

Mediciones geodésicas GPS en el área del Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor.

*Hoyer M., Wildermann E., Royero G., Suárez H., Laboratorio de Geodesia Física y Satelital, LUZ.
Chaparro Y., Rondón E., Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor.*

Resumen

Como apoyo a los trabajos de ingeniería civil que se desarrollan en el área del Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor (SHYQ) ha sido necesario instalar un sistema de control geodésico el cual inicialmente, hace aproximadamente treinta (30) años, fue diseñado para mediciones convencionales de direcciones y distancias. De esta forma existe en la zona una red conformada por aproximadamente treinta (30) estaciones, la cual ha sido medida en varias épocas en el marco de un convenio de cooperación entre la Escuela de Ingeniería Geodésica (EIG) de LUZ y el SHYQ.

En Diciembre del año 2000 se efectuó por primera vez una campaña de mediciones GPS sobre casi la totalidad de los puntos. El proyecto comprendió mediciones estáticas con instrumentos de alta precisión, doble frecuencia, procesamiento con software científico y efemérides de precisión.

Las coordenadas obtenidas para las estaciones tienen calidad milimétrica en las componentes horizontales y un centímetro en la dirección vertical. Una remediación de la red se realizó en Enero del año 2002.

El trabajo describe los antecedentes del proyecto, las especificaciones de la actividad de campo y las características del procesamiento, así como algunas comparaciones con mediciones previas, convencionales y satelitales.

Summary

Supporting civil engineering tasks at Yacambú-Quíbor Hydraulic System (SHYQ) geodetic control had to be established in the affected region, some (30) years ago, originally based on conventional terrestrial observations of distances and theodolite directions. The network conformed by approximately (30) stations has been observed at various epochs under a joint convention between SHYQ and the Geodetic School of Zulia University, Maracaibo.

At December 2000, for first time, a GPS observation campaign has been realized including nearly all of the original network points. The project complaint high precision statically GPS observations with 2 frequency

receivers and processing by scientific software using precise ephemerides.

Coordinates obtained show millimeter quality for horizontal components and one centimeter in vertical direction. In January of 2002 a first GPS re-observation has been performed.

The paper states out some general project considerations, the characteristics of field campaign and processing by scientific software doing some first comparisons between satellite and terrestrial derived coordinates.

Introducción

Del 4 al 9 de Diciembre de 2000, la Escuela de Ingeniería Geodésica de la Universidad del Zulia a través del Laboratorio de Geodesia Física y Satelital efectuó mediciones GPS en casi la totalidad de los puntos que conforman la red geodésica convencional del Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor (SHYQ). Se trata de la primera campaña de mediciones satelitales que abarca toda la red, puesto que anteriormente se habían medido sólo algunas estaciones, específicamente los vértices extremos Y-14 y Mirador, ocupados varias veces durante las campañas del proyecto geodinámico internacional CASA. Durante una segunda campaña efectuada del 9 al 13 de Enero del año 2002 se midió el resto de los puntos, es decir, los no medidos en la primera oportunidad y además se reocuparon algunas estaciones de la primera fase.

La red geodésica convencional en el área de este proyecto hidráulico tiene dos finalidades, el soporte a todos los trabajos de construcción y el control de deformaciones en la zona producto de la acción geodinámica de la falla de Boconó. La misma fue instalada en el año 1973 y ha sido remediada en varias oportunidades, se trata de una triangulación conformada por 34 puntos extendidos en un área de aproximadamente 26 Km de largo y 10 Km de ancho.

Las mediciones GPS, en ambas campañas, se efectuaron con receptores muy modernos de doble frecuencia complementándolos (en la primera campaña) con equipos de frecuencia simple sólo con fines de redundancia en distancias cortas. El procesamiento se efectuó en forma independiente con software científico y cuasi-científico utilizando efemérides precisas para obtener la posición de los satélites. Las especificaciones de medición y de

Mediciones GPS en el área del SHYQ

procesamiento se diseñaron en forma muy rigurosa con la finalidad de obtener una alta precisión y exactitud en los resultados.

El presente trabajo describe el proyecto GPS realizado por iniciativa de la Gerencia de Construcción en el marco del convenio existente entre la Universidad del Zulia y el SHYQ. Inicialmente se describen los aspectos inherentes a la planificación, el instrumental utilizado y el trabajo de campo. Seguidamente se desarrollan los detalles del procesamiento de las mediciones, incluyendo los datos generados, los softwares, parámetros y metodología del procesamiento. Finalmente se realiza el análisis de los resultados, comparaciones y se formulan las respectivas conclusiones, complementando con la bibliografía.

La calidad de las coordenadas obtenidas en ambas campañas está en el nivel milimétrico para la posición y de un centímetro para las alturas elipsoidales, resultados que garantizan la confiabilidad de las coordenadas y que cumplen con las expectativas del diseño del proyecto.

Antecedentes

El Sistema Hidráulico Yacambú-Quíbor (SHYQ) se encuentra localizado en el Estado Lara y el proyecto tiene como objetivo aprovechar las aguas del río Yacambú, afluente del río Acarigua, el cual nace en la Sierra de Portuguesa. En esta zona se observa que del lado sur de la Sierra existe un área húmeda, con altas precipitaciones (más de 2.000 milímetros anuales) lo cual da origen al nacimiento de grandes ríos como el Acarigua, Portuguesa, Guache, entre otros, que pertenecen a la cuenca del Orinoco.

A comienzos de 1960 el Dr. José María Ochoa Pile, en algunos informes preliminares, se planteaba la posibilidad de traer agua desde el río Yacambú, para abastecer a Barquisimeto y regar el Valle de Quíbor.

En 1972 La Fundación de Desarrollo para la Comunidad (FUDECO) realiza estudios de factibilidad y se concluye que el río Yacambú es la fuente de agua más adecuada para suplir las demandas ya mencionadas.

Una vez definido que el río Yacambú era la fuente más factible y económica, se analizaron diversas alternativas para llevar agua desde el mismo hasta el Valle de Quíbor y Barquisimeto.

El Proyecto Yacambú-Quíbor consiste en la construcción de una presa de 162 metros de altura sobre el río Yacambú la cual formará un embalse que almacenará 435 millones de metros cúbicos e inunda un área de 852 hectáreas. Cerca de 300 millones de metros cúbicos al año serán trasvasados hasta la depresión de Quíbor por medio de un túnel de 24.3

Km de largo y 4.40 m de diámetro y que cruzará por debajo de las estribaciones de la Cordillera Andina a una profundidad variable de hasta 1.200 m.

Análogamente se construyó un túnel vertical denominado Ventana Inclinada de 2.04 Km de longitud, el cual permitió tener cuatro frentes de trabajo y posteriormente será una vía de acceso para el mantenimiento de la obra. Los cuatro frentes de trabajo fueron el portal de entrada, el portal de salida, ventana inclinada hacia entrada y ventana inclinada hacia salida.

La empresa TRANARG C.A. instaló una red conformada por 34 puntos extendidos en un área de aproximadamente 26 Km de largo y 10 Km de ancho para el control del Túnel Yacambú-Quíbor el cual atraviesa la Falla de Boconó. Las mediciones convencionales realizadas de esta red en distintas épocas permiten detectar variaciones en la posición de las estaciones.

La Escuela de Ingeniería Geodésica en el marco del convenio realizado con el SHYQ, ha venido ejecutando desde el año 1991 mediciones en esta red, para determinar la posición horizontal y vertical del eje del túnel de trasvase. Estas mediciones se han hecho de manera convencional, es decir, de direcciones y distancias.

Atendiendo a los requerimientos de precisión del mencionado proyecto, la empresa SHYQ se ve en la necesidad de actualizar las coordenadas de la red geodésica existente. A tal efecto se recurre a la selección de la técnica GPS como la más idónea para la obtención de las nuevas coordenadas de la red.

La técnica GPS permite obtener coordenadas tridimensionales en un sistema de referencia global, por naturaleza geocéntricas, ya sean geográficas o cartesianas, con una alta calidad en cuanto a exactitud y en corto tiempo aún cuando necesiten de una fuerte etapa de procesamiento para obtener resultados altamente refinados.

La medición GPS en dos épocas permitirá obtener vectores de desplazamiento de coordenadas de la red; considerando que el lapso de tiempo entre ambas campañas fue relativamente corto, debe esperarse el resultado del segundo procesamiento para evaluar la calidad de los vectores a ser obtenidos.

Mediciones GPS

La etapa de planificación de todo proyecto GPS debe contemplar todos aquellos aspectos que de acuerdo al objetivo del mismo garanticen la calidad deseada y necesaria. En el caso del proyecto GPS para el SHYQ se incluyeron todos los lineamientos requeridos en un trabajo de precisión.

Mediciones GPS en el área del SHYQ

Como objetivo fundamental del proyecto se definió la necesidad de medir con GPS las estaciones del control geodésico convencional del SHYQ, que permite disponer de coordenadas de alta precisión para el apoyo de los trabajos de construcción en el área y para establecer un marco de referencia en el control de deformaciones en la zona producto de la actividad geodinámica de la falla de Boconó.

Para ello se tomó en cuenta: Material e información disponible, diseño de la red, instrumentación, logística, reconocimiento, etc. Luego se elaboró el cronograma de observación.

La primera campaña se realizó desde el día 4 hasta el día 9 de Diciembre de 2000, se utilizaron 5 equipos GPS, 3 marca Ashtech Z-Surveyor, que pueden recibir todas la señales transmitidas por los satélites GPS (código P, código C/A, L1 y L2), y 2 receptores marca Trimble 4000ST que sólo reciben código C/A y frecuencia L1. La duración de las sesiones fue generalmente de 3 horas y la campaña completa duró 6 días, midiéndose un total de 28 vértices.

La segunda campaña se realizó desde el día 9 hasta el día 13 de Enero del año 2002, se utilizaron 6 equipos GPS marca Ashtech Z-Surveyor. La duración de las sesiones fue generalmente de 3 a 4 horas y la campaña completa duró 5 días, midiéndose un total de 36 vértices.

Procesamiento

El software empleado para el procesamiento definitivo de los datos obtenidos en campo fue el Bernese en su versión 4.0 para la primera campaña y para la segunda 4.2. El mismo fue diseñado en el Instituto Astronómico Universitario de Berna, Suiza, en el año 1996 (Rothacher, 1996)

Este software consta de un conjunto de más de 80 programas interrelacionados entre sí, concebidos en el lenguaje de programación Fortran 77 y que trabajan bajo el sistema operativo MS-DOS.

El conjunto de mediciones de la primera campaña comprende un total de más de 160 horas de observación, distribuidas en 59 sesiones de medición, de las cuales 36 corresponden a instrumentos Ashtech y 23 a instrumentos Trimble. Las sesiones Ashtech representan el 70 % de todas las observaciones. Todas las mediciones crudas alcanzan un volumen de 31.6 MB en 257 archivos.

La segunda campaña comprende un total de más de 230 horas de observación, distribuidas en 42 sesiones de medición, alcanzando un volumen de 53.72 MB en 224 archivos de datos crudos.

Las efemérides utilizadas en el procesamiento de las mediciones realizadas en el SHYQ son las precisas “finales” calculadas por el IGS, igualmente los parámetros de rotación terrestre (X_p , Y_p , $d\psi$, $d\epsilon$, UT1-UTC) fueron obtenidos vía Internet, y también son producto de los cálculos del IGS.

La vinculación con puntos fijos se efectuó utilizando Y-14 y Mirador como estaciones fijas, a las cuales se vincularían el resto de las estaciones. Su selección es motivada a que estos puntos forman parte del proyecto CASA (Drewes y otros, 1996) y por lo tanto disponen de coordenadas muy precisas. Las coordenadas utilizadas de Y-14 y Mirador corresponden al procesamiento de la campaña CASA de 1999, las cuales debieron ser transformadas a la época de medición. Para la primera campaña (Diciembre de 2000) la época era 2000.91 y para la segunda (Enero de 2002) la época era 2002.00.

En realidad lo correcto es disponer de vectores de velocidad para estas estaciones, producto de mediciones geodésicas en épocas diferentes en el mismo marco de referencia. Pero al no disponerse de esta información se acepta utilizar el modelo geofísico NNR-NUVELIA a pesar de sus debilidades. Este es el caso del presente proyecto.

Este modelo que describe el movimiento de placas tectónicas desarrollado por la Universidad de Northwestern, se basa en el promedio de las velocidades de placas tectónicas observadas sobre los últimos millones de años, derivadas de registros geológicos e información geofísica (Stein, 2001).

Es necesario mencionar que el modelo NUVEL fue adoptado por el IERS en sus estándares 1996 como el modelo que mejor describe la evolución con respecto al tiempo de los marcos de referencia terrestre.

El procesamiento de la primera campaña incluyó las mediciones efectuadas durante los seis días del trabajo de campo, inicialmente se revisaron los datos con el software AOS (Ashtech Office Suite) y se hicieron cálculos preliminares. Posteriormente se efectuó el procesamiento definitivo de forma independiente con los dos programas ya mencionados.

La segunda campaña también fue procesada por separado con ambos softwares.

Para el procesamiento de los datos GPS con el Software científico BERNESE, del Instituto Astronómico de la Universidad de Berna, se siguió la siguiente metodología: La formación de las líneas bases se haría siempre con respecto a las estaciones Y-14 y Mirador, pues tal como se mencionó anteriormente estas son estaciones

Mediciones GPS en el área del SHYQ

pertenecientes al proyecto CASA99 y sus coordenadas están en el marco ITRF 97.

Las líneas bases se formaron de acuerdo a la planificación establecida, la cual sugería la forma radial a partir de la estación base que estuviese midiendo en dicha sesión.

Para el caso de las estaciones que se midieron más de una vez para un mismo día, se dispuso que la primera sesión se llamaría sesión 0 y la segunda o última sesión 1 (incluso si las dos estuvieran en la misma tarde o en la misma mañana).

La cantidad de estaciones medidas dos veces alcanzan un nivel de 30 % en la primera campaña y 22 % para la segunda, siendo los puntos de la falla principales objetivos de estas remediciones debido a su importancia para el control de la misma.

En el caso de la estimación de parámetros utilizando Bernese se cumplió la siguiente metodología:

- Se procesaron sesiones independientes
- Se estimaron valores aproximados para los relojes del receptor provenientes de una solución de pseudo-rango.
- El modelo ionosférico a priori (función polinómica de la latitud geográfica y el ángulo horario del sol) se estimó para cada sesión. A la final se decidió optar por la combinación de libre ionosfera L3.
- Para la detección de saltos de ciclos se usaron las triples diferencias.
- Para la solución se usaron órbitas precisas provenientes del IGS, y con valores a priori de coordenadas que se ubicaban en ± 0.0030 m en todas sus componentes para la estación base, y ± 0.1000 m en todas las componentes de la estaciones remotas.
- El modelo troposférico de Saastamoinen es el usado en combinación con una atmósfera estándar para corregir los retrasos troposféricos.
- Las ambigüedades de las dobles diferencias son resueltas para las combinaciones L1&L2 fijando la estación base y usando la estrategia de resolución de ambigüedades QIF (Cuasi Ionosfera Libre)
- Para la eliminación de las ambigüedades resueltas y salvadas se usó la estrategia ELIMIN del mismo paquete de resolución de estrategias.

Para cada sesión se obtiene una serie de coordenadas con su matriz de ecuaciones normales (NEQ), estas ecuaciones normales se combinan para obtener una salida de resultados y otra matriz de ecuaciones normales como solución para ese día y que posteriormente, se combinarán junto con los otros días de la campaña para obtener el resultado final del procesamiento en forma ajustada.

Resultados, análisis y comparaciones

A pesar de haber efectuado algunas pruebas en el software AOS el cálculo definitivo debía ser el resultante del Bernese, por ser este un software científico más riguroso en todos los sentidos, sin embargo el procesamiento con AOS ayudaría a tener un cálculo totalmente independiente del anterior, cuyos resultados debían coincidir con los del Bernese en un nivel centimétrico como en efecto sucedió. Las coordenadas obtenidas para las estaciones en ambos cálculos difieren en promedio en ± 3 cm aproximadamente. Es necesario mencionar que esta comparación se efectuó para la primera campaña solamente.

La tabla 1 contiene el resumen del cálculo o ajuste combinado al cual se refieren los resultados definitivos de la primera campaña, aquí se indica el número de archivos, el RMS total de las coordenadas y el individual para cada uno de los 6 días de medición, información sobre el número total de estaciones, coordenadas y parámetros, el sigma de las observaciones de simple diferencia y el datum de las coordenadas, es decir ITRF 97 época 2000.9.

RESUMEN DE LA COMBINACION PROYECTO YACAMBÚ - QUÍBOR CAMPANA 2000									
#FIL	C	RMS	340	341	342	343	344	339	
	N	4,7	2	3,3	2,9	3,1	8,4	12,7	
	E	3,9	1,3	1,5	1,4	5,8	6,3	6,5	
	U	10,5	1,4	15,0	7,0	8,5	18,1	7,7	
	#STA	28	7	6	7	8	7	2	
	FAC		1,53	1,96	1,86	1,29	1,64	1,58	
NUMERO TOTAL DE ESTACIONES									: 28
COORDENADAS DE ESTACIONES									: 84
PARÁMETROS TROPOSFÉRICOS INDIVIDUALES POR ESTACION									: 55
NUMERO DE PARÁMETROS POR RESOLVER									: 139
SOLUCIONES ESTATICAS CORTAS:									
NUMERO TOTAL DE PARAMETROS									: 273
NUMERO DE OBSERVACIONES									: 111634
NUMERO DE ARCHIVOS DE SIMPLE DIFERENCIA									: 36
SIGMA DE LAS OBSERVACIONES DE SIMPLE DIFERENCIA									: 0,0045
DATUM GEODÉSICO:									ITRF 97 EPOCA 2000.9

Tabla 1: Resumen del cálculo combinado de la 1^{ra} campaña.

En la tabla 1 se certifica la calidad del cálculo combinado al evaluar el RMS de las coordenadas ajustadas, de ± 5 mm para posición y ± 1 cm para la altura. El sigma de las simples diferencias es de ± 4.5 mm.

En la tabla 2 se observa la calidad del cálculo combinado para la segunda fase de medición, los RMS de las coordenadas ajustadas están en el orden de ± 5 mm para la posición, ± 6 mm para la altura. El sigma para las simples diferencias es de ± 1.5 mm, lo cual es indicativo de la precisión obtenida.

Mediciones GPS en el área del SHYQ

RESUMEN DE LA COMBINACION PROYECTO YACAMBÚ - QUIBÓR CAMPAÑA 2002								
#FIL C	RMS	009A	009B	010	011A	011B	012	013
N	2,2	4,4	4,3	0,0	1,6	4,2	0,1	0,0
E	4,9	3,7	3,4	0,0	1,8	15,8	0,2	0,5
U	6,4	10,4	17,4	0,0	6,6	8,5	0,2	0,1
#STA	36	5	4	8	7	5	11	7
FAC		2,27	2,29	2,15	1,83	1,30	1,61	1,85
NUMERO TOTAL DE ESTACIONES								: 36
COORDENADAS DE ESTACIONES								: 108
PARÁMETROS TROPOSFERICOS INDIVIDUALES POR ESTACION								: 98
NUMERO DE PARÁMETROS POR RESOLVER								: 206
SOLUCIONES ESTATICAS CORTAS:								
NUMERO TOTAL DE PARAMETROS								: 311
NUMERO DE OBSERVACIONES								: 214148
NUMERO DE ARCHIVOS DE SIMPLE DIFERENCIA								: 40
SIGMA DE LAS OBSERVACIONES DE SIMPLE DIFERENCIA								: 0,0015
DATUM GEODÉSICO:								ITRF 97 EPOCA 2002.0

Tabla 2: Resumen del cálculo combinado de la 2^{da} campaña.

La tabla 3 muestra las diferencias entre las coordenadas calculadas para la primera campaña y la segunda, tomando en cuenta sólo los puntos ubicados sobre la falla, sin embargo estas diferencias no se deben interpretar como el desplazamiento definitivo de la falla sino solamente como una comparación de resultados preliminares.

Posteriormente se efectuará la combinación de las ecuaciones normales de ambas campañas para evaluar la posibilidad de derivar desplazamientos en las estaciones.

ESTACION	$\Delta\phi$ (m)	$\Delta\lambda$ (m)	Δh (m).
00FA	0,0096	0,0238	-0,0763
00FB	0,0056	0,0304	0,1085
00FC	0,0292	-0,0124	0,0309
00FD	0,0078	-0,0123	0,0352
00FE	0,0339	-0,0339	0,0632

Tabla 3: Diferencias entre las coordenadas GPS de la primera y segunda campaña de medición.

Considerando que las coordenadas de las cuales dispone hasta ahora el SHYQ son las derivadas de la red de triangulación convencional y que estas están en el datum La Canoa- Hayford, oficial en Venezuela hasta Abril de 1999, es necesario transformar las nuevas coordenadas GPS a este datum para poder efectuar alguna comparación. Esta transformación debe realizarse utilizando los parámetros recomendados para este efecto, los cuales tienen un error de aproximadamente medio metro en su determinación y por lo tanto impedirá establecer comparaciones en el mismo nivel de exactitud de las coordenadas obtenidas (Hoyer, 2001).

Lamentablemente cualquier comparación que se efectúe entre las coordenadas GPS y las convencionales estará

afectada por la imprecisión de la transformación del datum en el nivel de calidad de los parámetros como ya fue señalado.

Sin embargo la comparación directa de distancias obtenidas por GPS o calculadas a partir de las coordenadas cartesianas, con las medidas con distanciómetro es una buena muestra de la compatibilidad entre ambos procedimientos de medición y entre las redes mismas. Igualmente pueden compararse las distancias calculadas sobre el elipsoide (en este caso Hayford) a partir de coordenadas derivadas de GPS y de la red convencional.

Esta comparación se hizo para las distancias que se muestran en las tablas 4 y 5 a partir de los resultados GPS de la primera campaña, donde puede observarse que las diferencias están en el orden de decímetros o centímetros lo cual es aceptable de acuerdo a todo lo explicado anteriormente.

ESTACION INICIAL	ESTACION FINAL	DISTANCIA GEOD. CONV. (m)	DISTANCIA GEOD. GPS (m)	DIFERENCIA (m).
Y-14	Y-13	1.357,7078	1357,7819	-0,0741
Y-14	Y-08	12.813,0067	12813,2741	-0,2674
Y-14	Y-10	9.777,0434	9777,2894	-0,2460
Y-04	Y-11	16.808,2926	16808,6859	-0,3933
ZANC	Y-10	4.894,2246	4894,4313	-0,2067
ZANC	Y-09	3.881,9141	3882,0617	-0,1476

Tabla 4: Diferencias entre distancias geodésicas convencionales y GPS (1^{ra} campaña).

ESTACION INICIAL	ESTACION FINAL	DISTANCIA INCLINADA CONV. (m)	DISTANCIA GPS. (m)	DIFERENCIA (m).
Y-15	Y-11	7.822,9685	7.823,1536	-0,1851
Y-15	Y-12	7.106,6897	7.106,8488	-0,1591
Y-12	Y-11	3.635,5147	3.635,6177	-0,1030
Y-09	Y-10	4.590,7467	4.590,8415	-0,0948
VOLC	Y-12	7.724,7319	7.724,7601	-0,0282

Tabla 5: Diferencias entre distancias inclinadas convencionales y GPS (1^{ra} campaña).

Conclusiones

1. Se han efectuado mediciones GPS en dos campañas diferentes sobre la totalidad de los puntos de la red geodésica convencional del Sistema Hidráulico Yacambú-Quibor, utilizando instrumental, especificaciones y procesamiento de calidad que permitieron la obtención de alta exactitud en los resultados.
2. El procesamiento se realizó con el software Bernese en su versión 4.0 para la primera campaña, bajo rigurosas condiciones de cálculo y análisis.
3. El RMS de las coordenadas definitivas para esta campaña está en el orden de ± 5 mm para la posición y de

Mediciones GPS en el área del SHYQ

± 1 cm para la altura elipsoidal, valores aceptables para los objetivos del trabajo.

4. Para la segunda campaña se trabajó con el software Bernese en su versión 4.2, manteniendo los mismos parámetros y condiciones de procesamiento que para la fase anterior.

5. El RMS de las coordenadas definitivas para la segunda fase de medición está en el orden de ± 5 mm para la posición y de ± 7 mm para la altura elipsoidal.

6. El procesamiento con otro software independiente y la comparación de algunas distancias obtenidas por GPS con las medidas en la red convencional, certifican la calidad del trabajo ejecutado.

Agradecimiento: Los autores agradecen la valiosa colaboración recibida por parte del personal directivo, profesional y obrero del Sistema Hidráulico Yacambú – Quibor para la ejecución de este trabajo, especialmente del Ing. León Aldazoro.

Bibliografía

- Acuña O. Gustavo A.: **Sistrefe v1.0. Software para la Determinación y Transformación de Coordenadas entre distintos Sistemas de Referencia Geodésicos Terrestres.** Informe Técnico. Dpto. de Geodesia Superior. Escuela de Ingeniería Geodésica. La Universidad del Zulia. 1997.

- Drewes H., Kaniuth K., Struber K., Tremel H., Khale H., Straub CH., Hernández N., Hoyer M. and Wildermann E.: **The CASA'93 GPS campaign for crustal deformation research along the South Caribbean plate boundary.** J. Geodynamics Vol. 20, N° 2, pp. 129-144. Elsevier Science Ltd. Great Britain, 1995.

- Hoyer Melvin, Wildermann Eugen, Acuña Gustavo: **Modernos Sistemas Geodésicos de Referencia.** Cursos de extensión. pp. 6-19. FLSTP. Universidad del Zulia. Maracaibo, Diciembre 1999.

- Hoyer Melvin, Wildermann Eugen, Acuña Gustavo: **La Transformación del Datum Geodésico PSAD-56 al Sistema REGVEN.** I Jornadas Nacionales de Topografía, San Carlos, 3 y 4 de Mayo de 2001.

- Rothacher Markus, Mervart Leos: **Bernese GPS Software Version 4.0.** Astronomical Institute, University of Berne. 1996.

- Stein, Seth: **NUVEL-1 Global Relative Plate Motion Model.** Class Material for Geology 107: Plate Tectonics. 2001.
<http://www.earth.northwestern.edu/people/seth/107/Platemotion/nuvel.htm>

- Terrasat GmbH Germany and Ashtech Inc.: **Ashtech Office Suite for Survey. User's Manual.** AOS Version 1.5. Spectra Precision. USA, 1998.