

ANÁLISIS DE LA RED NACIONAL GPS ENLAZADA AL SISTEMA DE REFERENCIA SIRGAS95 Y SU EVOLUCIÓN HACIA LA NUEVA INFRAESTRUCTURA SOPORTADA POR LA RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR.

David Alexander Cisneros Revelo

CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS GNSS DEL ECUADOR, RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO. INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR.

Seniergues E4-676 y Gral. Telmo Paz y Miño, El Dorado, Quito - Ecuador.

david.cisneros@mail.igm.gob.ec

alincisneros@hotmail.com

RESUMEN

Las técnicas, procedimientos de observación y adquisición de información geoespacial evolucionan con el tiempo, por tal razón necesitan contar con una definición del Marco de Referencia acorde a su realidad. Los procedimientos convencionales de medición (geodesia convencional, medidas astronómicas, etc.) fueron totalmente compatibles en el pasado a través del uso de Sistemas de Referencia Locales; sin embargo, la presente época está marcada por un incesable cambio tecnológico y científico, lo cual obliga a montar una infraestructura física y técnica que permita una nueva definición del Marco Geodésico de Referencia Nacional compatible con las técnicas de posicionamiento satelital (GNSS) vigentes en la actualidad.

El éxito de esta gran infraestructura técnica, depende principalmente de la dotación de equipos geodésicos de última generación (como son las estaciones GNSS permanentes), canales de comunicación / transmisión de datos, políticas de seguridad e integridad; a demás de los protocolos de entrega y difusión de la información para el uso, provecho y desarrollo del país, en temas inherentes a las ciencias de la tierra y sus diferentes aplicaciones prácticas.

La suma de todos estos componentes, sin duda constituyen una gran infraestructura geoespacial denominada RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR - REGME, instalada y administrada por el IGM a nivel nacional, en cooperación con varias instituciones del estado.

ABSTRACT

Techniques, methods of observation and geospatial information acquisition evolve over time, therefore it need to have a definition of the Reference Frame in line with reality. Conventional methods of measurement (conventional geodesy, astronomical measurements, etc.) were fully supported in the past through the use of Local Reference Systems, however, this period is marked by incessant technological and scientific change, forcing to develop a new definition of the National Geodetic Reference Frame support techniques satellite positioning (GNSS) currently in force.

The success of this great technical infrastructure, depends mainly on the provision of next generation geodetic equipment (such as permanent GNSS stations), channels of communication / data transmission, security and integrity policies, to other delivery protocols and dissemination of information for the use, benefit and development of the country, on topics related to the earth sciences and their practical applications.

The sum of all these components certainly are a major geospatial infrastructure called GNSS CONTINUOUS MONITORING NETWORK OF ECUADOR - REGME, installed and managed by the IGM at national level, in cooperation with various state institutions.

1. INTRODUCCIÓN

La prioridad de establecer y adoptar un Dátum Horizontal permanente para una nación y un continente, siempre ha sido un objetivo principal desarrollado en el transcurso del tiempo por parte de las Agencias Cartográficas Nacionales.

Hasta mediados del año 1920, nuestro país no contaba con un organismo que supliera la necesidad de mapas o planos nacionales, regionales o locales. Las autoridades de gobierno tomaron conciencia de aquello, es así que el 11 de abril de 1928, el Presidente Dr. Isidro Ayora crea el **SERVICIO GEOGRÁFICO MILITAR**.



Figura No. 1: Geodesia Convencional

El SGM inicia los trabajos cartográficos a nivel nacional, tomando como base de partida el vértice de Riobamba, el cual formaba parte de la Red triangular medida por la Misión Francesa en 1906. Esta se componía de 15 vértices materializados por pilares de concreto de 1m. alto x 0.60 de ancho, ubicados a lo largo de la cordillera de la sierra central.

Dada la gran labor del SGM, el 15 de agosto de 1947, el Presidente Dr. Velazco Ibarra, eleva al SGM a la categoría de **INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR**, convirtiéndose en una de las instituciones técnicas de mayor prestigio a lo largo del tiempo.

En aquel tiempo, los trabajos geodésicos se desarrollaban a través de técnicas convencionales, que implicaban la medición de ángulos horizontales y verticales obtenidos por observaciones intervisibles, para lo cual en ciertos casos era necesario levantar grandes torres mayores a 50 m. de altura.

A finales de la década de 1960, la consecución de las campañas de campo dan paso a la Red Geodésica de Primer Orden, cuya Referencia Geodésica Nacional era el **Datum Provisional de 1956 para América del Sur**. De esta manera se adopta el PSAD56, como Datum oficial del Ecuador, a partir del 6 de agosto de 1960.

Estos procedimientos convencionales de medición (geodesia convencional, medidas astronómicas, etc.) fueron totalmente compatibles en el pasado a través del uso de Sistemas de Referencia Locales; sin embargo, el incesable cambio tecnológico y científico, experimentó una verdadera evolución con la llegada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS, a partir de 1980) y sus técnicas de medición, incluyendo la definición de un Sistema de Referencia homogéneo y compatible con este tipo de tecnología espacial.

La Conferencia Internacional para la Definición de un Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur celebrada en el año 1993 en Asunción, Paraguay; da inicio al

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS, cuyo objetivo principal es homogeneizar el sistema de referencia oficial en todos los países de América.

El Ecuador, en común acuerdo con los demás países del continente americano, forma parte del proyecto SIRGAS a partir del año 1993, con el firme objetivo de determinar la Red Nacional GPS, enlazada al Sistema de Referencia Terrestre Internacional ITRS, sustentado técnicamente por el Sistema de Rotación Terrestre Internacional IERS, lo cual garantiza una permanente actualización del Marco de Referencia Geodésico Nacional.

Las actividades del proyecto SIRGAS a nivel nacional, inician a partir del año 1994, con la medición de tres puntos principales (Galápagos, Latacunga y Zamora); y paralelamente se desarrolla la materialización de la Red Nacional GPS del Ecuador – RENAGE. La RENAGE es una red pasiva compuesta por 135 mojones de concreto (vértices) distribuidos a nivel nacional, cuyas campañas de observación GPS se desarrollaron entre los años 1994, 1996 y 1998.

El ajuste de la RENAGE concuerda con el ITRF94, época 1995.4; es decir SIRGAS95 y sus coordenadas geocéntricas cartesianas se encuentran descritas en el Report 73, Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame (Tremel H., Urbina R., 2000).

La RENAGE, es el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional materializado a través de estaciones Pasivas y el sustento técnico por el cual el Ecuador atravesó el umbral de la Geodesia Convencional a la era de los Sistemas Satelitales de Navegación Global.

2. CONTENIDO

La RENAGE constituye la densificación del Marco Geocéntrico de Referencia Nacional, a través de estaciones pasivas, constituidas por mojones de concreto con una referencia física en el centro establecida por medio de una placa de aluminio (referencia a la cual fueron calculadas las coordenadas oficiales) y su correspondiente descripción. Estos se encuentran empotrados a lo largo y ancho del territorio nacional, llegando a un total de 135 sitios (mojones) principales.



Figura No. 2: Mojones de concreto que conforman la RENAGE.

Esta infraestructura ha permitido al país desarrollar todas las actividades concernientes principalmente al desarrollo de la cartografía y los diversos proyectos que se derivan de su aplicación.

Sin embargo, con el paso de los años, varios de estos mojones se han perdido (algunos de manera prematura) debido principalmente al desarrollo y reconstrucción de la

infraestructura tanto vial como urbanística. Lamentablemente, la destrucción de un mojón, implica la desaparición de un punto de control fijo de coordenadas conocidas (base GPS), lo cual es un gran problema puesto que es imposible recuperarlo, disminuyendo de esta manera la cantidad de puntos ajustados y acortando las posibilidades de obtener un punto de control cercano al área de trabajo.

La Red Nacional GPS del Ecuador fue ajustada al Marco de Referencia SIRGAS95. En el transcurso del tiempo (aproximadamente 17 años), esta definición ha experimentado varios agentes y fenómenos geofísicos que afectan su consistencia tales como el continuo desplazamiento de las placas tectónicas, los efectos de la subducción, sismos, fallas geológicas, deformación local e incluso diferencias en el cálculo de las efemérides y la actualización del ITRS.

Aparte de las deformaciones continuas tenemos también que considerar movimientos no continuos del terreno como por ejemplo los producidos por terremotos (movimientos no lineales). Las coordenadas SIRGAS deben ser evaluadas y corregidas por estos movimientos antes de ser utilizadas como un Marco de Referencia Nacional.

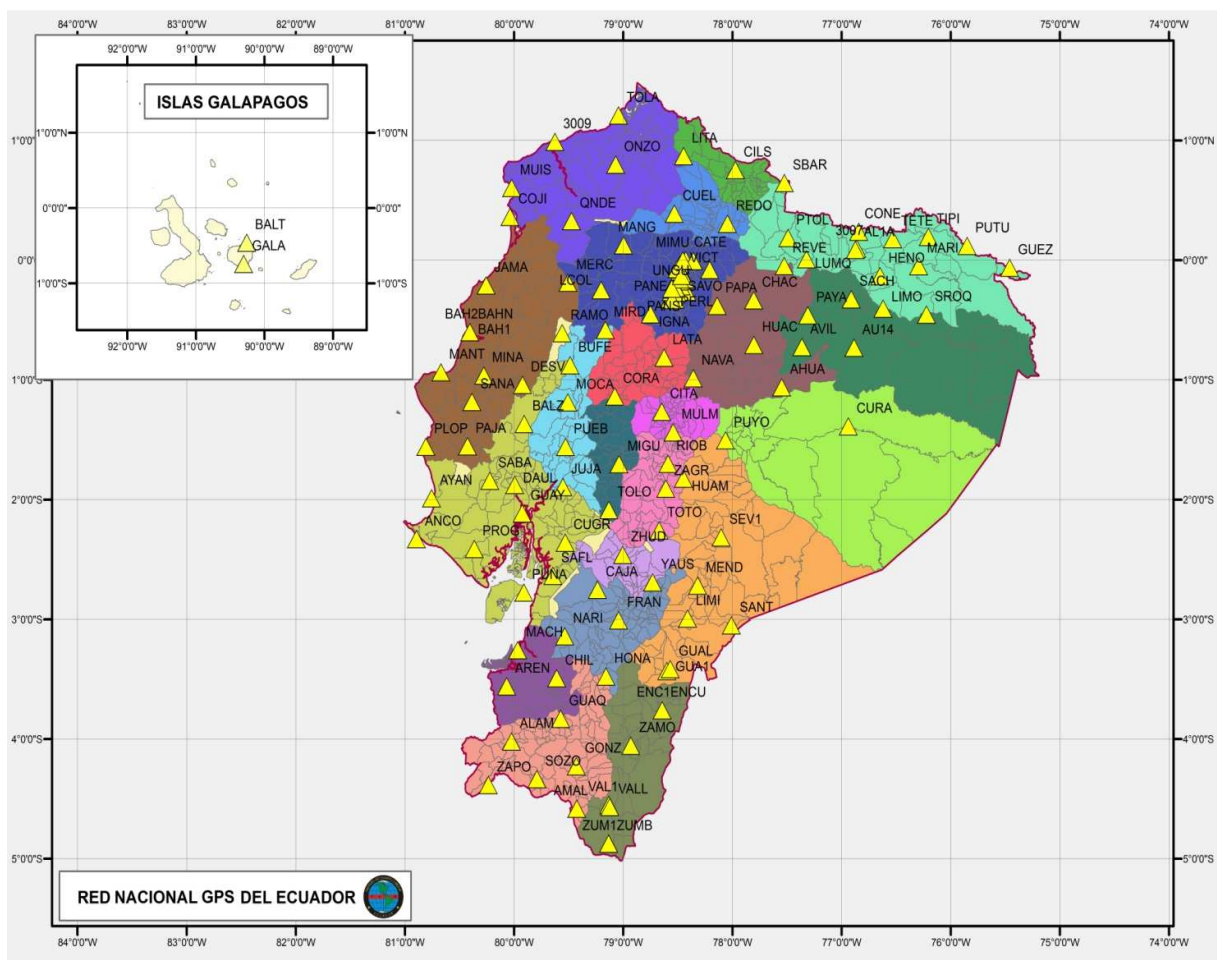


Figura No. 3: Red Nacional GPS del Ecuador - RENAME

2.1 AFECTACIÓN GEODINÁMICA DEL MARCO GEOCÉNTRICO DE REFERENCIA NACIONAL DEL ECUADOR SIRGAS 95, A LO LARGO DE LOS ÚLTIMOS 17 AÑOS.

La realización del Marco de Referencia Geocéntrico SIRGAS95, adoptado de “hecho” en el Ecuador, corresponde con el ITRF94, época 1995.4. El Report 73: Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame (Tremel H., Urbina R., 2000), posee las coordenadas Geocéntricas Cartesianas referidas a esta realización, las cuales han venido manteniéndose en el transcurso del tiempo como puntos base de partida para todas las actividades de Georeferencia dentro del territorio nacional.

Dado que los eventos y fenómenos geofísicos (procesos de subducción, desplazamientos tectónicos, fallas geológicas, sismos, terremotos, erupciones volcánicas, etc.) contribuyen con una afectación local, es necesario realizar una validación de estas coordenadas con el fin de determinar diferencias en término de la magnitud del desplazamiento de los sitios a lo largo de los últimos diecisiete años (1995.4 – 2013.0).

Todo evento sísmico, principalmente uno de 7 grados en la escala de Richter o mayor, destruye la consistencia de un Marco de Referencia y los efectos geodinámicos que se derivan de este evento, se mantienen presentes en la mayoría de casos a lo largo de los tres años siguientes hasta llegar a consolidar nuevamente la estabilidad del terreno.

Los sitios que se encuentran materializados en el área del sismo no pueden ser usados como referencia hasta que el efecto post-sísmico desaparezca, por tal razón, es importante levantar mediciones GPS de los sitios del área afectada hasta comprobar que los efectos geodinámicos del sismo desaparecieron. De esta manera se mantiene actualizado el Marco de Referencia.

Existen varios eventos geofísicos suscitados a lo largo de los quince años dentro del territorio nacional de los cuales se puede mencionar entre los más importantes: el sismo de magnitud 7.2 producido en Bahía de Caraquez en el año de 1998, cuyos efectos post-sísmicos se presentaron en la región hasta cerca del año 2003. El sismo de Macas de magnitud 6.9 producido en el año 1995, sismo de Pelileo suscitado en 1996; erupción volcánica del Guagua Pichincha en 1999, Reventador en 2002 y el continuo proceso eruptivo del Tungurahua a partir de 1999. Las mediciones GPS confirman también la presencia de un sismo-lento en Esmeraldas y otro similar en Isla de la Plata, los cuales actualmente continúan su proceso físico. Cabe señalar también grandes eventos producidos en países de la región, como el terremoto de magnitud 8.8 en Concepción Chile, suscitado en el año 2010 y el de Arequipa Perú en el año 2001, cuya magnitud fue de 8.2 grados; todos estos en la escala sismológica de Richter.

La Figura No. 4, muestra la ubicación de los epicentros sísmicos, con magnitud mayor a 4 grados escala sismológica de Richter; ocurridos en el Ecuador a partir del año 1541 hasta el año 2007. Como se puede observar, los epicentros cubren prácticamente todo el territorio nacional, con zonas de mayor y menor concentración de eventos; demostrando así, que todo el territorio ecuatoriano está expuesto a este tipo de fenómenos en cualquier momento.

En conclusión, se pone en evidencia la vulnerabilidad del Marco de Referencia Nacional, sustentado por estaciones pasivas (mojones de concreto empotrados en el terreno).

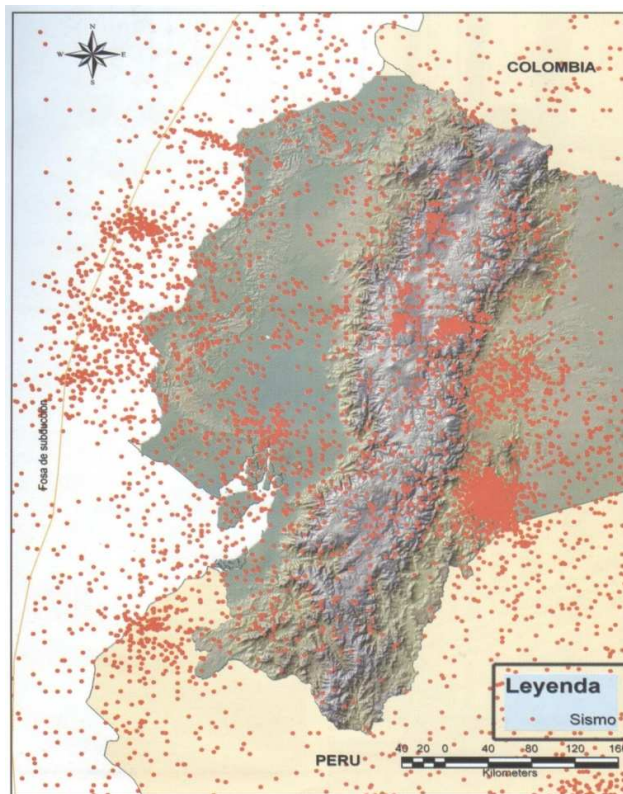


Figura No. 4: Mapa de epicentros del Ecuador 1541 – 2007. Fuente: Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007).

Estos eventos provocan graves distorsiones del ITRF (y por ende del Marco de Referencia Nacional) identificadas a través de grandes saltos en las series de tiempo, por lo cual es necesario evaluar su contribución. Por tanto, las coordenadas de referencia SIRGAS deben ser corregidas por estos movimientos antes de ser utilizadas como Marco de Referencia.

La recomendación después de un sismo, es realizar medidas GPS en el área del evento, hasta comprobar que desapareció el efecto post-sísmico y el terreno consolidó la estabilidad absoluta.

Además de los sismos, tenemos también la presencia de Fallas Geológicas, que de igual manera desplazan los mojones pasivos de su ubicación inicial y deforman la consistencia del Marco de Referencia en ese sector.

Una falla geológica, es una fractura en las rocas que por efecto de las grandes fuerzas a las que está sometida, se mueve, provocando sismos. En el Ecuador, debido a la subducción de la placa oceánica de Nazca bajo la placa continental Sudamericana, se producen fuerzas muy importantes sobre los bordes de ambas placas, generando fracturas en el interior de ellas; este fenómeno da lugar al surgimiento de las fallas geológicas.

La identificación de estas fallas, es de gran importancia para poder determinar cuáles pueden constituir una amenaza para el Ecuador; en términos de deformación del Marco de Referencia Nacional. "El principal sistema de fallas activo del Ecuador es el Pallatanga – Chingual, que comienza en el Golfo de Guayaquil, pasa por la Isla Puná, continua por la zona de La Troncal, ingresa a la cordillera por Bucay y continua por Pallatanga, donde su identificación es muy clara a la vista". Adaptado de Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007).

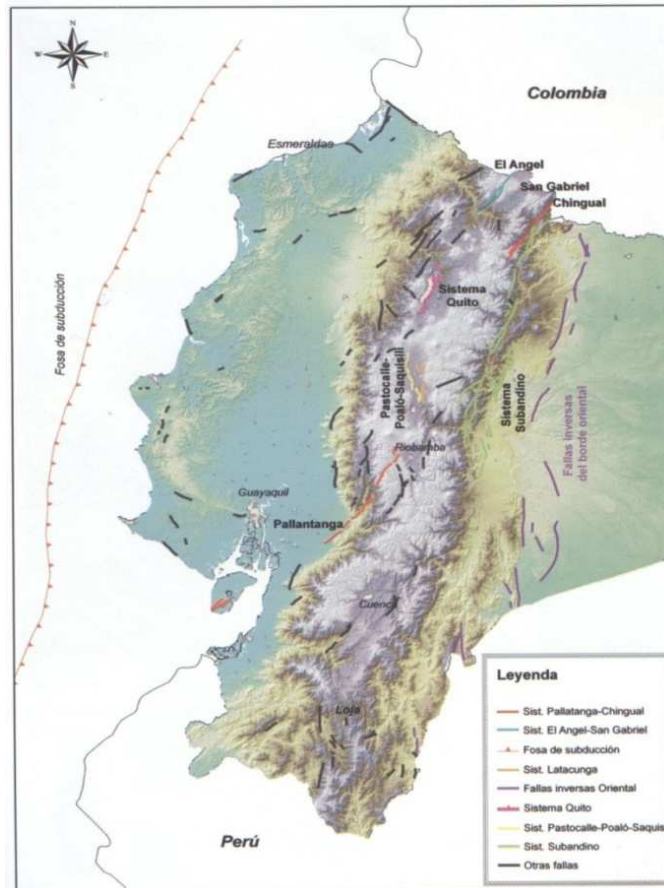
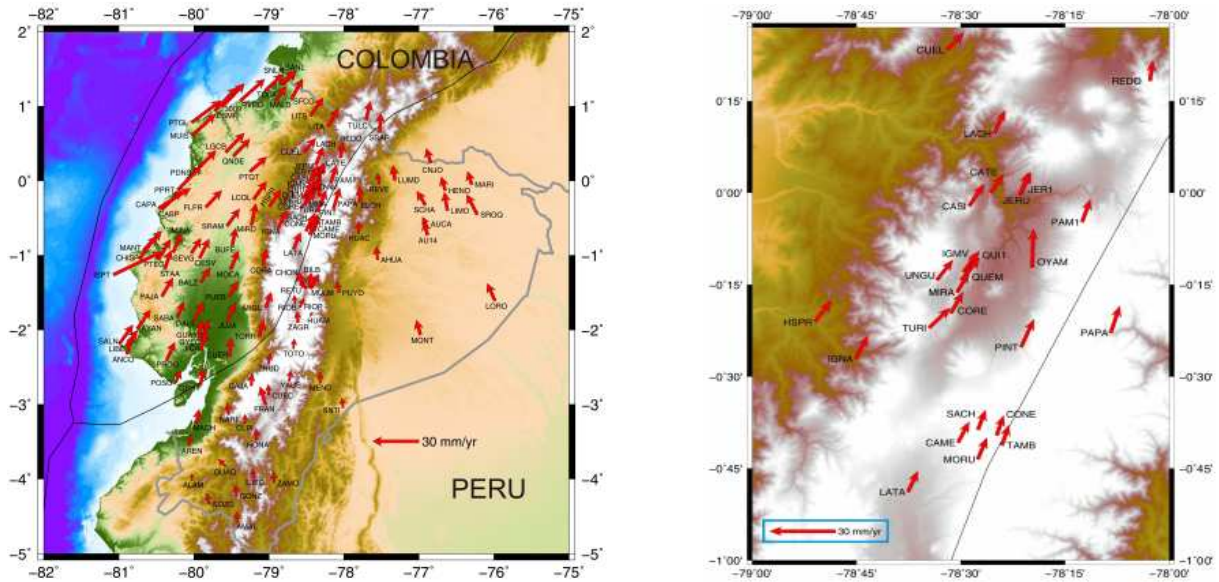


Figura No. 5: Mapa de fallas activas del Ecuador (IGEPN). Fuente: Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007).

El análisis de la RENAGE en términos del desplazamiento y dirección que han experimentado sus vértices en el transcurso del tiempo, sin duda es un ejercicio muy complicado que definitivamente no puede ser determinado por modelos de interpolación, por tal razón, el IGM, desarrolló el CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR, obtenido a través de Mediciones de Campañas GPS de los últimos 15 años y medidas de una Red GPS Permanente.

Las velocidades están expresadas con respecto al Marco de Referencia Global y corresponde con la siguiente realización: Marco Geodésico de Referencia Global: IGS08, Época de referencia: 2011.0

**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, TERRITORIO ECUATORIANO CONTINENTAL
PLACA TECTÓNICA SUDAMERICANA, ZONA 17 - 18**



**CAMPO DE VELOCIDADES VEC_Ec, ARCHIPIÉLAGO DE GALÁPAGOS
PLACA TECTÓNICA DE NAZCA, ZONA 15 - 16.**

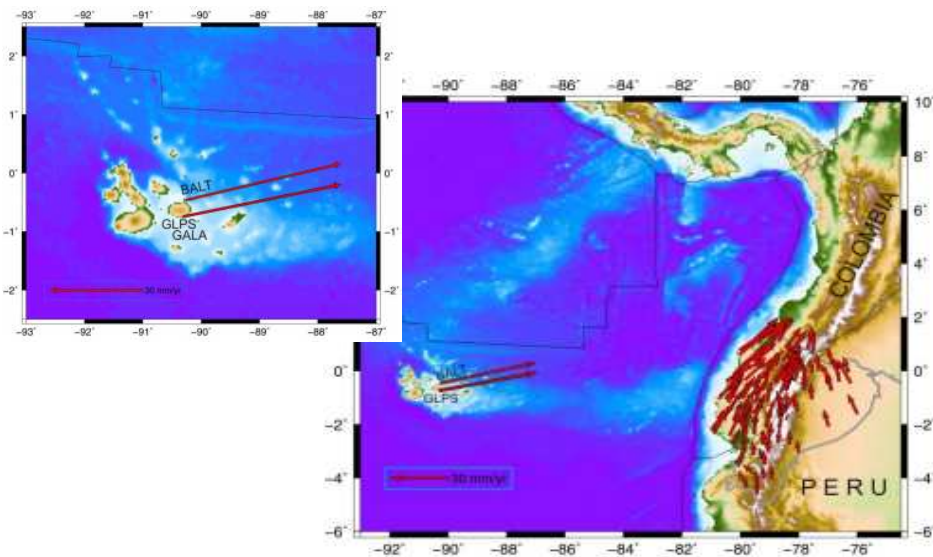


Figura No. 6: Campo de Velocidades del Ecuador. Fuente: Cisneros, D. and Nocquet, JM. (2011). CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR, obtenido a través de Mediciones de Campañas GPS de los últimos 15 años y medidas de una Red GPS Permanente, IGM – IGEPN – GEOAZUR - IRD. Nice – France , 2011.

La tabla que se muestra a continuación, permite observar la diferencia existente entre las coordenadas de la Red Nacional GPS del Ecuador (RENAGE), cuya densificación concuerda con SIRGAS95, ITRF94; época de referencia 1995.4 y las calculadas (VEC_Ec) en el Marco de Referencia vigente IGS08, época 2011.0.

Como podemos observar, la diferencia existente está en el orden de los centímetros en las tres componentes, siendo la componente horizontal del punto Baltra el valor que posee el mayor desplazamiento (Este = 0.78m). Este desplazamiento concuerda con la teoría y confirma los resultados obtenidos del Campo de Velocidad.

Cabe indicar también, que el tiempo transcurrido entre los dos marcos de referencia es de: $(t - t_0) = 15.6$ años; siendo $t = 2011.0$ y $t_0 = 1995.4$.

VERTICE	RENA GE SIRGA S 95, ITRF 94, época 1995.4						RENA GE IGS08, época 2011.0					
	COORDENADA S CARTESIANA S			COORDENADA S PLANA S			COORDENADA S CARTESIANA S			COORDENADA S PLANA S		
	X	Y	Z	N	E	h	X	Y	Z	N	E	h
3 0 0 9 Esm	1148305.483	-6272977.101	109353.910	109346.874	652825.801	19.949	1148305.688	-6272976.994	109354.156	109347.122	652826.082	19.885
			DIFERENCIA	-0.248	-0.221	0.054						
BALTRA	-28822.438	-6377927.538	-50938.985	9949022.811	805120.819	80.448	-28821.651	-6377927.434	-50938.794	9949022.801	805121.407	80.339
ZONA 15			DIFERENCIA	-0.189	-0.788	0.109						
LATA CUNGA	1258247.386	-6255142.665	-90040.863	9909956.133	764160.996	2941.238	1258247.972	-6255142.642	-90040.693	9909956.303	764161.085	2941.230
			DIFERENCIA	-0.170	-0.089	0.008						
QUININDE	1165008.426	-6270855.124	38218.099	38218.016	669656.419	122.105	1165008.600	-6270855.013	38218.288	38218.206	669656.610	122.029
			DIFERENCIA	-0.180	-0.191	0.076						
GALA	-33796.164	-6377522.618	-82120.929	9917816.126	800125.779	7.418	-33795.397	-6377522.677	-82120.741	9917816.314	800126.547	7.471
ZONA 15			DIFERENCIA	-0.189	-0.768	-0.053						

Tabla No. 1: Diferencia entre la RENAGE SIRGAS95 época 1995.4, e IGS08 época 2011.0

2.2 ANÁLISIS DEL SISTEMA DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO SIRGAS 95 - ITRF 94, CONFORME A LA EVOLUCIÓN DEL ITRF EN EL TIEMPO.

La evolución del ITRF (International Terrestrial Reference Frame) en sus diferentes realizaciones, también contribuye con diferencias significativas en la definición de un Marco de Referencia Nacional.

La actualización del ITRF presenta las siguientes realizaciones, las cuales en su momento fueron adoptadas como "ITRF vigente" llegando a la solución actual; IGS08.

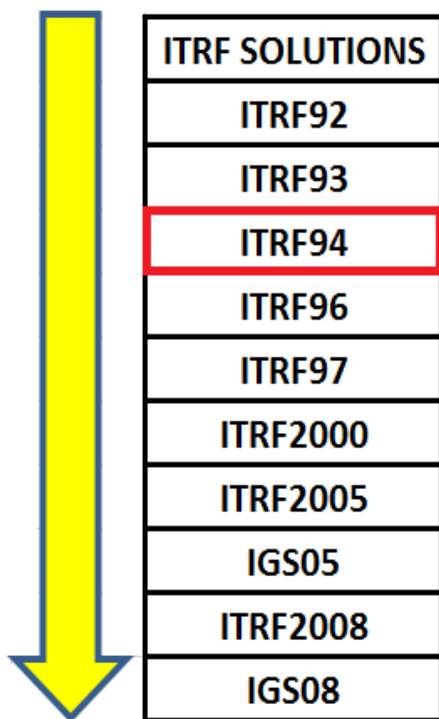


Figura No. 7: Evolución del ITRF

Todas las realizaciones incluyen posiciones y velocidades de las estaciones que forman parte de la red de seguimiento en una época de tiempo específica. Las soluciones se encuentran relacionadas por medio de parámetros de transformación, los mismos que permiten comparar (o migrar de un ITRF a otro) las observaciones en diferentes épocas de medida; por tal razón el ITRF se actualiza constantemente.

El ITRF adoptado de "hecho" en el Ecuador, se define como SIRGAS95 y corresponde con el ITRF94, época 1995.4. En el tiempo transcurrido hasta la presente época 2011.0 (2011.0 - 1995.4 = 15.6 años) se han realizado varias actualizaciones siendo la vigente el nuevo Marco de Referencia; IGS08.

A partir de la semana GPS 1632 correspondiente al 17 de Abril de 2011, el IGS empezó a utilizar el nuevo Marco de Referencia Global vigente, IGS08; para la generación de sus productos (Rebischung, P. 2011).

Este cambio al igual que las anteriores actualizaciones del ITRS, genera un salto en las series de tiempo de las estaciones, puesto que a partir de esta fecha los productos calculados por el IGS tales como las efemérides satelitales, los parámetros de orientación

terrestre EOPs y las correcciones a los relojes de los satélites estarán dados en este nuevo marco de referencia vigente. Adicionalmente, el IGS difundió la actualización del modelo de corrección absoluta de las antenas (PCV) denominado igs08_1685.atx (actualización 27 Abril 2012). Fuente: <http://igscb.jpl.nasa.gov/mailman/listinfo/igsmail>

Dado que el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas SIRGAS, incluye en el procesamiento semanal de la red SIRGAS_CON los productos calculados por el IGS, las coordenadas semanales de las estaciones SIRGAS se refieren también al IGS08 a partir de la semana GPS 1632. Adaptado de www.sirgas.org

En nuestra realidad nacional, este cambio de ITRF también es notable, pues todas las medidas GNSS incluidas las estaciones permanentes de la REGME, rastrean y almacenan datos de los satélites referidos al IGS08, tal como se muestra en la imagen a continuación:

```

week 1705: SIRGAS constrained combination (wrt igs12P1705)          07-OCT-12 10:55
-----
LOCAL GEODETIC DATUM: IGS08                EPOCH: 2012-09-12 12:00:00
-----
NUM  STATION NAME          X (M)          Y (M)          Z (M)          FLAG
-----
  1  ABCC 41939M001        1739438.0449   -6117252.5779   515065.0020    A
  2  ABMF 97103M001        2919785.7346   -5383745.0193   1774604.7532    A
 31  AREQ 42202M005        1942826.2232   -5804070.3390  -1796894.2000    A
 35  AUCA 42017M001        1447466.3425   -6211636.0225   -70859.9740     A
 67  BOGA 41901M002        1744517.2378   -6116051.2169   512581.0318     A
135  CUEC 42009M001        1215704.3282   -6255712.1817   -318818.9299    A
161  ESMR 42011M001        1137650.0403   -6275256.3119   103347.7125     A
201  GYEC 42007M001        1118628.4361   -6274783.8109   -237610.2244    A
277  LJEC 42010M001        1192829.0156   -6252161.6435   -440799.1462    A
291  MAEC 42013M001        1312399.1236   -6237499.8445   -254805.7476    A
380  OHI2 66008M005        1525812.0043   -2432478.2237  -5676165.5668    W
430  PTEC 42008M001        1055320.8215   -6289193.9685   -116986.4564    A
436  QUEM 42020M001        1272483.4734   -6252975.3350   -26224.2985     A
440  QVEC 42012M001        1165494.0680   -6269857.6172   -111925.7477    A
455  RIOP 42006M001        1255144.9650   -6253609.4340   -182569.7798    A
507  STEC 42016M001        1323151.3702   -6230532.7296   -337197.0061    A
  
```

Figura No. 8: Evolución del Marco de Referencia Global, IGS08.

De cierta forma, esto implica que estamos trabajando en el marco de referencia vigente IGS08, pero debemos regresar 17 años atrás para presentar nuestras coordenadas y productos en SIRGAS95, rompiendo la compatibilidad entre lo observado y calculado en la época presente, lo cual repercute en la precisión obtenida y genera confusión y alta probabilidad de error en los usuarios que realizan los cálculos necesarios para tal efecto.

2.2.1 QUÉ SUCEDE CON EL MARCO DE REFERENCIA DENSIFICADO EN LA PROVINCIA INSULAR, EN TÉRMINOS DEL DESPLAZAMIENTO GEODINÁMICO?

La situación geodinámica del archipiélago y la georeferencia espacial de esta provincia, evidentemente no puede ser expresada ni mantenida por medio de un mojón de concreto perteneciente a una red pasiva (salvo el caso de constantes campañas GPS de campo que permitan actualizar la posición, conforme al tiempo transcurrido), por lo contrario, una estación permanente permitirá obtener la información diaria del sitio, por lo cual, mediante el procesamiento GNSS de precisión podemos analizar y mantener el marco de referencia

actualizado, incluso determinar posibles eventos que provoquen un proceso de deformación local (erupciones volcánicas, efectos de carga oceánica, sismos, etc.), lo cual es muy común en estas latitudes.

El IGM no puede concentrarse únicamente en el territorio continental y dejar por fuera el territorio insular. Es importante definir una referencia geodésica para el archipiélago de Galápagos.

Como ya se demostró, el punto (mojón) de referencia principal de la RENAGE SIRGAS95 para la región Insular es el sitio BALTRA. Este al igual que el sitio GALA, muestran un desplazamiento de aproximadamente 80 cm. en la componente horizontal. Este desplazamiento concuerda con la teoría puesto que se considera un desplazamiento de 5 cm / año en esta región. Si tomamos en cuenta los 16 años transcurridos desde SIRGAS95 hasta la fecha ($2012.0 - 1995.4 = 16.6$) y lo multiplicamos por la velocidad del punto, comprobamos la tendencia y movimiento de esta región.

El punto BALTRA, está ubicado sobre esta isla del mismo nombre, la cual se mueve de manera independiente a la parte estable de la placa de nazca. No es recomendable usarlo como punto de referencia sin antes evaluar su consistencia (X, Y, Z) puesto que su posición tiende a variar al nivel centimétrico.

Por otro lado, existe también la estación permanente GLPS de propiedad de UNAVCO. Esta estación actualmente está fuera de funcionamiento desde el año 2010 y no se conoce con certeza el momento en que vuelva a funcionar. Se halla ubicada en la isla Santa Cruz y posee las mismas características que la isla Baltra.

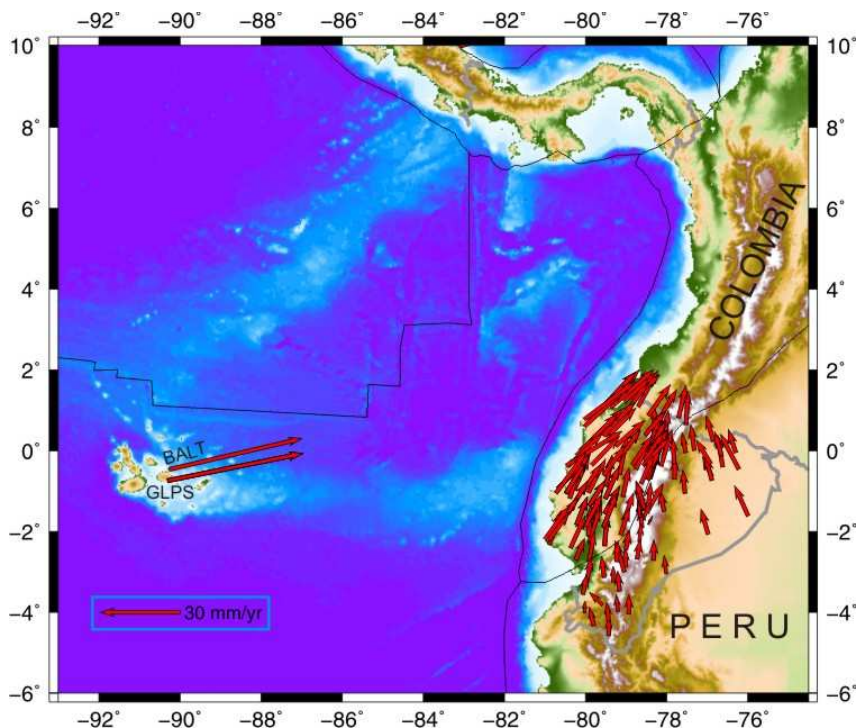


Figura No 9. Desplazamiento de la RENAGE en el territorio Insular. Fuente: Cisneros, D. and Nocquet, JM. (2011). CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR, obtenido a través de Mediciones de Campañas GPS de los últimos 15 años y medidas de una Red GPS Permanente, IGM – IGEPN – GEOAZUR - IRD. Nice – France , 2011.

La recomendación factible, es instalar una estación permanente en la isla San Cristóbal y utilizar esta como punto de referencia geoespacial para el territorio insular, puesto que esta isla se encuentra montada sobre la placa de Nazca y permite calcular su posición y velocidad real de acuerdo al movimiento normal de la placa litosférica.

2.3 RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR - REGME



El Instituto Geográfico Militar, Organismo rector de la cartografía en el Ecuador, ejecuta sus actividades con el firme objetivo de mantener un Marco Geodésico de Referencia Nacional actualizado y compatible con las técnicas de posicionamiento disponibles en la actualidad, como son los sistemas satelitales de navegación global: GPS, GLONASS y en un futuro cercano GALILEO. Este objetivo, es posible mediante la instalación de una gran infraestructura física y técnica que permita la observación y disponibilidad de información GNSS en tiempo real, proporcionando de esta manera una plataforma nacional de georeferenciación ágil,

precisa y oportuna, que satisfaga todos los requerimientos de los usuarios de la comunidad GNSS nacional e internacional.

El éxito de esta gran infraestructura técnica, depende principalmente de la dotación de equipos geodésicos de última generación (como son las estaciones GNSS permanentes), canales de comunicación / transmisión de datos, políticas de seguridad e integridad; además de los protocolos de entrega y difusión de la información para el uso, provecho y desarrollo del país, en temas inherentes a las ciencias de la tierra y sus diferentes aplicaciones prácticas.

La suma de todos estos componentes, sin duda constituyen una gran infraestructura geoespacial denominada RED GNSS DE MONITOREO CONTINUO DEL ECUADOR - REGME, instalada y administrada por el IGM a nivel nacional.

La REGME, ha sido establecida a partir del año 2008, con el apoyo de instituciones públicas y privadas (Nacionales e Internacionales). La materialización (obra civil), instalación y configuración, ha sido desarrollada bajo estándares internacionales y nacionales definidos por el IGM.

Las estaciones permanentes, se encuentran distribuidas a lo largo y ancho del territorio nacional. Estas captan (tracking) datos GNSS (GPS+GLONASS) las 24 horas del día, los 365 días del año, proporcionando información necesaria para realizar el procesamiento diferencial de información GNSS, sin necesidad de salir al campo para la colocación de bases GPS, que muchas veces generan problemas de logística y accesibilidad a los puntos; así como aumento del presupuesto.

En la figura No. 10, se presenta el esquema de funcionamiento de la REGME, el cual permite evidenciar toda la infraestructura física, técnica y lógica que posee la red para su normal funcionamiento .



Figura No. 10: Esquema de funcionamiento de la REGME

Las precisiones alcanzadas en el posicionamiento diferencial, a través del uso de los datos de la REGME (enlazada a SIRGAS95), están al nivel centimétrico (2 – 5 cm) en la componente horizontal, dependiendo de las condiciones topográficas del levantamiento, el nivel de obstrucciones físicas y la cantidad de información rastreada en la campaña de posicionamiento.

La Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador, actualmente está conformada por 33 estaciones cuya distribución y densidad está en proceso de brindar una cobertura nacional, por tal razón la REGME a futuro permitirá definir un marco de referencia dinámico y compatible con las técnicas de navegación global vigentes en la actualidad. La actual distribución de las estaciones se presenta a continuación:

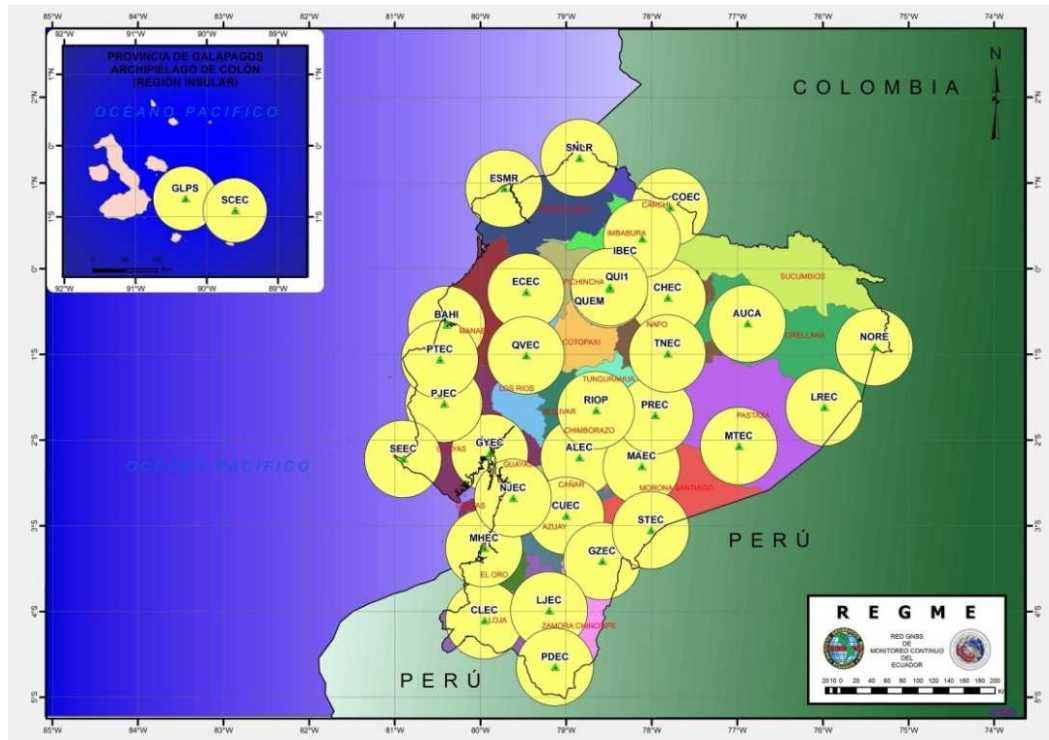


Figura No. 11: REGME, radio de cobertura 50 Km (fecha de corte, marzo de 2013).

Las estaciones se encuentran enlazadas a la Red Geodésica Nacional y captan datos GNSS las 24 horas del día, los 365 días del año, proporcionando información necesaria para el procesamiento diferencial de información GPS.

Los productos que genera actualmente la REGME, son archivos diarios de 24 horas en formato RINEX 2.11 (O y N), con un intervalo de grabación de 30 segundos de cada estación y sus correspondientes coordenadas (SIRGAS 95, ITRF 94) contenidas en las fichas técnicas, información que el IGM pone a disposición de todas las empresas e instituciones Públicas y Privadas del país.

Con la finalidad de facilitar la descarga y obtención de la información generada por la REGME, se ha diseñado una interfaz web amigable y dinámica para el usuario, cuyo protocolo de acceso se encuentra disponible a través del Geoportal institucional (www.geoportaligm.gob.ec) y la página web del IGM (www.igm.gob.ec).

Para aplicaciones geodésicas de alta precisión, las coordenadas semanales fijas de cada una de las estaciones, están disponibles en la página web de SIRGAS (<http://www.sirgas.org/index.php?id=153>).

La instalación de las estaciones que conforman la REGME, en un principio fue definida a un rango de cobertura de 100 Km., sin embargo, los requerimientos de los usuarios y las aplicaciones que se derivan del uso de la información generada por las estaciones, han obligado a tomar la decisión de redefinir el radio de cobertura a 50 Km.; a fin de satisfacer las necesidades geodésicas a nivel nacional. Esta restructuración de las estaciones evidentemente requieren de un mayor número de equipos GNSS, razón por la cual se estima que la red será constituida por un total de 50 estaciones permanentes aproximadamente.

Si bien en este momento la REGME posee 33 estaciones instaladas, es importante mencionar la contribución efectuada por varias instituciones del estado que han acogido en sus instalaciones la operación de los equipos geodésicos que materializan la red. En el anexo No.1, se detallan los equipos que conforman la REGME y se define también la institución propietaria de cada uno de ellos.

Es importante mencionar que las estaciones de la REGME, forman parte también de la Red SIRGAS Continental.

La red SIRGAS de funcionamiento continuo (SIRGAS-CON) está compuesta en la actualidad por más de 300 estaciones, de las cuales 58 pertenecen a la red global del IGS. La operatividad de SIRGAS-CON se fundamenta en la contribución voluntaria de más de 50 entidades, que han instalado las estaciones y se ocupan de su operación adecuada para, posteriormente, poner a disposición de los centros de análisis la información observada. Dado que los países latinoamericanos están mejorando sus marcos geodésicos de referencia mediante la instalación de un número mayor de estaciones GNSS de operación continua y, teniendo presente que dichas estaciones deben ser integradas consistentemente en el marco de referencia continental, la red SIRGAS-CON se mantiene en una constante evolución. Adaptado de www.sirgas.org.

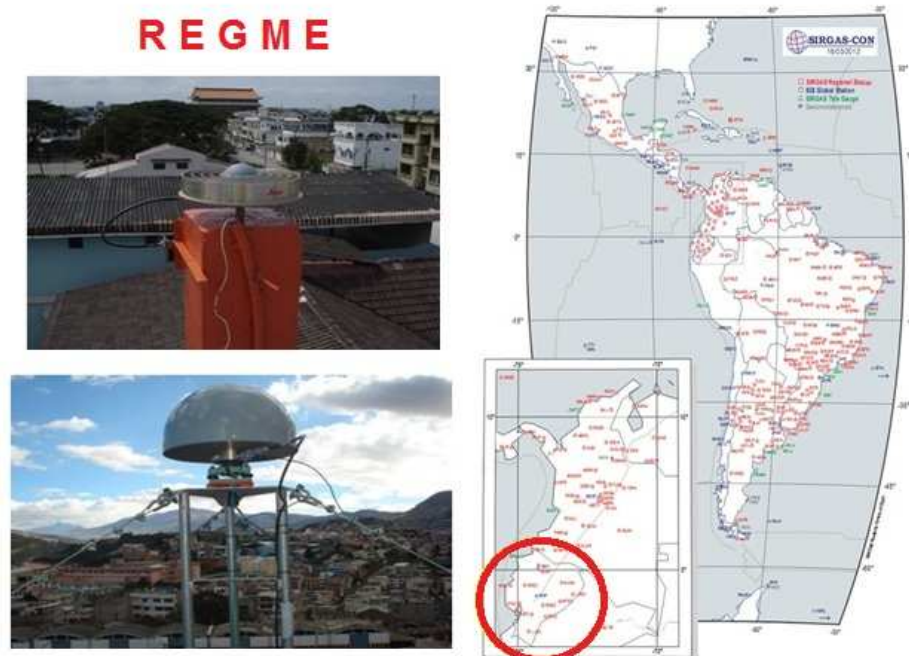


Figura No. 12: REGME - SIRGAS_CON.

Previo a la instalación de una estación permanente, el equipo técnico de la REGME, realiza una visita al sitio en el cual se pretende instalar los equipos. Se ejecuta un análisis de factibilidad técnica el mismo permite evaluar la posibilidad de instalar una estación; este análisis toma en cuenta varios criterios físicos y técnicos, siendo de mayor importancia los siguientes:

- Garantizar un sitio Libre de Interferencias Físicas (árboles, vegetación frondosa, grandes edificaciones cercanas, estructuras metálicas, etc.).
- Garantizar un sitio Libre de Interferencias Electromagnéticas (transformadores, generadores de energía, tendido eléctrico, etc.).
- Garantizar la debida seguridad tanto a los equipos como al área de instalación.
- Garantizar en el transcurso del tiempo, la permanencia del sitio en el cual se instala la estación, por lo menos los próximos 15 años.
- Acceso a un canal de comunicación y transmisión de información, mediante una IP Pública Internet banda ancha. Esta sirve también para la administración y control remoto de los equipos.
- Proveer una toma de energía estabilizada
- En lo posible brindar apoyo con Mano de Obra para la construcción de la infraestructura física.

La materialización de la estación permanente, se la realiza por medio de una columna de concreto de 2,00 m. de alto por 0,30 m. de ancho (en ciertos casos la altura de la columna puede variar, dependiendo del lugar). Esta lleva empotrada en la parte superior un dispositivo de centrado forzoso, el mismo que garantiza un correcto centrado y nivelación de la antena GNSS.



Figura No. 13: Instalación de una estación GNSS permanente - REGME.

Para ejecutar el posicionamiento GPS diferencial post proceso por medio de la RENAGE, es necesario primero identificar un mojón cercano al área de trabajo, enviar un equipo de trabajo formado por un técnico, equipo de medición (GPS de una o doble frecuencia) y la logística necesaria para trasladarse y permanecer en el punto base ejecutando un posicionamiento estático, el tiempo necesario hasta que los equipos móviles levanten la información en el campo. La ilustración de este procedimiento, se lo presenta a continuación:



Figura No. 14: RENAGE, posicionamiento GPS diferencial post proceso.

Al trabajar con la infraestructura de la REGME, debemos seleccionar una o varias estaciones GNSS disponibles en el área de trabajo y desplegar los equipos móviles que desarrollaran la(s) campaña(s) de medidas GNSS en el campo. Al final de la jornada de trabajo, descargar la información generada por la estación permanente que decidimos usar como estación de referencia y conjuntamente con la información levantada por los equipos móviles, iniciar el procesamiento y ajuste GNSS. Este procedimiento de trabajo establecido por el uso y aplicación de la REGME, evidencia varias ventajas respecto al anterior desarrollado con la RENAGE, siendo la principal ventaja, el ahorro de recursos tanto humanos, técnicos, logísticos y económicos; permitiendo de esta manera una mayor producción en menor tiempo de ejecución.

Adicionalmente, la REGME posee equipos GNSS de última generación, los mismos que rastrean (tracking) los principales Sistemas Satelitales de Navegación Global existentes en la actualidad como son: GPS + GLONASS. Esta característica técnica, permite obtener una mayor redundancia de información y rastreo de todos los observables contenidos en las frecuencias de banda L (GPS L1/L2, GLONASS L1/L2 y en un futuro cercano GALILEO) provenientes de los satélites que conforman cada constelación. De esta manera, se garantiza al usuario la disponibilidad de un servicio de posicionamiento permanente (24/7/365), ágil, preciso, exacto y oportuno a nivel nacional, satisfaciendo de esta manera todos los requerimientos de los usuarios de la comunidad GNSS nacional e internacional.



Figura No. 15: REGME, posicionamiento GNSS diferencial post proceso.

Finalmente, la REGME a corto plazo permitirá también el levantamiento de información por medio de técnicas de posicionamiento en tiempo real, gracias al protocolo NTRIP (Network Transmisión of RTCM vía IP). Este protocolo fue desarrollado por la agencia Alemana de Cartografía y Geodesia BKG, y su objetivo principal es el envío de correcciones diferenciales DGPS o RTK vía Internet. El funcionamiento de esta técnica a nivel nacional, depende de varios factores externos a la REGME, siendo uno de los principales la conexión de Internet en el área de trabajo. El esquema de funcionamiento se presenta a continuación:



Figura No. 16: REGME - NTRIP, posicionamiento en tiempo real.

2.4 CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS GNSS DEL ECUADOR - CEPGE

La información generada por las estaciones que conforman la REGME, debe ser recopilada, analizada (control de calidad), respaldada de manera ordenada y segura; y puesta a disponibilidad de los usuarios a través de políticas y protocolos establecidos por el IGM, conforme a los lineamientos gubernamentales.

Para este efecto, el IGM creó el CENTRO DE PROCESAMIENTO DE DATOS GNSS DEL ECUADOR, el mismo que inicia actividades a partir del año 2008. El objetivo principal del CEPGE, es mantener actualizado el Marco de Referencia Geocéntrico Nacional, mediante el procesamiento científico de los datos GNSS generados por las estaciones que conforman la REGME.

Adicionalmente, el CEPGE, cumple con la responsabilidad de mantener, coordinar y monitorear las estaciones que conforman la REGME. El control de calidad aplicado a las observaciones GNSS se lo realiza por medio de la herramienta TEQC (Translation, Editing, and Quality Check). El resultado de este control son los archivos RINEX 2.11, los mismos que son almacenados en el servidor FTP institucional para el uso y aplicación de los usuarios. El formato de los archivos RINEX necesario para el postproceso GNSS es el siguiente:

Por ejemplo para la estación permanente ubicada en la isla San Cristóbal, provincia insular de Galápagos

SCEC1090.13O
SCEC0190.13N

SCEC: San Cristóbal ECUADOR (identificativo y nombre de la estación)

1090: Día del calendario GPS (juliano) correspondiente al 19 de abril

.13O: Año 2013, archivo que contiene los Observables GNSS

.13N: Año 2013, archivo que contiene el registro de Navegación de los satélites GNSS

La información de cada estación se encuentra contenida de manera ordenada y coherente a través de directorios que inician a partir del identificativo de la estación, por ejemplo:

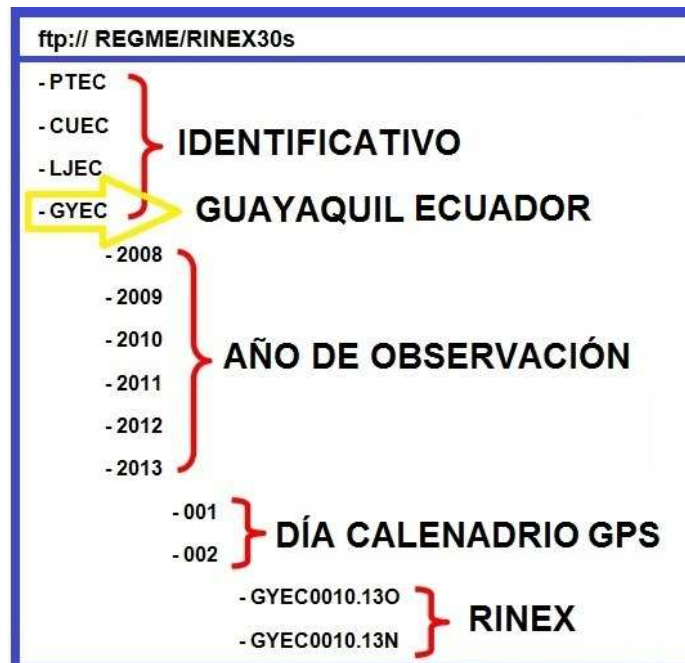


Figura No. 17: Esquema estructural FTP REGME

De esta manera se encuentra estructurado el servidor FTP REGME, que actualiza los datos GNSS de las estaciones cada cinco días dependiendo la procedencia de la información. En el caso de las estaciones de propiedad del IGM, la información está disponible al siguiente día de la observación satelital.

Dada la excelente labor desarrollada por el CEPGE, se consideró la posibilidad de incluirlo dentro de los Centros de Procesamiento Oficiales del proyecto SIRGAS. Para este efecto se realizaron las coordinaciones necesarias con el comité ejecutivo de esta organización.

El CEPGE inició actividades como Centro de Procesamiento Experimental del Proyecto SIRGAS, a partir del 1 de enero del año 2009. Durante el periodo de un año, el comité científico de SIRGAS, evaluó el desempeño del equipo técnico así como los resultados alcanzados en las soluciones remitidas del procesamiento semanal. El software de procesamiento científico utilizado es el BERNESE versión 5.0.

Luego de un año de rigurosa evaluación y la consecución efectiva de resultados positivos el **Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM-Ec, CEPGE)**, fue declarado y reconocido por por parte del Consejo Directivo del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), como **Centro de Procesamiento Oficial en Latinoamérica**, a partir del 1 de enero de 2010, formando parte de los cuatro centros oficiales existentes en aquel tiempo.

Las soluciones individuales generadas por el CEPGE, son combinadas a partir del 1 de enero de 2010 con las soluciones provenientes de los demás centros existentes (CIMA, DGFI, IBGE e IGAC) para la obtención de las soluciones finales de la red SIRGAS-CON. La participación de este Centro en el análisis de la red permite que cada estación regional (incluidas las estaciones REGME) se incluya en tres soluciones individuales, lo que proporciona mayor control en la calidad de productos SIRGAS.

Actualmente, el CEPGE procesa una red compuesta de 107 estaciones permanentes (incluidas las estaciones REGME), ubicadas a lo largo del continente americano. En la figura 18 se presenta la red SIRGAS_CON asignada para el procesamiento del CEPGE:

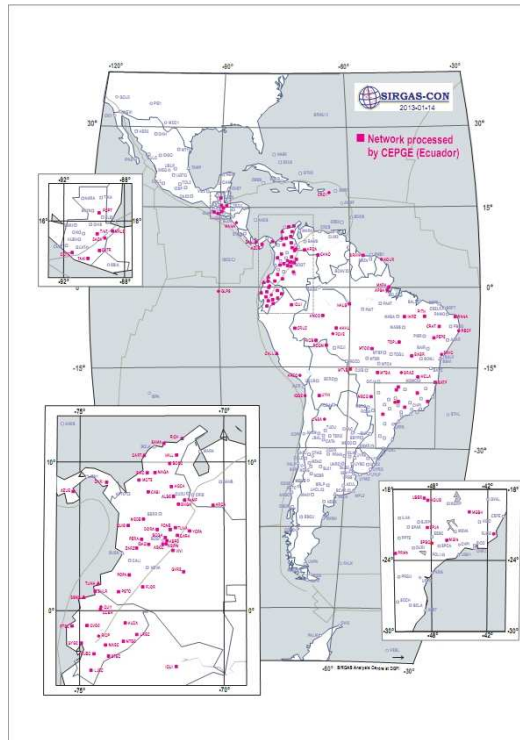


Figura No. 18: SIRGAS_CON - CEPGE ECUADOR, fecha de corte 2013-01-14

En el transcurso del tiempo, el CEPGE ha demostrado su calidad técnica y compromiso profesional, manteniendo en funcionamiento permanente la REGME, remitiendo a tiempo las soluciones de procesamiento científico semanal, participando en el desarrollo de proyectos de investigación y aportando con diferentes ponencias científicas presentadas en la Reunión SIRGAS anual.

Este gran paso, ha permitido abandonar el papel de espectadores, convirtiéndonos en actores principales del avance y desarrollo de las geociencias a nivel nacional e internacional; evidenciando la contribución del IGM, con el adelanto y progreso del Ecuador.

2.5 ACTUALIZACIÓN DEL MARCO DE REFERENCIA NACIONAL

En la actualidad, el CEPGE mediante el cálculo del Campo de Velocidades, obtuvo también las coordenadas Geocéntricas Cartesianas (X, Y, Z) y precisiones (δ_X , δ_Y , δ_Z) de 30 Estaciones GPS Permanentes y 102 Sitios de Campaña GPS, ubicados de manera homogénea a lo largo del territorio nacional.

Cada uno de estos 132 sitios tanto de la red activa (30) como la red pasiva (102), poseen velocidades (v_X , v_Y , v_Z) y sus correspondientes precisiones (δ_{v_X} , δ_{v_Y} , δ_{v_Z}).

Estas coordenadas y velocidades constituyen el primer acercamiento formal hacia la adopción del nuevo Marco Geocéntrico de Referencia Nacional, el cual se encuentra estabilizado (referido) al Marco de Referencia Global IGS08, época de referencia 2011.0.

Estas nuevas coordenadas, permiten obtener la compatibilidad entre el segmento espacial, el segmento de control y las mediciones GNSS realizadas en el campo.

Se cita el sitio de la red pasiva RENAGE denominado 3009 ubicado en Tachina, provincia de Esmeraldas y la estación permanente GYEC ubicada en la ciudad de Guayaquil.

El documento completo se lo puede encontrar en el Instituto Geográfico Militar; ó ingresando también al geoportal institucional www.geoportaligm.gob.ec.

STATION	X (m)	Y (m)	Z (m)	v(X)m/a	v(Y)m/a	v(Z)m/a	EPOCA	$\sigma_X(m)$	$\sigma_Y(m)$	$\sigma_Z(m)$	$\sigma_{vX(m)}$	$\sigma_{vY(m)}$	$\sigma_{vZ(m)}$
3009	1148305.688	-6272976.994	109354.1558	0.01422	0.00357	0.01532	2011.0	0.0028	0.0098	0.0019	0.0004	0.0013	0.0003
GYEC	1118628.434	-6274783.815	-237610.2448	0.00417	0.00175	0.01385	2011.0	0.0005	0.0017	0.0004	0.0007	0.0018	0.0007

Tabla No. 2: Marco de Referencia IGS08, época 2011.0

En la figura No. 19, se muestra el campo de velocidad obtenido para las estaciones permanentes de la red continental SIRGAS_CON y ciertas estaciones de la red global del IGS.

Estas estaciones fueron usadas en el proceso de estabilización de la solución acumulada final y la obtención del Marco Geocéntrico de Referencia Nacional IGS08.

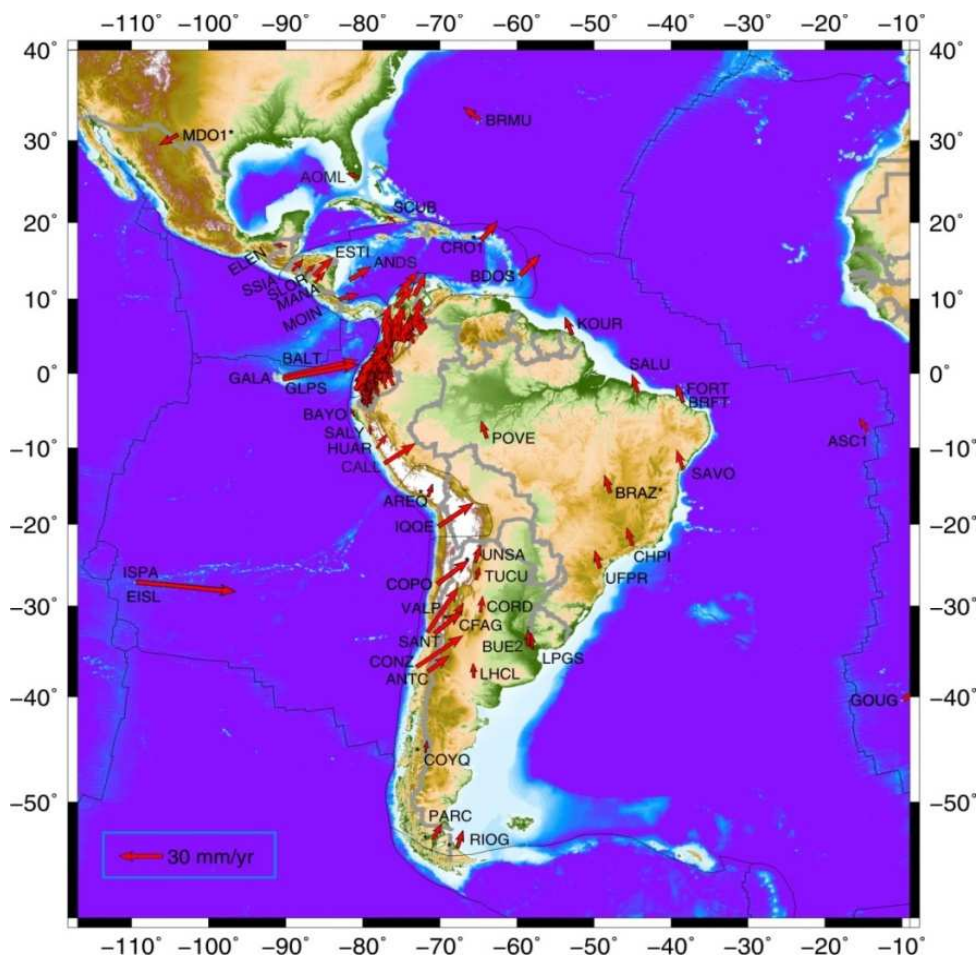


Figura No. 19: Campo de velocidad, estaciones permanentes SIRGAS_CON e IGS

3. CONCLUSIONES

- La Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador, actualmente está conformada por 33 estaciones cuya distribución y densidad está en proceso de brindar una cobertura nacional, por tal razón la REGME a futuro permitirá definir un marco de referencia dinámico y compatible con las técnicas de navegación global vigentes en la actualidad.
- Las coordenadas SIRGAS95 de las estaciones terrestres que materializan la RENAGE, no son válidas para una época diferente a 1995.4, por tal razón es necesario trasladar las coordenadas a la época actual de observación para garantizar la compatibilidad entre el segmento espacial, el segmento de control y las mediciones realizadas por el usuario del sistema GPS.
- El mantenimiento del marco de referencia SIRGAS incluye, por lo tanto, aparte de la conservación física del monumento (redes pasivas), la evolución en el tiempo de las coordenadas, garantizando la consistencia entre el sistema de referencia terrestre y el satelital.
- El procesamiento preciso de datos GNSS requiere que las coordenadas de las estaciones de referencia estén dadas en la misma época en que se adelanta la medición y que estén asociadas al mismo marco de referencia de las órbitas satelitales.
- Las diferencias entre SIRGAS95, ITRF94; época 1995.4 e IGS08, época 2011.0; confirman el desplazamiento de los sitios de la RENAGE a través del tiempo.
- El Campo de Velocidad confirma la deformación local en el Ecuador continental de 0 a 3 cm/a y concuerda con la estimación del movimiento de la Placa Sudamericana a razón de 1 cm/a.
 - El Movimiento estimado en la Costa es de 2 cm/año;
 - En la Sierra de los Andes el movimiento estimado es de 1.5 cm/año.
 - En el sector Oriental se estima un movimiento menor a 1 cm/año.
 - En Galápagos el movimiento estimado concuerda con la placa de Nazca a razón de 5 cm/año aproximadamente.
- El VEC_Ec, es el sustento técnico que permitirá el análisis y la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento del Marco de Referencia Nacional, mediante la adopción de un Marco de Referencia Vigente; referido a una época actual y compatible con las técnicas de medición satelital vigentes en la actualidad.
- La REGME, constituye un aporte técnico del Instituto Geográfico Militar, en participación conjunta con otras instituciones nacionales e internacionales, el cual permitirá el desarrollo de las actividades en el campo de las Ciencias de la Tierra (Geociencias) tales como la Geodesia, Geofísica, Geografía, Oceanografía, Gestión del Riesgo, entre otras.
- El Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Instituto Geográfico Militar de Ecuador (IGM-Ec, CEPGE), fue declarado y reconocido por parte del Consejo Directivo del Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), como Centro de Procesamiento Oficial en Latinoamérica, a partir del 1 de enero de 2010.

- El CEPGE, cumple con la responsabilidad de mantener actualizado el marco de referencia nacional por medio del software científico BERNESE, adicionalmente mantiene una permanente coordinación y monitoreo de las estaciones que conforman la REGME a fin de garantizar la disponibilidad de información GNSS de manera eficaz.

4. AGRADECIMIENTOS

- Instituto Geográfico Militar del Ecuador – IGM.
- Centro de Procesamiento de Datos GNSS del Ecuador – CEPGE.
- Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador – REGME.
- Proceso de Geodesia, IGM – Ecuador.
- Institut de Recherche pour le Développement. IRD – France.
- Géosciences Azur - GeoAzur France.
- Le Centre National de la Recherche Scientifique CNRS – France.
- Nice Université, Sophia Antipolis, Valbone – France.
- Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut - DGFI Alemania
- National Geospatial Intelligence Agency - NGA USA
- Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional – IGEPN.
- Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística
- Escuela Politécnica Nacional – EPN.
- Massachusetts Institute of Technology. MIT – USA.
- Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas. SIRGAS.
- Instrumental y Óptica - Quito.
- Universidad Técnica Particular de Loja
- Universidad Técnica Estatal de Quevedo
- Batallón de Selva No. 48 “SANGAY”
- Batallón de Selva No. 49 “CAPITAN CHIRIBOGA”
- Batallón de Selva No. 61 “SANTIAGO”
- Instituto Espacial Ecuatoriano
- Colegio Militar No. 7, Grad. Miguel Iturralde.
- Consejo de Gobierno del Régimen Especial de Galápagos
- INOCAR
- ETAPA - Cuenca
- GAP Morona Santiago
- GAP El Oro
- GAP Napo
- GAP Imbabura
- GAP Carchi
- GADM Macas
- GADM Cuenca
- GADM Paján
- GADM El Carmen
- GADM El Chaco
- GADM Palora
- GADM Alausí
- GADM Naranjal
- GADM Gonzanamá
- GADM Ambato
- GADM Palanda
- GADM Celica
- Instituciones públicas y privadas que apoyan el desarrollo de la REGME a nivel nacional.

5. REFERENCIAS

- [1] Cisneros, D. and Nocquet, JM. (2011). CAMPO DE VELOCIDADES DEL ECUADOR, obtenido a través de Mediciones de Campañas GPS de los últimos 15 años y medidas de una Red GPS Permanente, IGM – IGEPN – GEOAZUR - IRD. Nice – France , 2011.
- [2] Nocquet, J-M. Géodésie Spatiale et Géodynamique. CNRS - UMR Géosciences Azur, Sophia Antipolis – France, 2011.
- [3] Tremel H., Urbina R. Processing of the Ecuadorian National GPS Network within the SIRGAS Reference Frame, 2000.
- [4] Blewitt, G., "GPS Data Processing Methodology: From Theory to Applications," in GPS for Geodesy, p. 231-270, Eds. P.J.G. Teunissen and A. Kleusberg, Springer-Verlag, Berlin, ISBN 3-540-63661-7(1998)
- [5] Nocquet, J-M., Mothes, P., Alvarado, A. Geodesia, geodinámica y ciclo sísmico en Ecuador, 2008.
- [6] Rebischung, P. Upcoming switch to IGS08/igs08.atx, IGS, 2011.
- [7] F. Rivadeneira, M. Segovia, A. Alvarado, J. Egred, L. Troncoso, S. Vaca, H. Yepes (2007). Breves fundamentos sobre terremotos en el Ecuador, Instituto Geofísico Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador, Noviembre 2007.
- [8] www.sirgas.org