

Sistema de Referencia
Geocéntrico para las Américas



Instituto Geográfico y del
Catastro Nacional



Deutsches Geodätisches
Forschungsinstitut



Integración de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador a SIRGAS (SIRGAS-ES2007)

C.E. Figueroa, W. Amaya.
Instituto Geográfico y del Catastro Nacional

L. Sánchez, DGFI
Responsable del Centro de Análisis Regional del IGS para SIRGAS

Agosto 2009

Este documento resume el procesamiento desarrollado por el DGFI del Marco de Referencia Nacional de El Salvador para su vinculación a SIRGAS. Este procesamiento está enmarcado en las actividades del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS-GTII: Dátum Geocéntrico).

Contenido

1	Introducción	2
2	Mediciones GPS	3
3	Preparación de los datos observados	4
4	Preprocesamiento de los datos observados	6
5	Procesamiento final de los datos	6
5.1	Modelos físicos y matemáticos	6
5.2	Cálculo de compensación	7
6	Resultados	8
7	Comentarios finales y recomendaciones	8
	Bibliografía	10
	Anexos	12

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
www.dgfi.badw.de

Carlos Enrique Figueroa
Wilfredo Amaya.
Instituto Geográfico y del Catastro Nacional.
1a. Calle Pte. y 43 Ave. Norte, No. 2310
San Salvador, El Salvador
Tel. +503 253 53631/+503 714 01088

e-mail: cfigueroa@cnr.gob.sv
wamaya@cnr.gob.sv
www.cnr.gob.sv

Resumen

El marco de referencia de El Salvador está constituido por una red geodésica de referencia con 38 estaciones (Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador) distribuidas homogéneamente sobre el país. Dichas estaciones fueron determinadas en subredes mediante posicionamiento global GPS diferencial en sesiones diarias entre octubre y diciembre de 2007. La mayoría de las estaciones de referencia cuenta con un punto auxiliar (estación excéntrica) de modo que se garantice la estabilidad y perdurabilidad de la red a largo plazo. Los resultados presentados en este reporte son los obtenidos del procesamiento adelantado por el DGFI dentro de las actividades del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS-GTII: Datum Geocéntrico). La estrategia de análisis aplicada se basa en el método de diferencias dobles (*doubles differences*), apoyado en las siguientes características de procesamiento: 1) Se introducen como valores conocidos las órbitas satelitales, los parámetros de orientación terrestre y las correcciones a los relojes de los satélites calculados por el IGS (International GNSS Service) en sus combinaciones semanales; 2) Las variaciones de los centros de fase de las antenas GPS utilizadas en la ocupación de la red son corregidas aplicando los valores absolutos publicados por el IGS; 3) Las ambigüedades de las ondas L1 y L2 se determinan mediante la estrategia QIF (quasi ionosphere free), incluyendo modelos ionosféricos *a priori*; 4) Los movimientos periódicos generados por la carga oceánica sobre las estaciones son reducidos de acuerdo con el modelo de mareas oceánicas FES2004; 5) El retardo causado por la refracción troposférica (componente húmeda de la troposfera) se estima dentro del ajuste de la red a intervalos de dos horas. 6) En el cálculo de la red se incluyen 25 estaciones SIRGAS-CON (red SIRGAS de operación continua) para definir el datum geodésico de la nueva red Salvadoreña y validar las coordenadas obtenidas. Este procedimiento es aplicado para calcular soluciones libres de las subredes diarias. Posteriormente, las ecuaciones normales obtenidas son combinadas en una solución integral que incluye todas las estaciones y todos los días de observación. El datum geodésico se define introduciendo como valores conocidos las coordenadas de una selección de estaciones SIRGAS-CON. El análisis completo de la red se adelanta con el software Bernese V. 5.0. Las coordenadas definitivas de la red están dadas en el marco de referencia SIRGAS (equivalente al IGS05, realización IGS del ITRF2005) para la época 2007.8, por ello la red se identifica como SIRGAS-ES2007 (SIRGAS El Salvador 2007). La precisión de las coordenadas finales se estima en torno a ± 7 mm para la componente horizontal y ± 20 mm para la vertical. El reporte concluye con algunas recomendaciones para la utilización práctica de las coordenadas de referencia de la red SIRGAS-ES2007.

Abstract

The reference frame of El Salvador is given by a GPS base network of 38 stations covering the entire country (*Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador*). It was observed by differential GPS positioning in partial sub-networks and in daily sessions between October and November 2007. Most of the reference stations were determined together with a secondary point (or excentre) in order to ensure the long-term stability of the network. The results presented here are based on a data processing carried out by DGFI within the SIRGAS Working Group II (SIRGAS-WGII: Geocentric Datum) using the Bernese software V.5.0. The analysis strategy is based on the double difference approach, including the following characteristics: 1) Satellite orbits, satellite clock offsets, and Earth orientation parameters are fixed to the combined weekly IGS solutions; 2) The absolute calibration values for the antenna phase centre corrections

published by the IGS are applied; 3) L1 and L2 phase ambiguities are solved following the quasi ionosphere free (QIF) strategy, including *a priori* ionosphere models; 4) The periodic site movements due to ocean tide loading are modeled according to the FES2004 ocean tide model; 5) The zenith delay due to the tropospheric refraction (wet part) is estimated at a 2 hours interval within the network adjustment; 6) For datum definition and control purposes, the processed data include 25 SIRGAS-CON stations (SIRGAS Continuously Operating Network) in the surrounding area. In a first step, free solutions for the daily sub-networks are computed applying the above characteristics. Then, these partial networks are combined in the normal equation level into a unified solution, including all stations and all observation days. The geodetic datum is defined by constraining the coordinates of selected SIRGAS-CON stations. The final solution refers to SIRGAS reference frame (i.e. IGS05: the IGS realization of the ITRF2005), epoch 2007.8. Therefore, this solution is called SIRGAS-ES2007 (SIRGAS El Salvador 2007). The position accuracy is estimated to be in the order of ± 7 mm for the horizontal component and ± 20 mm for the vertical one. This report also includes some recommendations to apply SIRGAS-ES2007 as reference network in practical applications.

1. Introducción

La Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador está compuesta por 38 estaciones distribuidas homogéneamente sobre el territorio nacional (Figura 1). 34 de ellas están materializadas por pilares (estaciones pasivas) y las 4 restantes (AIES, SNJE, SSIA, VMIG) son de operación continua. 28 de las estaciones pasivas cuentan con una estación excéntrica (Tabla 1), que garantiza la perdurabilidad del punto de referencia en el evento de que el monumento principal sea alterado o desaparezca. Esta red fue determinada por la Gerencia de Geodesia del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) del Centro Nacional de Registros (CNR) entre octubre y diciembre de 2007. Las estaciones de operación continua SNJE, SSIA, VMIG han sido incluidas gracias al apoyo de Prof. Ch. DeMets de la Northwestern University.

El objetivo principal es suministrar una plataforma de referencia moderna, precisa y confiable a los productores y usuarios de información georreferenciada en el país. Por esta razón, una de las condiciones fundamentales en el procesamiento de los datos GPS registrados es la integración de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador al marco de referencia continental SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para Las Américas, www.sirgas.org), el cual a su vez constituye la densificación regional del marco de referencia global (ITRF: International Terrestrial References Frame, www.iers.org/MainDisp.csl?pid=42-17). Esta integración garantiza que las coordenadas de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador estén definidas sobre el mismo sistema que sirve como base para el cálculo de las órbitas de los satélites GPS distribuidas por el Servicio Internacional GNSS (IGS: International GNSS Service, www.igs.org). De esta manera, los vértices de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador pueden ser utilizados como estaciones de referencia y sus coordenadas, junto con la efemérides satelitales del IGS, permiten obtener posiciones geodésicas referidas directamente al ITRF vigente (en la actualidad, el ITRF2005).

Vale la pena mencionar que desde enero de 2002 (semana GPS 1150) el sistema de referencia World Geodetic System (WGS84) adoptó como realización al ITRF; es decir, desde esa fecha, éstos son idénticos.

Tabla 1. Estaciones principales y sus excéntricas en la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador (SIRGAS-ES2007).

Nº	NOMBRE	ID	Nº	NOMBRE	ID
1	ANTON	ANTO	1	MKZ ANTON	MANT
2	BETO	BETO	2	MKZ BETO	MBET
3	CANTON EL BRUJO	CEBR	3	MKZ CANTON EL BRUJO	MCEB
4	CANTON JALACATAL	CJAL	4	MKZ CANTON JALACATAL	MCJA
5	CASERIO LA FABULOSA	CLFA	5	MKZ CASERIO LA FABULOSA	MCLF
6	COOPERATIVA LOS NARANJOS	CLNA	6	MKZ COOPERATIVA LOS NARANJOS	MCLN
7	CANTON OSTUA	COST	7	MKZ CANTON OSTUA	MCOS
8	DESVIO DE AMAYO	DDAM	8	MKZ DESVIO DE AMAYO	MDDA
9	EL CHARCON	ECHA	9	MKZ EL CHARCON	MECH
10	CANTON EL PLAYON	CEPL	10	MKZ CANTON EL PLAYON	MCEP
11	ESCORPION	ESCO	11	MKZ ESCORPION	MESC
12	EL SUSPIRO	ESUS	12	MKZ EL SUSPIRO	MESU
13	GRANJA AGRICOLA	GAGR	13	MKZ GRANJA AGRICOLA	MGAG
14	HACIENDA SIHUAPILAPA	HSIH	14	MKZ HACIENDA SIHUAPILAPA	MHSI
15	IJ-5	IJ5			
16	JOYA	JOYA			
17	LAJAS	LAJA	15	MKZ LAJAS	MLAJ
18	LA BENDICION	LBEN	16	MKZ LA BENDICION	MLBE
19	LA CANOA	LCAN			
20	MANUEL	MANU	17	MKZ MANUEL	MMAN
21	MARIA ELENA	MAEL	18	MKZ MARIA ELENA	MMAE
22	NOA-1	NOA1			
23	OCOTILLO II	OCOT	19	MKZ OCOTILLO II	MOCO
24	PRESA 15 DE SEPTIEMBRE	P15S	20	MKZ PRESA 15 DE SEPTIEMBRE	MP15
25	PIEDRAS AZULES	PAZU	21	MKZ PIEDRAS AZULES	MPAZ
26	PEÑAS BLANCAS	PBLA	22	MKZ PEÑAS BLANCAS	MPBL
27	PISTA EL TAMARINDO	PETA	23	MKZ PISTA EL TAMARINDO	MPET
28	PISTA 97	PIST	24	MKZ PISTA 97	MPIS
29	SAN BARTOLO II	SBAR	25	MKZ SAN BARTOLO II	MSBA
30	SANTA CRUZ	SCRU	26	MKZ SANTA CRUZ	MSCR
31	SSIA	SSIA			
32	SURIANO II	SURI	27	MKZ SURIANO II	MSUR
33	TERMINAL	TERM			
34	TEXIS WEST II	TEXW	28	MKZ TEXIS WEST II	MTEX
35	LA UNION	UNIN			

NO POSEE MKZ

3. Preprocesamiento de los datos observados

Los datos de observación originales se transformaron al formato RINEX (Receiver Independent Exchange Format) y, dentro de las actividades del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS-GTII: Dátum Geocéntrico), éstos fueron transferidos al Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (DGFI: Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut, Munich, Alemania) para su procesamiento con el software científico Bernese Versión 5.0 (Dach et al. 2007).

La depuración de la información comprendió los siguientes pasos:

- a) Verificación de los archivos según las convenciones RINEX;
- b) Unificación de los nombres de las estaciones y revisión del tipo de receptores y antenas utilizados;

- c) Control de las alturas de las antenas y, en los casos necesarios, reducción de la distancia inclinada a la distancia vertical;
- d) Reducción de las alturas de las antenas al punto que sirve de referencia a las correcciones de las variaciones de los centros de fase.

A partir de este análisis, se excluyen del ajuste de la red las siguientes sesiones GPS: Estación BETO, día 30 de octubre de 2007 (la altura de la antena reportada en la hoja de campo presenta una inconsistencia de aproximadamente 50 cm); estación LKAN, día 26 de octubre de 2007 (la hoja de campo correspondiente no se encuentra disponible para verificar la altura de la antena); estación HISH, día 13 de diciembre (se incluye la hoja de campo en el inventario del levantamiento, pero el RINEX correspondiente no se encuentra disponible).

El Anexo 2 resume las principales características de la ocupación GPS de cada una de las estaciones de SIRGAS-ES2007.



Figura 2. Estaciones SIRGAS-CON incluidas en el procesamiento de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador (SIRGAS-ES2007). Las estaciones GOLD, PIE1, MDO1, ELEN, GUAT, SSIA, MANA, SCUB, GLPS, QUII también están incluidas en la red global del IGS.

El preprocesamiento de los datos se efectuó de acuerdo con la siguiente descripción:

- a) Conversión de los datos del formato RINEX al formato binario del software Bernese V5.0;
- b) Cálculo de soluciones preliminares para cada estación, utilizando el código de las señales GPS para determinar la deriva del reloj de los receptores;
- c) Determinación de líneas de base (formación de las *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;

- d) 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 utilizan modelos *a priori* diarios de la ionosfera, que en este caso son los generados por el centro de procesamiento CODE (<http://www.aiub-download.unibe.ch/CODE>).

4. Procesamiento final de los datos

Esta etapa se concentra en la formación de las ecuaciones de observación (relación entre icónitas y mediciones) mediante la formulación matemática de modelos físicos, y su solución a través del cálculo de compensación por mínimos cuadrados para estimar las coordenadas definitivas de las estaciones. Este cálculo también se efectuó con el software Bernese V5.0.

4.1 Modelos físicos y matemáticos

Datos de partida: Observaciones de fase de las ondas portadoras L1 y L2, corregidas por la deriva del reloj del receptor y por los saltos de ciclo identificados en el preprocesamiento.

- Intervalo de observación 30 segundos
- Ángulo mínimo de observación 10°

Modelo de las ecuaciones de observación: Diferencias dobles en combinación lineal L3 (libre de efectos ionosféricos):

Modelo de ionosfera: Dado que la ionosfera afecta en forma distinta a las frecuencias L1 y L2, sus efectos de retardo sobre la señal pueden ser eliminados con una combinación lineal de éstas en una tercera frecuencia L3. En consecuencia, no es necesario incluir modelos físicos adicionales.

Modelo de la troposfera: La dispersión de las frecuencias L1 y L2 en la troposfera no puede determinarse a través de la combinación matemática de éstas, sino que es necesaria la aplicación de modelos físicos que permitan cuantificar el efecto correspondiente. En este caso se utilizó la combinación de dos modelos comunes en una formulación general, estimando sus parámetros reales a partir de las observaciones. El procedimiento correspondiente se resume en:

- a) La refracción troposférica en el cenit (generada principalmente por la componente seca de la troposfera) se determina según el modelo de Saastamoinen (1973);
- b) La refracción desde el cenit hasta el ángulo vertical de la observación analizada es interpolada con la *mapping function* de Niell (1996);
- c) Los valores obtenidos de los modelos aplicados en a) y b) son refinados mediante la estimación de un parámetro troposférico adicional para cada estación a

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 troposfera.

Corrección de la variación del centro de fase de las antenas: El centro de fase de las ondas L1 y L2 en las antenas receptoras no es fijo, sino que la observación registrada está referida a un punto intagible variable, que depende del ángulo vertical y del azimut con los que las señales son capturadas por la antena. Para mejorar la certidumbre de las posiciones determinadas, es necesario que las observaciones sean reducidas desde ese punto variable a un mismo punto común de referencia dentro de la antena. Esto es posible mediante la aplicación de correcciones a las variaciones de los centros de fase, las cuales se determinan mediante la calibración de las antenas GNSS receptoras. De acuerdo con los estándares del IGS, en el presente análisis se utilizan los valores absolutos de dichas correcciones; para las antenas de las estaciones SIRGAS-CON y la antena Trimble TRM41249.00 se utilizan los valores publicados por el IGS en el modelo IGS05_1525 (<http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/station/general/>) y para la antena Thales/Ashtech THA800961+REC se utilizan los valores proporcionados por UNAVCO en http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/images/ant_info.abs.

Órbitas, correcciones de los relojes satelitales, reducciones a los centros de masa de los satélites: Se utilizan los valores proporcionados por el IGS en sus soluciones semanales (<http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/product/> ... www, siendo www= semana GPS)

Orientación del sistema de referencia terrestre con respecto a las órbitas: Por causa de la variación de la rotación terrestre, ésta cambia su orientación con respecto a las órbitas de los satélites. Dicho cambio afecta la posición de las estaciones terrestres con respecto a los satélites y por tanto, es necesario hacer la reducción correspondiente. Este efecto está descrito por los parámetros de orientación de la Tierra (Earth Rotation Parameters, ERP o Earth Orientation Parameters, EOP). En el presente estudio, se utilizan los valores publicados por el IGS junto con las órbitas satelitales semanales.

Efectos de la carga oceánica: Los movimientos periódicos generados por la carga oceánica sobre las estaciones son reducidos de acuerdo con el modelo de mareas oceánicas FES2004 (Letellier 2004). Los valores correspondientes son proporcionados por M.S. Bos and H.-G. Scherneck a través de <http://www.oso.chalmers.se/~loading/>.

4.2 Cálculo de compensación

El cálculo de compensación de las coordenadas finales de las estaciones se efectuó en dos pasos:

- Ajuste de las redes parciales diarias, y
- Combinación de las ecuaciones normales parciales con las coordenadas de empalme (estaciones SIRGAS-CON) para vincular la red total al dátum geocéntrico.

El primer paso es un ajuste de las observaciones de cada día en forma de redes parciales. En este cálculo no se fija ninguna estación terrestre, sino que se introducen solamente las órbitas precisas de los satélites (dadas 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. Este ajuste proporciona información sobre la precisión interna de cada día de observación, y la comparación de diferentes días entre sí permite una estimación de la precisión externa de las redes diarias. De esta manera, pueden encontrarse discrepancias en las observaciones e identificarse posibles errores groseros.

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 por el método de los mínimos cuadrados. En este ajuste, el datum geodésico se define a través de las coordenadas de las estaciones de empalme (SIRGAS-CON) formando así, una red completa vinculada al marco geocéntrico SIRGAS/ITRF. Las coordenadas de referencia se introducen con un peso inversamente proporcional a la precisión interna de las mediciones, que en el software Bernese corresponde a $1E-04$ m (restricción aplicada a las estaciones de empalme). Este valor garantiza que la consistencia interna (geometría de las líneas de base) de la red ajustada se mantenga a pesar de la restricción aplicada a las estaciones de referencia. De esta manera, la red se ajusta a las estaciones terrestres de referencia y se determinan las coordenadas geocéntricas $[X, Y, Z]$ de las estaciones nuevas.

5. Resultados

Las coordenadas de las estaciones de referencia SIRGAS-CON utilizadas para el ajuste final de SIRGAS-ES2007 son los valores semanales determinados para la red SIRGAS-CON en la época media del período total de observación entre octubre y diciembre de 2007, es decir para la semana GPS 1452 (noviembre 7 de 2007), que en decimales de año se expresa como 2007.8 (www.sirgas.org/index.php?id=153). Las coordenadas SIRGAS-CON están dadas en el marco de referencia IGS05 (<http://igsb.jpl.nasa.gov/network/refframe.html>), el cual equivale al ITRF2005, con la diferencia que las coordenadas del ITRF2005 han sido calculadas con correcciones relativas a las variaciones de los centros de fase de las antenas receptoras, mientras que las coordenadas del IGS05 incluyen las correcciones absolutas. Por esto, se acostumbra a decir que el IGS05 es una realización del ITRF2005. De acuerdo con los estándares del IGS, desde noviembre de 2006 deben utilizarse correcciones absolutas a las variaciones de los centros de fase y por tanto, las efemérides satelitales y las coordenadas de las estaciones terrestres se determinan en el IGS05.

Por lo anterior, el resultado del procesamiento final son las coordenadas de las estaciones SIRGAS-ES2007 referidas al marco continental geocéntrico SIRGAS equivalente al IGS05 (realización del ITRF2005) para la época 2007.8 (Anexo 3). Las precisiones de las coordenadas estimadas han sido derivadas del análisis de los errores medios cuadráticos obtenidos para cada estación al comparar las soluciones de las redes diarias parciales con la solución combinada final. En general, la posición horizontal de las estaciones presenta una precisión de $\sim \pm 7$ mm y la posición vertical de $\sim \pm 20$ mm. Como es de esperarse, la certidumbre en la posición horizontal es entre dos y tres veces mayor que en la posición vertical y, mientras menos tiempo se haya ocupado una estación, mayor es el error asociado a sus coordenadas.

6. Comentarios finales y recomendaciones

Las coordenadas sobre la superficie de la Tierra varían en función del tiempo como consecuencia de los movimientos de las placas tectónicas y de las deformaciones de la

corteza terrestre. Dichos movimientos afectan en forma diferente las posiciones estimadas de los puntos geodésicos. Así, mientras que la dinámica de las placas es homogénea (continua) sobre cada una de ellas y sus variaciones pueden modelarse y predecirse fácilmente, los cambios que se presentan sobre las áreas de deformación son irregulares y muy complicadas de estimar. A éstos se suman los movimientos abruptos causados por terremotos que cambian las coordenadas de manera esporádica y aleatoria. Como consecuencia de estos fenómenos, la posición de los vértices geodésicos en El Salvador puede variar de 1 a 3 cm por año. Por esto, las coordenadas ajustadas de SIRGAS-ES2007 representan el promedio correspondiente al tiempo de medición y son válidas sólo para esa época, o sea para 2007.8. Su utilización como coordenadas de referencia en épocas diferentes, demanda su traslado al momento en que se adelantan las mediciones de interés. En otras palabras, para que las estaciones de SIRGAS-ES2007 mantengan su carácter de marco nacional de referencia y puedan ser utilizadas como puntos de apoyo en levantamientos diferenciales de alta precisión, debe conocerse el cambio de sus coordenadas a través del tiempo (velocidades) con exactitudes enmarcadas en los requerimientos de la Geodesia de referencia, es decir mejores que 1 mm/año.

La mejor forma de detectar los cambios en las coordenadas generados por la dinámica terrestre es la instalación de estaciones GPS (o GNSS) de operación continua, por lo menos en los lugares más importantes de la red. Actualmente, están operando cuatro estaciones de este tipo en el territorio Salvadoreño (AIES, VMIG, SNJE, SSIA), las cuales están muy bien distribuidas sobre la geometría de SIRGAS-ES2007 y serían suficientes para definir un modelo de velocidades preciso para el país. La estación SSIA es procesada semanalmente dentro de la red SIRGAS-CON y por tanto sus coordenadas y velocidades se conocen con alta precisión ($\pm 0,5$ mm para las coordenadas y $\pm 0,9$ mm/año para las velocidades). Como complemento, es necesario que las tres estaciones restantes sean también incluidas en el procesamiento semanal de la red SIRGAS-CON, de modo que se disponga de sus coordenadas precisas y que al término de dos años puedan determinarse sus velocidades siguiendo los estándares establecidos. Las características de las estaciones SIRGAS-CON, su procesamiento y la disponibilidad de sus coordenadas y velocidades puede consultarse en www.sirgas.org, sección SIRGAS-CON.

Mientras que las estaciones de operación continua de El Salvador son incluidas en SIRGAS-CON, se recomienda que los levantamientos diferenciales apoyados en SIRGAS-ES2007 sean calculados de acuerdo con el siguiente procedimiento:

1. Las coordenadas de la estación base deben estar dadas en la época de observación, en este punto se consideran tres casos:
 - a. La estación base es una estación SIRGAS-CON con más de dos años de funcionamiento: se utilizan las coordenadas y las velocidades de la última solución multianual, por ejemplo SIR09P01 (Seemüller et al. 2009). En esta solución las coordenadas de las estaciones SIRGAS-CON se refieren a la época 2005.0; con las velocidades correspondientes éstas se trasladan a la época de observación (por ejemplo 2010.0).
 - b. La estación base es una estación SIRGAS-CON con menos de dos años de funcionamiento (es decir que aún no ha sido posible calcular sus velocidades): se utilizan las coordenadas semanales calculadas para la red SIRGAS-CON (archivos `siryyPwww.crd`, <http://www.sirgas.org/>

[index.php?id=153](#)).

- c. La estación base es un monumento (no es de operación continua): si sus velocidades son conocidas, éstas son utilizadas para trasladar las coordenadas de la época de referencia a la época de observación, por ejemplo para las estaciones SIRGAS-ES2007 se llevan las coordenadas de 2007.8 a 2010.0. Si las velocidades de la estación no son conocidas, éstas se interpolan de un modelo de velocidades y las coordenadas son igualmente trasladadas a la época de observación. En el caso específico de El Salvador se recomienda utilizar el modelo geodésico de movimiento de placas APKIM2005 (Drewes 2009), mientras que el modelo de velocidades de SIRGAS (VEMOS, Drewes and Heidbach 2005) es extendido a Centro América, pues actualmente, este modelo cubre solamente América del Sur.

El modelo APKIM2005 se encuentra disponible en <http://www.dgfi.badw.de/fileadmin/platemotions/index.html>. En la aplicación interactiva se introducen las coordenadas geográficas de la estación de referencia y se obtiene el cambio promedio de sus coordenadas a través del tiempo.

2. Contando ya con las coordenadas de la estación de referencia en la época de observación, se adelanta el procesamiento de las observaciones GNSS aplicando dichas coordenadas y utilizando las efemérides precisas del IGS para la semana correspondiente.
3. Las coordenadas de los puntos nuevos deben reducirse a la época asociada al marco de referencia nacional, es decir 2007.8. En este caso, se utilizan las mismas velocidades aplicadas en el ítem 1: Si las velocidades de la estación base son conocidas (estación SIRGAS-CON con más de dos años de operación) se aplican a los puntos nuevos las mismas velocidades de la estación base. Si éstas no son conocidas, se toman las velocidades del modelo APKIM2005. En todos los casos las coordenadas $[X, Y, Z]$ de los puntos nuevos deben almacenarse junto con los valores de velocidad $[V_x, V_y, V_z]$ utilizados para trasladarlas a la época de referencia y estas mismas velocidades deben aplicarse para llevar las coordenadas hacia adelante cuando los puntos nuevos sirvan de base en levantamientos GNSS posteriores. Aquellos puntos cuyas velocidades no han sido derivadas de diferentes ocupaciones (o de funcionamiento continuo), sino interpoladas a partir de algún modelo de velocidades, no pueden clasificarse como estación de referencia.

Bibliografía

- Dach, R., U. Hugentobler, P. Fridez, M. Meindl. (Eds.) (2007). *Bernese GPS Software Version 5.0 - Documentation*. Astronomical Institute, University of Berne, January, 640 Pp.
- Drewes, H. (2009). *The Actual Plate Kinematic and Crustal Deformation Model (APKIM2005) as basis for a non-rotation ITRF*. Springer. IAG Symposia, Vol. 134: 95-100.
- Drewes, H., O. Heidbach. (2005). *Deformation of the South American crust estimated from finite element and collocation methods*. Springer. IAG Symposia, Vol. 128:

544-549.

- 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, 237pp.
- Neill, A.E. (1996). *Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelength*. J. Geophys. Res. (101) 3227-3246.
- Saastamoinen, J. (1973). *Contribution to the theory of atmospheric refraction*. Part II: Refraction corrections in satellite geodesy. Bull. Géod. (107) 13-34.
- Seemüller, W., M. Seitz, L. Sánchez, H. Drewes. (2009). *The position and velocity solution SIR09P01 of the IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS (IGS-RNAAC-SIR)*. DGF I Report No. 85, July 2009, Pp. 90.

Anexo 2. Equipos GPS y altura de las antenas utilizados en la determinación de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador (SIRGAS-ES2007).

ID	Fecha	Receptor	Antena	Altura antena [m]	ID	Fecha	Receptor	Antena	Altura antena [m]
AIES	siempre	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00 SCIS	0,288	MECH	2007 12 12	Z-MAX	THA800961+REC	1,249
ANTO	2007 10 23	Z-MAX	THA800961+REC	1,045	MESC	2007 11 14	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,494
BETO	2007 10 18	Z-MAX	THA800961+REC	1,188	MESC	2007 11 21	Z-MAX	THA800961+REC	1,429
BETO	2007 10 23	Z-MAX	THA800961+REC	1,220	MESU	2007 10 31	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,196
BETO	2007 12 06	Z-MAX	THA800961+REC	1,190	MESU	2007 11 14	Z-MAX	THA800961+REC	1,225
BETI	2007 10 30	Z-MAX	THA800961+REC	2,485	MESU	2007 11 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,467
CEBR	2007 10 09	Z-MAX	THA800961+REC	1,246	MGAG	2007 11 14	Z-MAX	THA800961+REC	1,205
CEBR	2007 10 16	Z-MAX	THA800961+REC	1,059	MGAG	2007 12 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,542
CEPL	2007 10 23	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,165	MHSI	2007 10 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,210
CEPL	2007 10 25	Z-MAX	THA800961+REC	1,151	MHSI	2007 12 12	Z-MAX	THA800961+REC	1,445
CJAL	2007 11 06	Z-MAX	THA800961+REC	1,103	MLAJ	2007 10 31	Z-MAX	THA800961+REC	1,237
CJAL	2007 11 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,135	MLAJ	2007 12 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,210
CJAL	2007 11 22	Z-MAX	THA800961+REC	1,149	MLAJ	2007 12 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,244
CLFA	2007 11 13	Z-MAX	THA800961+REC	1,424	MLBE	2007 10 03	Z-MAX	THA800961+REC	1,182
CLFA	2007 11 20	Z-MAX	THA800961+REC	1,128	MMAE	2007 11 07	Z-MAX	THA800961+REC	1,537
CLFA	2007 11 22	Z-MAX	THA800961+REC	1,202	MMAE	2007 11 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,211
CLNA	2007 10 23	Z-MAX	THA800961+REC	1,409	MMAE	2007 11 28	Z-MAX	THA800961+REC	1,458
CLNA	2007 10 25	Z-MAX	THA800961+REC	1,138	MMAN	2007 10 17	Z-MAX	THA800961+REC	1,355
CLNA	2007 12 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,114	MMAN	2007 12 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,364
COST	2007 10 09	Z-MAX	THA800961+REC	1,104	MOCO	2007 10 31	Z-MAX	THA800961+REC	1,499
DDAM	2007 10 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,157	MP15	2007 10 24	Z-MAX	THA800961+REC	1,224
DDAM	2007 10 16	Z-MAX	THA800961+REC	1,470	MP15	2007 10 26	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,201
DDAM	2007 10 18	Z-MAX	THA800961+REC	1,096	MP15	2007 10 31	Z-MAX	THA800961+REC	1,230
DDAM	2007 10 23	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,210	MP15	2007 11 29	Z-MAX	THA800961+REC	1,184
ECHA	2007 10 05	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,048	MPAZ	2007 10 10	Z-MAX	THA800961+REC	1,100
ECHA	2007 12 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,096	MPAZ	2007 10 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,120
ESCO	2007 11 13	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,113	MPBL	2007 11 21	Z-MAX	THA800961+REC	1,388
ESCO	2007 11 20	Z-MAX	THA800961+REC	1,022	MPET	2007 11 07	Z-MAX	THA800961+REC	1,275
ESUS	2007 10 30	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,135	MPIS	2007 11 28	Z-MAX	THA800961+REC	1,564
ESUS	2007 11 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,123	MSBA	2007 10 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,165
ESUS	2007 11 13	Z-MAX	THA800961+REC	1,101	MSBA	2007 12 12	Z-MAX	THA800961+REC	1,186
GAGR	2007 11 13	Z-MAX	THA800961+REC	1,166	MSBA	2007 12 13	Z-MAX	THA800961+REC	1,194
GAGR	2007 11 22	Z-MAX	THA800961+REC	1,228	MSCR	2007 10 03	Z-MAX	THA800961+REC	1,130
HSIH	2007 10 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,116	MSCR	2007 10 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,164
HSIH	2007 12 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,389	MSUR	2007 10 03	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,135
IJ_5	2007 10 30	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	0,596	MTEX	2007 10 10	Z-MAX	THA800961+REC	1,267
IJ_5	2007 10 31	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	0,568	MTEX	2007 10 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,260
IJ_5	2007 11 13	Z-MAX	THA800961+REC	0,411	MTEX	2007 10 17	Z-MAX	THA800961+REC	1,172
IJ_5	2007 11 14	Z-MAX	THA800961+REC	0,412	MTEX	2007 12 13	Z-MAX	THA800961+REC	1,240
JOYA	2007 10 25	Z-MAX	THA800961+REC	1,291	NOAI	2007 10 02	Z-MAX	THA800961+REC	1,258
JOYA	2007 11 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,299	NOAI	2007 10 03	Z-MAX	THA800961+REC	1,258
JOYA	2007 11 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,278	NOAI	2007 10 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,258
JOYA	2007 11 27	Z-MAX	THA800961+REC	1,237	NOAI	2007 10 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,258
JOYA	2007 11 28	Z-MAX	THA800961+REC	1,257	OCOT	2007 10 30	Z-MAX	THA800961+REC	1,241
JOYA	2007 11 29	Z-MAX	THA800961+REC	1,283	OCOT	2007 12 06	Z-MAX	THA800961+REC	1,450
LAJA	2007 10 18	Z-MAX	THA800961+REC	1,126	P15S	2007 10 23	Z-MAX	THA800961+REC	1,044
LAJA	2007 10 30	Z-MAX	THA800961+REC	1,114	P15S	2007 10 25	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,190
LAJI	2007 10 30	Z-MAX	THA800961+REC	1,114	P15S	2007 10 30	Z-MAX	THA800961+REC	1,156
LBEN	2007 10 02	Z-MAX	THA800961+REC	1,088	PAZU	2007 10 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,074
LCAN	2007 10 25	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,239	PAZU	2007 10 09	Z-MAX	THA800961+REC	1,071
LCAN	2007 11 27	Z-MAX	THA800961+REC	1,260	PBLA	2007 11 20	Z-MAX	THA800961+REC	1,361
LCAN	2007 11 28	Z-MAX	THA800961+REC	1,312	PETA	2007 11 06	Z-MAX	THA800961+REC	1,137
MAEL	2007 11 06	Z-MAX	THA800961+REC	1,423	PIST	2007 11 27	Z-MAX	THA800961+REC	1,542
MAEL	2007 11 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,477	SBAR	2007 10 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,386
MAEL	2007 11 27	Z-MAX	THA800961+REC	1,413	SBAR	2007 10 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,151
MANT	2007 10 24	Z-MAX	THA800961+REC	1,237	SBAR	2007 10 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,378
MANU	2007 10 16	Z-MAX	THA800961+REC	1,251	SBAR	2007 12 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,096
MANU	2007 10 18	Z-MAX	THA800961+REC	1,596	SCRU	2007 10 02	Z-MAX	THA800961+REC	1,111
MBET	2007 10 24	Z-MAX	THA800961+REC	1,303	SCRU	2007 10 04	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	0,961
MBET	2007 10 31	Z-MAX	THA800961+REC	1,387	SNJE	siempre	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00 SCIS	0,288
MCEB	2007 10 10	Z-MAX	THA800961+REC	1,552	SSIA	siempre	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00	0,000
MCEB	2007 10 17	Z-MAX	THA800961+REC	1,207	SURI	2007 10 02	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,186
MCEP	2007 10 24	Z-MAX	THA800961+REC	1,550	TERM	2007 10 02	Z-MAX	THA800961+REC	1,193
MCEP	2007 10 26	Z-MAX	THA800961+REC	1,263	TERM	2007 10 03	Z-MAX	THA800961+REC	1,130
MCEP	2007 11 29	Z-MAX	THA800961+REC	1,215	TERM	2007 10 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,111
MCJA	2007 11 07	Z-MAX	THA800961+REC	1,143	TERM	2007 10 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,098
MCJA	2007 11 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,245	TERM	2007 10 08	Z-MAX	THA800961+REC	1,088
MCJA	2007 11 29	Z-MAX	THA800961+REC	1,501	TERM	2007 10 11	Z-MAX	THA800961+REC	1,411
MCJA	2007 12 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,185	TERM	2007 12 13	Z-MAX	THA800961+REC	1,493
MCJA	2007 12 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,543	TEXW	2007 10 04	Z-MAX	THA800961+REC	1,368
MCLF	2007 11 14	Z-MAX	THA800961+REC	1,602	TEXW	2007 10 09	Z-MAX	THA800961+REC	1,293
MCLF	2007 11 21	Z-MAX	THA800961+REC	1,293	TEXW	2007 10 15	Z-MAX	THA800961+REC	1,229
MCLF	2007 12 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,368	TEXW	2007 10 16	Z-MAX	THA800961+REC	1,278
MCLN	2007 10 24	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,309	UNIN	2007 11 06	Z-MAX	THA800961+REC	1,602
MCLN	2007 10 26	Z-MAX	THA800961+REC	1,226	UNIN	2007 11 07	Z-MAX	THA800961+REC	1,576
MCLN	2007 12 12	Z-MAX	THA800961+REC	1,239	UNIN	2007 11 20	Z-MAX	THA800961+REC	1,573
MCOS	2007 10 10	Z-MAX	THA800961+REC	1,123	UNIN	2007 11 21	Z-MAX	THA800961+REC	1,554
MDDA	2007 10 17	Z-MAX	THA800961+REC	1,448	UNIN	2007 11 22	Z-MAX	THA800961+REC	1,743
MDDA	2007 10 24	TRIMBLE 4000SSI	TRM33429.00+GP	1,225	VMIG	siempre	TRIMBLE NETRS	TRM41249.00 SCIS	0,288
MDDA	2007 12 05	Z-MAX	THA800961+REC	1,227					

Anexo 3. *Coordenadas estimadas para los vértices de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador (SIRGAS-ES2007). Marco de referencia SIRGAS (IGS05), época 2007.8.*

Coordenadas geocéntricas [X,Y,Z] en metros.

Id	X [m]	Y [m]	Z [m]
AIES	102825,817 ± 0,001	-6203584,372 ± 0,006	1473583,019 ± 0,002
ANTO	129191,422 ± 0,011	-6198310,408 ± 0,041	1495376,623 ± 0,012
MANT	129409,378 ± 0,011	-6198330,319 ± 0,037	1495238,073 ± 0,011
BETO	122288,198 ± 0,002	-6193249,984 ± 0,013	1517744,985 ± 0,004
MBET	122348,236 ± 0,004	-6193255,908 ± 0,021	1517715,884 ± 0,006
CEBR	61247,317 ± 0,004	-6179353,902 ± 0,021	1577141,760 ± 0,007
MCEB	61237,431 ± 0,004	-6179285,030 ± 0,022	1577290,119 ± 0,007
CEPL	135465,076 ± 0,004	-6203024,548 ± 0,021	1473257,237 ± 0,006
MCEP	135374,058 ± 0,003	-6203028,554 ± 0,013	1473251,055 ± 0,004
CJAL	191867,630 ± 0,002	-6200312,778 ± 0,011	1479307,291 ± 0,003
MCJA	191933,274 ± 0,001	-6200303,493 ± 0,006	1479330,569 ± 0,002
CLFA	229725,783 ± 0,002	-6195495,151 ± 0,012	1493410,428 ± 0,003
MCLF	229711,551 ± 0,002	-6195505,893 ± 0,013	1493370,575 ± 0,004
CLNA	109837,577 ± 0,002	-6204943,623 ± 0,013	1467264,271 ± 0,004
MCLN	109908,841 ± 0,002	-6204954,643 ± 0,012	1467211,189 ± 0,004
COST	48118,985 ± 0,011	-6181130,549 ± 0,038	1568752,577 ± 0,011
MCOS	48043,911 ± 0,012	-6181094,708 ± 0,043	1568893,349 ± 0,013
DDAM	91471,462 ± 0,002	-6186563,579 ± 0,008	1544761,008 ± 0,002
MDDA	91611,105 ± 0,002	-6186618,630 ± 0,012	1544533,788 ± 0,004
ECHA	70427,242 ± 0,005	-6202917,636 ± 0,025	1478205,476 ± 0,008
MECH	70386,579 ± 0,011	-6202922,420 ± 0,039	1478169,442 ± 0,012
ESCO	221151,764 ± 0,005	-6192084,162 ± 0,022	1512193,901 ± 0,007
MESC	221093,815 ± 0,005	-6192083,019 ± 0,023	1512162,970 ± 0,007
ESUS	187509,958 ± 0,002	-6194294,739 ± 0,012	1507536,691 ± 0,004
MESU	187666,517 ± 0,002	-6194270,332 ± 0,012	1507572,430 ± 0,004
GAGR	204172,653 ± 0,004	-6194976,559 ± 0,022	1499742,287 ± 0,007
MGAG	204099,598 ± 0,004	-6195009,452 ± 0,022	1499614,809 ± 0,007
HSIH	42309,969 ± 0,005	-6202390,593 ± 0,032	1481406,776 ± 0,009
MHSI	42180,451 ± 0,005	-6202431,351 ± 0,025	1481223,170 ± 0,007
IJ_5	206109,461 ± 0,002	-6187956,461 ± 0,012	1533097,504 ± 0,003
JOYA	172673,123 ± 0,001	-6203708,176 ± 0,004	1467209,158 ± 0,001
LAJA	122747,240 ± 0,004	-6185124,219 ± 0,021	1549200,712 ± 0,006
MLAJ	122623,510 ± 0,003	-6185131,719 ± 0,013	1549243,565 ± 0,004
LBEN	-8102,394 ± 0,012	-6196206,497 ± 0,040	1507424,975 ± 0,012
MLBE	-8168,973 ± 0,012	-6196183,702 ± 0,047	1507520,921 ± 0,014
LCAN	134512,648 ± 0,002	-6206941,553 ± 0,012	1456755,655 ± 0,003
MAEL	201652,254 ± 0,002	-6206842,952 ± 0,011	1450744,500 ± 0,003
MMAE	201531,638 ± 0,002	-6206844,998 ± 0,012	1450661,056 ± 0,004
MANU	87476,605 ± 0,004	-6181150,179 ± 0,021	1568964,347 ± 0,007
MMAN	87628,113 ± 0,004	-6181107,273 ± 0,021	1569160,543 ± 0,007
NOA1	18107,035 ± 0,002	-6200928,480 ± 0,010	1487983,640 ± 0,003
OCOT	147137,636 ± 0,004	-6190211,867 ± 0,020	1528881,456 ± 0,006
MOCO	147396,105 ± 0,011	-6190198,315 ± 0,036	1528764,737 ± 0,011
P15S	155987,040 ± 0,002	-6197970,391 ± 0,011	1492399,261 ± 0,003
MP15	156083,109 ± 0,002	-6197991,194 ± 0,008	1492303,152 ± 0,002
PAZU	36386,614 ± 0,005	-6186053,795 ± 0,024	1551091,207 ± 0,007
MPAZ	36397,569 ± 0,004	-6186094,408 ± 0,024	1550965,002 ± 0,007
PBLA	247365,042 ± 0,012	-6190539,580 ± 0,038	1511139,940 ± 0,011
MPBL	247451,684 ± 0,011	-6190529,282 ± 0,041	1511111,282 ± 0,012
PETA	226777,570 ± 0,012	-6207384,488 ± 0,037	1443478,009 ± 0,011
MPET	226954,052 ± 0,012	-6207442,513 ± 0,039	1443232,676 ± 0,011
PIST	156917,578 ± 0,011	-6208558,223 ± 0,042	1447661,627 ± 0,012
MPIS	157964,359 ± 0,012	-6208579,199 ± 0,044	1447456,789 ± 0,012
SBAR	61631,517 ± 0,002	-6197089,116 ± 0,009	1504803,102 ± 0,003
MSBA	61612,092 ± 0,003	-6197094,902 ± 0,012	1504760,035 ± 0,004
SCRU	11271,262 ± 0,005	-6189685,410 ± 0,022	1535636,249 ± 0,007
MSCR	11257,448 ± 0,005	-6189665,009 ± 0,025	1535717,864 ± 0,007
SNJE	43174,162 ± 0,001	-6194862,104 ± 0,006	1519231,418 ± 0,002
SURI	-7740,188 ± 0,013	-6193604,295 ± 0,046	1518625,535 ± 0,013
MSUR	-7965,469 ± 0,013	-6193376,547 ± 0,044	1519144,565 ± 0,013
TERM	30494,549 ± 0,001	-6197676,728 ± 0,004	1502036,237 ± 0,001
TEXW	53984,324 ± 0,002	-6187003,718 ± 0,008	1545575,878 ± 0,002
MTEX	54331,544 ± 0,001	-6186593,056 ± 0,007	1546970,202 ± 0,002
UNIN	234904,098 ± 0,001	-6202730,421 ± 0,005	1461933,973 ± 0,002
VMIG	183609,205 ± 0,001	-6203362,119 ± 0,006	1468161,611 ± 0,002

Coordenadas elipsoidales [latitud, longitud, altura elipsoidal], elipsoide GRS80

Id	Latitud	Longitud	Altura elipsoidal
AIES	13 ° 26 ' 50,12649 " N ± 0,002 m	89 ° 3 ' 1,42714 " W ± 0,001 m	37,778 ± 0,006 m
ANTO	13 ° 38 ' 55,94873 " N ± 0,015 m	88 ° 48 ' 21,44378 " W ± 0,011 m	496,313 ± 0,040 m
MANT	13 ° 38 ' 51,38032 " N ± 0,014 m	88 ° 48 ' 14,20772 " W ± 0,011 m	487,382 ± 0,036 m
BETO	13 ° 51 ' 23,06898 " N ± 0,004 m	88 ° 52 ' 7,74807 " W ± 0,002 m	763,572 ± 0,013 m
MBET	13 ° 51 ' 22,09435 " N ± 0,008 m	88 ° 52 ' 5,75321 " W ± 0,004 m	763,504 ± 0,020 m
CEBR	14 ° 24 ' 34,53813 " N ± 0,009 m	89 ° 25 ' 55,65159 " W ± 0,004 m	914,909 ± 0,020 m
MCEB	14 ° 24 ' 39,77112 " N ± 0,009 m	89 ° 25 ' 55,95876 " W ± 0,004 m	885,033 ± 0,021 m
CEPL	13 ° 26 ' 39,30890 " N ± 0,008 m	88 ° 44 ' 56,19114 " W ± 0,004 m	27,245 ± 0,020 m
MCEP	13 ° 26 ' 39,09798 " N ± 0,004 m	88 ° 44 ' 59,21915 " W ± 0,003 m	27,772 ± 0,013 m
CJAL	13 ° 30 ' 0,02357 " N ± 0,003 m	88 ° 13 ' 39,20667 " W ± 0,002 m	247,560 ± 0,011 m
MCJA	13 ° 30 ' 0,81515 " N ± 0,002 m	88 ° 13 ' 37,01543 " W ± 0,001 m	245,945 ± 0,006 m
CLFA	13 ° 37 ' 53,04046 " N ± 0,004 m	87 ° 52 ' 35,30902 " W ± 0,002 m	126,043 ± 0,012 m
MCLF	13 ° 37 ' 51,70196 " N ± 0,004 m	87 ° 52 ' 35,79541 " W ± 0,002 m	126,570 ± 0,013 m
CLNA	13 ° 23 ' 18,96024 " N ± 0,004 m	88 ° 59 ' 9,15933 " W ± 0,002 m	10,325 ± 0,013 m
MCLN	13 ° 23 ' 17,18737 " N ± 0,004 m	88 ° 59 ' 6,79759 " W ± 0,002 m	9,980 ± 0,012 m
COST	14 ° 19 ' 56,73975 " N ± 0,014 m	89 ° 33 ' 14,29817 " W ± 0,011 m	441,179 ± 0,037 m
MCOS	14 ° 20 ' 1,47058 " N ± 0,016 m	89 ° 33 ' 16,79394 " W ± 0,012 m	440,739 ± 0,041 m
DDAM	14 ° 6 ' 32,74455 " N ± 0,002 m	89 ° 9 ' 10,49305 " W ± 0,002 m	287,897 ± 0,008 m
MDDA	14 ° 6 ' 25,12165 " N ± 0,004 m	89 ° 9 ' 5,86542 " W ± 0,002 m	287,900 ± 0,012 m
ECHA	13 ° 29 ' 24,88295 " N ± 0,010 m	89 ° 20 ' 58,19278 " W ± 0,005 m	26,136 ± 0,024 m
MECH	13 ° 29 ' 23,70998 " N ± 0,014 m	89 ° 20 ' 59,54658 " W ± 0,012 m	21,933 ± 0,038 m
ESCO	13 ° 48 ' 15,45612 " N ± 0,009 m	87 ° 57 ' 16,33313 " W ± 0,005 m	965,901 ± 0,021 m
MESC	13 ° 48 ' 14,50379 " N ± 0,009 m	87 ° 57 ' 18,25963 " W ± 0,005 m	955,404 ± 0,022 m
ESUS	13 ° 45 ' 39,77541 " N ± 0,004 m	88 ° 15 ' 57,98225 " W ± 0,002 m	924,731 ± 0,012 m
MESU	13 ° 45 ' 41,05689 " N ± 0,004 m	88 ° 15 ' 52,74915 " W ± 0,002 m	914,140 ± 0,012 m
GAGR	13 ° 41 ' 24,09388 " N ± 0,009 m	88 ° 6 ' 44,43039 " W ± 0,004 m	248,848 ± 0,021 m
MGAG	13 ° 41 ' 19,82926 " N ± 0,009 m	88 ° 6 ' 46,89618 " W ± 0,004 m	248,283 ± 0,021 m
HSIH	13 ° 31 ' 12,11736 " N ± 0,011 m	89 ° 36 ' 32,97443 " W ± 0,005 m	12,848 ± 0,031 m
MHSI	13 ° 31 ' 6,00516 " N ± 0,009 m	89 ° 36 ' 37,29066 " W ± 0,005 m	8,696 ± 0,024 m
IJ_5	13 ° 59 ' 51,87557 " N ± 0,004 m	88 ° 5 ' 32,23728 " W ± 0,002 m	1479,835 ± 0,012 m
JOYA	13 ° 23 ' 15,74576 " N ± 0,001 m	88 ° 24 ' 20,33688 " W ± 0,001 m	187,353 ± 0,004 m
LAJA	14 ° 8 ' 59,95346 " N ± 0,008 m	88 ° 51 ' 47,09715 " W ± 0,004 m	501,177 ± 0,020 m
MLAJ	14 ° 9 ' 1,26527 " N ± 0,005 m	88 ° 51 ' 51,22668 " W ± 0,003 m	516,545 ± 0,013 m
LBEN	13 ° 45 ' 43,36856 " N ± 0,015 m	90 ° 4 ' 29,71952 " W ± 0,012 m	4,188 ± 0,039 m
MLBE	13 ° 45 ' 46,57666 " N ± 0,017 m	90 ° 4 ' 31,93686 " W ± 0,012 m	4,958 ± 0,046 m
LCAN	13 ° 17 ' 27,59397 " N ± 0,004 m	88 ° 45 ' 30,66792 " W ± 0,002 m	1,934 ± 0,012 m
MAEL	13 ° 14 ' 4,38038 " N ± 0,003 m	88 ° 8 ' 21,08101 " W ± 0,002 m	295,907 ± 0,011 m
MMAE	13 ° 14 ' 1,75124 " N ± 0,004 m	88 ° 8 ' 25,08728 " W ± 0,002 m	274,984 ± 0,012 m
MANU	14 ° 19 ' 59,78031 " N ± 0,009 m	89 ° 11 ' 21,10303 " W ± 0,004 m	930,852 ± 0,020 m
MMAN	14 ° 20 ' 6,29258 " N ± 0,009 m	89 ° 11 ' 16,02794 " W ± 0,004 m	939,938 ± 0,020 m
NOA1	13 ° 34 ' 52,21250 " N ± 0,003 m	89 ° 49 ' 57,69772 " W ± 0,002 m	17,830 ± 0,010 m
OCOT	13 ° 57 ' 34,28477 " N ± 0,008 m	88 ° 38 ' 18,13186 " W ± 0,004 m	1016,694 ± 0,019 m
MOCO	13 ° 57 ' 30,65774 " N ± 0,014 m	88 ° 38 ' 9,51352 " W ± 0,011 m	981,356 ± 0,035 m
P15S	13 ° 37 ' 19,68293 " N ± 0,004 m	88 ° 33 ' 29,93872 " W ± 0,002 m	62,975 ± 0,011 m
MP15	13 ° 37 ' 16,46570 " N ± 0,002 m	88 ° 33 ' 26,76108 " W ± 0,002 m	62,901 ± 0,008 m
PAZU	14 ° 10 ' 1,03396 " N ± 0,009 m	89 ° 39 ' 46,75621 " W ± 0,005 m	787,823 ± 0,023 m
MPAZ	14 ° 9 ' 56,72903 " N ± 0,009 m	89 ° 39 ' 46,39890 " W ± 0,004 m	796,376 ± 0,023 m
PBLA	13 ° 47 ' 46,44145 " N ± 0,014 m	87 ° 42 ' 42,33800 " W ± 0,012 m	178,073 ± 0,036 m
MPBL	13 ° 47 ' 45,58889 " N ± 0,015 m	87 ° 42 ' 39,44206 " W ± 0,012 m	164,607 ± 0,039 m
PETA	13 ° 10 ' 3,71942 " N ± 0,014 m	87 ° 54 ' 27,77163 " W ± 0,012 m	7,056 ± 0,036 m
MPET	13 ° 9 ' 55,46848 " N ± 0,014 m	87 ° 54 ' 21,98557 " W ± 0,012 m	13,912 ± 0,038 m
PIST	13 ° 12 ' 23,57541 " N ± 0,015 m	88 ° 33 ' 7,89061 " W ± 0,011 m	2,748 ± 0,041 m
MPIS	13 ° 12 ' 16,73305 " N ± 0,016 m	88 ° 32 ' 33,15382 " W ± 0,012 m	2,203 ± 0,043 m
SBAR	13 ° 44 ' 11,34944 " N ± 0,003 m	89 ° 25 ' 48,71534 " W ± 0,002 m	530,900 ± 0,009 m
MSBA	13 ° 44 ' 9,94507 " N ± 0,004 m	89 ° 25 ' 49,36374 " W ± 0,003 m	526,106 ± 0,012 m
SCRU	14 ° 1 ' 25,34192 " N ± 0,009 m	89 ° 53 ' 44,39737 " W ± 0,004 m	452,422 ± 0,021 m
MSCR	14 ° 1 ' 28,07925 " N ± 0,009 m	89 ° 53 ' 44,85648 " W ± 0,004 m	452,382 ± 0,024 m
SNJE	13 ° 52 ' 5,68887 " N ± 0,002 m	89 ° 36 ' 2,49166 " W ± 0,001 m	1658,899 ± 0,006 m
SURI	13 ° 51 ' 57,49470 " N ± 0,017 m	90 ° 4 ' 17,77034 " W ± 0,013 m	151,172 ± 0,044 m
MSUR	13 ° 52 ' 15,66460 " N ± 0,016 m	90 ° 4 ' 25,28259 " W ± 0,013 m	54,749 ± 0,043 m
TERM	13 ° 42 ' 41,14490 " N ± 0,001 m	89 ° 43 ' 5,11947 " W ± 0,001 m	220,480 ± 0,004 m
TEXW	14 ° 6 ' 58,46110 " N ± 0,002 m	89 ° 30 ' 0,29467 " W ± 0,002 m	486,065 ± 0,008 m
MTEX	14 ° 7 ' 45,69083 " N ± 0,002 m	89 ° 29 ' 48,59957 " W ± 0,001 m	430,995 ± 0,007 m
UNIN	13 ° 20 ' 20,72475 " N ± 0,002 m	87 ° 49 ' 52,26034 " W ± 0,001 m	5,327 ± 0,005 m
VMIG	13 ° 23 ' 46,13545 " N ± 0,002 m	88 ° 18 ' 16,68653 " W ± 0,001 m	376,819 ± 0,006 m