

METODO ALTERNATIVO PARA GEORREFERENCIACION DE INFORMACION EN EL SISTEMA DE COORDENADAS MAGNA-SIRGAS.

Proyecto De Grado

JAVIER JOVANI MENDEZ RAMIREZ
Ingeniero Topográfico

Código 3101185



UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
ESPECIALIZACIÓN EN GEOMÁTICA
BOGOTA D.C
2015

METODO ALTERNATIVO PARA GEORREFERENCIACION DE INFORMACION EN EL SISTEMA DE COORDENADAS MAGNA-SIRGAS.

ALTERNATIVE METHOD FOR INFORMATION GEOREFERENCING COORDINATE SYSTEM MAGNA-SIRGAS.

Javier Jovani Méndez Ramírez
Ingeniero Topográfico
Supervisor de campo.
Geodesia por Satélite de Colombia Ltda.
Bogotá, Colombia
javierjovani@hotmail.com

RESUMEN

El posicionamiento preciso de puntos por sus siglas en inglés PPP, representa un método alternativo y de bajo costo que permite la georreferenciación de mojones o vértices de apoyo, que posteriormente, a partir de ellos, permitirán la captura de información con las precisiones suficientes para las necesidades de los trabajos de consultoría en general. En el desarrollo del presente proyecto se posicionaron 20 puntos cuyo procesamiento de la información se realizó siguiendo metodología del posicionamiento estático diferencia, y también el servicio en línea del CSCR Este último método, aunque no ha sido reglamentado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi, los resultados obtenidos demuestran que para ciertos trabajos es una solución confiable, esto con base en las pruebas realizadas sobre los puntos, en donde se estableció que las diferencia en las coordenadas finales obtenidas por esta metodología y las obtenidas por la metodología tradicional no superaron los 30 cm. Este procedimiento, sin lugar a dudas, una vez se reglamente y difunda entre los usuarios potenciales, permitirá ahorrar trabajo de campo y por consiguiente costos ya que la actividad de campo es uno de los items que más golpea los presupuestos de los proyectos.

ABSTRAC

The precise positioning of points for its acronym in English PPP represents an alternative and inexpensive allowing georeferenced landmarks or vertices of support, then from them, allow the capture of information with sufficient information for needs of consulting work in general. In the development of this project 20 points are positioned where information processing is performed following methodology static positioning difference, and also the service online CSCR latter method, although it has not been regulated by the Codazzi, results obtained show that for certain jobs is a reliable solution, that based on tests performed on the points, where it was established that the difference in the final coordinates obtained by this method and those obtained by the traditional methodology did not exceed 30 cm. This procedure,

no doubt, once it is regulated and disseminated to potential users, will save fieldwork and therefore costs as activity field is one of the items that most strikes the project budgets.

Palabras clave: Posicionamiento Preciso de Puntos (PPP), RINEX (Receiver Independent EXchange), GPS (Sistema de Posicionamiento Global), The Canadian Spatial Reference System (CSCR), Efemerides

Keywords: Posicionamiento Preciso de Puntos (PPP), RINEX (Receiver Independent EXchange), GPS (Sistema de Posicionamiento Global), The Canadian Spatial Reference System (CSCR), Ephemerides.

INTRODUCCION

El principio del posicionamiento GPS se basa en la resolución de un problema geométrico, donde a partir de las distancias a un conjunto mínimo de cuatro satélites GPS, medidas por el receptor (mediante las señales emitidas por los mismos) y de los que se conocen sus coordenadas, se determinan las coordenadas del usuario con una precisión del orden de una decena de metros.

El observable básico del sistema GPS es el tiempo de propagación de la señal electromagnética entre el satélite (emisor) y el receptor. Este tiempo, escalado con la velocidad de la luz, da una medida de la distancia (pseudodistancia) entre ambos.

En el caso de los satélites GPS, las posiciones de estos se obtienen a partir de las efemérides transmitidas por los mismos. Y la distancia entre el receptor y los satélites se calcula a partir del tiempo de propagación de una señal (en este caso una onda electromagnética) del satélite al receptor

Un error de sincronismo entre estos relojes producirá una medida errónea del tiempo de propagación de la señal, pues es algo relativo a ambos relojes y, en consecuencia, un valor erróneo de la distancia entre ambos

Para asegurar la estabilidad de los relojes, los satélites están equipados con osciladores atómicos. En el caso de los receptores comerciales, se utilizan relojes de cuarzo, muchísimo mas económicos pero con una baja estabilidad. Este inconveniente se supera estimando su error de sincronismo al mismo tiempo que las coordenadas.

Tabla 1: Estabilidad de los relojes

Tipo de reloj	Estabilidad diaria ($\Delta f/f$)	Tiempo que tarda en desviarse un segundo
Cristal de cuarzo	10^{-9}	30 años
Rubidio	10^{-12}	30 000 años
Cesio	10^{-13}	300 000 años
Hidrógeno	10^{-15}	30 000 000 años

Fuente: Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. M. Hernández-Pajares, J.M. Juan Zornoza, J. Sanz Subirana. Barcelona, Spain

Señal GPS.

Cada satélite transmite en dos frecuencias de la banda L. Estas frecuencias se derivan de una frecuencia fundamental $f_0 = 10,23$ MHz (con una relación 154/120), generada por sus relojes atómicos con una estabilidad del orden de 10^{-13}

Tabla 2. Frecuencias emitidas por cada satélite

$L1 = 154 \cdot 10.23 \text{ MHz} = 1575.42 \text{ MHz}$ $L2 = 120 \cdot 10.23 \text{ MHz} = 1227.60 \text{ MHz}$

Fuente: Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. M. Hernández-Pajares, J.M. Juan Zornoza, J. Sanz Subirana. Barcelona, Spain

El hecho de que los satélites emitan en dos frecuencias distintas, permite al usuario cancelar una de las principales fuentes de error, la refracción ionosférica. Esto es debido a que la ionosfera se comporta como un medio dispersivo para la señal GPS.

Mensaje de navegación

Cada satélite recibe de las antenas de tierra un mensaje que contiene información de sus parámetros orbitales, el estado de su reloj y otros datos temporales. Esta información es reenviada al usuario a través del mensaje de navegación.

El mensaje de navegación se modula sobre ambas frecuencias portadoras a 50bps. El mensaje completo consta de 25 páginas o tramas, que forman la trama maestra y que se tarda 12,5 minutos en transmitir. Cada una de las tramas tiene 5 sub tramas de 6 segundos cada una de ellas; y a su vez, cada sub trama consta de 10 palabras, con 30 bits por palabra. Una trama tarda 30 segundos en ser enviada.

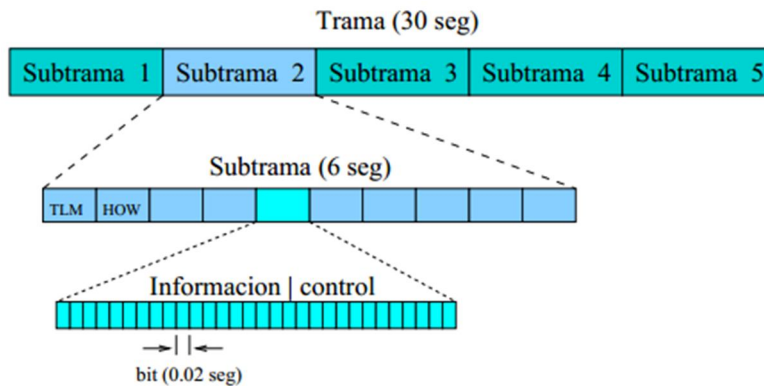


Figura No 1. Mensaje de navegación.

Fuente: Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. M. Hernández-Pajares, J.M. Juan Zornoza, J. Sanz Subirana. Barcelona, Spain

Tiempo

Existen distintas referencias de tiempo basadas en diferentes fenómenos periódicos asociados a la rotación de la Tierra, la mecánica celeste o las transiciones entre niveles de energía de osciladores atómicos.

Tabla 3. Diferentes tipos de tiempo.

Fenómeno periódico	Tiempo
Rotación de la Tierra	Tiempo Universal (UT0, UT1, UT2) Tiempo sidéreo
Revolución de la Tierra	Tiempo Dinámico Terrestre (TDT) Tiempo Dinámico Baricéntrico (BDT)
Osciladores Atómicos	Tiempo Atómico Internacional (IAT) Tiempo Universal Coordinado (UTC) Tiempo GPS (GPST)

Fuente: Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. M. Hernández-Pajares, J.M. Juan Zornoza, J. Sanz Subirana. Barcelona, Spain

El tiempo Universal y el tiempo Sidéreo están asociados a la rotación diurna de la Tierra. El tiempo Universal (tiempo solar) utiliza el Sol como referencia. El tiempo Sidéreo utiliza una dirección externa al sistema solar (punto Aries). Esto hace que al cabo de un año ambos tiempos difieran en 24h (una vuelta), lo que supone 3m 56.4 s por día

Los tiempos Universales UT0, UT1, UT2, a diferencia de los tiempos atómicos, no son completamente uniformes. Debido a ello, se introduce el Tiempo Universal Coordinado (UTC), que es un tiempo atómico que se mantiene a menos de 0.9s de UT1, mediante la introducción sistemática de un cierto número de segundos *Leap*

Second. Ello hace que la diferencia entre UTC y IAT varíe en saltos discretos de 1 segundo, a lo largo del tiempo.

El tiempo GPS es el tiempo de referencia utilizado para las aplicaciones GPS. Su época de origen son las 00:00 UTC (medianoche) del 5 al 6 de Enero de 1980. En esta época la diferencia UTC-IAT era de 19 segundos.

Sistema de referencia

Las coordenadas de los satélites y receptores de los usuarios deben expresarse en un sistema de referencia bien definido.

Conventional Terrestrial System (CTS)

También llamado Earth Centered Earth Fixed System (ECEF), tiene su origen en el centro de masas de la Tierra. El eje Z coincide con la dirección del eje de rotación de la Tierra definido por el CIO (Conventional International Origin), el eje X viene dado por la intersección del plano ortogonal al eje Z (plano fundamental) y el Meridiano medio de Greenwich, y el eje Y es ortogonal a los anteriores, de forma que el sistema se oriente en sentido directo. Ejemplos de sistemas CTS son el ITRS y el WGS84 introducidos, respectivamente, por el IERS (International Earth Rotation Service) y el DoD (Depto. de Defensa, EEUU). Realizaciones del ITRS son las ITRF que se actualizan cada año (ITRF98, ITRF99,...). En cuanto al WGS84, salvo la inicial, sus realizaciones se aproximan a ciertas realizaciones del ITRS

Modelado de la Pseudodistancia

La pseudodistancia o distancia aparente entre el satélite y el receptor, obtenida mediante la correlación del código modulado en la señal recibida del satélite con la réplica generada en el receptor, $P = c \Delta T$, está afectada de una serie de términos que se suman a la distancia geométrica

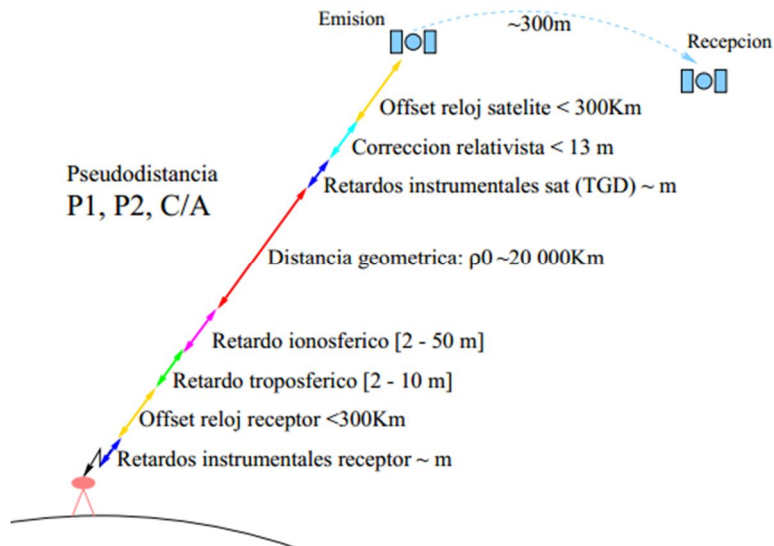


Figura No 2. Componentes de la pseudodistancia.

Fuente: Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. M. Hernández-Pajares, J.M. Juan Zornoza, J. Sanz Subirana. Barcelona, Spain

Distancia geométrica

Corresponde a la distancia euclídea entre la posición del satélite en el instante de emisión y la del receptor en el instante de recepción de la señal

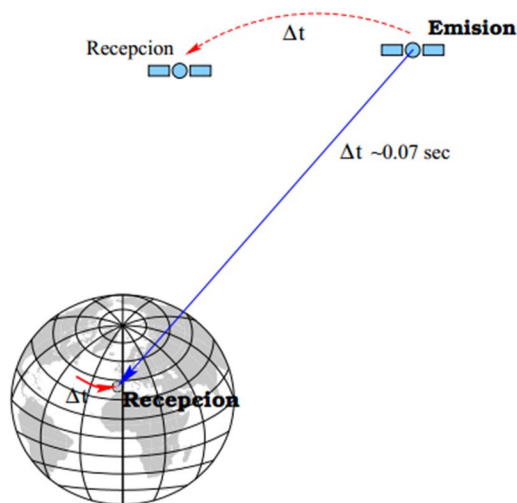


Figura No 3. Coordenadas en emisión y recepción.

Fuente: Procesado de Datos GPS: código y fase Algoritmos, Técnicas y Recetas. M. Hernández-Pajares, J.M. Juan Zornoza, J. Sanz Subirana. Barcelona, Spain

Offsets de los relojes del receptor y del satélite

Corresponden a los errores de sincronismo de los relojes respecto a la escala de tiempo GPS.

Corrección relativista

El ritmo de avance de dos relojes idénticos situados en el satélite y sobre la superficie terrestre diferirá debido a la diferencia de potencial gravitatorio (relatividad general) y a la velocidad relativa entre ambos (relatividad especial).

Retardo troposférico

A la frecuencia en que se emite la señal GPS la troposfera se comporta como un medio no dispersivo, siendo su efecto independiente de la frecuencia.

Retardo ionosférico

La ionosfera es la zona de la atmosfera terrestre que se extiende desde unos 60 km hasta más de 2000km de altura. Debido a la interacción con los electrones libres, las señales electromagnéticas que la atraviesan sufren un retardo/adelanto respecto a la propagación en el vacío.

Retardos instrumentales

Posibles fuentes de estos retardos son las antenas, los cables, así como los diferentes filtros utilizados en los receptores y satélites.

Multicamino

La interferencia por multicamino se produce cuando una señal llega por diferentes caminos a la antena. Su causa principal es la proximidad de la antena a estructuras reflectantes, y es importante cuando la señal proviene de satélites con baja elevación.

Ruido

En este término se incluye el ruido de medida de la pseudodistancia y todos los efectos no modelados anteriormente.

Posicionamiento diferencial con código y fase

Se trata de posicionar un receptor respecto a otro que actúa como referencia y cuyas coordenadas son conocidas. Ello permite reducir de forma importante el error de posicionamiento, debido a la cancelación de los errores de rango comunes.

Básicamente, la estación de referencia, cuyas coordenadas son fijas y conocidas, proporciona correcciones de rango para los diferentes satélites visibles, que son

utilizadas por el receptor a posicionar ("rover") para cancelar la parte de error de los efectos no modelados que es común a ambos receptores (S/A, errores de orbitas y relojes, ionosfera, troposfera,...).

Posicionamiento Absoluto

Se realiza con un único receptor, y consiste en la solución de una intersección directa de todas las distancias receptor-satélite sobre el lugar de estación en un período de observación dado. La medida y la solución son por lo tanto directas.

Para llevar a cabo el posicionamiento, el receptor recibe las señales de los satélites y determina su posición en coordenadas absolutas y en el sistema de referencia al que están referidos los satélites. Los observables utilizados para el posicionamiento absoluto suelen ser los códigos, pero también se podrían utilizar las diferencias de fase o ambas.

El posicionamiento absoluto tiene la ventaja de que con un sólo instrumento de observación podemos obtener nuestra posición, pero posee una serie de inconvenientes que repercuten seriamente en la precisión del posicionamiento, y por ello no hace del método una aplicación apropiada en trabajos de precisión. Entre los inconvenientes más relevantes destacan:

- * Influencia importante de los errores producidos por la atmósfera.
- * En el caso de recibir señales de la constelación NAVSTAR, el efecto de la disponibilidad selectiva (S/A) hace que nuestro posicionamiento no sea el correcto.
- * Imposibilidad de eliminar errores por compensación, como son el efecto multicamino, osciladores, excentricidad de la antena, retardo atmosférico, etc.

Posicionamiento Preciso de Puntos (PPP)

Por tres décadas las técnicas diferenciales de sistemas de posicionamiento global (GPS) y por consiguiente las técnicas diferenciales de los sistemas satelitales de navegación satelital (GNSS) han predominado para el posicionamiento preciso en la comunidad geoespacial. Todas las técnicas diferenciales GNSS realizan el posicionamiento con respecto a uno o más receptores de referencias GNSS con coordenadas conocidas. Dependiendo el tipo de medición GNSS, equipo usado, infraestructura de receptores de referencia, algoritmos de procesamiento de datos, productos o servicios auxiliares o requerimientos operacionales (ejm, tiempo real o post proceso, usando equipos móviles o fijos, pocos o muchos satélites o geometría de los receptores de referencia), son obtenidos diferentes niveles de precisión. Por ejemplo, una técnica diferencial básica GNSS usando equipos de una frecuencia y mediciones de pseudo-rango pueden dar precisiones de posicionamiento de pocos

metros o centimétrico. El procesamiento de datos de fase portadora permite niveles de precisión sub decimétrico, de ser posible usando la más alta precisión operacional usando receptores y algoritmos sofisticados incluso en tiempo real con equipos en movimiento.

El posicionamiento preciso de puntos (PPP) es un método alternativo de posicionamiento que emplea amplia y fácilmente productos como orbitas GNSS disponibles y correcciones de relojes, obtenidas vía IGS para realizar posicionamiento de puntos usando un simple receptor GNSS. Esto proporciona PPP con una ventaja sobre técnicas diferenciales ya que solo un solo receptor es necesario eliminando la necesidad para el usuario de establecer una estación base local o acceder a datos de una estación de funcionamiento continuo. En consecuencia el rango límite de operación espacial de técnicas diferenciales es cero, así como la necesidad de observaciones simultáneas entre el punto base y el punto móvil. Esto a su vez, puede reducir costos de equipos y trabajo y simplifica la logística operacional. Hay que señalar, sin embargo, que una red de estaciones de funcionamiento continuo es requerida para calcular las orbitas de los satélites GNSS y correcciones de los relojes, esencial para PPP. Como esta red de estaciones de funcionamiento continuo está alejada y escondida del usuario, el PPP es asumido para proporcionar posicionamiento de puntos independientes.

1. PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Los trabajos de campo fueron desarrollados en varias partes del país, con receptores de doble frecuencia marca Trimble de propiedad de la empresa Geodesia por Satélite de Colombia Ltda. Unos puntos fueron realizados en los departamentos de Sucre y Bolívar, y otros en los departamentos de Boyacá, Tolima y Cundinamarca. En total se ocuparon 12 puntos nuevos y 8 puntos de la red geodésica del IGAC.

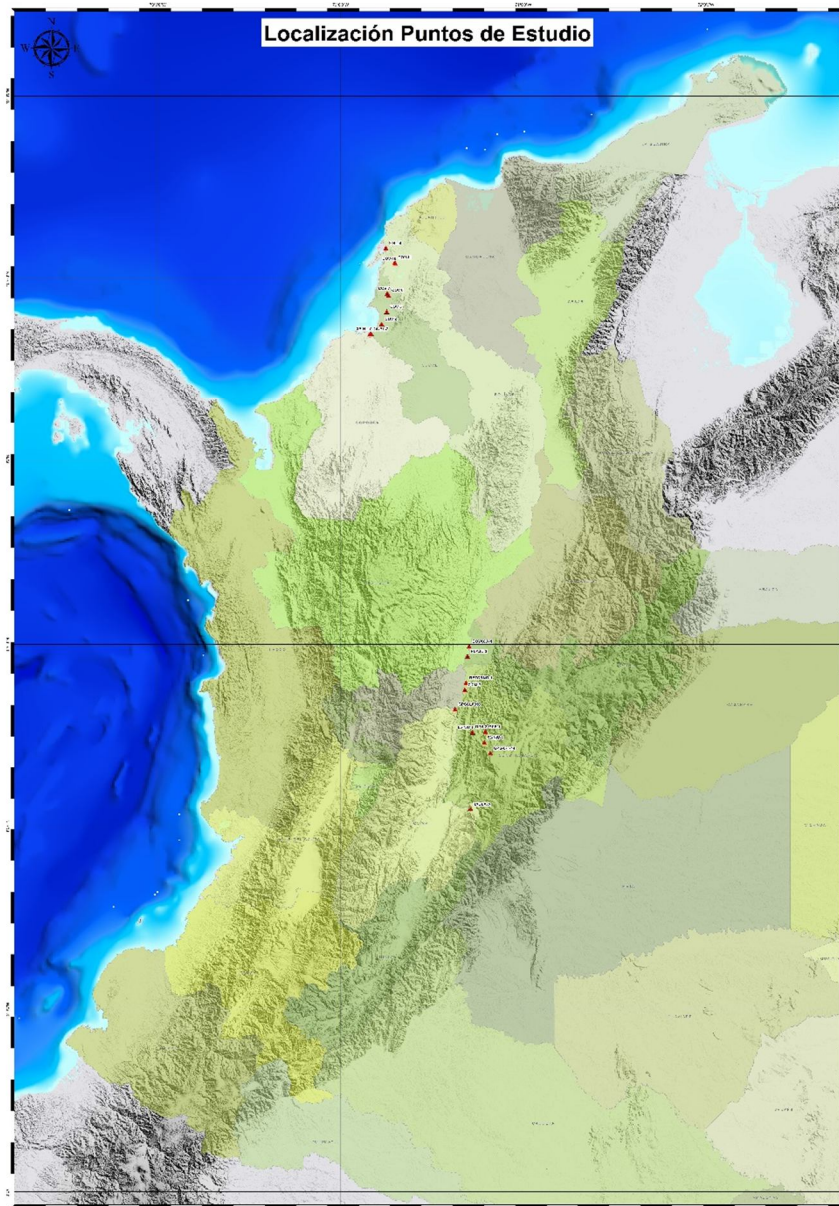


Figura No 4. Ubicación espacial de los 20 puntos de estudio.

Como los rastreos fueron realizados usando el procedimiento estático diferencial, en cada sesión se aplicó la siguiente ecuación para el cálculo de la duración del tiempo del rastreo.

$$\textit{Tiempo de rastreo} = 45 \textit{ minutos} + 7 \textit{ minutos por kilómetro} [1]$$

Por ejemplo, que si el punto nuevo está a una distancia de 10 kilómetros del punto base, el tiempo de rastreo será:

$$\textit{Tiempo de rastreo} = 45 \textit{ minutos} + (7 * 10)$$

$$\textit{Tiempo de rastreo} = 45 \textit{ minutos} + 70$$

$$\textit{Tiempo de rastreo} = 115 \textit{ minutos} \approx 2 \textit{ horas}$$

La siguiente tabla muestra los tiempos de rastreo en cada uno de los puntos utilizados en este proyecto.

Nombre Comun	Fecha	Duracion
GPS-2	domingo, 10 de noviembre de 2013	7h 1m 60.0s
GPS-1	domingo, 10 de noviembre de 2013	6h 39m 15.0s
COV-2	lunes, 14 de abril de 2014	7h 6m 40.0s
COV-5	viernes, 18 de abril de 2014	4h 7m 40.0s
COV-7	sábado, 19 de abril de 2014	6h 51m 15.0s
COV-6	miércoles, 16 de abril de 2014	6h 33m 30.0s
COV-10	jueves, 24 de abril de 2014	7h 53m 20.0s
COV-11	jueves, 24 de abril de 2014	8h 10m 20.0s
BOYACA-1	miércoles, 31 de julio de 2013	9h 5m 0.0s
RETORNO-1	viernes, 13 de diciembre de 2013	4h 36m 15.0s
PEAJE-2	jueves, 12 de diciembre de 2013	5h 37m 15.0s
TABLA-A	viernes, 14 de noviembre de 2014	10h 25m 45.0s
85-NW-1	miércoles, 14 de mayo de 2014	8h 41m 0.0s
3A-BL-7	jueves, 10 de abril de 2014	2h 49m 20.0s
9-BL-8	jueves, 24 de abril de 2014	2h 45m 20.0s
2A-BL-7	jueves, 10 de abril de 2014	3h 19m 30.0s
7-CM-7	jueves, 29 de mayo de 2014	4h 54m 45.0s
53-NW-1	domingo, 01 de junio de 2014	3h 4m 10.0s
GPSCL0010	viernes, 13 de diciembre de 2013	3h 22m 45.0s
GPS-C-T-44	lunes, 02 de junio de 2014	5h 27m 15.0s

Tabla 4. Duración de las sesiones de GPS en cada uno de los puntos utilizados.

2. PROCEDIMIENTO DE OFICINA.

Esta actividad se desarrolló en dos fases simultáneamente. Una fase incluyó la preparación y envío de la información al Canadian Spatial Reference System (CSCR) y la otra fase fue el post proceso para el cálculo de la información por el método estático diferencial.

2.1. PREPARACIÓN Y ENVÍO DE INFORMACIÓN AL CSCR.

Una vez se descarga la información de campo, que para este proyecto fue en formato .T01 o .T02, (propios de la marca Trimble) se convierte a formato .RINEX e través del software *Convert to Rinex* de la casa Trimble.

Una vez convertido el archivo nativo a RINEX el software genera tres archivos adicionales, todos con el mismo nombre pero diferente extensión, .14g, 14n, 14o. El número 14 se refiere al año de la sesión, por consiguiente cualquier sesión realizada el próximo año (2015), los archivos RINEX tendrán extensión 15g, 15n, 15o. Las letras g, n y o se refieren a **g**: mensaje de navegación GLONASS, **n**: archivo de navegación y **o**: archivo de observación.

A través de la aplicación <http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/geodetic-reference-systems/tools-applications/10925> se hace clic sobre la opción CSRS – PPP.

Ubicado allí se hace clic sobre la opción *Go to CSRS – PPP online tool* , luego sobre la opción *Sign in* para acceder al servicio. Escribir el correo electrónico y la contraseña del lugar al cual le va a llegar el resultado del procesamiento.

Una vez ingresado el correo electrónico a donde va a llegar la información, se configura varios temas con respecto a la información capturada en campo.

El primer aspecto se refiere a la forma como fue capturada en campo. En este proyecto la información fue capturada a través de un estilo de levantamiento estático, por lo tanto en las opciones de *Processing mode* se escoge la opción *static*.

Un segundo aspecto se refiere al sistema de coordenadas en que van a estar referidas en el reporte de cálculos los puntos nuevos. Para el caso de Colombia se debe escoger la pestaña ITRF ya que el sistema oficial es Magna – Sirgas es una densificación del sistema ITRF. El datum vertical se deja el que está por defecto.

Una vez configurado el estilo de levantamiento y el sistema de coordenadas del punto nuevo, se carga el archivo RINEX de observación (extensión .XXo) del punto a través de la opción *Seleccionar un archivo*. Una vez cargado el archivo a través del explorador de Windows que se despliega, se hace clic sobre la opción *Submit to PPP*.

En señal de que el procedimiento fue correcto, la aplicación muestra un aviso de color verde que indica que el archivo correspondiente fue cargado correctamente y que los resultados serán enviados al correo electrónico registrado para iniciar la sesión.

Al cabo de unos pocos segundos en el correo electrónico se recibe la información comprimida el cual contiene cuatro archivos (un archivo con extensión .pdf, otro con extensión .csv (delimitado por comas) y dos con extensión .pos y .sum propios del software).

En el archivo pdf se encuentra un cuadro completo el cual contiene entre otras cosas: coordenadas geográficas (latitud, longitud y altura elipsoidal) y planas UTM, duración de la sesión, equipo utilizado, altura instrumental, época de referencia de las coordenadas, adicional a las gráficas de las posiciones de los satélites, la variación de la altura elipsoidal durante la sesión entre otras varias.

Ahora bien, es importante recordar, que oficialmente la época de referencia en Colombia es 1995.4 que en términos de ITRF sería 94, y sabiendo que las coordenadas calculadas están en ITRF08 época 2010.0 (IGB08) se deben trasladar de época, para lo cual se utiliza el software libre del IGAC Magna – Pro

2.2. TRASLADO DE LAS COORDENADAS DE LOS PUNTOS NUEVOS A LA EPOCA DE REFERENCIA.

El procedimiento para trasladar las coordenadas de los puntos calculados a través del servicio online del sistema de referencia espacial canadiense de la época de medición a la época de referencia oficial en Colombia ITRF94 1995.4 es el siguiente y se realiza a través del software Magna- Pro:

- Establecer la diferencia de épocas, Época de medición – 1995.4 = valor (años)
- En el módulo Calculo de velocidades / Calculo punto individual ingresar las coordenadas geográficas del punto al cual se desea conocer la velocidad de deformación según el modelo de velocidades para América del Sur y el caribe denominado VEMOS2009.

The screenshot shows the 'Calculo Punto Individual' window in the Magna Sirgas Pro 3 Beta software. The interface is divided into several sections:

- Sistema de Referencia:** Two radio buttons are present: 'Bogotá' (unselected) and 'MAGNA-SIRGAS' (selected).
- Calculo:** A large blue button labeled 'Calcular' is located in the top right.
- Tipo de Coordenada:** A tabbed interface with four tabs: 'Elipsoidal' (selected), 'Gauss Krueger', 'Geocéntrica', and 'Plana Cartesiana'. Below the tabs, there are input fields for:
 - Latitude: GG (4), MM (54), SS,DDDD (10,00000), Hemisferio (N)
 - Longitude: GG (74), MM (56), SS,DDDD (10,00000), Hemisferio (W)
 - Altura Elipsoidal(m): 0,000
- Limpiar:** A button at the bottom center of the input fields.
- Origen Cartesiano:** A dropdown menu showing 'AMAZONAS-LETICIA-1994' and a 'Mas información' button below it.
- Resultados:** A section on the right with five input fields showing calculated values:
 - Velocidad Sur-Norte: 0,0152
 - Velocidad Oeste-Este: 0,0029
 - X: 0,0025
 - Y: 0,0020
 - Z: 0,0151

Figura No 5. Calculo de velocidades a través del software Magna – Pro.

- Convertir las coordenadas elipsoidales (latitud y longitud) en coordenadas geocéntricas (X, Y, Z), a través del software Magna – Pro, Opción Conversión y transformación / calculo punto individual.

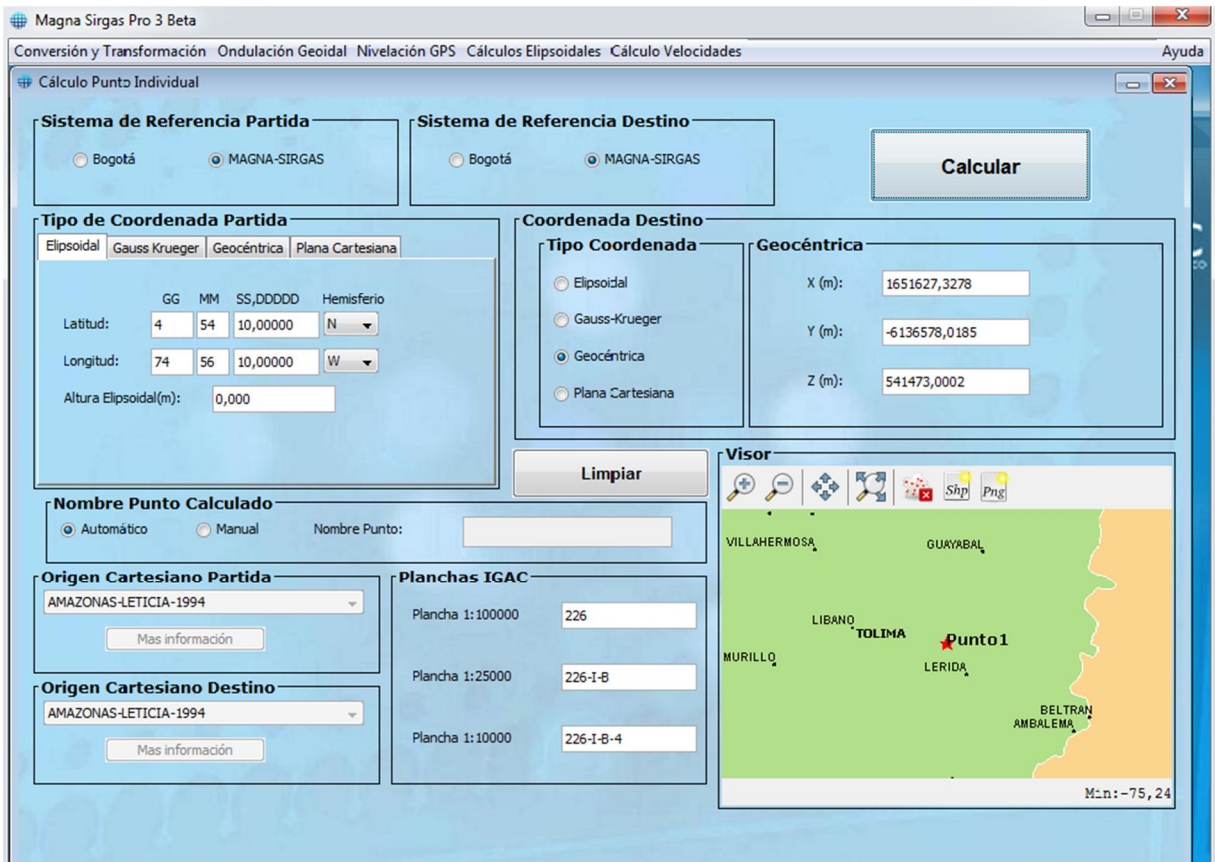


Figura No 6. Conversión de coordenadas Elipsoidales en Geocéntricas.

- Calcular la velocidad de deformación acumulada del punto desde el tiempo de medición hasta la época de referencia (1995.4), es decir, una cantidad de años variable.

Para el ejemplo la deformación acumulada es:

$$\text{Para la componente X} = (\text{Diferencia de épocas} * V_x) = (14.6 * 0.0025) = 0.0365$$

$$\text{Para la componente Y} = (\text{Diferencia de épocas} * V_y) = (14.6 * 0.0020) = 0.0292$$

$$\text{Para la componente Z} = (\text{Diferencia de épocas} * V_z) = (14.6 * 0.0151) = 0.22046$$

- Ajuste de la coordenadas geocéntrica con las velocidades de deformación acumuladas.

Siguiendo con el mismo ejemplo:

$$X = 1651627,3278 - 0,0365 = 1651627,2913$$

$$Y = -6136578,0185 - 0,0292 = -6136578,0477$$

$$Z = 541473,0002 - 0,0151 = 541472,9851$$

En este momento se tienen las coordenadas del punto de estudio en época de referencia oficial para Colombia, es decir, 1995.4, pero como las coordenadas geocéntricas no son de uso común, se pueden convertir, a través del mismo software, en coordenadas elipsoidales o planas Gauss – Kruger que son el tipo de coordenadas de uso común.

- Conversión de las coordenadas geocéntricas (X, Y, y Z) en coordenadas Elipsoidales (Latitud, Longitud) o planas Gauss – Kruger (N, E). El siguiente cuadro resume los resultados:

Tabla 5. Coordenadas época 1995.4 del punto de estudio

X	Y(-)	Z	Latitud	Longitud	Norte	Este
1651627,2913	6136578,0477	541472,9851	4° 54' 9,99946"	-74° 56' 10,00139"	1'033.962,877	904.764,532

2.3. POST PROCESO DE LA INFORMACIÓN POR EL METODO ESTÁTICO DIFERENCIAL.

Antes de comenzar el procesamiento de los datos es necesario reunir información del momento de la medición en el siguiente sentido:

- 2.3.1. Conocer la semana GPS y el día juliano.
- 2.3.2. Obtener las efemérides¹.
- 2.3.3. Obtener la información de las estaciones permanentes del IGAC
- 2.3.4. Obtener las posiciones verdaderas de las estaciones permanentes.
- 2.3.5. Recalcular las posiciones de las estaciones permanentes.
- 2.3.6. Obtener los offsets de las antenas.
- 2.3.7. Obtener las coordenadas de las estaciones pasivas de la red geodésica del IGAC utilizadas como base.
- 2.3.8. Procesamiento de las líneas libremente sin el establecimiento de bases fijas.
- 2.3.9. Cálculos de los puntos nuevos a partir de bases fijas.
- 2.3.10. Cálculo de las velocidades de deformación de los puntos nuevos.
- 2.3.11. Aplicación de las velocidades de deformación a los puntos nuevos para trasladarlas a la época de referencia (1995.4).

¹ Posiciones exactas de los satélites.

2.2.1. Cálculo de la semana GPS y los días julianos del día de la medición.

En la dirección: www.ngs.noaa.gov/CORS/Gpscal.shtml se visualiza en el calendario la información requerida. También se puede consultar la página <http://www.rvdi.com/freebies/gpscalendar.html>

Adicional a esto se debe tener en cuenta que los días de la semana se han codificado de la siguiente manera:

Tabla 6. Codificación de los días de la semana para cálculos GPS.

Día de la semana	Código
Domingo	0
Lunes	1
Martes	2
Miércoles	3
Jueves	4
Viernes	5
Sábado	6

2.2.2. Descarga de las efemérides de los satélites.

Se deben descargar las posiciones finales de los satélites (archivos con prefijo **igs** y extensión **.sp3.Z**) del día anterior, del día de la medición y del día después del rastreo.

En la dirección www.igsceb.jpl.nasa.gov. Click en: Data & Products, luego Click en: IGS Products Table

Al extremo derecho de la fila **Final** de la tabla GPS Satellite Ephemerides / Satellite & Station clocks, click en: CDDIS (US-MD)

Click en: link (ver siguiente imagen)

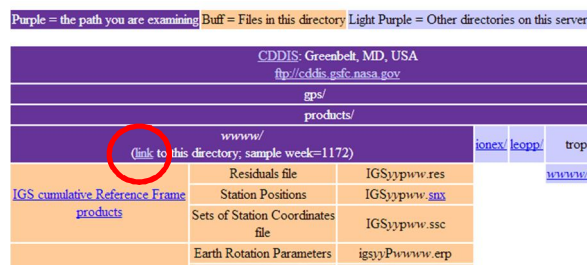


Figura No 7. Lugar de acceso para descarga de información de las efemérides de los satélites.

Click en: [Directorio principal]. Buscar y acceder la carpeta correspondiente a la semana GPS de la medición y luego seleccionar los tres archivos, es decir, del día anterior, del mismo día y del día siguiente a la medición.

2.2.3. Descarga de los archivos RINEX de las estaciones permanentes del IGAC

En la dirección electrónica: <ftp://190.24.137.74>,

Con nombre de usuario: *anónimo* y contraseña: *anónimo*, buscar y acceder la carpeta correspondiente a los días julianos de la medición. Se abre la carpeta 13n y se descargan los archivos RINEX de las estaciones que por su cercanía sirven para mejorar los resultados del procesamiento de los datos. De igual manera se abre la carpeta 13o y se descarga la misma estación descargada en el anterior punto.

Nota: El IGAC publica los archivos RINEX de los últimos 60 días; los archivos fuera de estos días es necesario solicitarlos vía personal o correo electrónico a la división de Geodesia.

2.2.4. Descarga de la posición verdadera de las estaciones permanentes del IGAC usadas.

Como la posición de la estación permanente descargada de la dirección del IGAC es la observada el día de la medición, es necesario corregirla con la posición verdadera para ese mismo instante.

En la dirección www.sirgas.org click en: Red SIRGAS-CON, luego click en: Coordenadas, posteriormente click en: Coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS-CON.

Se busca la última época disponible de correcciones, la cual se encuentra en primer lugar del listado que se despliega. Las coordenadas verdaderas de las estaciones permanentes se encuentran en el archivo **sir....crd** en la columna coordenadas en la primera fila. Se selecciona el texto se copia en un block de notas y se guarda como un archivo de texto.

2.2.5. Recalculo de la posición verdadera de la estación permanente.

Las coordenadas rectangulares (X, Y, Z) descargadas de los archivos RINEX de las estaciones permanentes de la página del IGAC son reemplazadas por las coordenadas descargadas en el archivo de texto en la página de SIRGAS.

2.2.6. Descarga de los offsets de las antenas.

En la dirección: www.ngs.noaa.gov

Click en: Data & Imagery luego click en: Antenna Calibration Data, posteriormente click en: Antex (New IGS format). Click derecho y guardar como un archivo de texto con el nombre *Offsets antenas*.

2.2.7. Descarga de los certificados de los puntos de apoyo de la red Geodésica del IGAC.

En la dirección: <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=36>

A través ya sea del departamento y municipio o de la nomenclatura del punto se consulta los puntos y se descargan en la carpeta *Datos / Base* un archivo **pdf**.

2.2.8. Procesamiento de las líneas libremente sin el establecimiento de bases fijas.

Durante este procedimiento se establece la calidad de las sesiones GPS realizadas. Aunque no existe normatividad en Colombia al respecto, la experiencia ha mostrado que precisiones horizontales por debajo de 0.05 m es buena para la mayoría de los trabajos de consultoría.

2.2.9. Cálculos de puntos nuevos a partir de bases fijas.

Una vez las sesiones de GPS han obtenido las precisiones mínimas requeridas, se fijan las posiciones de los puntos con coordenadas conocidas utilizadas, bien sea los vértices de la red pasiva del IGAC o las estaciones de funcionamiento continuo del IGAC o de Ingeominas.

2.2.10. Cálculos de las velocidades de los puntos nuevos.

A partir de las coordenadas elipsoidales $[\varnothing, \lambda, h]$, obtenidas en el punto anterior, empleando el software libre del IGAC *Magna Pro*, se calculan las velocidades de deformación en sus componentes ΔX , ΔY y ΔZ .

2.2.11. Aplicación de las velocidades de deformación a los puntos nuevos para trasladarlas a la época de referencia (1995.4).

El sistema de referencia horizontal para Colombia se denomina Magna – Sirgas pero pocas veces se menciona la época de referencia al cual están referidas. La época oficial que ha establecido el IGAC es 1994.4, por lo que el procedimiento de cálculo termina cuando las coordenadas finales calculas en época de medición son trasladadas en el tiempo a la época de referencia. Para este traslado de época de referencia se aplican las velocidades de deformación calculadas en el punto anterior.

3. RESULTADOS.

Ver cuadro anexo



4. CONCLUSIONES.

Las conclusiones se pueden orientar hacia tres aspectos. En un primer aspecto se pueden mencionar las técnicas. Un segundo aspecto pueden ser las de orientación económica y por ultimo las de connotación social. También se encontraron desventajas para su aplicación.

4.1. TECNICAS.

Las precisiones de la posición planimetría obtenida de los puntos nuevos en el peor de los casos fueron de 20 cm.

Reduce la posibilidad de introducir errores en los cálculos finales ya que se trabaja desde un inicio con coordenadas verdaderas y no arbitrarias.

Este tipo de procedimiento recobra especial interés en aquellas zonas específicas del país donde no existe vértices de la red geodésica cerca, como por ejemplo la región de la Orinoquia y Amazonia.

4.2. ECONÓMICAS.

La utilización de este servicio reduce los costos de trabajo de campo ya que la utilización de un solo receptor GPS elimina la posibilidad de un segundo equipo de trabajo.

4.3. SOCIALES.

Ahora, ya que el proceso de cálculo no requiere personal especializado cualquier persona con una formación básica lo puede desarrollar.

4.4. DESVENTAJAS.

Un aspecto en contra se da en la nula existencia de especificaciones que reglamenten su utilización en Colombia.

También se podrían generar discusiones de orden técnico en el sentido de que como no se ocupa ningún vértice ya sea pasivo o activo de la red geodésica del país su verificación por una interventoría sea casi nula.

5. AGRADECIMIENTOS.

El presente documento no hubiera sido posible sin el apoyo técnico y logístico del ingeniero Benjamín Fernández Ch. Gerente de Geodesia por Satélite de Colombia Ltda, quien puso a mi disposición 25 años de experiencia empresarial en el campo de la Geomántica, para la orientación y enfoque del estudio.

6. BIBLIOGRAFIA.

Ambiguity resolution in precise point positioning with hourly data for global single receiver. Xiaohong Zhang, Pan Li, Fei Guo. School of Geodesy and Geomatics. Wuhan University.2012.

Elements of GPS Precise Point Positioning. Boonsap Witchayangkoon. University of Maine. 1997.

GLONASS-based precise point positioning and performance analysis. Changsheng Cai, Yang Gao. Department of Surveying and Geo-informatics. Central South University. 2012

GPS Precise Point Positioning Using IGS Orbit Products. P. Heroux, J. Kouba. Geodetic Survey Division. Natural Resources. Canada. 2001

How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks. R. Ebner. W. Featherstone. Journal of Applied Geodesy.2008

Precise Point Positioning: Where are we now?. Thomas Grinter. Craig Roberts. University of New South Wales. Sydney.2011

The application of GPS precise point positioning technology in aerial triangulation. Xiuxiao Yuan. Jianhounng Fu. Hongxing Sun. Charles Toth. Wuhan University. 2009

The realization and convergence analysis of combined PPP based on raw observation. Rui Tu. Maorong Ge. Hongping Zhang. Guanwen Huang. The German Research Centre for Geosciences.2013.

Drewes, H., O. Heidbach (2012). The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia, 136: 657-664.

Aspectos prácticos de la adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA – SIRGAS como datum oficial para Colombia. IGAC 2004

Topografía. Paul Wolf. Charles Ghilani. 11 Edición. Editorial Alfaomega. 2008.

Geodesia para Ingenieros. Benjamín Fernández. Universidad Francisco José de Caldas. 2002.