al este" DOP (EDOP) y un "al norte" DOP (NDOP) puede definirse (USAF, 1996) [6], [10] como

$$NDOP = \frac{\sqrt{V_x}}{\sigma_{\rho}} \quad y \quad EDOP = \frac{\sqrt{V_y}}{\sigma_{\rho}} \tag{7}$$

El equipo GPS después del post-procesamiento de los datos, devuelve además el error cuadrático medio (emq) para cada medición, la matriz Q que es la inversa de la matriz normal de la ecuación del ajuste por mínimos cuadrados (Leica GeoSystem, 1994) [10], [12] y está definida como:

$$Q = (H_4^T \cdot H_4)^{-1} = \begin{bmatrix} q_{xx} & q_{xy} & q_{xz} & q_{xt} \\ q_{yx} & q_{yy} & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{zx} & q_{zy} & q_{zz} & q_{zt} \\ q_{tx} & q_{ty} & q_{tz} & q_{tt} \end{bmatrix} \tag{8}$$

El error cuadrático medio en las soluciones posición, tiempo (PT) se relaciona (USACE, 2003) [10], [13] con la geometría, según la ecuación

$$\sqrt{\sigma_{x_i}^2 + \sigma_{y_i}^2 + \sigma_{z_i}^2 + \sigma_t^2} = GDOP \cdot \sigma_{UERE} \tag{9}$$

Donde σ_{UERE} error en la medida de la pseudodistancia equivalente a σ_{ρ} ; GDOP; factor de geometría que se calcula como

$$GDOP = \sqrt{q_{xx} + q_{yy} + q_{zz} + q_{tt}} \tag{10}$$

Por el mismo razonamiento, se pueden definir PDOP, TDOP, HDOP y VDOP; y por supuesto el NDOP y el EDOP (USAF, 1996) [6], [10] como

$$NDOP = \sqrt{q_{xx}} \tag{11}$$

$$EDOP = \sqrt{q_{yy}}$$

Donde q_{xx} y q_{yy} pertenecen a la traza de la matriz Q definida en la Ec. (8)

Esta descomposición permite estudiar separadamente la mejor X y la mejor Y, que no tiene por qué coincidir en el mismo punto.

III. EL GPS DIFERENCIAL

El GPS Diferencial o DGPS introduce una mayor exactitud en el sistema. Ese tipo de receptor, además de recibir y procesar la información de los satélites, recibe y procesa, simultáneamente, otra información adicional procedente de una estación terrestre situada en un lugar cercano y reconocido por el receptor. Esta información complementaria permite corregir las inexactitudes que se puedan introducir en las señales que el receptor recibe de los satélites. En este caso, la estación terrestre transmite al receptor GPS los ajustes que son necesarios realizar en todo momento, éste los contrasta con su propia información y realiza las correcciones mostrando en su pantalla los datos correctos con una gran exactitud [14].

El único inconveniente del GPS Diferencial es que la señal que emite la estación terrestre cubre solamente un radio aproximado de unos 200 kilómetros. No obstante ese rango es más que suficiente para realizar una maniobra de aproximación y aterrizaje de un avión a un aeropuerto [14].

Existen también receptores GPS mucho más sofisticados que funcionan recibiendo múltiples señales de radiofrecuencia. En esos dispositivos el margen de error no sobrepasa los 25 centímetros [14].

TABLA 1
Errores comunes entre GPS standard y GPS diferencial en metros [8]

Fuentes de error	GPS Standard	GPS Diferencial
Reloj de satélite	1.5	0
Errores orbitales	2.5	0
Ionósfera	5.0	0.4
Tropósfera	0.5	0.2
Ruido en el receptor	0.3	0.3
Señal fantasma	0.6	

TABLA 2
Precisión del GPS [2]

Modo GPS	Distancia en pies	Distancia en metros
GPS standard	49	15
DGPS	10-16	3-5
GPS con WAAS *	10	3

WAAS = Sistema de Argumentación de Área Amplia [2]

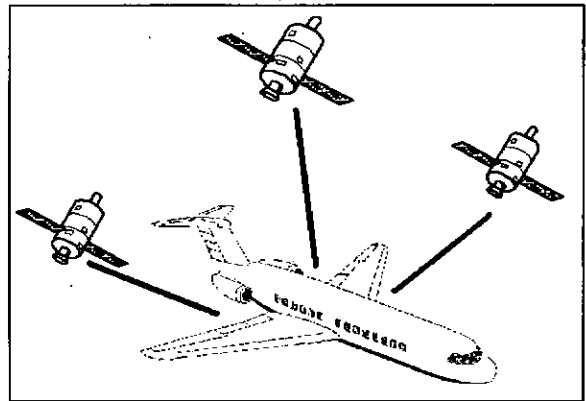


Fig. n.º 5. El GPS que se emplea en los aviones es de tipo "diferencial"

IV. EL PROTOCOLO NMEA 0183

El protocolo NMEA 0183 (*NMEA - National Marine Electronics Association*) es un estándar de comunicación de datos cuyas sentencias fueron establecidas por la Asociación Nacional de Marineros Electrónicos, hoy en día están en la versión 4.00 del protocolo el cual originalmente sirvió para comunicar dispositivos como sonares, anemómetros, girocompases, autopilotos, receptores GPS y muchos otros tipos de instrumentos marinos [2], [15].

El estándar NMEA 0183 usa codificación ASCII, comunicación serial que define cómo la data es transmitida en una sentencia de punto a multipunto, esto es "Broadcast". A través del uso de expansores intermediarios, un emisor puede establecer una comunicación unidireccional con un número ilimitado de receptores, y usando multiplexores, múltiples sensores podemos comunicarnos a un solo puerto de computadora.

TABLA 3
Configuración serial (capa de red de datos)

Tasa de Bits	4,800
Bits de datos	8
Paridad	Ninguno
Bits de parada	1
Enumeración	Ninguno

Reglas del protocolo en la capa de aplicación:

- a) Cada mensaje debe empezar con el carácter de dólar (\$).
- b) Los siguientes cinco caracteres identifican al emisor (dos caracteres) y al tipo de mensaje (tres caracteres).
- c) Todos los campos de datos son seguidos por comas delimitadas.
- d) Donde la data está disponible, el correspondiente campo contiene 0 bytes. (Por ejemplo en "123,456", el segundo campo de datos está disponible).
- e) El primer caracter que inmediatamente continua al último campo de datos es un asterisco.

f) El asterisco es inmediatamente seguido por dos dígitos "checksum" representando un número hexagesimal. El "checksum" es el OR EXCLUSIVO de todos los caracteres entre \$ y *. Acorde a la especificación oficial, el "checksum" es opcional para la mayoría de sentencias de datos, pero es obligatorio para RMA, RMB y RMC (entre otros).

g) <CR><LF> finalizan el mensaje.

V. INTERPRETACIÓN BÁSICA DE COMANDOS NMEA 0183

Las siguientes sentencias (que ahora en adelante las denominaremos así) son las más importantes del protocolo NMEA y que son usados por los principales fabricantes de receptores GPS del medio. Aclarar que los primeros caracteres hacen referencia al ID del emisor (GP para una unidad GPS; GL, si fuera el caso para un sistema GLONASS)

TABLA 4
Sentencias NMEA más comunes [16], [17]

\$GPALM	Datos GPS de almanaque.
\$GPGGA	Tiempo posición y tipo de data fija.
\$GPGLL	Latitud, longitud, hora UTC y posición fija y estado
\$GPRGS	Rangos residuales GPS
\$GPGSA	GPS DOP (Dilución de la precisión) y satélites activos
\$GPGST	Estadísticas pseudorange GPS
\$GPGSV	Número de satélites GPS a la vista, elevación, azimut y valores SNR.
\$GPMSS	Radio señal a ruido, fuerza de señal, frecuencia. Estado de señal guía receptora
\$GPRMC	Data de Tiempo, fecha, posición,

	curso y velocidad. Datos mínimos recomendados.
\$GPVTG	Curso sobre la Tierra y velocidad de recorrido relativo a la Tierra.
\$GPZDA	Mensaje de Timing PPS (Sincronizado a PPS) Tiempo y fecha.
\$PTNL,GGK	Tiempo, posición y valores DOP.

A continuación se describirá las más importantes sentencias.

a) GGA —Global Positioning System Fixed Data.
Ejemplo:

SGPGGA, 161229.487,3723.2475,N,12158.3416,W,1.07,1.0,9.0,M,...0000*18

TABLA 5
Formato de la sentencia GGA [16]

Name	Example	Units	Description
Message ID	SGPGGA		GGA protocol header
UTC Time	161229.487	hhmmss.sss	
Latitude	3723.2475	ddmm.mmmmm	
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416	dddmm.mmmmm	
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Position Fix Indicator	1		See Table 1-4
Satellites Used	07		Range 0 to 12
HDOP	1.0		Horizontal Dilution of Precision
MSL Altitude	9.0	meters	
Units	M	meters	
Geoid Separation		meters	
Units	M	meters	
Age of Diff. Corr.		second	Null fields when DGPS is not used
Diff. Ref. Station ID	0000		
Checksum	*18		
<CR><LF>			End of message termination

b) GLL—Geographic Position - Latitude/Longitude
Ejemplo:

SGPGLL, 3723.2475,N,12158.3416,W,161229.487,A,A*41

TABLA 6
Formato de la sentencia GLL [16]

Name	Example	Units	Description
Message ID	SGPGLL		GLL protocol header
Latitude	3723.2475	ddmm.mmmmm	
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416	dddmm.mmmmm	
E/W Indicator	W		E=east or W=west
UTC Time	161229.487	hhmmss.sss	
Status	A		A=data valid or V=data not valid
Mode	A		A=Autonomous, D=DGPS, E=DE (Only present in NMEA version 3.00)
Checksum	*41		
<CR><LF>			End of message termination

c) RMC—Recommended Minimum Specific GNSS Data.

Ejemplo:

\$GPRMC,161229.487,A,3723.2475,N,12158.3416,W,0.13,309.62,120598.1,*10

TABLA 7
Formato de la sentencia RMC [16]

Name	Example	Units	Description
Message ID	\$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Status ¹	A		A=data valid or V=data not valid
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmmm
N/S Indicator	N		N=north or S=south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmmm
E/W Indicator	W		E=east or W=west
Speed Over Ground	0.13	knots	
Course Over Ground	309.62	degrees	True
Date	120598		ddmmyy
Magnetic Variation ²		degrees	E=east or W=west
Mode	A		A=Autonomous, D=DGPS, E=DR
Checksum	*10		
<CR> <LF>			End of message termination

¹ A valid status is derived from the SIRF Binary-MTD 2 position mode 1. See the SIRF Binary Protocol Reference Manual.
² SIRF Technology Inc. does not support magnetic declination. All "course over ground" data are geodesic WGS84 directions.

Las letras en *italic rojo* de las tablas son aplicadas solamente a las versiones NMEA 2.3 (y posterior) [16].

En cuanto al protocolo NMEA 2000, ésta puede ser considerada como la sucesora del NMEA 0183. Posee una alta tasa de data (250 kbits/segundo vs. 4800 bits/segundo del NMEA 0183). Usa un formato binario compacto en oposición al protocolo serial ASCII usado por el NMEA 0183. Otra característica es que el NMEA 2000 soporta múltiples emisores y múltiples receptores.

VI. TRANSFORMACIONES IMPORTANTES

Teniendo en cuenta el siguiente gráfico:

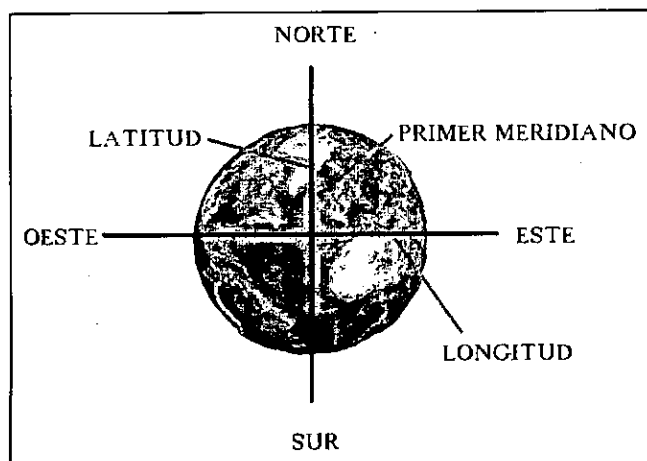


Fig. n.º 6. Diagrama de parámetros en estudio

Transformación de Latitud, Longitud y Hora:

LATITUD:
$$Latitud = -(aa + \frac{bb.bbbb}{60}) \quad (12)$$

LONGITUD:
$$Longitud = -(aaa + \frac{bb.bbbb}{60}) \quad (13)$$

HORA:

En el caso de Perú:
$$UTC-5 \quad (14)$$

MILLAS POR HORA A METROS/SEGUNDO:

$$1\text{mph} = 0.44704\text{m/s} \quad (15)$$

VII. EL CHIP GPS SIRFSTAR III

Para la experimentación de resultados usaré el chip GPS SIRFSTAR III de la compañía SIRF TECHNOLOGY HOLDINGS, la cual es una familia muy usada por la mayoría de empresas fabricantes de receptores GPS y aplicadas a redes asíncronas de 2G, 2.5G y 3G en GSM/GPRS, cabe indicar que se trata de un DGPS.

El chip GPS SIRFSTAR III se encuentra en el módulo de entrenamiento de GSM/GPRS denominado "UBSAT" (UBicación SATelital) v. 1.00 desarrollado por el grupo de Procesamiento de Señales - UNMSM.

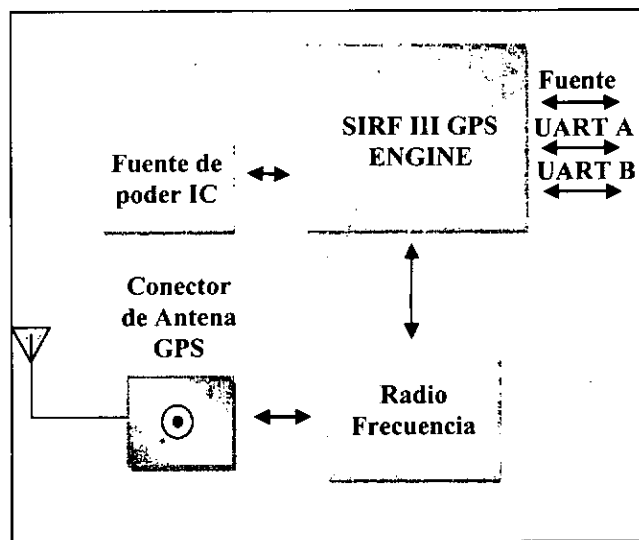


Fig. n.º 7. Diagrama funcional del receptor GPS SIRF STAR III CHIP [18]

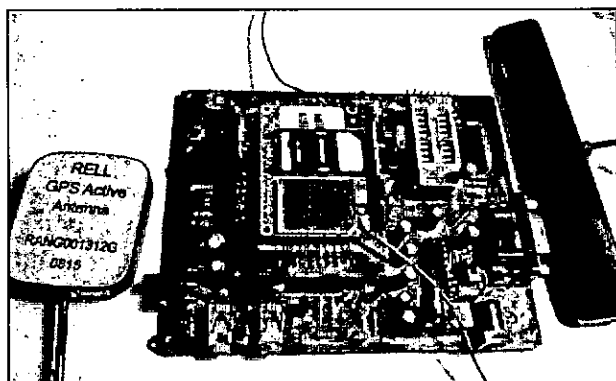


Fig. n.º 8. Módulo de entrenamiento de GSM/GPRS "UBSAT"

VIII. RESULTADOS EXPERIMENTALES

Probaremos el funcionamiento de la siguiente manera:

a) Analizando 1 dato de la sentencia RMC, esto es, un punto en el tiempo y espacio.

Durante el momento de inicialización del sistema se obtuvo las siguientes sentencias:

```
$PSRFTXT,TOW: 0*25
$PSRFTXT,WK: 1421*63
$PSRFTXT,POS: 6378137 0 0*2A
$PSRFTXT,CLK: 96250*25
$PSRFTXT,CHNL: 12*73
$PSRFTXT,Baud rate: 4800*65
$GPGGA,235947.061,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*5F
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPRMC,235947.061,V,,,,,,310307,,,N*42
$GPVTG,,T,,M,,N,,K,N*2C
$GPGGA,235948.067,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*56
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPRMC,235948.067,V,,,,,,310307,,,N*4B
$GPVTG,,T,,M,,N,,K,N*2C
$GPGGA,235949.052,,,,,0,00,,,M,0.0,M,,0000*51
$GPGSA,A,1,,,,,,,,,,,,,*1E
$GPRMC,235949.052,V,,,,,,310307,,,N*4C
$GPVTG,,T,,M,,N,,K,N*2C
$GPGGA,235950.052,,,,,0,
```

El rango de Baudios de comunicación serial fue establecido como 4800. Según la sentencia GPRMC los datos no son válidos debido a la letra V en el tercer campo. Y las sentencias iniciales de PSRF indican el fabricante, en este caso SIRF.

Dejamos pasar unos minutos y ya habremos enganchado a tres satélites como mínimo, obteniendo la siguiente trama:

```
$GPVTG,171.04,T,,M,0.43,N,0.8,K,A*01
$GPGGA,094304.000,1209.5559,S,07659.4677,W,1,0
6,3.0,85.7,M,8.6,M,,0000*51
$GPGSA,A,3,31,14,18,22,30,24,,,,,5.5,3.0,4.6*38
$GPRMC,094304.000,A,1209.5559,S,07659.4677,W,
0.42,172.94,270810,,,A*61
$GPVTG,172.94,T,,M,0.42,N,0.8,K,A*0A
$GPGGA,094305.000,1209.5560,S,07659.4678,W,1,0
6,3.0,85.4,M,8.6,M,,0000*56
$GPGSA,A,3,31,14,18,22,30,24,,,,,5.5,3.0,4.6*38
```

Analizando datos de la sentencia RMC:

Los datos en RMC ya son válidos.

RMC	Sentencia de cabecera.
094304.000	Hora UTC
A	STATUS = data válida
1209.5559	Latitud: 12 Grados 9.5559 Minutos
S	Sur
07659.4677	Longitud: 76 Grados 59.4677 Minutos
W	Oeste
0.42	Velocidad respecto a tierra en nudos.
172.94	Curso respecto a tierra, grados.
270810	Fecha dd-mm-yy
Variación Magnética, Grados	
Modo A= Autonomo (versiones NMEA 2.3 y posterior)	
*61	Checksum

Para la ubicación en Google Maps o Earth usaremos los parámetros de latitud y longitud:

Datos de la secuencia GPRMC:

Latitud : 1209.5559 = 12º9.5559'
 Longitud : 07659.4677 = 76º59.4677'

De las fórmulas anteriores (12) y (13), si consideramos la latitud y longitud como:

Latitud : aabb.bbbb
 Longitud : aaabb.bbbb

Tendríamos

Latitud : - (aa + bb.bbbb/60)
 Longitud : - (aaa + bb.bbbb/60)

Calculando obtenemos lo siguiente e insertamos los datos a Google Maps como se aprecia en la Fig. 8.

Latitud : -12.159265
 Longitud : -76.991128333333333333333333333333

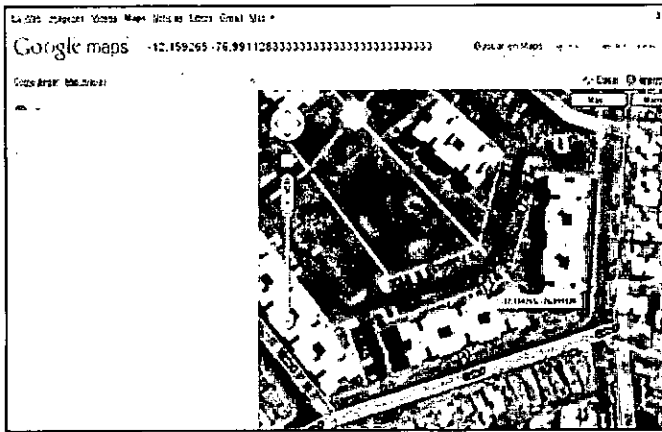


Fig. n.º 8. El indicador verde nos muestra la ubicación exacta

El resultado es el esperado y la ubicación es exacta, a medida que pasan más minutos el GPS logró obtener mayor precisión.

b) Analizando datos RMC en secuencia y ploteados en Google Earth mediante software

Para ello utilicé una herramienta denominada GooPs [19], que posee una versión gratuita para visualizar tracking a través de comunicación serial, recibe señales de GPS ya sea de forma directa o a través de un servidor FTP. Este software realiza la función de un hyperterminal (herramienta de depuración) y añade otras funciones visuales que se integran a Google Earth.

De la misma forma, el software nos permite muchas opciones de visualización, como longitud, latitud, velocidad respecto a tierra, altitud y hora exacta; todos estos valores han sido transformados por el mismo programa para que un usuario lo pueda interpretar con parámetros manejables. En otras palabras genera los archivos KML que utiliza el Google Earth para interpretar el desplazamiento del sujeto en estudio.

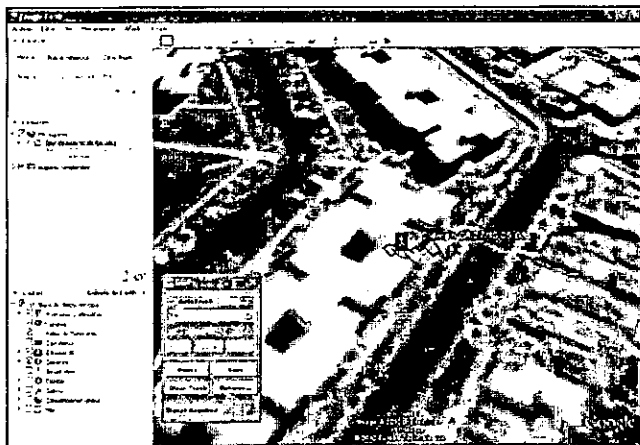


Fig. n.º 9. El rastreo completo mostrado a través de Google Earth.

En la siguiente figura, se muestra el error presentado durante la inicialización, momento en la cual el sistema conectaba a más satélites para una ubicación más exacta.

Este proceso de reajuste de coordenadas duró aproximadamente 3 minutos. En el gráfico podemos observar nuestra velocidad 0.4 millas por hora con respecto a tierra, transformando la velocidad a m/s sería 0,178816 m/s, la hora 5:08 am y la fecha 8/27/10.

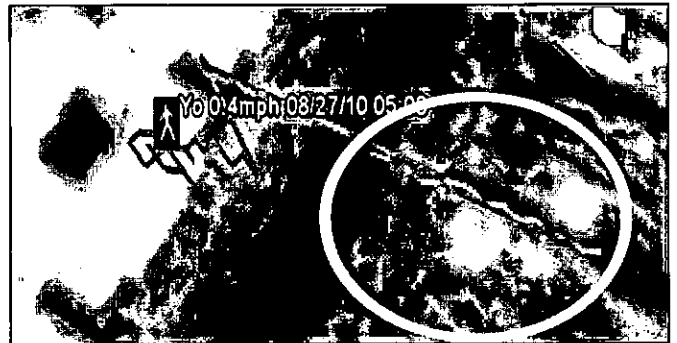


Fig. n.º 10. El error mostrado durante la inicialización

IX. CONCLUSIONES

Es interesante poder contrastar los dos casos experimentados, ya que nuestros datos podrían ser erróneos si tomamos como referencia un tiempo determinado, es necesario comprender que hoy en día los receptores GPS son cada vez más eficientes, donde los errores de timing son minimizados, las correcciones que realizan también son óptimas para lograr una ubicación precisa; experimentalmente el error de posición fue de aproximadamente 5 metros, el cual confirma la estimación al error de precisión en los sistemas de GPS diferencial.

X. AGRADECIMIENTO

Agradezco al Ing. Flavio Carrillo Gomero, orientador del Grupo de Procesamiento de señales de la UNMSM, por sus juiciosos y certeros consejos en la elaboración del presente artículo.

REFERENCIAS

[1] Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. NAVSTAR - GPS. España. <http://www.tel.uva.es/personales/jpozdom/telecomunicaciones/portadagps.html>

[2] R. Jaramillo. Escuela Politécnica Nacional. Ecuador. Capítulo 2. 2009. <http://dspace.epn.edu.ec/bitstream/123456789/9042/2/T11418%20CAP2.pdf>

[3] Página web del Gobierno de los Estados Unidos desarrollado por la Oficina de Coordinación

- Nacional de Posicionamiento, Navegación, y Cronometría por Satélite. <http://www.gps.gov/systems/gps/spanish.html>
- [4] Elliott D. Kaplan y Christopher J. Hegarty, "Understanding GPS, Principles and Applications", 2da ed. Ed. Artech House, 2006, pp. 21-409.
- [5] Martín Hurtado, Hugo Lorente y Carlos Muravchik. "An In-Situ Method to Measure the Radiation Pattern of a GPS Receiving Antenna". IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, Vol. 50, N.º 3, Junio 2001
- [6] USAF. Documento del Centro de Navegación del departamento de defensa de los Estados Unidos de América. "NAVSTAR GPS. USER EQUIPMENT INTRODUCTION". Pp. 1-3, 1-9, 215. 1996. <http://www.navcen.uscg.gov/pubs/gps/gpsuser/gpsuser.pdf>
- [7] Diario hindú "The Hindu". 2010. <http://beta.thehindu.com/sci-tech/article393892.ece>
- [8] Página web de la empresa Trimble. <http://www.trimble.com/gps/index.shtml>
- [9] Jorgensen PS. NAVSTAR/Global Positioning System 18-Satellite Constellation. Navigation 27: 89-100. 1980.
- [10] Página Rafael Ortiz Marín, María Gloria del Río Cidoncha, Juan Martínez Palacios y Carlos Cobos Gutiérrez. Método para optimizar las mediciones topográficas con aparatos GPS. Interciencia, Septiembre, año/vol. 32, número 9. Venezuela, pp. 589-592. 2007
- [11] Sturza MA. GPS Navigation Using Three Satellites and a Precise Clock. Global Positioning System. Navigation 30: 122-132. 1983
- [12] Leica Geosystem. WILD GPS-System 200 User Manual For SKI 2.30. Heebrugg, Suiza, pp.137, 1994.
- [13] USACE. Engineering and Design – NAVSTAR Global Positioning System Surveying. US Army Corps of Engineers. Washington DC, EEUU, pp. 328. 2003
- [14] Página web "Así Funciona". Texto de José Antonio E. García Álvarez. Madrid. España. http://www.asifunciona.com/electronica/af_gps/af_gps_13.htm
- [15] Página de la Asociación Nacional de Electrónicos Marinos. <http://www.nmea.org/>
- [16] NMEA Reference Manual, Ed. Sirf Technology. pp. 1-6. 2005. <http://www.sparkfun.com/datasheets/GPS/NMEA%20Reference%20Manual1.pdf>
- [17] <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>
- [18] Hardware design SIM548C_HD_V1.01. Shangai SIMCom Wireless Solutions Ltd. pp. 15-18. 2008.
- [19] Página del software Goops Technology <http://goopstechnologies.com/faq.html>
- [20] Página de la Compañía Sirf Technology http://www.sirf.com/products/gps_chip.html
- [21] http://forum.gpsgate.com/topic.asp?TOPIC_ID=4058
- [22] http://www.gpsbabel.org/html/doc-development/fmt_nmea.html#fmt_nmea_o_gprmc
- [23] http://www.gpsvisualizer.com/map_input?form=google
- [24] <http://aprs.gids.nl/nmea/>
- [25] <http://www.kh-gps.de/nmea-faq.htm>
- [26] <http://code.google.com/p/breadcrumbs/wiki/UserDocument>
- [27] <http://www.gpspassion.com/fr/articles.asp?id=214>
- [28] http://bse.unl.edu/adamchuk/web_ssm/index.html
- [29] <http://foro.todopocketpc.com/showthread.php?p=755396>
- [30] <http://www.gps-auto.org/navegador-gps/funcionamiento-gps.html>