

PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GPS CONSIDERANDO LA VARIACIÓN DE LAS COORDENADAS EN EL TIEMPO (VELOCIDADES) POR EFECTOS GEODINÁMICOS

La determinación de coordenadas mediante sistemas satelitales, entre ellos el GPS (Global Positioning System), ofrece niveles de precisión lo suficientemente altos como para determinar el cambio de la posición de un mismo punto a través del tiempo. Dicho cambio se ha denominado convencionalmente *velocidad de las coordenadas*. Estas velocidades son resultado de la dinámica terrestre (movimientos tectónicos, variación de la orientación de la Tierra en el espacio, etc.) y sus magnitudes pueden alcanzar varios centímetros en un año. Por tal razón, en los sistemas de referencia modernos un punto geodésico se describe mediante cuatro coordenadas: las geocéntricas $[X, Y, Z]$ o curvilíneas $[\varphi, \lambda, h]$ junto con la época de referencia t_0 (tiempo para el cual estos tres valores son válidos).

El sistema de referencia tridimensional en Colombia es **MAGNA-SIRGAS** (Marco Geocéntrico Nacional de Referencia, densificación en Colombia del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas), el cual es una densificación del marco global ITRF94 (International Terrestrial Reference Frame 1994). Las coordenadas de los vértices **MAGNA-SIRGAS** y de todas aquellas estaciones que han sido determinadas a partir de ellos están definidas en el ITRF94, época 1995.4. Es decir, las coordenadas tridimensionales que la División de Geodesia del Instituto Geográfico Agustín Codazzi certifica a sus usuarios son válidas para el mes de mayo de 1995. Su traslado en el tiempo se adelanta mediante la aplicación de un modelo de velocidades calculado por el proyecto SIRGAS a partir de mediciones geodésicas de alta precisión por más de 15 años.

En un posicionamiento GPS las observaciones se refieren a la época misma de ocupación, por ejemplo, para un levantamiento adelantado en marzo de 2004, la época de las pseudodistancias medidas corresponde con 2004.3. Si dicho levantamiento es diferencial y se apoya en un punto con coordenadas **MAGNA-SIRGAS**, la combinación de los diferentes tiempos (1995.4 y 2004.3) puede generar errores hasta el nivel del decímetro en las posiciones de los puntos nuevos.

Con el propósito de que los usuarios de la geodesia oficial del país obtengan las precisiones requeridas en sus trabajos, el IGAC ha adicionado a sus certificaciones las velocidades correspondientes, las cuales deben ser utilizadas en cualquier procesamiento de información GPS para no desmejorar la calidad de los resultados. A continuación se presenta una breve descripción sobre el procedimiento a seguir.

Aplicación de velocidades en levantamientos GPS diferenciales apoyados en puntos monumentados referidos a MAGNA-SIRGAS

Bajo la denominación *punto monumentado referido a MAGNA-SIRGAS* se entiende toda aquella estación materializada por el IGAC que ha sido ocupada con GPS y que, por lo

tanto, cuenta con coordenadas tridimensionales **MAGNA-SIRGAS**. En este caso se debe desarrollar la siguiente secuencia:

1. Las coordenadas proporcionadas por el IGAC en la certificación expedida por la División de Geodesia deben trasladarse a la época de observación utilizando las velocidades consignadas en la misma certificación.
2. Se adelanta el procesamiento de la información GPS y se determinan las coordenadas de los puntos nuevos.
3. Utilizando el modelo de velocidades SIRGAS se calcula la velocidad para cada uno de los puntos nuevos y éstos son trasladados a la época de referencia de **MAGNA-SIRGAS**, es decir 1995.4.

Es necesario que las coordenadas de los puntos nuevos sean trasladadas siempre a la época de referencia (1995.4), de lo contrario se presentarán inconsistencias entre proyectos de georreferenciación, cuyas coordenadas estén definidas en diferentes tiempos. El modelo de velocidades SIRGAS se encuentra disponible gratuitamente en <http://www1.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/sirgas/principal.htm>

Ejemplo

A partir del punto IGAC GPS CL001 se determinan dos puntos nuevos mediante posicionamiento diferencial durante días 20 y 21 de abril de 2004.

- a. Época de medición:

El día 20 (21) de abril corresponde con el día número 111 (112) del año, por tanto la época de medición está dada por:

$$\frac{111}{360} = 0,3 \quad \text{y} \quad \frac{112}{360} = 0,3$$

es decir, las observaciones están referidas a la época 2004.3

- b. Traslado de las coordenadas de la estación base a la época de medición:

Las coordenadas y velocidades proporcionadas en la certificación del IGAC (época 1995.4) son:

VÉRTICE: GPS CL001

$$\varphi = 05^{\circ} 01' 45,107 53'' \text{ N}$$

$$\lambda = 75^{\circ} 27' 52,134 30'' \text{ W}$$



$$h = 2\,123,912 \text{ m}$$

$$X = 1\,595\,194,8469 \text{ m} \quad V_x = 0,0085 \text{ m / año}$$

$$Y = -6\,152\,424,4655 \text{ m} \quad V_y = 0,0033 \text{ m / año}$$

$$Z = 555\,586,4251 \text{ m} \quad V_z = 0,0125 \text{ m / año}$$

La diferencia en tiempo entre la observación y la época de referencia de las coordenadas **MAGNA-SIRGAS** corresponde con:

$$2004.3 - 1995.4 = 8,9 \text{ años}$$

es decir, que el cambio de las coordenadas de la estación base (GPS CL001), según el modelo de velocidades SIRGAS, hasta la época de medición es:

$$\Delta x = (0,0085 \times 8,9) = 0,0757 \text{ m}$$

$$\Delta y = (0,0033 \times 8,9) = 0,0294 \text{ m}$$

$$\Delta z = (0,0125 \times 8,9) = 0,1113 \text{ m}$$

Por tanto, las coordenadas del punto GPS CL001 para 2004.3 son:

$$X = (1\,595\,194,8469 + 0,0757) = 1\,595\,194,9226 \text{ m}$$

$$Y = (-6\,152\,424,4655 + 0,0294) = -6\,152\,424,4361 \text{ m}$$

$$Z = (555\,586,4251 + 0,1113) = 555\,586,5364 \text{ m}$$

c. Procesamiento de la información GPS:

El levantamiento GPS se procesa convencionalmente utilizando como referencias las coordenadas del punto GPS CL001 para la época 2004.3. Los resultados obtenidos para los puntos nuevos son:

Punto 1:

$$\varphi = 05^\circ 05' 30,12861'' \text{ N} \quad X = 1\,598\,475,4542 \text{ m}$$

$$\lambda = 75^\circ 26' 03,15081'' \text{ W} \quad Y = -6\,151\,696,5703 \text{ m}$$

$$h = 2856,356 \text{ m} \quad Z = 562\,538,8750 \text{ m}$$

Punto 2:

$$\varphi = 04^\circ 59' 36,80513'' \text{ N} \quad X = 1\,591\,086,7412 \text{ m}$$

$$\lambda = 75^\circ 30' 12,00326'' \text{ W} \quad Y = -6\,153\,753,2293 \text{ m}$$

$$h = 2035,833 \text{ m} \quad Z = 551\,651,3878 \text{ m}$$

d. Traslado de las coordenadas de los puntos nuevos a la época de referencia (1995.4):

Las velocidades anuales para los puntos nuevos según el modelo de velocidades SIRGAS son:



Punto 1

$$V_x = 0,0085 \text{ m / año}$$

$$V_y = 0,0034 \text{ m / año}$$

$$V_z = 0,0125 \text{ m / año}$$

Punto 2

$$V_x = 0,0061 \text{ m / año}$$

$$V_y = 0,0027 \text{ m / año}$$

$$V_z = 0,0131 \text{ m / año}$$

La reducción a la época de referencia corresponde con:

Punto 1:

$$X = 1\ 598\ 475,4542 - (0,0085 \times 8,9) = 1\ 598\ 475,3786 \text{ m}$$

$$Y = -6\ 151\ 696,5703 - (0,0034 \times 8,9) = -6\ 151\ 696,6006 \text{ m}$$

$$Z = 562\ 538,8750 - (0,0125 \times 8,9) = 562\ 538,7638 \text{ m}$$

Punto 2:

$$X = 1\ 591\ 086,7412 - (0,0061 \times 8,9) = 1\ 591\ 086,6869 \text{ m}$$

$$Y = -6\ 153\ 753,2293 - (0,0027 \times 8,9) = -6\ 153\ 753,2533 \text{ m}$$

$$Z = 551\ 651,3878 - (0,0131 \times 8,9) = 551\ 651,2712 \text{ m}$$

Que en coordenadas curvilíneas corresponden con:

Punto 1:

$$\varphi = 05^\circ 05' 30,12498'' \text{ N}$$

$$\lambda = 75^\circ 26' 03,15343'' \text{ W}$$

$$h = 2856,356 \text{ m}$$

Punto 2:

$$\varphi = 04^\circ 59' 36,80132'' \text{ N}$$

$$\lambda = 75^\circ 30' 12,00516'' \text{ W}$$

$$h = 2035,832 \text{ m}$$

Estos valores son las coordenadas **MAGNA-SIRGAS** de los dos puntos nuevos.

Aplicación de velocidades en levantamientos GPS diferenciales apoyados en estaciones MAGNA-SIRGAS de funcionamiento continuored MAGNA-ECO

Las estaciones **MAGNA-ECO** son aquellas que están registrando información GPS de manera permanente. En la actualidad se encuentran disponibles: Bogotá (BOGA), Cartagena (CART), Cali (CALI), Cúcuta (CUCU), Pereira (PERA) y Valledupar (VALL) y se adelanta la instalación de 24 estaciones más. Éstas pueden ser utilizadas como estación base en el desarrollo de levantamientos GPS diferenciales, garantizando la vinculación directa de los puntos nuevos al sistema oficial **MAGNA-SIRGAS**. El IGAC proporciona la información correspondiente en el formato universal RINEX. Estas estaciones forman parte de la red SIRGAS de funcionamiento continuo y sus coordenadas son calculadas semanalmente por un centro de procesamiento el IGS (International GPS Service), por tal razón no es necesario aplicar el modelo de velocidades a la estación base. El procedimiento pertinentes es:

1. Adquisición de la información RINEX en el IGAC



2. Descarga, por parte del usuario, de las coordenadas actuales de las estaciones GPS de funcionamiento continuo en el sitio Internet:

<ftp://cddisa.gsfc.nasa.gov/gps/products>

La información está dispuesta según la semana GPS, por ejemplo para el 10 de febrero de 2004 deberá accederse el directorio *1257*

La combinación de las soluciones regionales para las estaciones GPS de funcionamiento continuo está a cargo del Instituto Tecnológico de Massachussets (MIT), por tal razón debe buscarse el archivo *mit1257p.ssc.z*

Una vez el archivo haya sido descomprimido, mediante un editor de texto deben buscarse las coordenadas geocéntricas [X, Y, Z] de la estación deseada, que para el caso de BOGA, en el presente ejemplo son:

```
....  
334 STAX BOGA A 1 04:046:43185 m 2 0.174451740592138E+07 .646088E-03  
335 STAY BOGA A 1 04:046:43185 m 2 -.611605164464370E+07 .890126E-03  
336 STAZ BOGA A 1 04:046:43185 m 2 0.512580865851186E+06 .578732E-03  
....
```

Deben utilizarse los valores de las coordenadas geocéntricas, las cuales tienen una precisión al milímetro. Debe prestarse especial atención de **NO** utilizar las coordenadas elipsoidales (ϕ , λ , h), ya que, aunque están contenidas en el archivo, éstos valores son aproximados y sólo se utilizan para la representación gráfica de la posición de las estaciones en mapas globales. Es decir, la coordenadas que deben utilizarse para el procesamiento del levantamiento GPS son

$$\begin{aligned} X &= 1\ 744\ 517,4059 \\ Y &= -6\ 116\ 051,6446 \\ Z &= 512\ 580,8659 \end{aligned}$$

En el evento de que no se encuentre el archivo *mit????p.ssc.z* para la semana en la que se desarrolló el levantamiento, puede utilizarse la solución de una o dos semanas anteriores o posteriores, sin que ello implique error en el cálculo.

3. Se adelanta el procesamiento de la información GPS.
4. Se aplica el modelo de velocidades a los puntos nuevos para que sus coordenadas sean trasladadas a la época de referencia.

Se recomienda explícitamente utilizar las coordenadas calculadas semanalmente para cada estación de funcionamiento continuo como base del procesamiento, más no las actualizadas al aplicar las velocidades del modelo.



Ejemplo

A partir de la estación **MAGNA-SIRGAS** de funcionamiento continuo CODAZZI 2010 (BOGA) se determina un punto nuevo el 10 de febrero de 2004.

a. Época de medición:

El día 10 de febrero corresponde con el día número 41 del año, por tanto la época de medición es 2004.1

b. Coordenadas de la estación de referencia:

Las coordenadas **MAGNA-SIRGAS** (época 1995.4) del vértice CODAZZI 2010 (BOGA) son:

$$\begin{array}{ll} \varphi = 04^{\circ} 38' 19,242 08'' \text{ N} & X = 1\ 744\ 517,5375 \text{ m} \\ \lambda = 74^{\circ} 04' 47,815 30'' \text{ W} & Y = -6\ 116\ 052,0161 \text{ m} \\ h = 2\ 610,816 \text{ m} & Z = 512\ 580,7161 \text{ m} \end{array}$$

No obstante, para la época de medición (2004.1), la solución calculada semanalmente para la estaciones de funcionamiento continuo SIRGAS arroja los siguientes valores para BOGA:

$$\begin{array}{ll} \varphi = 04^{\circ} 38' 19,247 97'' \text{ N} & X = 1\ 744\ 517,4059 \text{ m} \\ \lambda = 74^{\circ} 04' 47,816 10'' \text{ W} & Y = -6\ 116\ 051,6446 \text{ m} \\ h = 2\ 610,436 \text{ m} & Z = 512\ 580,8659 \text{ m} \end{array}$$

Si se utiliza el modelo de velocidades SIRGAS para llevar las coordenadas BOGA de 1995.4 a 2004.1 seguramente se encontrarán divergencias con los valores calculados, de hecho el modelo es mucho más impreciso que la solución semanal de coordenadas y éste debe ser utilizado sólo para aquellos puntos **MAGNA-SIRGAS** que no son de funcionamiento continuo. Se llama especialmente la atención sobre la diferencia en la altura elipsoidal del punto para las dos épocas, si se utilizan las coordenadas 1995.4 para el procesamiento del levantamiento se presentarán discrepancias hasta de 40 cm en las alturas elipsoidales de los puntos nuevos.

c. Procesamiento de la información GPS:

El levantamiento GPS se procesa convencionalmente utilizando como referencia las coordenadas de la solución semanal para el punto CODAZZI 2010 (BOGA), las cuales son obtenidas del servicio IGS a través del sitio <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products>. Los resultados obtenidos para el punto nuevo son:



Punto 1:

$$\begin{array}{ll} \varphi = 04^{\circ} 35' 40,12861'' \text{ N} & X = 1\,740\,920,9774 \text{ m} \\ \lambda = 74^{\circ} 06' 53,15081'' \text{ W} & Y = -6\,117\,533,1075 \text{ m} \\ h = 2656,356 \text{ m} & Z = 507\,710,7131 \text{ m} \end{array}$$

d. Traslado de las coordenadas de los puntos nuevos a la época de referencia:

Las velocidades anuales para el punto nuevo según el modelo de velocidades SIRGAS son:

Punto 1

$$V_x = 0,0015 \text{ m / año}$$

$$V_y = 0,0016 \text{ m / año}$$

$$V_z = 0,0136 \text{ m / año}$$

La reducción a la época de referencia corresponde con:

Punto 1:

$$X = 1\,740\,920,9774 - (0,0015 \times 8,7) = 1\,740\,920,9644 \text{ m}$$

$$Y = -6\,117\,533,1075 - (0,0016 \times 8,7) = -6\,117\,533,1214 \text{ m}$$

$$Z = 507\,710,7131 - (0,0136 \times 8,7) = 507\,710,5948 \text{ m}$$

Estos valores son las coordenadas **MAGNA-SIRGAS** de los dos puntos nuevos.

Este documento trata de orientar a los usuarios de la información geodésica del Instituto Geográfico Agustín Codazzi en la utilización de modelos de velocidad de coordenadas en el procesamiento de información GPS, pero en ningún momento busca reemplazar la consulta de libros especializados.

PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN GPS CONSIDERANDO LA VARIACIÓN DE LAS COORDENADAS EN EL TIEMPO (VELOCIDADES) POR EFECTOS GEODINÁMICOS

Este trabajo fue realizado en la División de Geodesia de la Subdirección de Geografía y Cartografía del Instituto Geográfico Agustín Codazzi por la ingeniera Laura Sánchez Rodríguez (lsanchez@igac.gov.co) en mayo de 2004



© Instituto Geográfico Agustín Codazzi – 2004

Prohibida la reproducción total o parcial sin la autorización previa del Instituto Geográfico Agustín Codazzi.