

Sistema de Referencia  
Geocéntrico para las Américas



Instituto Geográfico  
Agustín Codazzi



Deutsches Geodätisches  
Forschungsinstitut



## Ajuste SIRGAS de MAGNA2011

Laura Sánchez, DGFI

Responsable del Centro de Análisis Regional del IGS para SIRGAS

William A. Martínez-Díaz, IGAC

Presidente del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS en el Ámbito Nacional)

**Julio 2012**

*Este documento resume el procesamiento desarrollado por el DGFI de la campaña GPS desarrollada entre agosto y noviembre de 2011 en las estaciones pasivas del Marco Geocéntrico Nacional de Colombia (MAGNA-SIRGAS). Dicho procesamiento está enmarcado en las actividades del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS-GTII: SIRGAS en el Ámbito Nacional).*

### Contenido

1	Introducción	1
2	Mediciones GPS	3
3	Procesamiento de la red MAGNA2011	5
3.1	Características	5
3.2	Cálculo de compensación	7
3.3	Evaluación del ajuste	8
3.4	Resultados	11
4	Comparación entre MAGNA95 y MAGNA2011	12
5	Comentarios finales	15
	Bibliografía	15
	Anexos	19

---

Laura Sánchez  
Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut  
Alfons-Goppel-Str. 11  
D-80539 Munich, Alemania

Tel.: +49 89 23031 1295  
Fax: +49 89 23031 1240

e-mail: [sanchez@dgfi.badw.de](mailto:sanchez@dgfi.badw.de)  
[www.dgfi.badw.de](http://www.dgfi.badw.de)

William A. Martínez-Díaz  
Instituto Geográfico Agustín Codazzi  
Carrera 30 No. 48 - 71  
Bogotá, Colombia

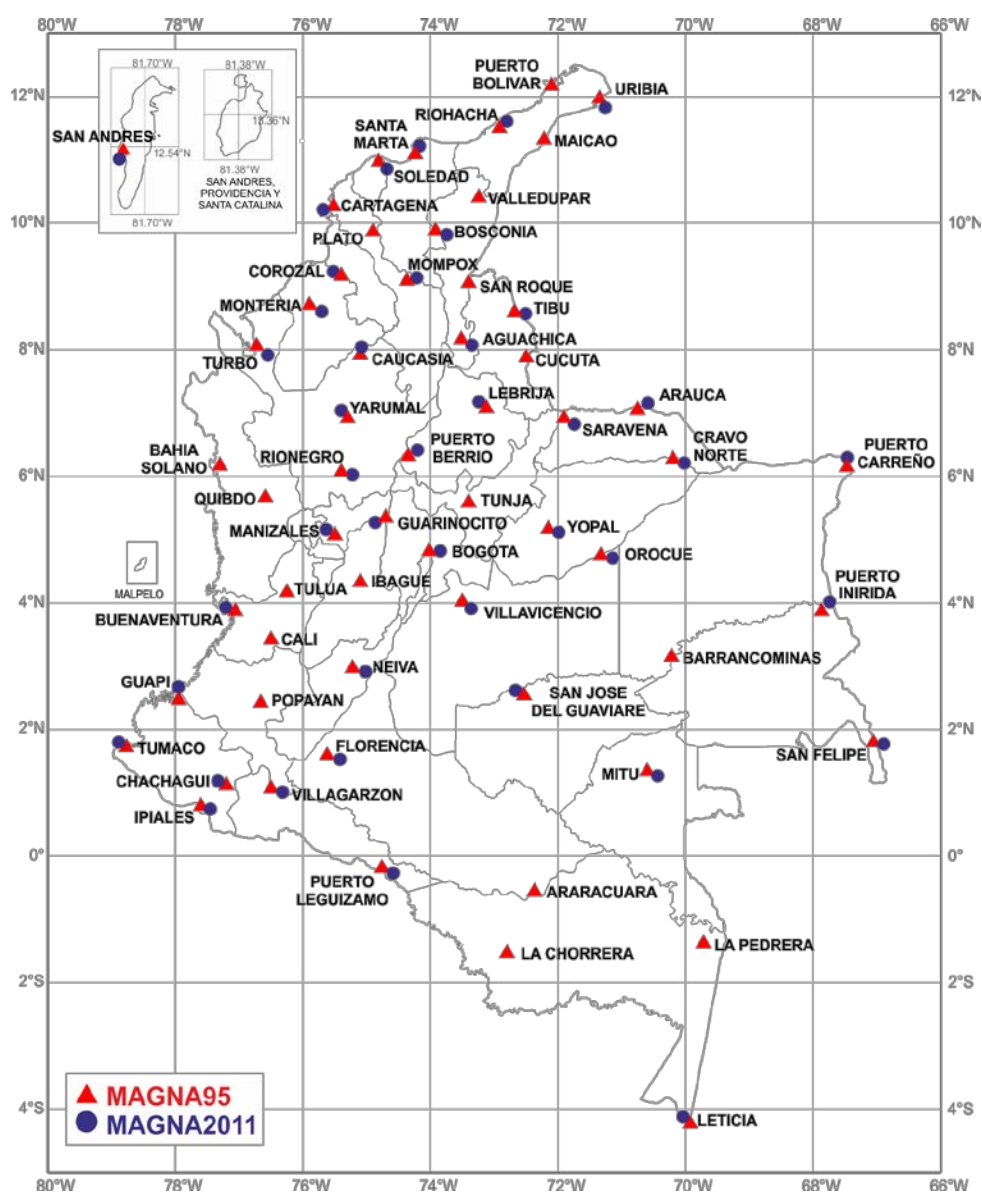
Tel.: +51 1 369 4011  
+51 1 369 4000 Ext. 4011

e-mail: [wamartin@igac.gov.co](mailto:wamartin@igac.gov.co)  
[www.igac.gov.co](http://www.igac.gov.co)

---

## 1 Introducción

El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), entidad a cargo de los sistemas de referencia geodésicos en Colombia, estableció el Marco Geocéntrico de Referencia Nacional (MAGNA) a través de 62 estaciones determinadas mediante campañas GPS en 1994, 1995 y 1997 (Fig. 1) y con coordenadas referidas a SIRGAS95 (IGAC 2004, Tremel et al. 2001). Dado que el mantenimiento del marco de referencia a través del tiempo demanda la determinación de posibles desplazamientos (cambios en las coordenadas) de sus estaciones, ya sea por efectos tectónicos, geodinámicos, geofísicos, humanos o de otra índole, el IGAC inició en 2004 la instalación de estaciones GPS de operación continua (red MAGNA-ECO, Martínez and Sánchez 2009) con el propósito de hacer un seguimiento ininterrumpido del marco de referencia y evitar los altos costos que demandan las campañas GPS rutinarias.



**Fig. 1.** Marco Geocéntrico Nacional de Referencia (MAGNA): en rojo las estaciones determinadas en 1994, 1995 y 1997; en azul las estaciones reocupadas en 2011. (La estación en Bogotá -BOGA- es actualmente de operación continua).

Actualmente, la red MAGNA-ECO incluye 38 estaciones (Fig. 2), las cuales están integradas desde su instalación misma en el marco de referencia continental SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, Sánchez and Brunini 2009) y son procesadas semana a semana por diferentes centros de análisis SIRGAS (Brunini et al. 2012) siguiendo los estándares definidos por el IERS (*International Earth Rotation and Reference Systems Service*, Petit and Luzum 2010) y el IGS (*International GNSS Service*, Dow et al. 2009).

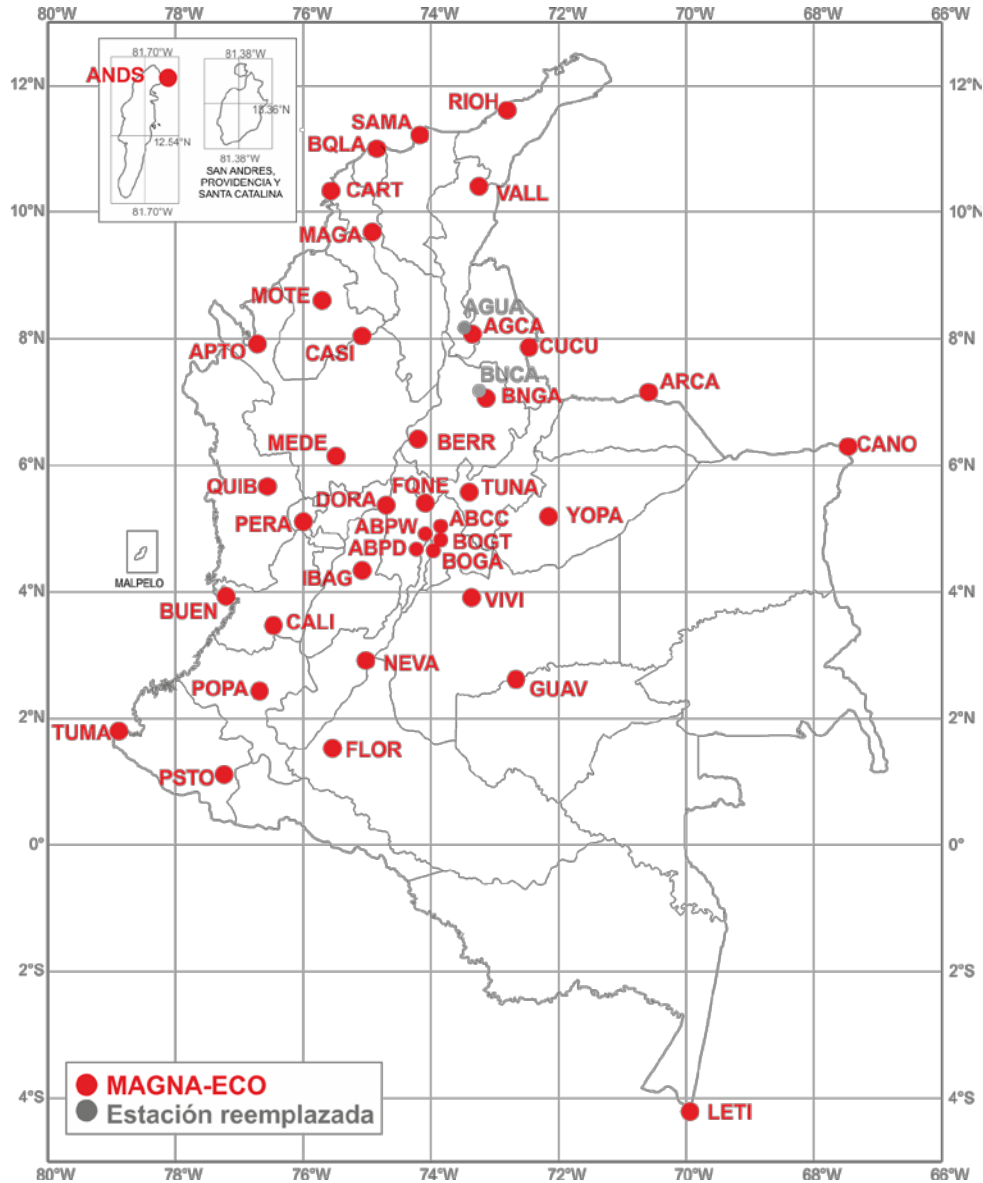


Fig. 2. Estaciones MAGNA de operación continua (MAGNA-ECO).

Si bien los usuarios de información geodésica de referencia en Colombia basan sus trabajos primordialmente en las estaciones MAGNA-ECO, el IGAC decidió hacer una nueva ocupación de la red MAGNA inicial para determinar el cambio de sus coordenadas a través del tiempo y para vincularlas directamente a la red MAGNA-ECO. Esta nueva medición se llevó a cabo entre agosto y noviembre de 2011 e incluye 43 estaciones, de las cuales 41 coinciden con estaciones establecidas en la década de los 90 (Fig. 1). El presente documento describe el ajuste de esta segunda

ocupación adelantado por el *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI) dentro de los alcances del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS-GTII: SIRGAS en el ámbito nacional). Para los efectos de este reporte, en adelante se utilizan las denominaciones MAGNA95 para identificar la red determinada en los 90 y MAGNA2011 para la red remedida en el año 2011.

## 2 Mediciones GPS

Las mediciones GPS de MAGNA2011 fueron adelantadas en general, durante tres días consecutivos con receptores LEICA GS10 (*receiver with 120 channel GPS L1/L2/L5, GLONASS, Galileo, Compass, RTK in/out*) y antenas LEIAS10 (*External geodetic antenna, SmartTrack+ with series 1200 receivers, GPS L1/L2/L5, GLO, Galileo, Compass*). La transferencia de la información del IGAC al DGFI se hizo mediante FTP y los archivos con las mediciones fueron entregados en el formato binario de Leica (extensión .m00). Adicionalmente, se remitió en formato PDF la descripción de cada estación ocupada y los protocolos de medición (hojas de campo) con las características más importantes en cada caso (altura instrumental, número de serie de los equipos, identificación del punto, etc.).

Los archivos en el formato binario de Leica (.m00) fueron convertidos a formato RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*) utilizando la herramienta TEQC (<http://facility.unavco.org/software/teqc/teqc.html>). Para el efecto, se definió una identificación arbitraria pero única de cuatro caracteres para cada estación y se incluyó un *domes number* ficticio (41000M001) para respetar los campos del encabezado en los archivos RINEX. La información correspondiente a los equipos y a la altura instrumental se extrajo de las hojas de campo y se definieron archivos diarios con intervalo de muestreo de 30 segundos. Aquellos archivos con menos de 4 horas de medición no fueron incluidos en el ajuste. El Anexo 1 muestra la identificación y las características de los equipos utilizados en la ocupación de las estaciones MAGNA2011 procesadas.

Con el propósito de ajustar las estaciones MAGNA2011 a la red MAGNA-ECO y consecuentemente a la realización actual de SIRGAS, en el procesamiento también se incluyeron las estaciones MAGNA-ECO activas durante el tiempo que duró la campaña GPS y 50 estaciones SIRGAS adicionales de operación continua (SIRGAS-CON) distribuidas más o menos en tres círculos concéntricos alrededor del país (Fig. 3). Esta selección tiene dos objetivos: (1) contar con una distribución homogénea de estaciones de referencia en el entorno de la red a ser ajustada y (2) disponer de estaciones redundantes que permitan adelantar evaluaciones estadísticas de los resultados para detectar posibles deformaciones de la red ajustada y verificar la confiabilidad de las coordenadas finales de MAGNA2011 (ver Sección 3). Dado que en el cálculo de redes regionales los errores de deformación se acumulan principalmente en los extremos de la red, se han incluido estaciones lejanas (en Estados Unidos, en la costa atlántica de Brasil, en Isla de Pacua y en el norte de Chile y Argentina) a fin de minimizar el impacto de esa deformación en los puntos

MAGNA2011 y evitar rotaciones o translaciones de la red con respecto al marco geocéntrico.

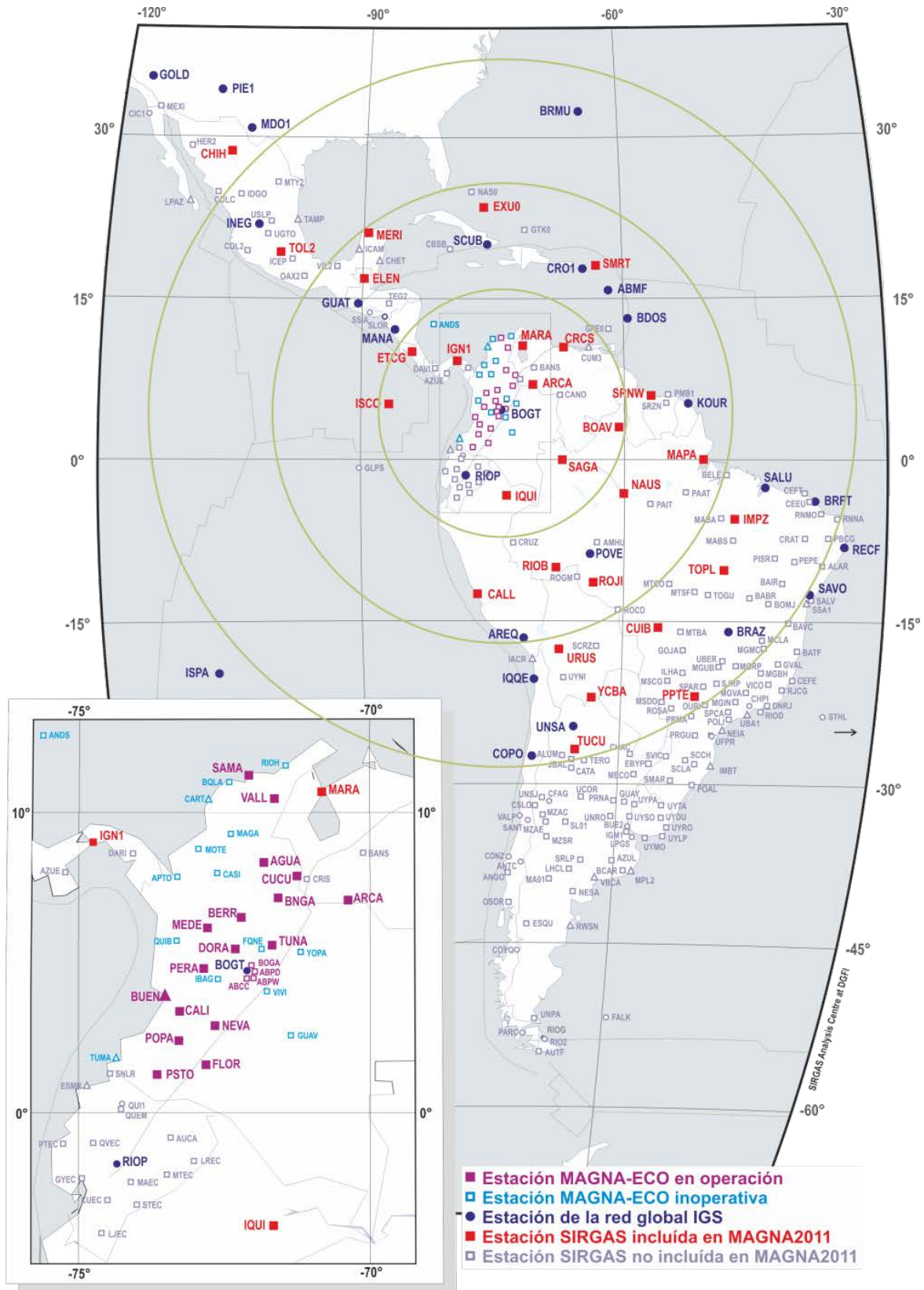


Fig. 3. Estaciones SIRGAS (MAGNA-ECO e IGS) incluidas en el ajuste de MAGNA2011.

El Anexo 2 muestra la disponibilidad de las 115 estaciones procesadas (43 MAGNA2011, 22 MAGNA-ECO, 50 SIRGAS). Los archivos RINEX de las estaciones de operación continua se obtuvieron de:

- estaciones MAGNA-ECO del IGAC: ABCC, ABPD, ABPW, AGUA, ARCA, BERR, BNGA, BOGA, BUEN, CALI, CUCU, DORA, FLOR, MEDE, NEVA, PERA, POPA, PSTO, SAMA, TUNA, VALL;
- estaciones IGS (<http://www.igs.org/components/data.html>): ABMF, AREQ, BDOS, BOGT, BRAZ, BRFT, BRMU, COPO, CRO1, ELEN, GOLD, GUAT, INEG, ISPA, KOUR, MANA, MDO1, PIE1, POVE, RECF, RIOP, SALU, SAVO, SCUB, TUCU, UNSA;
- Escuela de Topografía, Catastro y Geodesia de la Universidad Nacional (ETCG, Costa Rica): ETCG;
- *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* (IBGE, Brasil): BOAV, CUIB, IMPZ, MAPA, NAUS, PPTE, RIOB, ROJI, SAGA, TOPL;
- *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* (DGFI, Alemania) en cooperación con el Instituto Geográfico Militar de Bolivia y el Instituto Geográfico Nacional del Perú: CALL, IQUI, URUS, YCBA;
- Universidad del Zulia (LUZ, Venezuela): MARA, CRCS;
- Instituto Geográfico Nacional "Tommy Guardia" (Panamá): IGN1;
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, México): CHIH, MERI, TOL2;
- *University Corporation for Atmospheric Research, Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere & Climate* (UCAR/COSMIC, USA): EXU0, SMRT;
- UNAVCO: ISCO, SRNW.

### 3 Procesamiento de la red MAGNA2011

#### 3.1 Características

El procesamiento de las mediciones GPS se adelantó con el *Bernese GPS Software V. 5.0* (Dach et al. 2007) siguiendo los estándares definidos por el Grupo de Trabajo I de SIRGAS (SIRGAS-GTI: Sistema de Referencia), los cuales a su vez, siguen las indicaciones del IERS y el IGS y se resumen en (e.g. Seemüller et al. 2012, Costa et al. 2012):

- a) Uso de los productos finales del IGS, a saber: órbitas precisas de los satélites GPS, correcciones a los relojes de los satélites y parámetros de orientación terrestre (Dow et al. 2009, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>).
- b) Uso del modelo IGS08\_1685 para las correcciones absolutas a las variaciones de los centros de fase de las antenas emisoras y receptoras (<http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/station/general/>).
- c) Reducción de los movimientos periódicos generados por la carga oceánica sobre las estaciones. Los valores de dicha reducción se obtuvieron según el

modelo de mareas oceánicas FES2004 (Letellier 2004) y fueron proporcionados por M.S. Bos and H.-G. Scherneck a través de <http://froste.oso.chalmers.se/loading/>.

- d) Selección de las mediciones sobre  $3^\circ$  de elevación y a intervalos de muestreo 30 segundos. En el primer caso se indica el menor ángulo de elevación posible para poder disminuir la correlación entre la precisión de la coordenada vertical y los errores asociados al sistema de posicionamiento satelital que afectan la componente radial (e.g. asimetría del sistema de medición, retardo troposférico, desincronización de los relojes receptores, etc. Rothacher 2002). Dada la duración (más de 48 horas) de la ocupación, los posibles efectos de multicamino (*multi-path*) se asumen con un comportamiento similar a los errores aleatorios (distribución normal) y son compensados dentro del ajuste. El intervalo de muestreo a 30 segundos reduce la correlación entre las observaciones hechas en épocas sucesivas.
- e) Determinación de los errores (deriva) de los relojes de los receptores mediante el cálculo de soluciones preliminares para cada estación utilizando observaciones de código (C/A, P).
- f) Formación de líneas de base (llamadas también diferencias dobles o *double differences*) a partir de la optimización de las observaciones entre pares de estaciones según el criterio de la mayor cantidad posible de mediciones simultáneas.
- g) Detección y corrección de saltos de ciclo (*cycle slips*) utilizando medidas de fase y combinando linealmente las frecuencias L1 y L2 en diferencias triples. Este paso incluye la determinación de las ambigüedades de L1 y L2 a través de la estrategia QIF (Dach et al. 2007). Para aumentar el porcentaje de las ambigüedades resueltas se utilizaron modelos *a priori* diarios de la ionosfera, que en este caso son los generados por el centro de procesamiento CODE (*Center for Orbit Determination in Europe*, AIUB, Suiza, [www.aiub-download.unibe.ch/CODE](http://www.aiub-download.unibe.ch/CODE)).
- h) Formación de las ecuaciones de observación a ser ajustadas. Para el efecto, se determinaron diferencias de fase dobles (dos satélites - dos estaciones) en combinación lineal L3 a partir de las observaciones de fase de las ondas portadoras L1 y L2 ya corregidas por la deriva de los relojes de los receptores y por los saltos de ciclo identificados en el preanálisis (literales *e* and *g*).
- i) Cálculo del efecto de dispersión causado por la atmósfera neutra (troposfera) en las frecuencias L1 y L2 según la siguiente estrategia:
  - I. La refracción troposférica en el cenit (generada principalmente por la componente seca de la atmósfera neutra) se determina según el modelo de Saastamoinen (1973);
  - II. La refracción desde el cenit hasta el ángulo vertical de la observación analizada es interpolada con la *mapping function* de Niell (1996);
  - III. Los valores obtenidos de los modelos aplicados en I. y II. son refinados mediante la estimación de un parámetro troposférico adicional (relativo) para cada estación en intervalos de dos horas. Dicha estimación se hace dentro del ajuste de la red a partir de las observaciones mismas



de las estaciones. Este refinamiento corresponde al retardo generado principalmente por la componente húmeda de la atmósfera neutra.

### 3.2 Cálculo de compensación

La estimación de las coordenadas finales de MAGNA2011 se efectuó en dos pasos:

- a) Ajuste semilibre de las estaciones ocupadas en un mismo día (redes parciales diarias), y
- b) Combinación de las redes diarias entre sí y con las coordenadas de empalme (estaciones SIRGAS-CON) para vincular la red total al dátum geocéntrico.

El primer paso es un ajuste de las líneas de base (*double differences*) determinadas día por día. Dado que ellas se forman según el criterio de la mayor cantidad de observaciones simultáneas entre dos estaciones, no siempre se obtienen las mismas líneas de base. En este ajuste no se fija ninguna estación terrestre, sino que se introducen como parámetros conocidos solamente las órbitas precisas de los satélites (proporcionadas por IGS). Estas redes, llamadas "semilibres", presentan una alta consistencia interna, lo que significa que las líneas de base determinadas en su procesamiento son muy precisas, pero por no haberse incluido aún ninguna estación terrestre de referencia, la ubicación de la red con respecto al geocentro es desconocida, es decir las coordenadas geocéntricas [X, Y, Z] de sus estaciones aún no se han determinado.

En el segundo paso, se acumulan las ecuaciones normales de cada día (redes parciales) y se determinan las incógnitas (coordenadas de las estaciones) a partir de una compensación de errores basada en el método de los mínimos cuadrados. Aquí se incluyen como parámetros conocidos las coordenadas de una selección de estaciones SIRGAS-CON, que sirven de puntos fiduciales y permiten la vinculación de la red semilibre al marco geocéntrico SIRGAS/ITRF. Las coordenadas de referencia utilizadas para el ajuste final de MAGNA2011 equivalen a las coordenadas semanales SIRGAS para la época media del período total de medición de MAGNA2011, es decir para la semana GPS 1656 (2011-10-05), que en decimales de año se expresa como 2011,76 (archivo [sir11P1656.crd](ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/1656/), <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/1656/>). Los puntos fiduciales (Fig. 4) fueron seleccionados teniendo en cuenta la desviación estándar de sus coordenadas en la solución semanal de SIRGAS y que hayan estado operativos durante todo el tiempo en que se hizo la ocupación GPS de MAGNA2011. Estos son: BOAV 41636M001, BOGA 41901M002, BRAZ 41606M001, BRFT 41602M002, BRMU 42501S004, BUEN 41912S001, CRO1 43201M001, CUCU 41904S001, ETCG 40602M001, GOLD 40405S031, GUAT 40901S001, IGN1 41303M001, ISPA 41703M007, KOUR 97301M210, MARA 42402M001, MDO1 40442M012, MEDE 41921S001, POVE 41628M001, PSTO 41925S001, SAGA 41639M001, SAMA 41928S001, SCUB 40701M001, UNSA 41514M001. Las demás estaciones SIRGAS incluidas en el ajuste se utilizan para estimar la confiabilidad de los resultados.

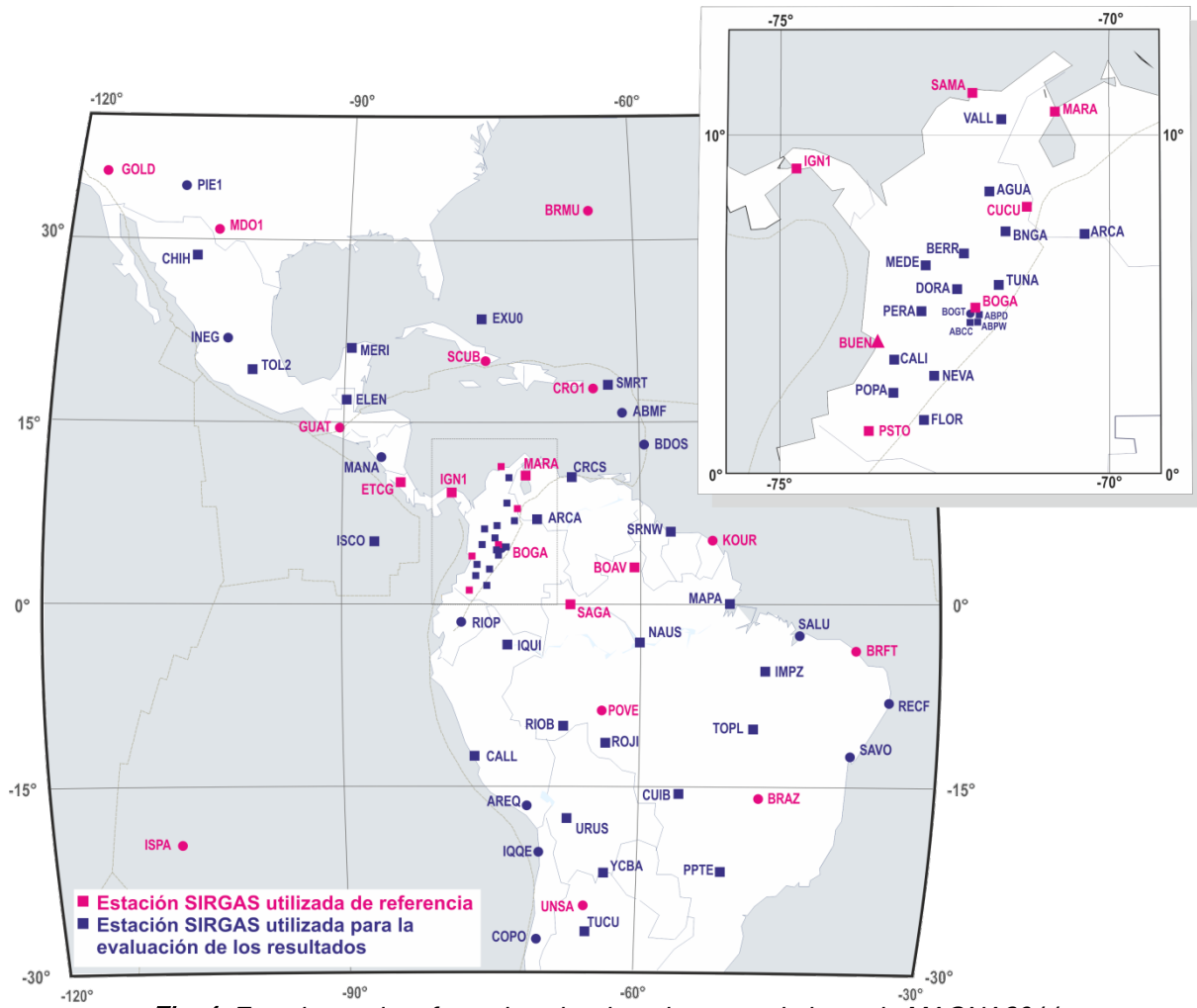


Fig. 4. Estaciones de referencia seleccionadas para el ajuste de MAGNA2011.

### 3.3 Evaluación del ajuste

El ajuste final de MAGNA2011 se basa en 2235 archivos RINEX distribuidos en 33 sesiones (días) de medición con 40 626 342 observaciones (dobles diferencias en L3) e incluye 345 parámetros explícitos (coordenadas [X, Y, Z] para 115 estaciones) y 133 331 parámetros implícitos (saltos de ciclo, ambigüedades, correcciones a efectos multicamino, parámetros troposféricos, etc.). El error medio cuadrático formal (desviación estándar para el peso unitario) es de 1,61 mm y la relación entre las varianzas *a priori* y *a posteriori* (factor  $\chi^2$ ) es de 0,65. Dado que la correlación física entre observaciones GPS no se conoce con suficiente detalle y por tanto, aún no puede incluirse en los algoritmos de procesamiento, los indicadores de precisión arrojados por el ajuste son en exceso optimistas y no pueden asumirse representativos. Por ello, en este trabajo se utilizan los conceptos *consistencia interna* y *consistencia externa*. La primera se identifica con la repetibilidad de las coordenadas dentro del ajuste; mientras que la segunda se estima a partir de la comparación con redes de órdenes superiores, en este caso el marco de referencia SIRGAS y la red global del IGS. La consistencia interna indica la precisión relativa entre las posiciones de las estaciones determinadas dentro del ajuste MAGNA2011 y

la consistencia externa representa la incertidumbre de esas posiciones frente a las coordenadas SIRGAS e IGS. La precisión final (exactitud) de las coordenadas MAGNA2011 se obtiene de la combinación de estos dos indicativos. De acuerdo con esto, la confiabilidad de los resultados obtenidos se verificó mediante:

- a) **Consistencia interna de la red:** Se obtiene a partir de los errores cuadráticos medios calculados para cada estación al comparar las soluciones de las redes diarias parciales con la solución combinada final. En esta comparación se detectaron residuales de más de  $\pm 25$  mm en la componente vertical de las estaciones Aguachica (-35 mm) y Rionegro (-26 mm) para los días 2011-09-07 y 2011-09-22, respectivamente. Revisando las mediciones originales pudo establecerse que las sesiones de rastreo para esos dos días específicos apenas es de 9 horas en cada estación, lo que justificaría los residuales altos. En consecuencia, estas dos sesiones fueron excluidas del ajuste y se mantuvieron solamente aquellas sesiones de 24 horas (días 2011-09-08/09 en Aguachica y 2011-09-23/24 en Rionegro). La Tabla 1 resume el promedio y los valores extremos de los errores cuadráticos medios (repetibilidad) tanto para las 115 estaciones procesadas, como para las estaciones MAGNA2011. El Anexo 3 muestra los valores para todas las estaciones.

**Tabla 1.** Errores medios cuadráticos obtenidos de comparar las redes diarias semilibres con la solución final de MAGNA2011 (repetibilidad de las coordenadas). El Anexo 3 contiene el listado completo.

Índice	Indicativos para 115 estaciones (MAGNA2011+MAGNA-ECO+SIRGAS)			Indicativos para 43 estaciones (MAGNA2011)		
	N [mm]	E [mm]	h [mm]	N [mm]	E [mm]	h [mm]
Máximo	$\pm 7,7$	$\pm 4,7$	$\pm 20,6$	$\pm 7,7$	$\pm 4,7$	$\pm 20,6$
Mínimo	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$	$\pm 0,2$
Promedio	$\pm 1,8$	$\pm 1,8$	$\pm 5,4$	$\pm 2,0$	$\pm 1,7$	$\pm 7,9$

- b) **Deformación de la red MAGNA2011 al ser ajustada al marco de referencia SIRGAS:** Como ya se mencionara, en las soluciones diarias semilibres la geometría de la red (líneas de base) es muy precisa, más las coordenadas de las estaciones son desconocidas. Como el objetivo del ajuste es obtener posiciones geocéntricas de los puntos MAGNA2011, es necesario introducir coordenadas de referencia que permitan 'anclar' la red al marco geocéntrico (e.g. ITRF/SIRGAS). Este procedimiento (conocido como definición o introducción del datum geodésico) genera indefectiblemente deformaciones en la geometría de la red que deben ser evaluadas a fin de establecer la confiabilidad de los resultados. La cuantificación de dichas deformaciones se obtiene de la comparación de las líneas de base calculadas en los ajustes diarios semilibres con las líneas de base derivadas de las coordenadas finales de las estaciones. El valor cuadrático medio (RMS) de los residuales obtenidos (Tabla 2, Anexo 4) es de  $\pm 0,4$  mm en la componente horizontal y  $\pm 1,5$  mm en la componente vertical para todas las 115 estaciones procesadas. Si se tienen en cuenta solamente las 43 estaciones MAGNA2011, el RMS

alcanza  $\pm 0,1$  mm en la componente horizontal y  $\pm 0,2$  mm en la componente vertical. Como estos valores son mucho menores que la precisión interna de las coordenadas finales ( $\pm 1,8$  mm para las horizontales y  $\pm 5,4$  mm para la altura, ver Tabla 1), se consideran insignificantes y puede afirmarse que la geometría de la red se mantiene aún después de ser ajustada al marco continental SIRGAS.

**Tabla 2.** Residuales obtenidos de comparar la geometría de la red MAGNA2011 antes y después de su ajuste a SIRGAS (deformación de la red como consecuencia de la introducción del datum geodésico). El Anexo 4 contiene el listado completo.

Índice	Indicativos para 115 estaciones (MAGNA2011+MAGNA-ECO+SIRGAS)			Indicativos para 43 estaciones (MAGNA2011)		
	N [mm]	E [mm]	h [mm]	N [mm]	E [mm]	h [mm]
Máximo	+1,8	+1,6	+7,1	+0,4	+0,2	+0,7
Mínimo	-1,1	-0,8	-7,9	-0,3	-0,3	-0,1
RMS	$\pm 0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 1,5$	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$	$\pm 0,2$

- c) **Comparación con el marco de referencia continental SIRGAS:** Como se indica en el ítem 2, algunas estaciones SIRGAS-CON se utilizaron como puntos de referencia en el ajuste de la red (Fig. 4), mientras que otras se calcularon (ajustaron) junto con los puntos MAGNA2011 con el objetivo de comparar las coordenadas obtenidas en este ajuste con los valores equivalentes calculados dentro del procesamiento semanal de toda la red SIRGAS-CON (196 estaciones distribuidas en América Latina y El Caribe, archivo sir11P1656.crd en <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/1656/>). Los residuales arrojados por esta comparación presentan valores RMS de  $\pm 1,2$  mm en la componente norte,  $\pm 1,3$  mm en la componente este y  $\pm 3,2$  mm en la componente vertical para las 115 estaciones procesadas (Tabla 3 y Anexo 5). Si se tienen en cuenta solamente las estaciones MAGNA-ECO (entorno directo de MAGNA2011), estos valores están al rededor de  $\pm 0,9$  mm en la componente horizontal y  $\pm 2,0$  mm en la componente vertical. Estos residuales muestran la discrepancia entre la red ajustada y el marco de referencia SIRGAS para la semana 1656. No obstante, como ellos son menores que la precisión interna de la red (Tabla 1), se entiende que la red MAGNA2011 no presenta deformaciones relativas con respecto al marco de referencia SIRGAS.

**Tabla 3.** Residuales obtenidos de comparar las coordenadas MAGNA2011 con las coordenadas SIRGAS para la semana GPS 1656. El Anexo 5 contiene el listado completo.

Índice	Indicativos para 70 estaciones (MAGNA-ECO + SIRGAS)			Indicativos para 21 estaciones (MAGNA-ECO)		
	N [mm]	E [mm]	h [mm]	N [mm]	E [mm]	h [mm]
Máximo	+3,0	+5,2	+10,6	+1,8	+1,5	+6,9
Mínimo	-2,4	-2,1	-12,4	-2,1	-1,8	-3,0
RMS	$\pm 1,2$	$\pm 1,3$	$\pm 3,2$	$\pm 1,0$	$\pm 0,8$	$\pm 2,0$

- d) **Comparación con la red global del IGS:** 27 estaciones SIRGAS-CON de las procesadas simultáneamente con los puntos MAGNA2011 también están incluidas en las soluciones semanales de la red global del IGS. Las coordenadas de esas estaciones calculadas dentro de este ajuste son comparadas con las coordenadas correspondientes contenidas en la solución igs11P1656.ssc (<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/gps/products/1656/>), a fin de estimar la consistencia entre las dos redes. Los residuales correspondientes presentan valores RMS en torno a  $\pm 2,3$  mm en la componente horizontal y  $\pm 4,1$  mm en la componente vertical. Los valores equivalentes generados a partir de la solución semanal de SIRGAS (archivo SIR16567.SUM en <ftp://ftp.sirgas.org/pub/gps/SIRGAS/1656/>) son muy similares a los obtenidos en este trabajo (ver Tabla 4 y Anexo 6); lo que muestra que la consistencia del ajuste MAGNA2011 con respecto a la red global del IGS es equivalente a la exactitud de la red SIRGAS con respecto a esa red y, en consecuencia, estos valores se toman como indicativo de la consistencia externa de las coordenadas MAGNA2011.

**Tabla 4.** Residuales obtenidos de comparar las coordenadas semanales IGS para semana 1656 (igsP1656.ssc) con las coordenadas del ajuste de MAGNA2011 y con la solución semanal SIRGAS sir11P1656.crd. El Anexo 6 contiene los listados completos.

Índice	Comparación con el ajuste MAGNA2011 (27 estaciones comunes)			Comparación con la solución de SIRGAS para la semana GPS 1656 (41 estaciones comunes)		
	N [mm]	E [mm]	h [mm]	N [mm]	E [mm]	h [mm]
Máximo	+3,5	+3,5	+8,8	+3,3	+4,7	+9,5
Mínimo	-5,4	-5,0	-9,7	-3,3	-4,1	-9,0
RMS	$\pm 2,4$	$\pm 2,2$	$\pm 4,1$	$\pm 2,0$	$\pm 1,7$	$\pm 3,9$

### 3.4 Resultados

Las coordenadas de cualquier posicionamiento GPS se obtienen en el mismo marco de referencia en que las órbitas de los satélites GPS son calculadas. Actualmente, el IGS utiliza nominalmente el ITRF2008 (Altamimi et al. 2011) para el efecto; sin embargo, para obtener mayor consistencia en sus productos, el IGS hace una selección de las mejores estaciones GPS incluidas en el ITRF y utiliza solamente esas estaciones como marco de referencia para la determinación de las órbitas satelitales (Kouba 2009). Las estaciones seleccionadas por el IGS se conocen como marco de referencia IGS08 (<http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/refframe.html>), el cual, en la práctica, equivale al ITRF2008. En consecuencia, el resultado de este ajuste son las coordenadas de las estaciones MAGNA2011 referidas al marco continental geocéntrico SIRGAS equivalente al IGS08 (ITRF2008) para la época 2011.76. Las coordenadas obtenidas directamente después del ajuste son coordenadas geocéntricas cartesianas [X, Y, Z], las cuales se convierten a elipsoidales [ $\varphi$ ,  $\lambda$ , h] utilizando el modelo GRS80 (*Geodetic Reference System*, 1980, Moritz 2000). La certidumbre final de las coordenadas MAGNA2011 está dada con base en la

combinación de los errores medios cuadráticos provenientes de la consistencia interna (ver 3.3 literal a) con la exactitud determinada en la comparación con la red global del IGS (ver 3.3 literal d). Dichas precisiones varían entre  $\pm 2,4$  mm y  $\pm 8,0$  mm en la componente norte, entre  $\pm 2,2$  mm y  $\pm 5,2$  mm en la componente este y entre  $\pm 4,1$  mm y  $\pm 21,0$  mm en la altura. Como es de esperarse, la posición vertical es entre dos y tres veces más imprecisa que la horizontal (Rothacher 2002).

El Anexo 7 presenta las coordenadas geocéntricas  $[X, Y, Z]$ , las elipsoidales  $[\varphi, \lambda, h]$  y los estimativos de precisión correspondientes para las estaciones MAGNA2011.

#### 4 Comparación entre MAGNA95 y MAGNAS2011

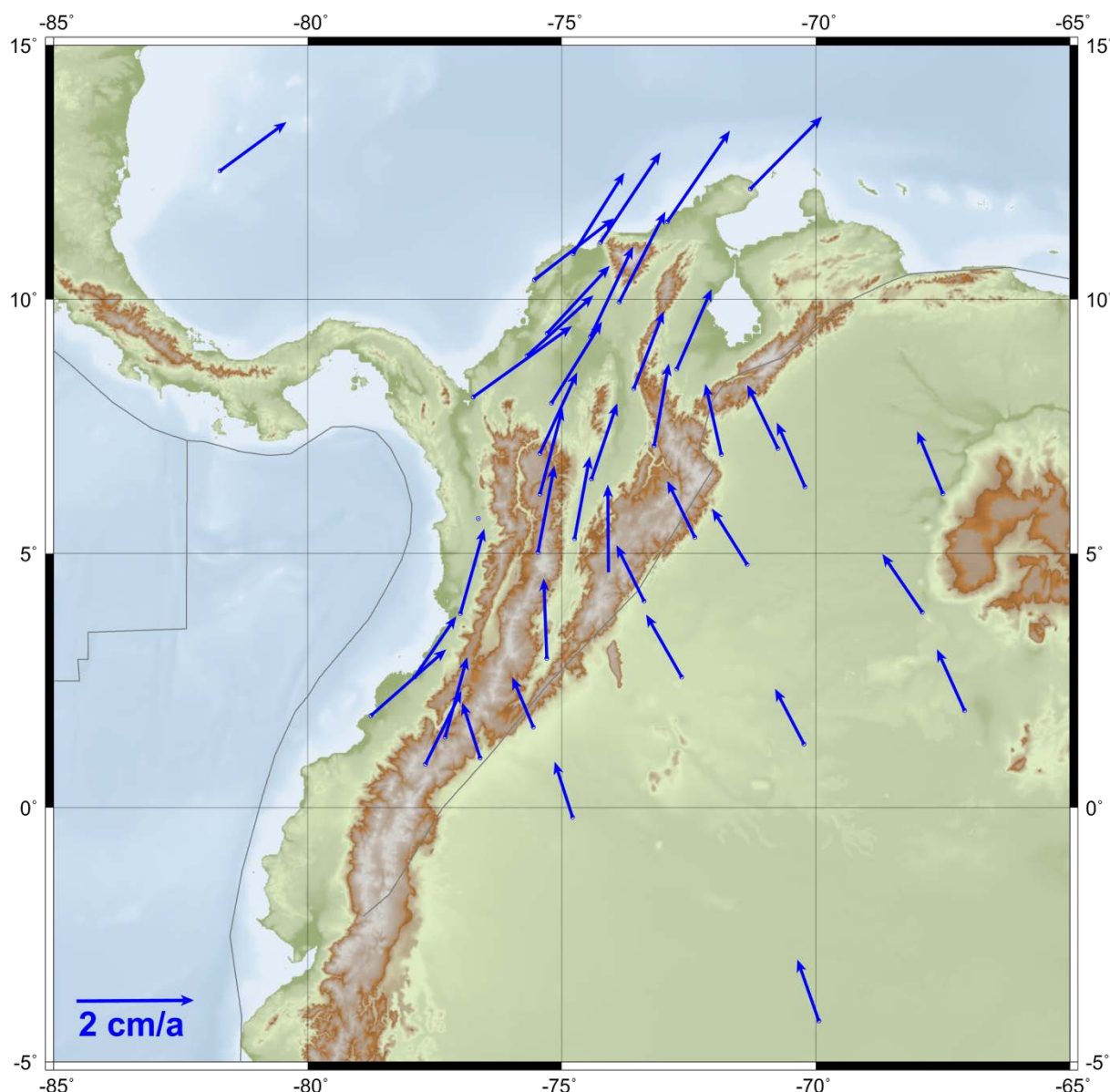
Los movimientos lineales de las estaciones MAGNA pueden determinarse mediante la comparación de las coordenadas MAGNA95 y MAGNA2011. Para el efecto, es necesario que ambos juegos de coordenadas estén dados en el mismo marco de referencia (ITRF) y por ello, los valores MAGNA95, referidos al ITRF94 época 1995,4 (Tremel et al. 2001), fueron transformados al ITRF2008 utilizando los parámetros de transformación publicados por el IERS (Tabla 5). Posteriormente, las coordenadas MAGNA95 transformadas fueron sustraídas de las coordenadas MAGNA2011 y estas diferencias se dividieron por el número años transcurridos entre 1995,4 y 2011,76 (16,36 años) para obtener movimientos promedios anuales (Anexo 8).

**Tabla 5.** Parámetros de transformación entre el ITRF94 y el ITRF2008. Tomados de [http://itrf.ensg.ign.fr/doc/ITRF/Transfo-ITRF2008\\_ITRFs.txt](http://itrf.ensg.ign.fr/doc/ITRF/Transfo-ITRF2008_ITRFs.txt).

Marco origen	Marco destino	Traslaciones			Escala [ppb]	Rotaciones		
		Tx [m]	Ty [m]	Tz [m]		Rx [mas]	Ry [mas]	Rz [mas]
ITRF94	ITRF2008	-0,0048	-0,0026	0,0332	-2,92	0,00	0,00	-0,06

Los desplazamientos horizontales (Fig. 5) son coherentes con los modelos tectónicos de la región: las estaciones ubicadas en la zona Amazónica y en los Llanos Orientales reflejan el movimiento de la placa suramericana, la estación en San Andrés representa el movimiento de la placa del Caribe y las estaciones de las Zonas Pacífica, Andina y Atlántica muestran la deformación generada por la convergencia de las dos placas mencionadas más la del Pacífico y Cocos. Los movimientos verticales (Fig. 6) no son tan homogéneos como los horizontales. Además del hecho que la posición vertical en posicionamiento GPS es más imprecisa que la horizontal, puede ser que existan fenómenos locales de hundimiento (como en la estación BOGA, Bogotá), que los monumentos que materializan las estaciones hayan tenido procesos de asentamiento posteriores a 1997, que el soporte de las antenas GPS (trípode o bastón) se haya movido durante la medición, etc. También puede ser que se presenten efectos relacionados con las correcciones aplicadas a las variaciones de los centros de fase de las antenas GPS, pues el ITRF94 (Boucher et al. 1996) y, en consecuencia, SIRGAS95 (SIRGAS 1997) y MAGNA95 (Tremel et al. 2001), fueron calculados con valores relativos, mientras que el IGS08 (<http://igscb.jpl.nasa.gov/network/refframe.html>), el ITRF2008

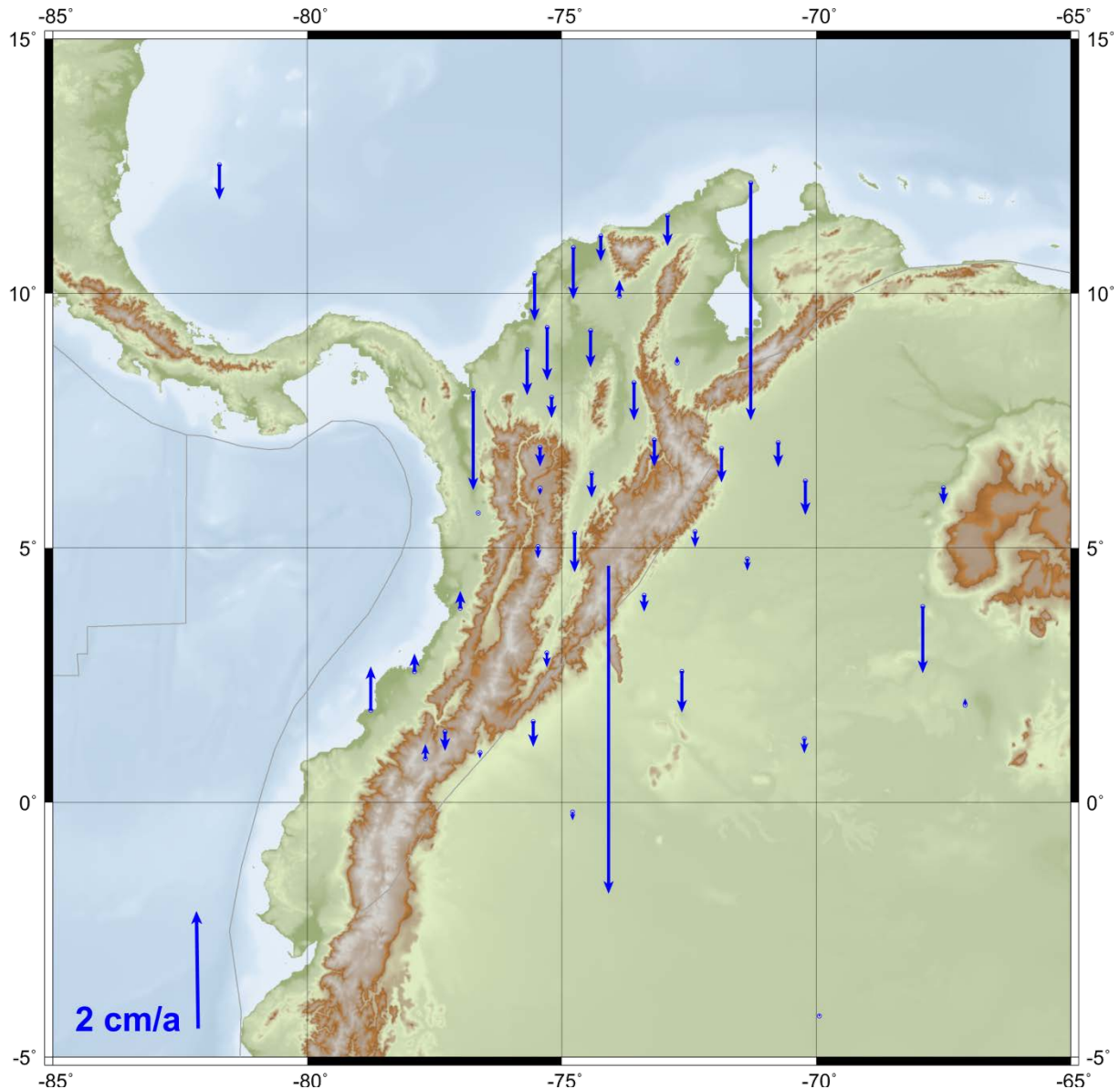
(Altamimi et al. 2011), SIRGAS-CON (Brunini et al. 2012) y MAGNA2011 se apoyan en valores absolutos. Nominalmente, los parámetros de transformación presentados en la Tabla 5 incluyen esos efectos; no obstante, no se descartan discrepancias puntuales dependientes de las antenas específicas utilizadas en la década de los 90. Las mayores inconsistencias en la posición vertical (dejando de lado BOGA) ocurren en las estaciones de Puerto Inirida (SINI), Uribía (GU01) y Turbo (A006).



*Fig. 5. Movimientos medios horizontales anuales determinados para las estaciones MAGNA a partir de las coordenadas MAGNA95 y MAGNA2011.*

Los movimientos promedio de las estaciones MAGNA presentados en este documento pueden incluir saltos esporádicos generados por eventos sísmicos. No obstante, dado que las estaciones no son de operación continua, es muy difícil separar los movimientos lineales contantes de aquellos atípicos, requiriéndose análisis avanzados que se escapan al alcance de este reporte. En consecuencia, se recomienda que el IGAC participe activamente en el proyecto MoNoLin de SIRGAS

(Incorporación de movimientos no lineales en marcos de referencia geodésicos, Brunini et al. 2011) y que tome contacto con los autores del modelo de deformación VEMOS (*Velocity Model for SIRGAS*, Drewes and Heidbach 2012) para (1) integrar los desplazamientos de MAGNA en los modelos existentes y (2) contribuir a delinear la estrategia más apropiada para tener en cuenta estos movimientos en el mantenimiento del marco de referencia nacional colombiano.



**Fig. 6.** Movimientos medios verticales anuales determinados para las estaciones MAGNA a partir de las coordenadas MAGNA95 y MAGNA2011.

En el Anexo 9 se presentan estos desplazamientos junto con las velocidades determinadas en la última solución multianual de SIRGAS (SIR11P01, Sánchez and Seitz 2011).



## 5 Comentarios finales

Las coordenadas MAGNA2011 representan la posición promedio de las estaciones para el periodo calculado y por tanto son válidas sólo para la época 2011,76. Su utilización como coordenadas de referencia en épocas diferentes, demanda su traslado a través del tiempo hasta el momento en que se adelantan las mediciones GPS. Dicho traslado puede hacerse con los movimientos determinados en la sección anterior, pero debe tenerse presente que los mismos están sujetos a la precisión de las coordenadas utilizadas (i.e. MAGNA95 y MAGNA2011). En consecuencia, se recomienda que los levantamientos GPS de alta precisión que se desarrollen en Colombia utilicen como puntos de referencia estaciones de la red MAGNA-ECO en combinación con las coordenadas semanales calculadas dentro del ajuste del marco continental SIRGAS.

La actualización a MAGNA2011 de coordenadas anteriores asociadas a MAGNA95 puede hacerse utilizando los parámetros de transformación consignados en la Tabla 5 y tomando las velocidades de un modelo de deformación equivalente a VEMOS, pero que incluya los desplazamientos derivados del ajuste de MAGNA2011. El procedimiento general puede describirse como:

1. Las bases de datos geográficos contienen las coordenadas  $[X, Y, Z]$  referidas a MAGNA95 tanto en la época de referencia (1995,4) como en la época de determinación (p. ej. 2003,6);
2. Las coordenadas  $[X, Y, Z]$  en la época de determinación (2003,6) se transforman al ITRF2008 utilizando los parámetros de transformación presentados en la Tabla 5. De este modo, se tienen coordenadas en ITRF2008, pero referidas a la época 2003,6;
3. Las coordenadas del ítem anterior se trasladan a la época 2011,76 utilizando las velocidades  $[V_x, V_y, V_z]$  extraídas de un modelo de deformación que incluya los desplazamientos calculados entre MAGNA95 y MAGNA2011. Por ello, es de suma importancia que el IGAC se integre a las actividades del proyecto MoNoLin.
4. Debe tenerse presente que aquellos puntos que hayan sido determinados incluyendo velocidades provenientes de modelos de deformación no deben utilizarse como estaciones de referencia en ningún levantamiento GPS. Para el efecto, se recomienda el uso de las estaciones de la red MAGNA-ECO en la mayor medida posible.

## Referencias

Altamimi, Z., X. Collilieux, L. Métivier (2011). ITRF2008: an improved solution of the International Terrestrial Reference Frame. J Geod. DOI 10.1007/s00190-011-0444-4, Springer.

- Boucher, C., Z. Altamimi, M. Feissel, P. Sillard (1996). Results and analysis of the ITRF94. (IERS Technical Note ; 20) Paris: Central Bureau of IERS - Observatoire de Paris, 1996. 194 p.
- Brunini, C., L. Sánchez, H. Drewes, S. Costa, V. Mackern, W. Martínez, W. Seemüller, A. da Silva (2012). Improved analysis strategy and accessibility of the SIRGAS Reference Frame. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia, 136: 3-10, Springer.
- Brunini, C., L. Sánchez, W. A. Martínez-Díaz, R.T. Luz, M.V. Mackern (Eds.) (2011). Reporte SIRGAS 2010-2011, Boletín Informativo No. 16: 46 - 47. Disponible en [http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin SIRGAS No 16.pdf](http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Boletin_SIRGAS_No_16.pdf).
- Costa, S.M.A, A.L. Silva, J.A. Vaz (2012). Processing evaluation of SIRGAS-CON network by IBGE Analysis Center. In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia, 136: 859-867, Springer.
- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl. (Eds.) (2007). Bernese GPS Software Version 5.0 - Documentation. Astronomical Institute, University of Berne, January, 640 p.
- Dow, J.M., R. Neilan, G. Gendt (2009). The International GPS Service (IGS), celebrating the 10th anniversary and looking to the next decade, Adv. Space Res., 36(3), 320-326.
- 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, Springer.
- IGAC (2004). Adopción del Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Subdirección de Geografía y Cartografía, División de Geodesia. 38 p.
- Kouba, J. (2009). A guide to using International GNSS Service products. Available at <http://igsceb.jpl.nasa.gov/igsceb/resource/pubs/UsingIGSProductsVer21.pdf>.
- Letellier, T. (2004). Etude des ondes de marée sur les plateaux continentaux. Thèse doctorale, Université de Toulouse III, Ecole Doctorale des Sciences de l'Univers, de l'Environnement et de l'Espace, 237 p.
- Martínez, W., L. Sánchez (2009). Realization of the SIRGAS Reference Frame in Colombia. In: Drewes, H. (ed.): "Geodetic Reference Frames", IAG Symposia; Vol. 134: 185-190, Springer.
- Moritz, H. (2000). Geodetic Reference System 1980. J. Geod., 74(1), pp. 128-162, doi:10.1007/S001900050278.
- Neill, A.E. (1996). Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelength. J. Geophys. Res. (101) 3227-3246.
- Petit, G., B. Luzum (Eds.) (2010). IERS Conventions 2010. IERS Technical Note 36. Verlag des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie, Frankfurt a.M. 179 p.

- Rothacher M. (2002). Estimation of station heights with GPS. In: Drewes, H., A. Dodson, L.P. Fortes, L. Sánchez, P. Sandoval (Eds.), "Vertical Reference Systems", IAG Symposia, Vol. 124: 81 - 90, Springer.
- Saastamoinen, J. (1973). Contribution to the theory of atmospheric refraction. Part II: Refraction corrections in satellite geodesy. Bull. Géod. (107) 13-34.
- Sánchez, L., C. Brunini (2009). Achievements and challenges of SIRGAS. In: Drewes, H. (ed.): "Geodetic Reference Frames", IAG Symposia, Vol. 134: 161-166, Springer.
- Sánchez, L., M. Seitz (2011). Recent activities of the IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS RNAAC SIR). DGFI Report No. 87.
- Seemüller, W., M. Seitz, L. Sánchez, H. Drewes (2012): The new multi-year position and velocity solution SIR09P01 of the IGS Regional Network Associate Analysis Centre (IGS RNAAC SIR). In: Kenyon S., M.C. Pacino, U. Marti (Eds.), "Geodesy for Planet Earth", IAG Symposia, 136: 877-884, Springer.
- SIRGAS (1997). SIRGAS Final Report; Working Groups I and II IBGE, Rio de Janeiro; 96 p.
- Tremel, H., L. Sánchez, H. Drewes (2001). Procesamiento de la red GPS básica de Colombia: Marco Geocentrico Nacional - MAGNA. Revista Cartografica IPGH; No. 73: 7-23.



**Anexo 1. Identificación de las estaciones y características de los equipos utilizados en la medición de MAGNA2011 (información extraída de las hojas de campo remitidas por el IGAC).**

ID Ajuste	Lugar	Inscripción placa	Antena LEIAS10 No. Serie	Receptor LEICA GS10 No. Serie	Altura Instrumental medida [m]	Apoyo antena	Constante dispositivo de medición [m]	Altura Instrumental final [m]
0095	Puerto Leguizamo	P-TE 731 VERTICE No GPS 95	10381027	1531294	1,374	Trípode	0,360	1,734
3011	Tumaco	JPL GPS STATION ROD 3011-S	10381052	1531282	1,169	Trípode	0,360	1,529
3012	Villagarzón	GPS 3012-S	10391006	1531271	1,273	Trípode	0,360	1,633
3016	Buenaventura	GPS-3016S	10391006	1531271	0,642	Bastón	0,000	0,642
3019	Ciénaga de Oro	JPL GPS STATION ROD 3019-S	10381027	1531294	1,325	Trípode	0,360	1,685
3023	Villavicencio	JPL-3023-S	10391009	1531212	0,866	Trípode	0,360	1,226
3039	San Andrés	GPS-3039	10391009	1531212	1,171	Trípode	0,360	1,531
4064	San Felipe	GPS 44064 VERTICE No. 44	10381027	1531294	1,141	Trípode	0,360	1,501
A001	Puerto Berrio	GPS A 001	10381026	1531297	1,122	Trípode	0,360	1,482
A003	Rionegro	GPS-A-003	10391006	1531271	1,282	Trípode	0,360	1,642
A005	Yarumal	GPS-A-005	10381026	1531297	1,037	Trípode	0,360	1,397
A006	Turbo	GPS-A-006	10391006	1531271	1,283	Trípode	0,360	1,643
A007	Caucasia	GPS-A-007	10381026	1531297	1,159	Trípode	0,360	1,519
AR01	Saravena	GPS AR1	10381052	1531282	1,244	Trípode	0,360	1,604
AR02	Arauca	GPS-AR-002	10391006	1531271	1,058	Bastón	0,000	1,058
AR03	Cravo Norte	AR-003 CRAVO NORTE GPS	10381027	1531294	1,024	Trípode	0,360	1,384
AT01	Soledad	GPS-AT-1	10381026	1531297	1,103	Trípode	0,360	1,463
B001	Mompóx	GPS-B-001	10391006	1531271	1,118	Trípode	0,360	1,478
CA01	Orocúe	S.AZ. GPSCA1	10381027	1531294	1,098	Trípode	0,360	1,458
CA02	Yopal	GPS C A 2	10381026	1531297	1,098	Trípode	0,360	1,458
CC02	Guapi	GPS-CC-002	10381052	1531282	1,143	Trípode	0,360	1,503
CH02	Quibdó	GPS CH-002	10381027	1531294	0,975	Trípode	0,360	1,335
CL10	Guarinocito	GPSCL0010	10381052	1531282	1,317	Trípode	0,360	1,677
CQ01	Florencia	GPS CQ001	10381052	1531282	1,156	Trípode	0,360	1,516
CS02	Bosconia	GPS CS-2	10381027	1531294	1,029	Trípode	0,360	1,389
CS03	Aguachica	GPS CS-3	10381067	1531307	0,995	Trípode	0,360	1,355
G63B	Manizales	ESTACION GEOMAGNETICA 63B	10381027	1531294	1,195	Trípode	0,360	1,555
GU01	Uribía	GPS-GU-001	10391006	1531271	2,575	Trípode	0,360	2,935
GU04	Riohacha	GPS-GU-004	10381069	1531298	1,059	Trípode	0,360	1,419
GV01	San José del Guaviare	GPS-GV-001	10391006	1531271	0,720	Trípode	0,360	1,080
H001	Neiva	GPS H1 GRAVIMETRIA 97-3502	10381027	1531294	1,203	Trípode	0,360	1,563
N001	Chachagui	GPS N1	10391009	1531212	0,773	Trípode	0,360	1,133
N002	Ipiales	GPS-N-002	10381052	1531282	1,191	Trípode	0,360	1,551
NS01	Tibú	GPS-NS-001	10391009	1531212	0,721	Trípode	0,360	1,081
RM02	Villagarzón	GPS 3012 RM-2	10391006	1531271	1,050	Bastón	0,000	1,050
RO30	Lebrija	JPL-GPS-1987-STATION-ROD-30	10391009	1531212	1,056	Trípode	0,360	1,416
SCAR	Cartagena	SIRGAS-CARTAGENA	10391009	1531212	0,682	Trípode	0,360	1,042
SINI	Inirida	SIRGAS-INIRIDA	10381026	1531297	0,981	Trípode	0,360	1,341
SLET	Leticia	SIRGAS LETICIA	10381052	1531282	0,869	Trípode	0,360	1,229
SM01	Santa Marta	GPS-M-001	10391006	1531271	1,062	Bastón	0,000	1,062
SU01	Corozal	GPS-SU-1	10381026	1531297	0,926	Trípode	0,360	1,286
VD01	Puerto Carreño	GPS VD 001	10391009	1531212	0,845	Trípode	0,360	1,205
VP01	Mitú	GPS-VP-001	10381026	1531297	0,854	Trípode	0,360	1,214



## Anexo 2. Mediciones incluidas en el ajuste MAGNA2011.

### Estaciones MAGNA2011

Estación	Septiembre															Octubre											Noviembre								
	31	1	2	7	8	9	14	15	16	21	22	23	28	29	30	5	6	7	12	13	14	19	20	21	26	27	28	2	3	4	9	10	11		
0095																																			
3011																																			
3012																																			
3016																																			
3019																																			
3023																																			
3039																																			
4064																																			
A001																																			
A003																																			
A005																																			
A006																																			
A007																																			
AR01																																			
AR02																																			
AR03																																			
AT01																																			
B001																																			
CA01																																			
CA02																																			
CC02																																			
CH02																																			
CL10																																			
CQ01																																			
CS02																																			
CS03																																			
G63B																																			
GU01																																			
GU04																																			
GV01																																			
H001																																			
SM01																																			
N001																																			
N002																																			
NS01																																			
RM02																																			
RO30																																			
SCAR																																			
SINI																																			
SLET																																			
SU01																																			
VD01																																			
VP01																																			

### Estaciones MAGNA-ECO

Estación	Septiembre															Octubre											Noviembre									
	31	1	2	7	8	9	14	15	16	21	22	23	28	29	30	5	6	7	12	13	14	19	20	21	26	27	28	2	3	4	9	10	11			
ABCC																																				
ABPD																																				
ABPW																																				
AGUA																																				
ARCA																																				
BERR																																				
BNGA																																				
BOGA																																				
BOGT																																				
BUEN																																				
CALI																																				
CUCU																																				
DORA																																				
FLOR																																				
MEDE																																				
NEVA																																				
PERA																																				
POPA																																				
PSTO																																				
SAMA																																				
TUNA																																				
VALL																																				





**Anexo 3.** Errores medios cuadráticos obtenidos de comparar las redes diarias semilibres con la solución final de MAGNA2011 (repetibilidad de las coordenadas). Dicha comparación se efectuó a través de una transformación de similitud de 7 parámetros.

MAGNA 2011 aligned to SIRGAS (sir11P1656) using selected station 02-AUG-12 17:31

-----  
 Total number of stations: 115  
 -----

Station	#Days	Repeatability (mm)		
		N	E	U
0095 41000M001	3	2.66	0.93	3.00
3012 41000M001	1	0.26	0.32	0.24
3016 41000M001	3	3.48	1.00	15.46
3019 41000M001	3	1.21	0.86	4.55
3011 41000M001	3	1.06	0.57	4.41
3023 41000M001	3	1.26	3.93	4.49
3039 41000M001	3	2.74	1.63	4.56
4064 41000M001	3	3.30	2.01	5.19
A001 41000M001	3	1.07	2.04	5.52
A003 41000M001	1	0.06	0.41	1.16
A005 41000M001	3	1.71	2.10	13.30
A006 41000M001	3	2.04	0.15	12.59
A007 41000M001	3	2.26	1.07	9.68
ABCC 41939M001	21	1.42	2.38	5.28
ABMF 97103M001	33	2.26	3.09	8.59
ABPW 41940M001	21	1.18	2.97	4.13
ABPD 41941M001	21	1.69	2.28	4.99
AGUA 41907S001	30	2.83	2.22	7.63
AR01 41000M001	2	0.18	1.71	4.41
AR02 41000M001	3	1.41	1.66	5.11
AR03 41000M001	3	2.95	4.51	8.58
ARCA 41909S001	6	2.72	2.56	3.48
AREQ 42202M005	31	1.31	1.80	3.69
AT01 41000M001	3	2.71	1.29	7.10
B001 41000M001	3	1.11	1.12	5.48
BDOS 43401M001	28	3.97	3.63	7.22
BERR 41910S001	33	2.00	2.16	8.26
BNGA 41911M001	31	2.40	1.70	6.29
BOAV 41636M001	30	0.75	0.54	1.95
BOGA 41901M002	33	0.60	0.77	2.00
BOGT 41901M001	17	1.54	1.71	5.08
BRAZ 41606M001	32	0.98	2.14	2.54
BRFT 41602M002	27	0.98	0.90	2.61
BRMU 42501S004	28	2.09	0.87	2.30
BUEN 41912S001	31	1.24	0.65	1.65
CA01 41000M001	3	0.73	1.76	13.30
CA02 41000M001	3	0.41	0.93	7.01
CALL 42205M001	23	2.32	3.44	6.42
CALI 41903S001	32	1.95	1.48	5.96
CC02 41000M001	3	3.38	1.41	11.69
CH02 41000M001	3	2.34	1.59	14.59
CHIH 40525M001	33	2.02	1.06	4.77
CL10 41000M001	3	1.89	1.32	2.43
COPO 41714S001	18	0.76	1.74	3.46
CQ01 41000M001	3	0.22	1.84	2.02
CRCS 42401M001	33	2.32	2.15	6.48
CRO1 43201M001	33	0.61	1.05	1.93
CS03 41000M001	2	4.33	3.01	9.16
CS02 41000M001	3	4.68	1.76	18.12
CUCU 41904S001	33	1.35	0.56	1.56
CUIB 41603M001	33	1.89	1.94	7.24
DORA 41915S001	32	2.72	1.88	4.92
ELEN 40902S001	31	2.05	2.12	7.26
ETCG 40602M001	32	0.78	0.55	1.35
EXU0 43606M001	27	3.19	2.66	7.45
FLOR 41916S001	33	2.40	2.04	7.02
G63B 41000M001	3	0.44	1.02	12.03

GOLD	40405S031	24	1.40	1.22	1.75
GU04	41000M001	3	2.45	1.92	4.95
GU01	41000M001	3	0.45	0.46	4.24
GUAT	40901S001	33	1.17	0.76	2.56
GV01	41000M001	3	0.21	1.05	1.79
H001	41000M001	3	0.74	2.90	11.04
IGN1	41303M001	30	1.40	1.26	1.90
IMPZ	41615M001	33	1.81	1.36	4.43
INEG	40507M001	33	1.53	1.21	4.04
IQUI	42204M001	25	2.18	1.92	5.04
ISCO	40611M001	11	2.64	2.24	9.04
ISPA	41703M007	30	1.74	1.71	3.37
KOUR	97301M210	33	0.70	1.03	2.24
MANA	41201S001	33	1.96	1.65	6.39
MAPA	41629M001	33	2.37	3.17	5.96
MARA	42402M001	33	0.97	0.56	1.49
MDO1	40442M012	33	1.40	0.86	1.76
MEDE	41921S001	33	0.92	0.58	1.34
MERI	40520M001	33	2.31	1.81	6.08
N001	41000M001	3	3.50	2.07	5.18
N002	41000M001	3	2.13	1.17	10.77
NAUS	41614M002	31	2.13	1.21	7.31
NEVA	41923S001	24	1.54	2.06	6.01
NS01	41000M001	3	2.50	0.84	20.58
PERA	41905S001	7	2.19	0.96	5.06
PIE1	40456M001	33	1.92	1.26	3.77
POPA	41924S001	26	1.44	1.54	5.00
POVE	41628M001	32	0.87	0.62	1.75
PPTE	41611M002	33	1.35	1.74	6.45
PSTO	41925S001	32	0.82	0.55	1.78
RECF	41617M001	33	1.74	2.49	5.54
RIOP	42006M001	30	1.40	1.45	4.73
RIOB	41645M001	26	1.11	2.28	4.64
RM02	41000M001	3	7.65	4.67	19.62
RO30	41000M001	3	2.18	1.50	5.99
ROJI	41658M001	33	1.80	1.36	5.97
SAGA	41639M001	33	0.73	0.57	1.57
SALU	41640M001	33	1.80	1.45	6.59
SAMA	41928S001	30	1.62	0.81	1.76
SAVO	41643M001	29	1.34	2.29	7.99
SCAR	41000M001	3	2.48	2.15	6.53
SCUB	40701M001	27	0.90	0.99	1.78
SINI	41000M001	3	1.87	1.02	6.24
SLET	41000M001	3	0.63	2.51	5.36
SM01	41000M001	3	5.79	3.13	14.21
SMRT	43102S001	33	1.78	3.23	8.11
SRNW	43703M001	29	2.59	3.54	9.70
SU01	41000M001	3	1.97	0.46	2.59
TOL2	40515M001	33	1.63	1.45	5.14
TOPL	41648M001	33	1.86	1.87	6.35
TUCU	41520S001	33	1.40	1.82	7.80
TUNA	41930S001	31	1.04	1.41	3.45
UNSA	41514M001	33	0.93	0.78	2.21
URUS	41802M001	33	1.01	1.31	3.17
VALL	41906S001	33	2.56	2.35	8.03
VD01	41000M001	3	1.48	3.44	4.23
VP01	41000M001	3	0.95	1.04	10.43
YCBA	41803M001	33	1.31	2.31	4.68
Total		2235	1.80	1.82	5.43

**Anexo 4. Residuales obtenidos de comparar la geometría de la red MAGNA2011 antes y después de su ajuste a SIRGAS (deformación de la red como consecuencia de la introducción del datum geodésico). Dicha comparación se efectuó a través de una transformación de similitud de 6 parámetros.**

```

=====
Program : HELMR1                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : Helmert Transformation
Campaign: ${P}/MAGNA                           Default session: 2780 year 2011
Date    : 18-Jul-2012 14:54                    User name      : dgfi
=====

```

MGN2011 vs loosely constrained solution

```

-----
FILE 1: MAGNA 2011 aligned to SIRGAS (sir11P1656) using selected station
FILE 2: MAGNA 2011 loosely constrained solution

```

TRANSFORMATION IN EQUATORIAL SYSTEM (X, Y, Z):  
 RESIDUALS IN LOCAL SYSTEM (NORTH, EAST, UP)

NUM	NAME	FLG	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
1	0095 41000M001	A W	-0,1	-0,1	0,7
2	3011 41000M001	A W	-0,1	-0,2	0,7
3	3012 41000M001	A W	-0,1	-0,2	0,5
4	3016 41000M001	A W	0,0	-0,2	0,4
5	3019 41000M001	A W	0,2	-0,1	0,4
6	3023 41000M001	A W	0,0	0,0	0,1
7	3039 41000M001	A W	0,2	-0,3	0,2
8	4064 41000M001	A W	-0,1	0,2	0,0
9	A001 41000M001	A W	0,1	-0,1	0,1
10	A003 41000M001	A W	0,0	-0,2	0,2
11	A005 41000M001	A W	0,1	-0,1	0,3
12	A006 41000M001	A W	0,1	-0,2	0,3
13	A007 41000M001	A W	0,1	-0,1	0,2
14	ABCC 41939M001	A W	0,0	-0,1	0,1
15	ABMF 97103M001	A W	0,7	0,5	-0,2
16	ABPD 41941M001	A W	0,0	-0,1	0,1
17	ABPW 41940M001	A W	0,1	0,0	0,4
18	AGUA 41907S001	A W	0,1	0,0	0,0
27	AR01 41000M001	A W	0,1	0,0	0,1
28	AR02 41000M001	A W	0,1	0,1	0,1
29	AR03 41000M001	A W	0,0	0,1	-0,1
30	ARCA 41909S001	A W	0,1	0,0	-0,1
31	AREQ 42202M005	A W	-0,4	-0,2	0,9
33	AT01 41000M001	A W	0,3	-0,2	0,1
38	B001 41000M001	A W	0,1	0,0	0,1
46	BDOS 43401M001	A W	0,5	0,5	-0,3
48	BERR 41910S001	A W	0,1	-0,1	0,1
49	BNGA 41911M001	A W	0,1	0,0	-0,1
50	BOAV 41636M001	W W	0,0	0,3	2,6
51	BOGA 41901M002	W W	-0,1	0,0	-1,7
52	BOGT 41901M001	A W	0,1	0,0	0,4
55	BRAZ 41606M001	W W	-0,9	0,5	1,4
56	BRFT 41602M002	W W	-0,2	1,1	0,0
57	BRMU 42501S004	W W	1,8	0,0	-4,0
60	BUEN 41912S001	W W	0,0	-0,2	-0,9
61	CA01 41000M001	A W	0,1	0,0	0,1
62	CA02 41000M001	A W	0,0	-0,1	0,0
63	CALI 41903S001	A W	-0,1	-0,1	0,5
64	CALL 42205M001	A W	-0,4	-0,3	1,1
72	CC02 41000M001	A W	0,0	-0,2	0,4
77	CH02 41000M001	A W	0,0	-0,2	0,3
80	CHIH 40525M001	A W	-0,1	-0,6	2,0
84	CL10 41000M001	A W	0,0	-0,2	0,2
88	COPO 41714S001	A W	-0,5	-0,1	0,8
92	CQ01 41000M001	A W	-0,1	-0,1	0,3
98	CS02 41000M001	A W	0,2	-0,1	0,2
99	CS03 41000M001	A W	0,2	-0,1	0,1
101	CUCU 41904S001	W W	0,1	0,0	-0,4
103	CUIB 41603M001	A W	-0,9	0,4	-0,2
109	DORA 41915S001	A W	0,1	-0,1	0,2
112	ELEN 40902S001	A W	0,3	-0,5	0,7
116	ETCG 40602M001	W W	0,1	-0,3	-1,2
117	EXU0 43606M001	A W	0,7	-0,3	0,1
119	FLOR 41916S001	A W	-0,1	-0,2	0,5

122	G63B	41000M001	A W	0,0	-0,1	0,2
127	GOLD	40405S031	W W	-0,7	-0,2	0,2
131	GU01	41000M001	A W	0,4	0,1	0,3
132	GU04	41000M001	A W	0,2	0,0	0,0
133	GUAT	40901S001	W W	0,0	-0,7	-5,8
136	GV01	41000M001	A W	-0,1	0,0	0,1
139	H001	41000M001	A W	-0,1	-0,2	0,3
149	IGN1	41303M001	W W	0,1	-0,1	-2,5
152	IMPZ	41615M001	A W	-0,4	0,9	-0,6
153	INEG	40507M001	A W	0,1	-0,7	1,9
156	IQUI	42204M001	A W	-0,2	-0,1	0,6
157	ISCO	40611M001	A W	0,1	-0,3	1,3
158	ISPA	41703M007	W W	0,8	-0,8	-7,9
161	KOUR	97301M210	W W	0,3	0,5	2,3
173	MANA	41201S001	A W	0,2	-0,3	0,6
176	MAPA	41629M001	A W	-0,1	0,7	-0,2
177	MARA	42402M001	W W	0,4	0,0	7,1
179	MDO1	40442M012	W W	-0,1	-0,8	-0,8
181	MEDE	41921S001	W W	0,1	-0,1	0,8
182	MERI	40520M001	A W	0,3	-0,6	0,8
205	N001	41000M001	A W	0,0	-0,1	0,5
206	N002	41000M001	A W	-0,1	-0,2	0,5
209	NAUS	41614M002	A W	-0,2	0,3	0,1
212	NEVA	41923S001	A W	0,0	-0,1	0,3
213	NS01	41000M001	A W	0,2	-0,1	0,1
229	PERA	41905S001	A W	0,0	-0,1	0,3
230	PIE1	40456M001	A W	-0,1	-0,7	2,1
235	POPA	41924S001	A W	0,0	-0,1	0,5
237	POVE	41628M001	W W	-0,5	0,1	1,8
238	PSTE	41611M002	A W	-1,1	0,4	-0,1
242	PSTO	41925S001	W W	-0,1	-0,1	-1,3
249	RECF	41617M001	A W	-0,5	1,6	-0,8
251	RIOB	41645M001	A W	-0,5	0,0	0,4
255	RIOP	42006M001	A W	-0,2	-0,3	0,7
257	RM02	41000M001	A W	-0,1	-0,2	0,4
260	RO30	41000M001	A W	0,1	0,1	0,0
263	ROJI	41658M001	A W	-0,6	0,1	0,0
266	SAGA	41639M001	W W	0,0	0,1	4,6
267	SALU	41640M001	A W	-0,2	1,1	-0,5
269	SAMA	41928S001	W W	0,1	-0,1	-1,6
271	SAVO	41643M001	A W	-0,9	1,3	-0,8
273	SCAR	41000M001	A W	0,3	-0,1	0,3
277	SCUB	40701M001	W W	0,3	0,0	-3,9
278	SINI	41000M001	A W	0,1	0,1	0,0
281	SLET	41000M001	A W	-0,3	0,0	0,4
283	SM01	41000M001	A W	0,2	-0,1	0,2
285	SMRT	43102S001	A W	0,8	0,4	-0,4
290	SRNW	43703M001	A W	0,2	0,6	-0,1
296	SU01	41000M001	A W	0,2	-0,1	0,1
308	TOL2	40515M001	A W	0,2	-0,7	1,6
309	TOPL	41648M001	A W	-0,6	0,8	-0,5
310	TUCU	41520S001	A W	-0,7	-0,1	0,7
312	TUNA	41930S001	A W	0,1	-0,1	0,0
322	UNSA	41514M001	W W	-0,5	0,1	1,1
324	URUS	41802M001	A W	-0,6	0,1	0,4
334	VALL	41906S001	A W	0,2	-0,1	0,0
338	VD01	41000M001	A W	0,1	0,2	0,0
343	VP01	41000M001	A W	0,0	0,1	0,3
344	YCBA	41803M001	A W	-0,7	0,0	0,2
RMS / COMPONENT				0,4	0,4	1,5

NUMBER OF PARAMETERS : 6  
 NUMBER OF COORDINATES : 345  
 RMS OF TRANSFORMATION : 0,9 MM

PARAMETERS:

TRANSLATION IN X : -6,9 +- 0,4 MM  
 TRANSLATION IN Y : 6,5 +- 0,2 MM  
 TRANSLATION IN Z : -7,1 +- 0,4 MM  
 ROTATION AROUND X-AXIS: 0 0 0,00003 +- 0,00001 "  
 ROTATION AROUND Y-AXIS: 0 0 0,00002 +- 0,00001 "  
 ROTATION AROUND Z-AXIS: 0 0 0,00012 +- 0,00001 "

NUMBER OF ITERATIONS : 2

**Anexo 5.** Residuales obtenidos de comparar las coordenadas MAGNA2011 con las coordenadas SIRGAS para la semana GPS 1656 (sir11P1656.crd). Dicha comparación se efectuó a través de una transformación de similitud de 6 parámetros.

```

=====
Program : HELMR1                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : Helmert Transformation
Campaign: ${P}/MAGNA                           Default session: 2780 year 2011
Date    : 18-Jul-2012 14:56                   User name      : dgfi
=====

```

MGN2011 vs SIR11P1656

```

=====
FILE 1: MAGNA 2011 aligned to SIRGAS (sir11P1656) using selected station
FILE 2: Week 1656: SIRGAS solution aligned to IGS08 (wrt igs11P1656)
=====

```

TRANSFORMATION IN EQUATORIAL SYSTEM (X, Y, Z):  
 RESIDUALS IN LOCAL SYSTEM (NORTH, EAST, UP)

NUM	NAME	FLG	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
14	ABCC 41939M001	A A	0,3	-0,4	1,6
15	ABMF 97103M001	A A	0,1	1,5	0,6
16	ABPD 41941M001	A A	0,5	-0,6	4,5
17	ABPW 41940M001	A A	-0,1	-1,0	-3,0
18	AGUA 41907S001	A A	-1,0	0,7	1,4
30	ARCA 41909S001	A A	1,4	-1,2	-1,1
31	AREQ 42202M005	A A	-0,8	0,1	1,0
46	BDOS 43401M001	A A	-2,4	0,9	0,0
48	BERR 41910S001	A A	0,3	-1,8	0,3
49	BNGA 41911M001	A A	0,3	-0,9	0,4
50	BOAV 41636M001	W A	0,3	0,1	0,8
51	BOGA 41901M002	W A	0,0	-0,8	1,1
52	BOGT 41901M001	A W	-1,1	0,2	6,9
55	BRAZ 41606M001	W W	0,6	3,4	1,5
56	BRFT 41602M002	W W	0,1	0,7	2,8
57	BRMU 42501S004	W W	-2,1	0,6	1,9
60	BUEN 41912S001	W A	-1,5	0,1	0,4
63	CALI 41903S001	A A	-0,6	-0,9	3,6
64	CALL 42205M001	A A	-1,1	-2,1	9,8
80	CHIH 40525M001	A A	2,9	-1,5	-1,6
88	COPO 41714S001	A A	0,3	0,2	-1,2
94	CRCS 42401M001	A A	-1,0	-0,9	-2,3
96	CRO1 43201M001	W W	0,3	-1,0	1,2
101	CUCU 41904S001	W A	1,0	-0,2	0,4
103	CUIB 41603M001	A A	1,1	1,2	-1,3
109	DORA 41915S001	A A	-1,0	-0,4	1,9
112	ELEN 40902S001	A A	1,4	0,4	0,0
116	ETCG 40602M001	W A	0,1	-0,8	-0,2
117	EXU0 43606M001	A A	-0,7	0,1	1,6
119	FLOR 41916S001	A A	0,6	-1,4	-1,0
127	GOLD 40405S031	W W	2,4	-1,1	-1,5
133	GUAT 40901S001	W W	1,5	-0,1	1,2
149	IGN1 41303M001	W A	-1,5	-1,6	0,8
152	IMPZ 41615M001	A A	-0,5	0,1	-4,9
153	INEG 40507M001	A A	2,3	-0,6	-1,6
156	IQUI 42204M001	A A	0,2	0,2	0,8
158	ISPA 41703M007	W W	-0,9	-0,7	-0,7
161	KOUR 97301M210	W A	0,0	0,8	0,9
173	MANA 41201S001	A A	-0,2	-0,8	-3,4
176	MAPA 41629M001	A A	0,1	5,2	-3,5
177	MARA 42402M001	W A	-1,2	-0,3	-0,2
179	MDO1 40442M012	W W	1,8	0,0	-0,4
181	MEDE 41921S001	W A	-1,3	-0,5	-0,3
182	MERI 40520M001	A A	-0,9	0,6	2,6
209	NAUS 41614M002	A A	-1,5	-0,7	-12,4

212	NEVA	41923S001	A A	1,2	-1,3	-0,6
230	PIE1	40456M001	A A	1,6	-0,4	-2,0
235	POPA	41924S001	A A	0,6	0,3	0,4
237	POVE	41628M001	W A	-0,1	0,1	0,0
238	PFTE	41611M002	A A	0,7	3,0	-4,2
242	PSTO	41925S001	W A	0,4	-0,6	0,5
249	RECF	41617M001	A A	0,2	1,2	3,6
251	RIOB	41645M001	A A	-0,7	-1,0	-2,1
255	RIOP	42006M001	A A	-0,6	-1,8	7,5
263	ROJI	41658M001	A A	1,1	1,2	-0,9
266	SAGA	41639M001	W A	-0,9	-0,1	-0,1
267	SALU	41640M001	A A	0,2	1,5	-3,5
269	SAMA	41928S001	W A	0,7	0,3	0,8
271	SAVO	41643M001	A A	0,8	0,0	-2,3
277	SCUB	40701M001	W W	0,5	-1,1	0,8
285	SMRT	43102S001	A A	-0,7	0,9	0,9
290	SRNW	43703M001	A A	3,0	1,3	1,7
308	TOL2	40515M001	A A	0,0	-1,6	-3,1
309	TOPL	41648M001	A A	0,8	2,2	-3,0
310	TUCU	41520S001	A A	-2,1	0,5	10,6
312	TUNA	41930S001	A A	1,8	-1,8	0,9
322	UNSA	41514M001	W W	-1,9	0,3	0,5
324	URUS	41802M001	A A	-0,5	0,2	-1,4
334	VALL	41906S001	A A	-2,1	1,5	1,8
344	YCBA	41803M001	A A	-0,2	0,5	-0,8
RMS / COMPONENT				1,2	1,3	3,2

NUMBER OF PARAMETERS : 6  
 NUMBER OF COORDINATES : 210  
 RMS OF TRANSFORMATION : 2,1 MM

PARAMETERS:

TRANSLATION IN X : -4,7 +- 0,9 MM  
 TRANSLATION IN Y : -1,3 +- 0,4 MM  
 TRANSLATION IN Z : -0,1 +- 1,0 MM  
 ROTATION AROUND X-AXIS: 0 0 0,00002 +- 0,00003 "  
 ROTATION AROUND Y-AXIS: - 0 0 0,00002 +- 0,00002 "  
 ROTATION AROUND Z-AXIS: - 0 0 0,00017 +- 0,00003 "

NUMBER OF ITERATIONS : 2

**Anexo 6.** Residuales obtenidos de comparar las coordenadas semanales IGS para semana 1656 (igsP1656.ssc) con las coordenadas del ajuste de MAGNA2011 y con la solución semanal SIRGAS (sir11P1656.crd). Dicha comparación se efectuó a través de una transformación de similitud de 6 parámetros.

```

=====
Program   : HELMR1                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose   : Helmert Transformation
Campaign  : ${P}/MAGNA                           Default session: 2780 year 2011
Date      : 18-Jul-2012 14:56                    User name      : dgfi
=====

```

MGN2011 vs IGS11P1656

```

-----
FILE 1: MAGNA 2011 aligned to SIRGAS (sir11P1656) using selected station
FILE 2: IGS weekly coordinates for week 1656

```

TRANSFORMATION IN EQUATORIAL SYSTEM (X, Y, Z):  
 RESIDUALS IN LOCAL SYSTEM (NORTH, EAST, UP)

NUM	NAME	FLG	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
15	ABMF 97103M001	A I	2,3	3,0	-9,7
31	AREQ 42202M005	A I	-3,9	-0,9	1,4
46	BDOS 43401M001	A I	0,1	1,7	-2,4
52	BOGT 41901M001	A I	-1,9	0,8	5,9
55	BRAZ 41606M001	W I	-0,6	2,4	0,5
56	BRFT 41602M002	W I	0,1	2,2	1,0
57	BRMU 42501S004	W I	-0,7	-2,2	-0,9
64	CALL 42205M001	A I	-5,4	-5,0	3,6
88	COPO 41714S001	A I	-1,9	1,1	-7,8
96	CRO1 43201M001	W I	2,1	0,3	0,1
112	ELEN 40902S001	A I	3,5	-2,7	8,8
127	GOLD 40405S031	W I	2,7	-3,5	-2,4
133	GUAT 40901S001	W I	0,8	-1,3	-0,1
153	INEG 40507M001	A I	3,4	-1,8	3,4
156	IQUI 42204M001	A I	1,4	0,0	3,5
158	ISPA 41703M007	W I	-3,8	1,0	1,0
161	KOUR 97301M210	W I	0,9	1,3	4,4
173	MANA 41201S001	A I	1,2	-1,4	5,1
179	MDO1 40442M012	W I	3,5	-1,4	-0,6
230	PIE1 40456M001	A I	2,7	-3,4	1,3
237	POVE 41628M001	W I	-1,1	2,3	3,2
249	RECF 41617M001	A I	-0,6	3,5	3,6
255	RIOP 42006M001	A I	-0,6	-1,4	6,5
267	SALU 41640M001	A I	-1,0	2,2	2,6
271	SAVO 41643M001	A I	-0,6	1,5	-0,4
277	SCUB 40701M001	W I	-0,1	-0,5	0,6
322	UNSA 41514M001	W I	-4,2	0,7	-1,6
	RMS / COMPONENT		2,4	2,2	4,1

```

NUMBER OF PARAMETERS : 6
NUMBER OF COORDINATES : 81
RMS OF TRANSFORMATION : 3,1 MM

```

PARAMETERS:

```

TRANSLATION IN X : -3,4 +- 1,6 MM
TRANSLATION IN Y : -2,7 +- 0,8 MM
TRANSLATION IN Z : 2,4 +- 1,8 MM
ROTATION AROUND X-AXIS: - 0 0 0,00001 +- 0,00006 "
ROTATION AROUND Y-AXIS: - 0 0 0,00009 +- 0,00004 "
ROTATION AROUND Z-AXIS: - 0 0 0,00016 +- 0,00006 "

```

```

NUMBER OF ITERATIONS : 2

```

```

=====
Program : HELMR1                               Bernese GPS Software Version 5.0
Purpose : Helmert Transformation
Campaign: ${P}/SIRK1656                       Default session: 2780 year 2011
Date    : 02-Nov-2011 16:09                   User name      : ${USER}
=====

```

Comparison SIR11P1656 with IGS11P1656 (all IGS stations)

```

-----
FILE 1: Week 1656: SIRGAS solution aligned to IGS08 (wrt igs11P1656)
FILE 2: IGS weekly coordinates for week 1656

```

TRANSFORMATION IN EQUATORIAL SYSTEM (X, Y, Z):  
RESIDUALS IN LOCAL SYSTEM (NORTH, EAST, UP)

NUM	NAME	FLG	RESIDUALS IN MILLIMETERS		
2	ABMF 97103M001	A I	2.7	1.6	-9.0
30	AREQ 42202M005	A I	-1.9	-1.3	0.7
57	BDOS 43401M001	A I	3.1	0.8	-1.2
70	BOGT 41901M001	W I	0.3	0.6	-0.2
74	BRAZ 41606M001	W I	-0.3	-1.7	-0.3
76	BRFT 41602M002	W I	0.7	0.8	-0.5
77	BRMU 42501S004	W I	1.6	-2.2	-1.2
90	CALL 42205M001	A I	-3.1	-3.1	-5.9
111	CHPI 41609M003	A I	-0.9	0.3	-5.3
124	CONZ 41719M002	W I	-2.0	-0.5	0.8
125	COPO 41714S001	A I	-0.9	0.5	-6.5
128	COYQ 41715S001	A I	-2.6	0.9	0.7
135	CRO1 43201M001	W I	2.4	1.5	0.2
161	ELEN 40902S001	A I	3.3	-2.6	9.5
193	GOLD 40405S031	W I	2.1	-1.5	-0.3
202	GUAT 40901S001	W I	0.6	-0.8	-0.7
238	INEG 40507M001	A I	2.5	-0.6	5.6
242	IQUI 42204M001	A I	2.3	-0.4	3.3
248	ISPA 41703M007	W I	-1.4	1.5	1.0
274	KOUR 97301M210	A I	1.5	0.2	4.7
289	LPGS 41510M001	W I	-2.2	0.5	-0.2
302	MANA 41201S001	A I	2.6	-0.3	9.2
319	MDO1 40442M012	W I	3.2	-0.6	0.4
383	OHI2 66008M005	W I	-1.9	2.3	0.2
389	OURI 41631M001	A I	-2.4	-0.0	-2.2
394	PALM 66005M002	W I	-0.9	1.2	0.7
397	PARC 41716S001	W I	-3.3	1.1	0.3
412	PIE1 40456M001	A I	2.6	-2.1	4.0
426	POVE 41628M001	A I	-0.0	1.9	3.9
448	RECF 41617M001	A I	-0.2	1.5	1.1
454	RIO2 41507M006	A I	-3.0	1.9	6.4
459	RIOP 42006M001	A I	1.2	0.4	-0.4
467	ROSA 41632M001	A I	-1.6	-1.1	0.8
471	SALU 41640M001	A I	-0.5	0.0	7.3
475	SANT 41705M003	A I	-2.8	-2.5	4.6
476	SAVO 41643M001	A I	-0.6	0.7	2.9
483	SCUB 40701M001	W I	0.3	1.0	0.9
571	UFPR 41610M002	A I	-1.7	-0.3	2.1
578	UNSA 41514M001	W I	-1.1	-0.0	-1.8
602	VBCA 41512M001	A I	-1.3	4.7	3.0
604	VESL 66009M001	W I	1.3	-4.1	1.0
	RMS / COMPONENT		2.0	1.7	3.9

```

NUMBER OF PARAMETERS : 6
NUMBER OF COORDINATES : 123
RMS OF TRANSFORMATION : 2.8 MM

```

PARAMETERS:

```

TRANSLATION IN X : -0.1 +- 1.1 MM
TRANSLATION IN Y : -1.1 +- 0.6 MM
TRANSLATION IN Z : 1.2 +- 0.9 MM
ROTATION AROUND X-AXIS: - 0 0 0.00003 +- 0.00003 "
ROTATION AROUND Y-AXIS: - 0 0 0.00004 +- 0.00003 "
ROTATION AROUND Z-AXIS: - 0 0 0.00003 +- 0.00004 "

```

```

NUMBER OF ITERATIONS : 2

```



**Anexo 7.** Coordenadas MAGNA2011 referidas a SIRGAS, equivalente al marco de referencia IGS08 (ITRF2008), época 2011,76. Las coordenadas elipsoidales se obtuvieron utilizando el elipsoide GRS80 (Moritz 2000).

Estación	X [m]	Y [m]	Z [m]
0095	1673976,256 ± 0,003	-6154734,032 ± 0,005	-20852,963 ± 0,004
3011	1243245,903 ± 0,003	-6252585,167 ± 0,006	200266,547 ± 0,003
3012	1477470,644 ± 0,002	-6204105,354 ± 0,004	108527,112 ± 0,002
3016	1432332,915 ± 0,004	-6200814,282 ± 0,016	422085,435 ± 0,004
3019	1558626,205 ± 0,003	-6106201,919 ± 0,006	979721,314 ± 0,003
3023	1819820,494 ± 0,005	-6096710,818 ± 0,006	449202,128 ± 0,003
3039	895798,948 ± 0,003	-6162594,977 ± 0,006	1374026,272 ± 0,004
4064	2483008,018 ± 0,004	-5871240,715 ± 0,006	211306,083 ± 0,004
A001	1703241,742 ± 0,003	-6104808,621 ± 0,007	713461,241 ± 0,003
A003	1595819,033 ± 0,002	-6139529,188 ± 0,004	681878,047 ± 0,002
A005	1593824,023 ± 0,005	-6129828,941 ± 0,013	769284,368 ± 0,003
A006	1448250,440 ± 0,004	-6146967,538 ± 0,013	890383,264 ± 0,004
A007	1613733,801 ± 0,004	-6107506,657 ± 0,010	877751,579 ± 0,004
AR01	1971368,169 ± 0,003	-6016987,451 ± 0,006	767383,886 ± 0,003
AR02	2087448,828 ± 0,003	-5975997,481 ± 0,006	779809,507 ± 0,003
AR03	2146116,438 ± 0,006	-5965521,184 ± 0,009	696665,060 ± 0,004
AT01	1645363,505 ± 0,003	-6043893,139 ± 0,008	1197994,021 ± 0,004
B001	1689111,486 ± 0,003	-6064678,017 ± 0,007	1019999,341 ± 0,003
CA01	2032327,147 ± 0,005	-6022526,751 ± 0,013	528475,460 ± 0,003
CA02	1922361,501 ± 0,003	-6053241,519 ± 0,008	587506,924 ± 0,003
CC02	1336059,900 ± 0,004	-6230111,775 ± 0,012	284657,337 ± 0,004
CH02	1466930,703 ± 0,004	-6175178,718 ± 0,015	627907,756 ± 0,004
CL10	1671100,091 ± 0,003	-6127577,222 ± 0,005	584348,640 ± 0,003
CQ01	1589849,715 ± 0,003	-6174571,381 ± 0,005	175607,667 ± 0,002
CS02	1745568,459 ± 0,006	-6035582,811 ± 0,018	1094671,526 ± 0,006
CS03	1784818,654 ± 0,005	-6055227,489 ± 0,010	908755,178 ± 0,005
G63B	1595194,874 ± 0,004	-6152424,408 ± 0,012	555586,683 ± 0,003
GU01	2000904,806 ± 0,003	-5905938,315 ± 0,006	1336327,164 ± 0,003
GU04	1835948,811 ± 0,003	-5974630,789 ± 0,006	1266068,637 ± 0,004
GV01	1901203,483 ± 0,003	-6081705,519 ± 0,004	284485,368 ± 0,002
H001	1616883,324 ± 0,005	-6161631,502 ± 0,011	325239,187 ± 0,003
N001	1402942,314 ± 0,003	-6221912,648 ± 0,007	153380,095 ± 0,004
N002	1361598,167 ± 0,004	-6233441,605 ± 0,011	95026,726 ± 0,003
NS01	1871570,550 ± 0,007	-6022323,829 ± 0,020	950783,483 ± 0,005
RM02	1477496,566 ± 0,007	-6204099,226 ± 0,020	108512,583 ± 0,008
RO30	1831641,131 ± 0,003	-6059722,522 ± 0,007	785111,629 ± 0,003
SCAR	1567576,389 ± 0,004	-6075260,590 ± 0,007	1142666,500 ± 0,004
SINI	2393740,519 ± 0,004	-5896616,970 ± 0,007	424900,349 ± 0,003
SLET	2181609,088 ± 0,004	-5975453,420 ± 0,006	-463616,991 ± 0,003
SM01	1700939,302 ± 0,005	-6023482,098 ± 0,014	1222721,586 ± 0,007
SU01	1598998,434 ± 0,002	-6087878,204 ± 0,005	1027904,562 ± 0,003
VD01	2426653,010 ± 0,004	-5858675,787 ± 0,006	682135,307 ± 0,003
VP01	2156480,801 ± 0,004	-6001104,000 ± 0,011	138701,762 ± 0,003

Estación	Altura elipsoidal [m]	Latitud [° ' "] ± [m]			Longitud [° ' "] ± [m]		
0095	215,866 ± 0,005	0 11	18,89426 ± 0,004	S	74 47	4,70006 ± 0,002	W
3011	17,798 ± 0,006	1 48	41,18449 ± 0,003	N	78 45	14,93432 ± 0,002	W
3012	397,334 ± 0,004	0 58	53,29761 ± 0,002	N	76 36	17,48429 ± 0,002	W
3016	31,399 ± 0,016	3 49	11,87599 ± 0,004	N	76 59	35,93167 ± 0,002	W
3019	55,553 ± 0,006	8 53	42,73375 ± 0,003	N	75 40	51,02235 ± 0,002	W
3023	324,556 ± 0,006	4 3	56,09282 ± 0,003	N	73 22	48,16977 ± 0,005	W
3039	5,724 ± 0,006	12 31	25,66481 ± 0,004	N	81 43	45,74768 ± 0,003	W
4064	87,481 ± 0,007	1 54	40,71124 ± 0,004	N	67 4	33,59545 ± 0,003	W
A001	121,242 ± 0,007	6 27	56,31227 ± 0,003	N	74 24	39,22740 ± 0,003	W
A003	2188,008 ± 0,004	6 10	34,62134 ± 0,002	N	75 25	47,25221 ± 0,002	W
A005	2369,503 ± 0,014	6 58	17,10457 ± 0,003	N	75 25	30,66272 ± 0,003	W
A006	10,423 ± 0,013	8 4	42,77845 ± 0,003	N	76 44	33,55818 ± 0,002	W
A007	61,379 ± 0,011	7 57	47,31175 ± 0,003	N	75 11	58,07634 ± 0,002	W
AR01	207,384 ± 0,006	6 57	23,38719 ± 0,002	N	71 51	34,04806 ± 0,003	W
AR02	122,135 ± 0,007	7 4	11,25125 ± 0,003	N	70 44	43,47775 ± 0,003	W
AR03	97,229 ± 0,010	6 18	46,22146 ± 0,004	N	70 12	49,08056 ± 0,005	W
AT01	7,515 ± 0,008	10 53	54,91194 ± 0,004	N	74 46	15,95820 ± 0,003	W
B001	15,355 ± 0,007	9 15	50,58913 ± 0,003	N	74 26	11,81438 ± 0,002	W
CA01	134,758 ± 0,014	4 47	4,98159 ± 0,003	N	71 21	10,13535 ± 0,003	W
CA02	318,701 ± 0,008	5 19	13,64201 ± 0,002	N	72 22	53,12826 ± 0,002	W
CC02	22,976 ± 0,012	2 34	30,69940 ± 0,004	N	77 53	46,08352 ± 0,003	W
CH02	79,300 ± 0,015	5 41	15,66630 ± 0,003	N	76 38	12,91366 ± 0,003	W
CL10	228,203 ± 0,005	5 17	30,66122 ± 0,003	N	74 44	43,36901 ± 0,003	W
CQ01	264,033 ± 0,005	1 35	17,79101 ± 0,002	N	75 33	39,33410 ± 0,003	W
CS02	79,893 ± 0,019	9 56	55,24010 ± 0,005	N	73 52	10,01394 ± 0,003	W
CS03	166,780 ± 0,010	8 14	46,17918 ± 0,005	N	73 34	36,36327 ± 0,004	W
G63B	2123,886 ± 0,013	5 1	45,11602 ± 0,002	N	75 27	52,13299 ± 0,002	W
GU01	70,645 ± 0,006	12 10	29,33182 ± 0,002	N	71 17	1,87998 ± 0,002	W
GU04	1,743 ± 0,006	11 31	33,55169 ± 0,003	N	72 55	5,84695 ± 0,003	W
GV01	200,875 ± 0,004	2 34	24,83472 ± 0,002	N	72 38	24,79445 ± 0,002	W
H001	460,638 ± 0,012	2 56	32,70239 ± 0,003	N	75 17	47,17275 ± 0,004	W
N001	1841,690 ± 0,007	1 23	12,66845 ± 0,004	N	77 17	35,58986 ± 0,003	W
N002	2994,147 ± 0,012	0 51	32,46582 ± 0,003	N	77 40	41,41147 ± 0,002	W
NS01	47,871 ± 0,021	8 37	49,73664 ± 0,003	N	72 44	10,35697 ± 0,002	W
RM02	397,130 ± 0,020	0 58	52,82467 ± 0,008	N	76 36	16,62282 ± 0,005	W
RO30	1181,145 ± 0,007	7 7	0,87155 ± 0,003	N	73 10	54,40190 ± 0,003	W
SCAR	-4,563 ± 0,008	10 23	22,75631 ± 0,003	N	75 31	54,35157 ± 0,003	W
SINI	94,918 ± 0,007	3 50	43,58386 ± 0,003	N	67 54	18,83906 ± 0,002	W
SLET	95,597 ± 0,007	4 11	47,12262 ± 0,002	S	69 56	35,18524 ± 0,003	W
SM01	1,838 ± 0,015	11 7	34,81292 ± 0,006	N	74 13	52,07216 ± 0,004	W
SU01	167,281 ± 0,005	9 20	10,50805 ± 0,003	N	75 17	0,61590 ± 0,002	W
VD01	42,310 ± 0,006	6 10	50,60382 ± 0,003	N	67 30	2,70334 ± 0,004	W
VP01	187,740 ± 0,011	1 15	15,97475 ± 0,003	N	70 14	3,24428 ± 0,002	W

**Anexo 8.** Movimiento promedio anual de las estaciones MAGNA derivado de la comparación entre las coordenadas MAGNA95 y MAGNA2011.

Estación	vX [m/a]	vY [m/a]	vZ [m/a]	vN [m/a]	vE [m/a]	vh [m/a]
0095	-0,0031	-0,0003	0,0090	0,0090	-0,0029	-0,0008
3011	0,0134	-0,0025	0,0106	0,0109	0,0124	0,0048
3016	0,0041	0,0004	0,0145	0,0139	0,0039	0,0018
3019	0,0092	0,0087	0,0086	0,0099	0,0109	-0,0050
3023	-0,0051	0,0010	0,0091	0,0091	-0,0045	-0,0017
3039	0,0099	0,0069	0,0068	0,0080	0,0109	-0,0038
4064	-0,0037	-0,0017	0,0098	0,0100	-0,0045	0,0006
A001	0,0030	0,0052	0,0125	0,0124	0,0042	-0,0026
A003	0,0029	0,0033	0,0144	0,0141	0,0037	-0,0006
A005	0,0052	0,0047	0,0133	0,0133	0,0061	-0,0020
A006	0,0128	0,0157	0,0096	0,0117	0,0163	-0,0111
A007	0,0074	0,0061	0,0135	0,0134	0,0083	-0,0022
AR01	-0,0040	0,0040	0,0107	0,0115	-0,0026	-0,0037
AR02	-0,0059	0,0025	0,0098	0,0104	-0,0050	-0,0026
AR03	-0,0056	0,0033	0,0097	0,0105	-0,0046	-0,0037
AT01	0,0064	0,0098	0,0118	0,0133	0,0084	-0,0057
B001	0,0054	0,0083	0,0137	0,0148	0,0070	-0,0040
CA01	-0,0060	-0,0002	0,0093	0,0091	-0,0057	-0,0012
CA02	-0,0053	0,0006	0,0090	0,0092	-0,0045	-0,0016
CC02	0,0073	0,0003	0,0102	0,0099	0,0068	0,0019
CL10	0,0009	0,0056	0,0131	0,0135	0,0025	-0,0043
CQ01	-0,0035	0,0024	0,0080	0,0081	-0,0034	-0,0027
CS02	0,0071	0,0035	0,0147	0,0149	0,0076	0,0017
CS03	0,0029	0,0071	0,0123	0,0127	0,0049	-0,0041
G63B	0,0020	0,0025	0,0138	0,0142	0,0027	-0,0012
GU01	0,0018	0,0311	0,0060	0,0119	0,0118	-0,0268
GU04	0,0083	0,0086	0,0142	0,0150	0,0103	-0,0033
GV01	-0,0072	0,0030	0,0096	0,0102	-0,0058	-0,0045
H001	-0,0014	0,0022	0,0132	0,0131	-0,0005	-0,0015
N001	0,0033	0,0027	0,0127	0,0131	0,0036	-0,0020
N002	0,0061	-0,0003	0,0118	0,0120	0,0059	0,0015
NS01	0,0045	0,0029	0,0127	0,0131	0,0057	0,0006
RM02	-0,0029	0,0004	0,0091	0,0090	-0,0029	-0,0005
RO30	0,0006	0,0053	0,0132	0,0135	0,0024	-0,0029
SCAR	0,0106	0,0103	0,0087	0,0101	0,0131	-0,0052
SINI	-0,0089	0,0048	0,0095	0,0095	-0,0065	-0,0074
SLET	-0,0035	-0,0021	0,0104	0,0100	-0,0035	0,0001
SM01	0,0076	0,0075	0,0144	0,0148	0,0099	-0,0027
SU01	0,0082	0,0100	0,0102	0,0111	0,0103	-0,0059
VD01	-0,0052	0,0012	0,0103	0,0102	-0,0042	-0,0017
VP01	-0,0050	-0,0002	0,0087	0,0090	-0,0047	-0,0015



**Anexo 9.** Movimiento anual medio horizontal y vertical de las estaciones MAGNA derivado de la comparación entre las coordenadas MAGNA95 y MAGNA2011. Se incluyen las velocidades estimadas en la última solución multianual del marco de referencia SIRGAS (SIR11P01, Sánchez and Seitz 2011).

