

# Aspectos del procesamiento de mediciones GPS para labores de prospección

*Eugen Wildermann y Melvin Hoyer*

*Escuela de Ingeniería Geodésica, Departamento de Geodesia Superior  
Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia.*

## Resumen

El trabajo describe los aspectos más importantes en los cuales se fundamenta el procesamiento y obtención de resultados de mediciones GPS que tengan como objetivo el apoyo geodésico a labores de prospección petrolera. Sin considerar la vinculación del proyecto de prospección con el de mediciones GPS, lo cual debe ser tomado en cuenta especialmente para la fase de la planificación de las mediciones satélites, el trabajo analiza los siguientes aspectos: software disponible, postprocesamiento, aceptación de resultados, vinculación con la red de control básica, problemática de las alturas, transformación al datum nacional, evaluación de la calidad de los resultados etc. Posterior a una descripción genérica de cada uno de los tópicos antes mencionados, estos se aplican al procesamiento de las mediciones GPS de un importante proyecto que se ejecuta en el país con la finalidad de servir de apoyo a labores de prospección.

**Palabras claves:** GPS, exploración, apoyo geodésico.

## Some aspects of processing GPS measurements for oil industry exploration work

### Abstract

Some important aspects related to the processing of GPS measurements for geodetic support at oil industry exploration work are shown. Excluding links between the demands of an prospecting project to GPS measurements at the important phase of planning the observations this work analyses the following points: available software, postprocessing, result analysis and acceptance, link to national control networks, height component problems, transformation to national datum, estimation of data and result quality. Concluding the theoretical considerations the method has been applied to GPS measurements made at an important national observation project to geodetic control for geophysical exploration tasks.

**Key words:** GPS, exploration, geodetic support.

### 1. Introducción

El sistema de Posicionamiento Global GPS se utiliza en Venezuela actualmente para diversos fines y por parte de diversas instituciones públicas y privadas. Una de las aplicaciones más generalizadas es proporcionar el control geodésico

necesario para apoyar labores de prospección de la industria petrolera.

De las tres fases fundamentales que comprende todo proyecto satelital GPS: Planificación, Mediciones y Procesamiento, puede decirse que el objetivo para el cual se realizará el trabajo,

influye especialmente en la primera de ellas, es decir el objetivo o finalidad con la cual se ejecutará el proyecto determinará el número y ubicación de los puntos a medir, la separación entre ellos, la selección del instrumento, la duración de las observaciones, etc. La segunda fase es consecuencia de la planificación. Sin embargo el procesamiento debe condicionarse, en cuanto a sus posibilidades y exigencias, también al objetivo del trabajo.

Aún cuando, en realidad, no puede decirse que las mediciones GPS que se realicen para apoyar labores de prospección, deban procesarse en una forma diferente o particular solamente por el hecho del objetivo para el cual se ejecutan, si debe reconocerse que las exigencias de exactitud, generalmente bajas, de los puntos geodésicos que se requieren para estos fines (por ejemplo 1:20.000) permite ciertas consideraciones tanto en la planificación como en el procesamiento de las observaciones GPS que diferencian estos proyectos de otros con diferentes objetivos.

En el presente trabajo se exponen algunos aspectos importantes y de carácter general que deben considerarse al procesar mediciones satelitales GPS con fines de determinar coordenadas para estaciones en las cuales se apoyaran posteriormente trabajos exploratorios o con fines similares.

Se plantean aspectos con el software disponible, el postprocesamiento, la vinculación con la red básica, la expresión de resultados en el sistema nacional, etc. Se intenta no vincular la descripción de estos aspectos generales con ningún proyecto o naturaleza de mediciones en particular, sin embargo se restringen las herramientas y análisis para el caso concreto que nos ocupa.

Posteriormente se presenta la aplicación de los tópicos descritos a un proyecto ejecutado por una empresa petrolera nacional en el cual los autores del trabajo fungieron como asesores en todas las etapas del trabajo.

## 2. Software disponible

El método satelital GPS se caracteriza por acumular una gran cantidad de observaciones originales. Para fines geodésicos se mide simultáneamente a un mínimo de 4 satélites cada 15 segundos, lo que se conoce como época de observación. La alta precisión de GPS se puede obtener solamente de manera relativa. Un mínimo de 2 equipos tiene que observar simultáneamente para determinar la línea base entre los puntos. En cada estación se acumulan las mediciones sobre un lapso de tiempo establecido anteriormente por los criterios del proyecto. Todas estas mediciones son necesarias para derivar las 3 componentes del vector espacial entre las estaciones.

Para realizar este proceso los equipos GPS vienen acompañados por sus paquetes de programas de procesamiento. Cada productor de instrumentos tienen su propio sistema de programas:

- WILD-MAGNAVOX con sus equipos WM101, WM102, etc., utiliza el sistema PoPS;
- TRIMBLE Nav. ha desarrollado para sus equipos 4000SL, 4000ST, etc., el paquete de programas TRIMVEC;
- ASHTECH Inc., TEXAS INSTRUMENTS, MOTOROLA, SERCEL, etc., también vienen todos con sus propios sistemas.

Los paquetes de software son adaptados a microcomputadoras para ofrecer un uso directo durante los trabajos de campo. No solamente pueden procesar los datos provenientes de los satélites, sino que también ofrecen otros módulos para

- planificar las mediciones GPS,
- preparar los equipos para la medición,
- transferir los datos archivados a diskettes o micros,
- procesar las observaciones simultáneas para calcular las líneas bases entre estaciones,
- transformar coordenadas,
- chequear precisión y calidad de mediciones.

El paquete acompaña al usuario durante todo su trabajo con GPS. Así se puede tener un control "ON THE JOB". Antes de salir del área de campo ya se ha verificado, que las líneas bases medidas cumplen las condiciones preestablecidas del proyecto.

Aparte existen otros sistemas de programas desarrollados la mayoría de ellos en instituciones universitarias, pero también en algunas empresas consultora privadas. Estos ofrecen, además de los lapsos anteriormente mencionados,

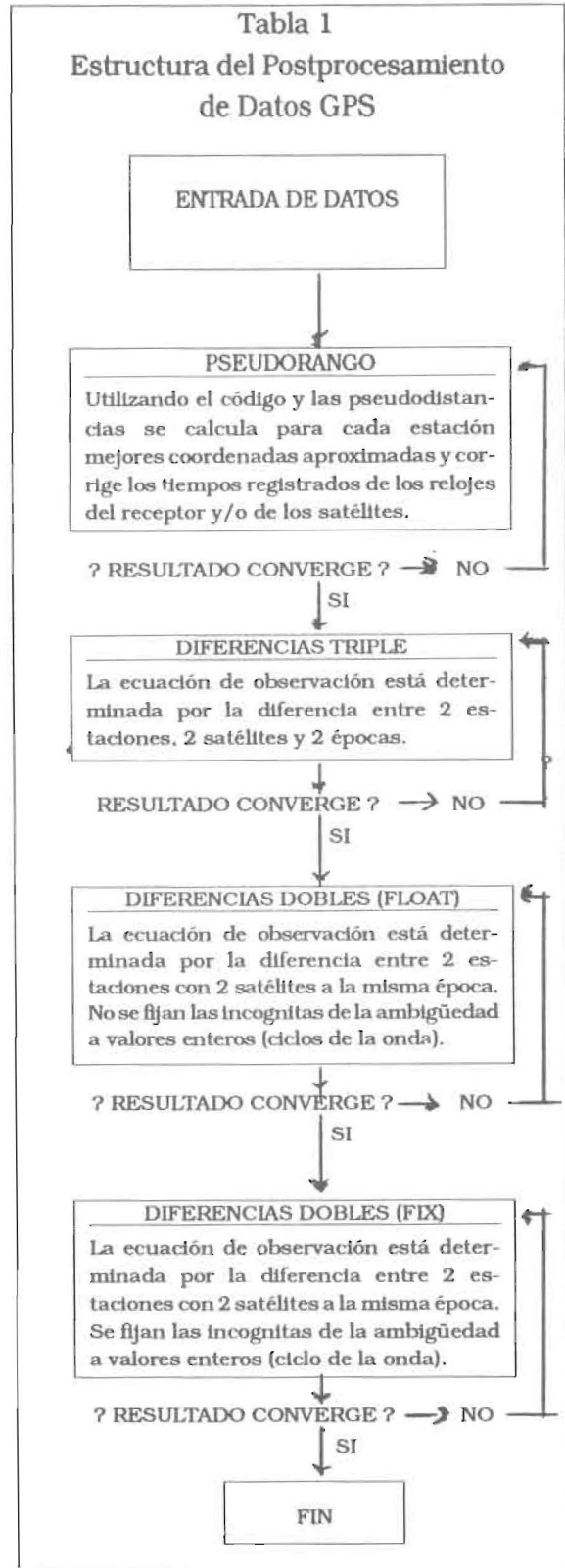
- la combinación de equipos de diferentes fabricantes en un procesamiento conjunto,
- más flexibilidad en el manejo de opciones y modos de cálculo,
- combinación de datos GPS con mediciones convencionales, etc. (Gurtner y otros, 1989).

Con los avances recientes de la tecnología de la microelectrónica hoy en día la mayoría de los sistemas del segundo grupo también están disponibles en micros (Bernese GPS Software, TOPAS, GEONAP, etc.).

Debido a la gran competencia en el mercado del software GPS todos tratan de mejorar sus productos permanentemente. Un aspecto principal es simplificar el uso del paquete. Pero también se incorporan nuevos modos y métodos de medición y procesamiento. Durante los últimos años el método GPS ha pasado por varios cambios fundamentales y extensión de ambiente de aplicación (Proceedings, 1985, 1990).

### 3. Postprocesamiento

El paso fundamental de procesamiento GPS es el cálculo de la líneas bases utilizando las mediciones simultáneas, conocido también como **postprocesamiento**. Los aspectos fundamentales no varían mucho entre los diferentes programas. Para explicar el método del postprocesamiento se utiliza como ejemplo el paquete TRIM-VEC (Trimble, 1989). El cálculo se fundamenta en un algoritmo iterativo en cada uno de hasta 4 pasos principales (ver tabla 1).



El aspecto general es estimar por compensaciones iterativas mejores valores para las componentes de la línea base (el vector espacial entre las estaciones), más incógnitas del proceso (biases, condiciones atmosféricas, etc.). Se estiman también varianzas y correlaciones entre los parámetros para fines de chequeo y control.

El usuario tiene varias opciones de guía para el cálculo:

- fijación de coordenadas predeterminadas,
- introducción de información e incógnitas adicionales,
- eliminación de datos de satélites,
- restringir la cantidad de datos para el procesamiento, etc.

Introduciendo estos datos el programa ejecuta los cálculos necesarios, para parámetros no especificados utiliza sus valores preestablecidos, el programa corre en un modo **automático**. El usuario puede seguirlo por los resultados intermedios, que se muestran en la pantalla. Pero no se pueden cambiar los parámetros establecidos, mientras el programa corre. Supongamos un caso normal de los trabajos GPS para la prospección con 3 equipos observando por 2 horas y un postprocesamiento de las líneas conjuntas. El proceso puede tardar más de 1 hora utilizando un micro de configuración standard. Aprovechando la nueva generación de microcomputadoras (series 386 y 486) el tiempo de procesamiento se puede reducir por un factor entre 2 y 10. Analizando los resultados intermedios y los archivos de salida se puede adaptar las opciones para evaluar una solución óptima.

El procesamiento **automático** tiene las siguientes características:

- supone buenas condiciones para toda la medición (ambiente de la estación, comportamiento del equipo),
- supone un sistema de satélites trabajando sin problemas,
- está limitado a cambios de las opciones principales del paquete,
- optimiza los datos internamente para obtener un resultado en tiempo corto.

Por otra parte el usuario puede incorporarse a un procesamiento **manual**. Respondiendo a cada pregunta del programa en forma interactiva se obtiene la flexibilidad mas grande en relación a las opciones de cálculo. Iterando hasta llegar a convergencia o repitiendo partes del proceso se pueden mejorar los resultados.

Este modo de procesar necesita un experto con conocimientos profundos de GPS, del paquete y las posibilidades de su hardware. El tiempo para correr un cálculo también aumenta.

Considerando los dos extremos se ha desarrollado un procesamiento **semiautomático** (Wildermann, 1990a). De acuerdo al análisis de los cálculos con procesamiento manual que resultan exitosos, puede concluirse que en la mayoría de los casos éste éxito se debe al manejo de las siguientes opciones:

- introducir información adicional, como coordenadas, meteorología, etc.,
- eliminar datos de satélites,
- restringir los tiempos de datos para procesar,
- utilizar diferentes épocas de datos observados.

Se construye un archivo de opciones mediante un programa aparte, este archivo se puede manipular adicionalmente con cualquier editor para micros. El programa principal de postprocesamiento utiliza este archivo como entrada.

Las últimas versiones del programa de postprocesamiento ofrecen una extensión de manera similar. Hay ahora menús y archivos adicionales, que permiten manipular mas opciones. Los programas están sometidos a varios cambios en poco tiempo.

Revisando los resultados intermedios en la pantalla y los archivos de salida se busca una solución óptima para la línea calculada. la aceptación depende de varios criterios:

- especificaciones del proyecto,
- desviaciones standard de las líneas obtenidas,
- correlaciones entre incógnitas,
- tests estadísticos,
- confiabilidad de resultados, etc.

Hay una gran cantidad de índices en los archivos de salida o comparando diferentes cálculos. Pero nunca se puede olvidar, que todos estos índices tratan la **estabilidad interna del sistema**.

#### 4. Vinculación con la red de apoyo

Si bien es cierto que el GPS permite determinar las coordenadas **absolutas** del lugar de observación mediante el modo de medición de pseudodistancias, estas no tienen la calidad suficiente como para servir de apoyo a la generalidad de los trabajos en los cuales se emplea la metodología satelital. Por lo tanto será necesario que los proyectos satelitales se **apoyen o vinculen** a los sistemas de control geodésico básico del país.

Ha sido mencionado con anterioridad que las mejores exactitudes que ofrece el GPS se obtendrán en determinaciones relativas de posición, lo cual permite la opción en el procesamiento de calcular las coordenadas del extremo de una línea base con respecto a las coordenadas introducidas (o **fijadas**) para el otro extremo, o bien con respecto a las determinadas en las mismas mediciones mediante pseudodistancias.

Considerando que en la mayoría de los casos se requerirá o se preferirá vincular el proyecto con el sistema de control geodésico básico del país, vale la pena analizar las condiciones favorables u óptimas en la cuales se materializará esa vinculación.

Es conveniente iniciar el proceso de medición en un punto para el cual se conozca sus coordenadas en el sistema de control nacional con la mejor exactitud posible, casi independientemente de los objetivos del trabajo, nos referimos al hecho de que en algunas ocasiones habrán cerca del lugar de inicio del proyecto varias posibilidades para seleccionar el punto de arranque, esto es: vértices de triangulación y estaciones poligonales del control básico o de alguna otra empresa o institución, considerando además los diferentes órdenes de exactitud en uno u otro caso. Tomado en consideración la

tridimensionalidad de las coordenadas requerida, se ameritará combinar control horizontal con vertical (Hoyer, 1990). Una vez seleccionadas las coordenadas latitud, longitud y altura del punto inicial del proyecto, será necesario transformarlas al sistema WGS-84 previamente a su introducción al software (ver cap. 5).

De especial importancia para el éxito del procesamiento será la posibilidad de contar con mediciones GPS sobre varios puntos del control horizontal y vertical, esto permitirá disponer de controles adicionales al evaluar los resultados, así como hacer una compensación conjunta en el caso de disponer de un software que lo permita. La frecuencia de estas mediciones sobre puntos de la red nacional debe ser objeto de análisis en cada proyecto en particular, sin embargo en nuestro país debido al desconocimiento de las ondulaciones del geode debe prestarse atención adicional al control vertical con respecto al horizontal (ver Cap. 6).

#### 5. Expresión de resultados en el sistema nacional

Las coordenadas obtenidas mediante la técnica GPS son expresadas por los programas de cálculo en el sistema global WGS-84 por lo tanto para su utilización posterior se requiere transformarlas al sistema nacional. Este problema ha sido ampliamente tratado en (Hoyer, 1986 y Hoyer, 1990).

El conocimiento de parámetros de transformación apropiados será necesario primeramente para convertir las coordenadas del punto de arranque del sistema local o nacional al WGS-84 y posteriormente para transformar los resultados GPS del WGS-84 al sistema nacional. Sin embargo por conocerse mejor para el país parámetros entre el WGS-72 y La Canea, se ha sugerido utilizar este sistema intermedio en la transformación.

La comparación entre las coordenadas de los puntos de la red de control medidos con GPS y las obtenidas por esta técnica, si bien en general es inevitable, no debe convertirse en práctica común para evaluar la bondad y calidad de las



mediciones GPS. Debe prestarse mucho cuidado a las condiciones en las cuales se efectuaron las observaciones y a los factores que pueden incidir en las diferencias a obtenerse.

En general debe preferirse programas para procesar mediciones GPS en conjunto con mediciones terrestres que permitan evaluar la calidad de las coordenadas obtenidas mediante modernos criterios estocásticos.

## 6. Problemática de las alturas.

Siempre debe repetirse que las alturas obtenidas por GPS están definidas geométricamente con respecto al elipsoide asociado al modelo terrestre WGS-84 y que para su vinculación con los sistemas de altura de uso frecuente, definidos en el campo gravitatorio, deben conocerse las ondulaciones del geoide.

¿Pero cuál es la realidad? Hay una falta casi total de información geoidal en Venezuela. Solamente algunas investigaciones científicas tratan este asunto en áreas limitadas (Wildermann, 1990b) o han hecho propuestas para todo el país (Medina., Hoyer, 1990). Uno de los problemas más grandes es la deficiencia y mala distribución de datos terrestres, especialmente en áreas de prospección solo se dispone de pocas mediciones.

¿De qué forma puede contribuir GPS a resolver este problema? Se ven dos posibilidades principales:

- utilizando **solamente** alturas provenientes de GPS

En este caso, se obtiene una exactitud uniforme para las componentes 3D de toda la red GPS. Pero no es posible una combinación con mediciones adicionales provenientes, p.e., de la nivelación. No se puede incorporar toda la información acumulada anteriormente, eliminando adicionalmente la posibilidad de chequear estos datos con mediciones independientes obtenidas por el método satelital.

- determinando un geoide local en el área de interés

Dos aspectos tiene que ser incorporados en este modelo. El geoide es una superficie física, se puede determinar por superposición de efectos globales y locales. Los primeros alcanzan a más de 90% del total. Hasta un cierto grado de aproximación se puede calcular la parte global por medio de un modelo geopotencial (Rapp, 1986). Eliminado este efecto en los puntos se determina la variación local con mediciones GPS sobre puntos del control vertical.

## 7. Aplicación al Proyecto GPS90-1

### 7.1 Generalidades

En Febrero de 1990 se iniciaron las mediciones del Proyecto APTE ( Apoyo para Trabajos Exploratorios) de la empresa CORPOVEN con la finalidad de dotar de control geodésico a una extensa área del territorio nacional sobre la cual se efectuarían labores prospectivas (Borrego, Leon, 1991). La Escuela de Ingeniería Geodésica de LUZ ha brindado su asesoría en todas las fases del trabajo. Las mediciones efectuadas hasta Julio de 1990 comprende el **Proyecto GPS90-1**

Según los análisis de la empresa, una exactitud relativa de 1:20.000 entre las coordenadas finales obtenidas por GPS, sería suficiente para satisfacer las exigencias del proyecto sísmico. La ubicación de los puntos a medir fue seleccionada por la empresa evitando separaciones mayores 30 km entre ellos. Se utilizaron tres unidades receptoras marca TRIMBLE modelo ST, trabajando en configuraciones triangulares y en períodos de observación de aproximadamente dos horas.

La planificación del proyecto incluyó la consideración de los problemas logísticos especialmente de acceso y seguridad en la zona de medición (áreas rurales de los Edos. Barinas, Portuguesa, Cojedes, Guárico, etc.).

Durante la observación el operador anota en un formato específico las coordenadas de la estación que se va suministrando el instrumento, en intervalo de 15 minutos al comienzo de la medición y después cada 30 minutos, asimismo los valores del PDOP, del SRN y de cualquier

circunstancia especial que pueda ser de interés en el momento del procesamiento.

**7.2 Procesamiento**

Para el procesamiento de las mediciones se utilizó el software de la casa TRIMBLE: TRIMVEC PLUS, el cual se describe en (Trimble, 1989)

Durante las mediciones se establece una **Central de Cálculo** en el campo, la cual se encargará de elaborar el plan de observación del día siguiente y de evaluar, mediante un procesamiento preliminar, las mediciones recientes, chequeando fundamentalmente que se cumplan los criterios de aceptación de resultados (rms y ratio), generalmente en modo automático o semi-automático.

Con la finalidad de mostrar un ejemplo de la metodología empleada para el procesamiento de las mediciones, se presenta un sector del proyecto GPS90=-1 (Fig. 1) que comprende 5 triángulos y 8 puntos, de los cuales uno coincide con la red básica del país y otro es un B.M. de la D.C.N. . Un punto adicional, de la red de triangulación de primer orden, formaba parte de la planificación entre las estaciones 2313 y 2308, lo cual dividía el triángulo 2313-2312-2308 en otros dos más pequeños, sin embargo este vértice

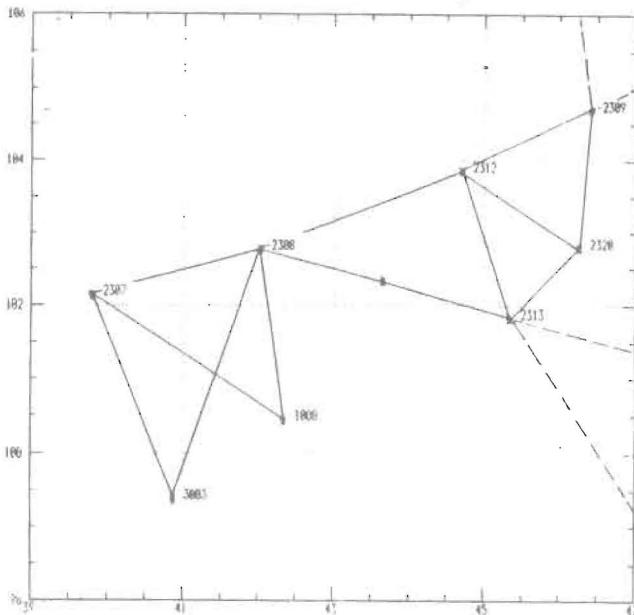


Figura 1. Puntos GPS del Sector

Las mediciones se efectuaron según el siguiente orden:

Triángulo	Día	Estaciones
74	15.03.90	2313-2312-2308
75	16.03.90	2308-2307-Cubera(1008
76	17.03.90	2308-2307-B.M. (3003)
77	18.03.90	2313-2312-2320
79	20.03.90	2312-2320-2309

Las coordenadas para la primera estación del sector (2313) provienen del cálculo de un triángulo anterior.

Como ejemplo se presenta en la tabla 2 la solución del procesamiento del triángulo 77, en la cual puede apreciarse información general sobre la medición, resultados del procesamiento y parámetros estadísticos.

Vale la pena destacar que los únicos vectores determinados independientemente son aquellos que corresponden a los dos lados más cortos del triángulo, derivándose el tercer lados a partir de los otros dos.

En la tabla 3 se presentan las coordenadas de las soluciones TRIMVEC de los triángulos del sector, en la cual puede apreciarse la transferencia de coordenadas en el cálculo de un triángulo a otro y además la comparación entre las coordenadas de las estaciones 2312 y 2320 obtenidas en diferentes soluciones.

De la medición de la misma línea base en dos triángulos (y días) diferentes podemos apreciar la consistencia interna de los resultados GPS, al efecto la tabla 4 presenta resultados obtenidos para las líneas bases 2313-2312 y 2312-2320 que permite hacer tal comparación.

La expresión de las coordenadas GPS en el sistema nacional amerita la respectiva transformación, utilizando el WGS-72, según se explicó en el Cap. 5, como datum intermedio. La tabla 5 presenta el resultado de la transformación para la estación 2313.

Tabla 2.  
Resultado del Procesamiento GPS procedente del TRIMVEC-PLUS para el día 77

TRIMVEC GPS RELATIVE POSITIONING SOLUTION SUMMARY: VERSION 89.120MB						
OPTIMUM SOLUTION OUTPUT FILE: MBL0770.opt						
Start date/time: 1990/ 3/18 10:44:45. day of year 77 low 38685						
Stop date/time: 1990/ 3/18 12:35:45. day of year 77 low 45345						
STATION INFORMATION						
Sta	ID	Ant (m)	Latitude	Longitude	Hgt (m)	
1	2313	1.481	9:12'30.83977"N	69:25'37.03348"W	133.186	
2	2320	1.399	9:17'43.87094"N	69:20'33.57673"W	146.098	
3	2312	1.451	9:23'31.25599"N	69:29'06.72149"W	319.758	
Origin of station 1 coordinates : User input						
COMPUTED VECTOR INFORMATION						
Station From To	Slope Distance (m)	Normal Azimuth (dms)	Section Angle (dms)	Vertical Angle (dms)	Fixed Quality	RDOP
1 2	13352.489	043 54 57.25	-000 00 17.15	3.66	0.0400	
2 3	18951.213	304 17 24.10	000 26 23.11	n/a	0.1110	
ALL VECTORS (dx, dy and dz between ECEF Coordinates)						
From To	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dist(m)	dh(m)	
FIX 1 2	8129.391	4696.546	9494.442	13352.489	12.012	
1 3	-7078.678	852.455	20054.200	21276.849	186.572	
FLT 2 3	-15208.068	-4044.091	10559.757	18951.213	173.660	
LL solution						
Measurements used: 541 Rejected: 29 RMS (cycles) .070						

Tabla 3.  
Coordenadas de las estaciones del sector (sistema WGS-84)

STATION INFORMATION						
Sta	ID	Ant (m)	Latitude	Longitude	Hgt (m)	
Dia 74						
1	2313	1.396	9:12'30.83977"N	69:25'37.03348"W	133.186	
2	2312	1.453	9:23'31.25486"N	69:29'06.71899"W	319.808	
3	2308	1.557	9:17'36.00558"N	69:43'42.47160"W	320.862	
Dia 75						
1	2308	1.774	9:17'36.00558"N	69:43'42.47160"W	320.862	
2	2307	1.465	9:14'03.68302"N	69:55'50.87922"W	415.840	
3	1008	1.396	9:04'51.66887"N	69:41'59.53230"W	260.005	
Dia 76						
1	2307	1.464	9:14'03.68302"N	69:55'50.87922"W	415.840	
2	3003	1.440	9:59'02.99593"N	69:49'56.98501"W	153.502	
Dia 77						
1	2313	1.481	9:12'30.83977"N	69:25'37.03348"W	133.186	
2	2320	1.399	9:17'43.87094"N	69:20'33.57673"W	146.098	
3	2312	1.451	9:23'31.25599"N	69:29'06.72149"W	319.758	
Dia 79						
1	2312	1.369	9:23'31.25599"N	69:29'06.72149"W	319.758	
2	2320	1.503	9:17'43.87273"N	69:20'33.57475"W	146.023	
3	2309	1.393	9:28'09.66080"N	69:19'43.36863"W	237.786	



Tabla 4.  
Comparación de líneas bases observadas en diferentes días

Day	From	To	dx(m)	dy(m)	dz(m)	dist(m)	dh(m)
Línea base 2312-2313							
74	1	2	-7078.587	652.430	20054.174	21276.794	186.622
77	1	3	-7078.678	652.455	20054.200	21276.849	186.572
Diferencias:			0.019	-0.025	-0.026	-0.055	0.050
Línea base 2312-2320							
77	3	2	15208.068	4044.091	-10559.757	18951.213	-173.660
79	1	2	15208.096	4044.101	-10559.715	18951.233	-173.735
Diferencias:			0.028	-0.100	-0.042	-0.020	0.085

Tabla 5.  
Transformación de coordenadas del punto 2313 al Datum La Canoa

```

***** TRA2/REV.VER 900521/EIG-EW FTN77/AT *****
***** 2 CONSECUTIVE DATUM TRANSFORMATIONS *****

*** TRASF2: TRANSFORMATION WGS72 -> WGS84
PARAM.: .0000 .0000 4.5000 .0000 .0000 .0000 .2263
ELLIP.: 6378135.000 .0066943178 6378137.000 .0066943800

*** TRASF2: TRANSFORMATION CANOA/VE_H -> WGS72
PARAM.: -298.6000 100.5000 -368.9000 .0000 .0000 .0000 .0000
ELLIP.: 6378388.000 .0067226700 6378135.000 .0066943178

***** TRASF2: TRANSFORMATIONS CHOSEN *****
1 -> 2 WGS84 -> WGS72
2 -> 3 WGS72 -> CANOA/VE_H

**RETNL: OPTIMUM SOLUTION OUTPUT FILE: smb0740.opt
      BASELINE 1->2 MBL SOLUTION FIX
      BASELINE 2->3 MBL SOLUTION FIX

STATION: 2313
SYSTEM : WGS84          A(M)= 6378137.000  E2(I)= .0066943800
LATITUDE (".',."'):  9.12.30.83977 N      X:  2212636.327 m
LONGITUDE (".',."'): 69.25.37.03348 W      Y: -5895042.461 m
ELLIP. HEIGHT (M):   290.34.22.86652 E      Z:  1013960.845 m

SYSTEM : WGS72          A(M)= 6378135.000  E2(I)= .0066943178
LATITUDE (".',."'):  9.12.30.69313 N      X:  2212610.993 m
LONGITUDE (".',."'): 69.25.37.58748 W      Y: -5895047.069 m
ELLIP. HEIGHT (M):   290.34.22.41252 E      Z:  1013956.115 m

SYSTEM : CANOA/VE_H     A(M)= 6378388.000  E2(I)= .0067226700
LATITUDE (".',."'):  9.12.42.44731 N      X:  2212918.593 m
LONGITUDE (".',."'): 69.25.29.58685 W      Y: -5895147.569 m
ELLIP. HEIGHT (M):   290.34.30.41315 E      Z:  1014325.015 m
    
```

En la tabla 6 se muestran las coordenadas ya transformadas al datum La Canoa para las otras estaciones, en esta pueden observarse los valores obtenidos para el vértice CUBERA de la D.C.N, las cuales arrojan las siguientes diferencias con respecto a las coordenadas de la red de triangulación: en latitud 0."005 y en longitud -0."017.

cial OSU86F (Rapp, Cruz, 1986). - El paquete del procesamiento GPS incluye como opción un programa de cálculo de geoides globales.- El geoide se ubica a una profundidad de aproximadamente - 10 m en la zona considerada. Está situado dentro del elipsoide de referencia. Del límite este (3000) se hunde a más profundidad en dirección al noreste (3004, 3005). La variación alcanza - 5

Tabla 6.

Coordenadas de los puntos GPS del sector en el datum La Canoa en la parte inferior se comparan las coordenadas GPS con las del vertice de D.C.N.

Punto	Latitud [° ' " ]	Longitud [° ' " ]	Altura [m]	Sistem
2313	9. 12. 42. 447	-69. 25. 29. 587	137. 858	CANOA
2312	9. 23. 42. 855	-69. 28. 59. 262	325. 376	CANOA
2308	9. 17. 47. 616	-69. 43. 34. 989	324. 790	CANOA
2307	9. 14. 15. 300	-69. 55. 43. 375	418. 545	CANOA
1008	9. 5. 3. 288	-69. 41. 52. 058	262. 732	CANOA
3003	8. 59. 14. 623	-69. 49. 49. 497	155. 064	CANOA
2320	9. 17. 55. 472	-69. 20. 26. 138	151. 665	CANOA
2309	9. 28. 21. 253	-69. 19. 35. 927	244. 493	CANOA
GPS 1008	9. 5. 3. 288	-69. 41. 52. 058	262. 732	CANOA
DCN CUBERA	9. 5. 3. 293	-69. 41. 52. 041	261. 780	CANOA
Diferencias:	-0. 005	+0. 017	0. 952	

Las alturas obtenidas para las estaciones GPS ameritan una corrección de acuerdo a lo explicado en el Cap. 6. Por no existir, hasta el presente, suficientes mediciones GPS sobre puntos de control vertical en este sector no se presentan las respectivas comparaciones para las alturas. Por lo tanto se muestra el modelo propuesto en los estados Barinas, Portuguesa y Cojedes del proyecto total.

La Fig. 2 muestra los resultados obtenidos. La parte superior indica las alturas elipsoidales de los puntos de control medidas con GPS. Los puntos 3000 y 3004 están situados en el pie de monte andino. El resto se ubica en plenos Llanos con alturas cerca de 60 m.

La parte media del gráfico contiene el efecto global del geoide, calculado por modelo geopoten-

m en la extensión del área de 2°.

La parte restante (local) alcanza a menos de  $\pm 1$  m, véase la figura abajo. Utilizando una conexión entre 3000 - 3005 como eje de rotación se ve incremento del efecto local del noroeste (valores < 0 m) al sureste (valores > 0 m).

Este cálculo realizado para el proyecto GPS90-1 se tiene que interpretar como una primera prueba. Areas tan homogéneas en relación a topografía y geología como los Llanos forman un ejemplo relativamente fácil de manejar en la determinación geoidal. Con pocas estaciones de control se puede especificar la variación del geoide local. La exactitud se determina por puntos de chequeo. Ente 3000 y 3002 hay un punto GPS, que fue nivelado dentro de otro proyecto. La discrepancia entre la altura ortométrica de-

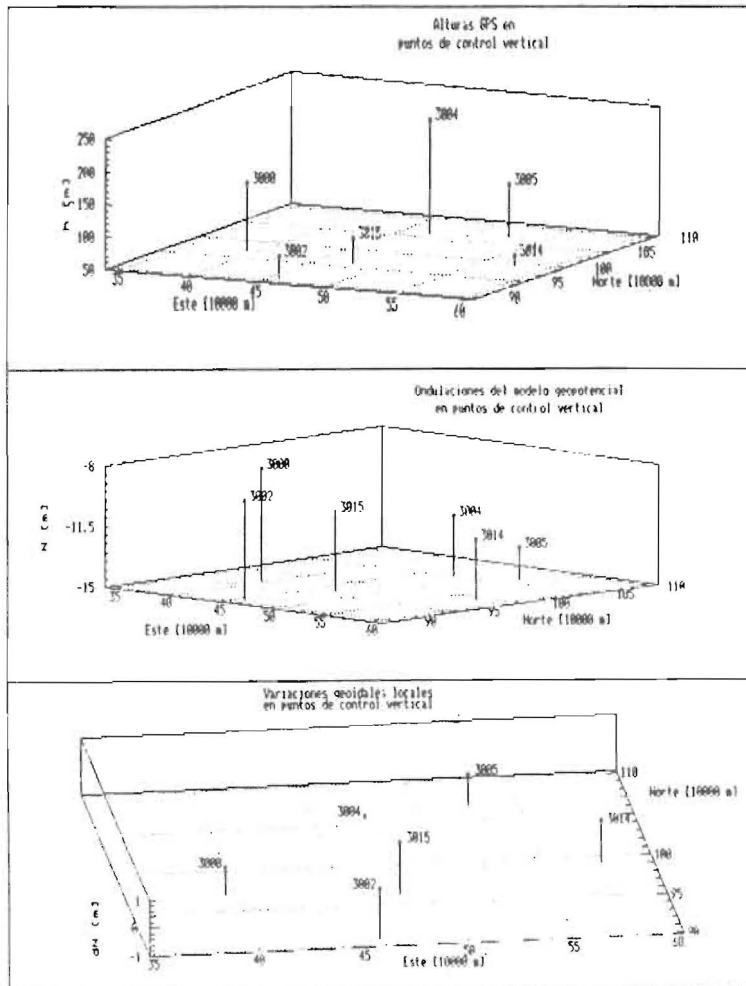


Figura 2. Problemática de las alturas GPS

terminado por el modelo y la cota nivelada es menor de 10 cm.

## 8. Conclusiones y Recomendaciones

8.1. Los resultados obtenidos en el procesamiento de las mediciones del proyecto GPS90-1 permiten concluir que las necesidades y especificaciones de la empresa pudieron ser satisfechas con la tecnología GPS y con la modalidad de medición y procesamiento empleada.

8.2 En el procesamiento de mediciones GPS, en general, los resultados a obtenerse son dependientes, hasta un cierto grado, del software

utilizado. La posibilidad de comparar resultados con diferentes softwares siempre debe ser aprovechada.

8.3 No puede obviarse la necesidad de verificar la calidad de los resultados obtenidos en el procesamiento GPS con respecto a controles externos, tales como coordenadas y distancias producto de otras metodologías, sin embargo se debe ser cuidadoso en el análisis de tal verificación.

8.4 La calidad y frecuencia de la vinculación de un proyecto de mediciones GPS con la red de control básica del país es un aspecto al cual debe prestarse mucha atención en la planificación y procesamiento de cualquier proyecto satelital.

8.5 El modelo utilizado para el tratamiento de la problemática de las alturas puede extenderse en cuanto a la consideración de otros factores (topografía, suelos, mediciones complementarias, etc.)

8.6 La fidelidad de la expresión de coordenadas GPS en el sistema nacional siempre dependerá de la calidad de los parámetros de transformación utilizados, hasta el momento parece ser más conveniente en Venezuela utilizar el sistema WGS-72 como datum intermedio en la transformación.

### Agradecimiento

Las mediciones de campo fueron realizadas por el grupo de trabajo GPS de CORPOVEN. Los cálculos en Maracaibo fueron hechos con el apoyo del Ing. Nerixon Quintero.

La colaboración del Servicio Alemán de Intercambio Académico hace factible la estadia del primer autor en Maracaibo.

A todas nuestras sinceras gracias.

### Bibliografía

- Borrego, J., Leon, A., 1991: Aplicaciones de la tecnología GPS en el posicionamiento de los trabajos exploratorios de CORPOVEN; II. Jornadas sobre Nuevas Tecnologías en Geodesia y Cartografía, Caracas.
- Gurtner, W., Beutler, G., Rothacher, M., 1989. Combination of GPS observations made with different receiver types; Proceedings 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning; Las Cruces, New México.
- Hoyer, M., 1986: La transformación entre el datum venezolano La Canoa y el datum satelitar WGS-72, Trabajo de Ascenso, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo
- Hoyer, M., 1990: Analisis de los aspectos geodésicos a considerar en la utilización del GPS en Venezuela; Trabajo de Ascenso, Facultad de Ingeniería, Universidad del Zulia, Maracaibo.
- Medina, M., Hoyer, M., 1990: Estudios de factibilidad del cálculo de geoides locales en Venezuela; Revista Técnica, Facultad de Ingeniería del Zulia, Vol. 13, Maracaibo
- Proceedings, 1985, 1990: Proceedings 1st and 2nd International Symposium on Precise Positioning with the Global Positioning System; Rockville, U.S.A., and Ottawa, Canadá.
- Rapp, R. H., 1986: Global geopotential solutions; Lecture Notes in Earth Sciences, Vol. 7; Springer, Berlin-Heidelberg-New York.
- Rapp, R. H.; Cruz, J. Y., 1986: Spherical harmonic expansions of the earth's gravitational potential to degree 360 using 30' mean anomalies, reports Ohio State University, No. 376.
- Trimble, 1989: TRIMVEC-PLUS Postprocessing Software- User's Manual and Technical Reference; Trimble Navigation Inc., Sunnyvale, California.
- Wildermann, E., 1990a: Recomendaciones y sugerencias para procesamiento manual utilizando el sistema TRIMVEC-PLUS; Reporte Interno, Convenio CORPOVEN-LUZ; Maracaibo.
- Wildermann, E., 1990b: El perfil geodésico cruzando los Andes venezolanos. -Determinación del campo gravitatorio-; Memorias II. Congreso Venezolano de Geodesia, Maracaibo Oct. 1989, Maracaibo.

Recibido el 29 de Octubre de 1.991