

# Campaña de observación GPS de la Red Geodésica para observaciones Geodinámicas del Estrecho de Gibraltar

*Jose Luis Caturla S. de Neira*  
Subdirector General Adjunto. IGN  
Doctor Ingeniero Geógrafo.  
Geodesta Militar

*Adolfo Dalda Mouron*  
Jefe de Servicio de Programas  
Geodésicos. IGN  
Ingeniero Geógrafo. Geodesta Militar

*Juan Barrado*  
Jefe de Sección de Geodesia. SGE  
Capitán de Artillería. Geodesta Militar

*Rafael Padilla*  
Profesor de la Escuela de Geodesia  
del Ejército  
Capitán de Artillería. Geodesta Militar

*Jose Luis Almazan*  
Director de Cooperación Científica  
SECEG  
Ingeniero de Caminos.  
Ldo. en Ciencias Económicas

*Durante el año 1989, los organismos científicos españoles, Instituto Geográfico Nacional, Servicio Geográfico del Ejército y Real Observatorio de la Armada, llevaron a cabo la Campaña GPS RGOGA 89 para la observación GPS de la Red Geodésica del Estrecho de Gibraltar, ampliada hacia el Norte con nuevos vértices situados en zonas geológicas más estables. Se dan a conocer los detalles de las observaciones y de los resultados obtenidos.*

Nacional de España (IGNE) y la División de la Cartographie de Marruecos (DCM), bajo la coordinación de la Sociedad Española de Estudios para la Comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEG) y de la Société Nationales d'Etudes du Detroit (SNED).

RGOG. quedó definida por ocho vértices geodésicos fundamentales, cuatro de ellos (VN2, VN3, VN9 y VN10) en la costa norte y otros cuatro (SS4, SS5, SS6 y SS7) en la costa sur, más un vértice auxiliar (VS8) en Ceuta, con enlace directo sólo con los vértices VN2 y VN3, pero no con su adyacente, SS7, a causa de la existencia intermedia del macizo de Yebel Mussa (Fig.1). Como se aprecia, los vértices resultaron forzosamente próximos a las costas al objeto de favorecer la observación con distanciómetros láser.

La observación de RGOG, conjuntamente realizada por el IGNE y la DCM, se efectuó con empleo de geodímetros láser RANGEMAS-

TER III, teodolitos geodésicos WILD T3 y astrogeodésicos KERN DKM3-A, obteniéndose un conjunto superabundante de distancias y direcciones que, rigurosamente compensado con los programas COREIN y COMPID del IGNE, dio lugar a unas coordenadas geodésicas, sobre el elipsoide asociado a SGR. 80, con elipses de error en el orden de 1 a 2 cm.

Así mismo, cada organismo efectuó en su territorio una nivelación geométrica de precisión, acompañada por las adecuadas medidas de gravedad, a fin de dotar a todos los vértices de altitud ortométrica, referida en España a UELN-73 Adjustment 1986, con excepción del vértice auxiliar VS8, cuya cota se refirió al nivel medio del mar en el puerto de Ceuta. Esta fase del trabajo no puede considerarse finalizada, ya que no se llevó a cabo el cálculo definitivo de la altimetría de VS8 con relación al mareógrafo elegido como fundamental por la DCM, pese a haberse realizado las opera-

## 1. INTRODUCCION

**C**omo ya fue expuesto ante la comunidad geodésica internacional (Vancouver, 1987; Madrid, 1989), la Red Geodésica para Observaciones Geodinámicas del Estrecho de Gibraltar (RGOG.) fue proyectada y construida en 1982-83 y observada por métodos convencionales entre los años 1983 a 1984, en una labor conjunta del Instituto Geográfico

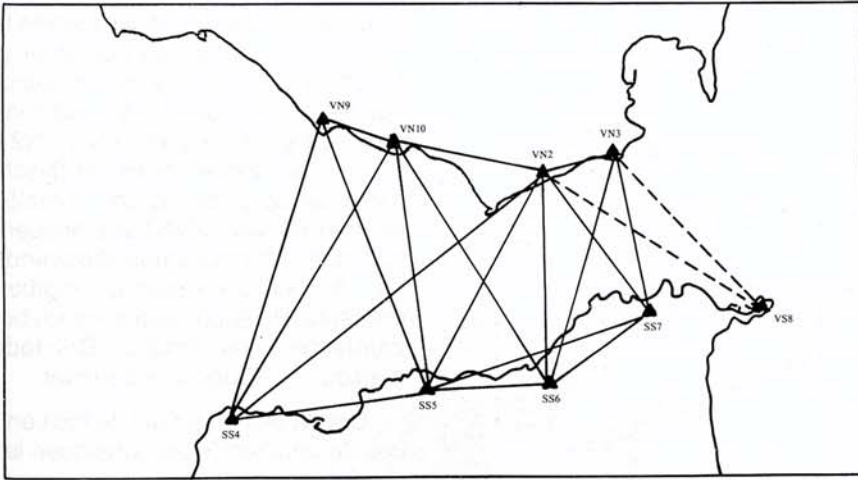


FIGURA 1. RGOG (1984)

El Primer Seminario Internacional de Geodesia aplicada al Estrecho de Gibraltar (Madrid, 8-10 de abril de 1989), organizado por SECEG, recomendó en la sesión de conclusiones la ampliación de RGOG, al Norte y Sur, su observación total, a ser posible dentro del propio año 1989, y la repetición periódica de la misma para el control de posibles movimientos tectónicos.

Por otra parte, la forzada proximidad de los vértices de RGOG a las costas (única forma de obtener lados mensurables con geodímetros láser) aconsejó la extensión y ampliación de RGOG hacia el Norte y el Sur en busca de zonas geológicamente más estables, constituyéndose así RGOGA.

Inmediatamente después del Seminario de Madrid, el IGNE hubo de iniciar la Campaña GPS Maspalomas, seguida, sin solución de continuidad, por la Campaña GPS EU-REF89 (16 al 28 de mayo), en las que fueron utilizados los ocho receptores TRIMBLE 4000 SLD disponibles en España (IGNE, SEGE y ROA), y posteriormente, los trabajos de densificación de la Red Geodésica Nacional, dentro del programa anual del IGNE.

En el mes de septiembre se finalizó el estudio de la ampliación de RGOG, y se llevó a cabo su materialización sobre el terreno.

Simultáneamente, en coordinación con el SGE y teniendo presentes los compromisos establecidos con anterioridad por las diversas partes, se planificó la observación de RGOGA. La decisión adoptada de forma conjunta se sometió a la consideración de SECEG, para su puesta en conocimiento de las entidades marroquíes.

Por razones de calendario, la DCM no pudo llevar a cabo la construcción de sus nuevas señales, por lo que la Campaña GPS RGOGA 89 quedó reducida a los cuatro vértices marroquíes y once españoles (fig. 2).

para el mismo de una altitud elipsoidal SGR 80 y la deducción de un valor de N (altura del geoide sobre el elipsoide).

Partiendo de dicha altitud elipsoidal, teniendo en cuenta los valores de la desviación de la vertical en cada estación (obtenida mediante observaciones astronómicas de longitud y latitud dentro del primer orden de precisión) y utilizando el importante número de distancias cenitales recíprocas y simultáneas efectuadas durante la medición de lados,

se llevó a cabo una compensación alimétrica para unificar las altitudes elipsoidales de todos los vértices del RGOG con una precisión no inferior a 0'1 m.

Esta solución, obtenida en 1985/86 en el Centro de Cálculo del Servicio de Geodesia del IGNE, fue la presentada y sometida a crítica tanto en Vancouver como en Madrid.

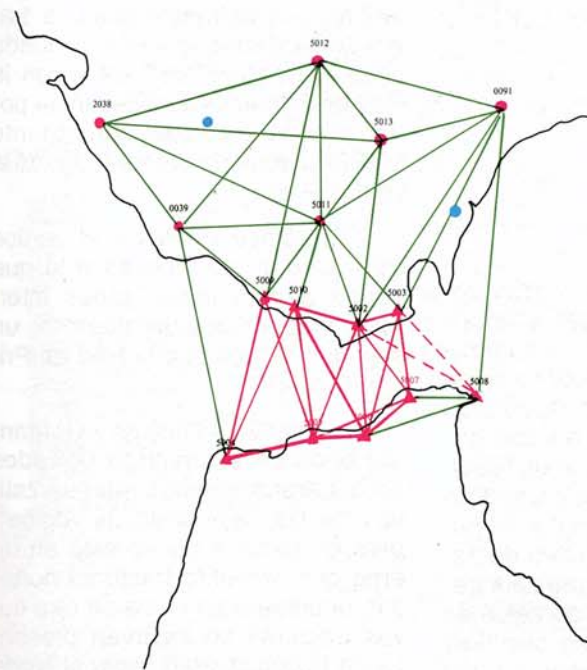


FIGURA 2

ciones de campo necesarias para el enlace de ambas líneas de nivelación. En consecuencia, para unificar la altimetría de ambas costas se decidió elegir como estación fundamental el vértice VN2, en el que se efectuaron, en dos campañas diferentes, largas observaciones Doppler sobre la constelación TRANSIT, que, calculadas por el método de Punto Aislado con Efemérides de Precisión, permitieron la adopción

Estación Día	SS4 RGOG 504	SS5 RGOG 505	SS6 RGOG 506	SS7 RGOG 507	VS8 RGOGA 508	Reales RPO 609	G. Honda RGOGA 503	VN3 RGOG 503	Garlito ROI 501	VN2 RGOG 502	Caños RGOGA 502	VN10 RGOG 503	VN9 RGOG 509	Yjeo RPO 609	S. Ferno EUREF 208
17/10/89 290	23:35 03:41 1.370	23:17 03:41 1.342	23:48 03:45 1.300	00:06 03:41 1.350				23:17 03:41 2.290		23:17 03:41 2.180		23:17 00:55 2.290	23:18 03:41 2.190		
18/10/89 291	23:13 03:37 1.370	23:21 03:37 1.342	00:15 03:45 1.300	23:13 03:37 1.350				23:13 01:46 2.290		23:13 03:37 2.180		23:12 03:37 2.290	23:13 03:37 2.190		
19/10/89 292	23:09 03:33 1.370	23:13 03:33 1.342	23:09 03:45 1.300	23:09 03:33 1.350				23:09 03:33 2.290		23:09 03:33 2.180		23:09 01:41 2.290	23:10 03:33 2.190		
20/10/89 293	23:05 03:29 1.370		23:17 03:29 1.300	23:01 03:29 2.180				23:05 03:29 2.290	23:12 03:29 0.302			23:06 03:29 2.180		23:05 03:29 0.087	23:06 03:29 0.077
21/10/89 294	23:01 03:25 1.370		23:01 03:25 1.300	23:01 03:25 2.190				23:01 03:25 2.290	23:01 03:25 0.302			23:01 03:25 2.180		23:01 03:25 0.087	23:02 03:25 0.077
22/10/89 295		22:57 03:21 1.352		22:58 03:21 1.350	22:57 03:21 2.180		22:57 03:21 0.302		22:58 03:21 0.087	22:57 03:21 2.290			22:57 03:21 2.190		22:57 03:21 0.077
23/10/89 296		22:53 03:17 1.342		23:03 03:17 1.350	22:53 03:17 2.180		22:53 03:17 0.302		23:00 03:17 0.087	22:53 03:17 2.290			22:54 03:17 2.190		22:54 03:17 0.077
24/10/89 297					22:49 03:13 2.180	23:24 03:11 0.302	23:01 03:13 0.087	22:49 03:13 2.180			22:48 03:13 0.197	23:22 03:13 2.180		22:53 01:15 0.087	22:49 03:13 0.077
25/10/89 298					22:45 03:09 2.180	22:45 03:09 0.302	22:52 03:09 0.087	22:48 03:09 2.180				23:04 03:09 2.180			

FIGURA 3

Estación Día	SS4 RGOG 504	SS5 RGOG 505	SS6 RGOG 506	SS7 RGOG 507	VS8 RGOGA 508	Reales RPO 609	G. Honda RGOGA 503	VN3 RGOG 503	Garlito ROI 501	VN2 RGOG 502	Caños RGOGA 502	VN10 RGOG 503	VN9 RGOG 509	Yjeo RPO 609	S. Ferno EUREF 208
26/10/89 299							22:43 03:05 0.302		22:41 03:05 0.087	22:41 03:05 2.180	00:51 03:05 0.087		22:41 03:05 2.300	22:41 03:05 0.087	22:41 03:05 0.077
7/11/89 311						21:47 01:15 0.087	21:46 01:25 0.197			21:46 01:25 2.180	23:27 01:15 0.087		21:46 03:37 2.300		
8/11/89 312						21:55 01:11 0.087	21:51 01:11 0.197			22:08 01:11 0.087	21:53 02:40 2.290	22:05 01:11 0.087	21:50 01:11 2.190		
13/11/89 317								21:48 01:07 2.180						21:31 01:45 0.087	
14/11/89 318						21:28 01:56 0.087			21:27 01:41 0.087		21:42 01:57 0.087			21:32 01:56 0.087	

FIGURA 3 (CONTINUACION)

## 2. LA CAMPAÑA GPS RGOGA 89

### 2.1. Planificación

Convenido con SECEG que la operación se realizase en el otoño de 1989, el IGNE contactó con el SGE y el ROA, instituciones con las que ya había colaborado muy eficazmente en las Campañas GPS Maspalomas y EUREF 89, a fin de establecer un plan conjunto en el que tomaran parte los ocho receptores TRIMBLE 4000 SLD de que disponían. Desafortunadamente para el desarrollo de la operación, los dos receptores de ROA no se encontraron operativos para la Campaña, cuyo comienzo se fijó para el 15/10/89, ya que para esas fechas, debieron ser embarcados con rumbo a la Antártida para efectuar el levantamiento geodésico de la zona en que España realiza sus actuaciones en dicho territorio. En consecuencia, el número de receptores quedó reducido a seis, pero las excelentes relaciones entre las instituciones cita-

das y GRAFINTA, S.A., firma comercial que en España representa a TRIMBLE NAVIGATION, hizo posible la cesión temporal por parte de dicha sociedad de dos receptores TRIMBLE 4000 ST. La escasa longitud de numerosos lados de RGOGA, y la circunstancia de coincidir la ventana de observación con la noche, aconsejaron el empleo de estos dos receptores de una sola frecuencia para reducir la duración de la campaña, pudiéndose planificar ésta en base a ocho receptores disponibles. La planificación se llevó a cabo conjuntamente por los técnicos del IGNE, el SGE y SECEG, decidiendo, en primer lugar, el emplazamiento de las nuevas estaciones de la zona norte.

La elección de las zonas de emplazamiento definitivo de los vértices de ampliación hacia el Norte se efectuó en trabajo conjunto con los geólogos de SECEG. Los ocho vértices antiguos se encuentran en ubicaciones forzadas por las necesidades de intervisibilidad y proximidad

a las orillas a fin de hacer posible la medición de distancias con láser y, en consecuencia, sobre formaciones geológicas que no son las más deseables. Del lado español, VN2 y VN3 están sobre zonas de flysch, sometida la última a una rotación importante; VN9 y VN10 se encuentran sobre formaciones desprendidas de las "areniscas de Algibe", presentando la primera zona un buzamiento considerable. Del lado marroquí la situación es similar.

Con la elección final de los vértices de ampliación se consiguen las siguientes ventajas:

- El vértice San Fernando y el vértice Los Caños (en la Sierra de las Cabras) pertenecen al grupo que puede designarse como "zonas exteriores". Simultáneamente, a través de San Fernando, RGOG queda enlazada con EUREF 89 y con la Red de Primer Orden Española por haber sido estación permanente EUREF y estar rígidamente ligada al vértice R Etrig.

- El vértice Reales y el vértice VS8 (Ceuta), pertenecen a lo que puede denominarse "zonas internas", proporcionando, además, un segundo enlace con la Red de Primer Orden.

- Los vértices Garlitos y Garganta-Honda se encuentran ubicados en las áreas amplias representativas de las "areniscas de Algibe", pero en tanto el último está en un área que presenta fracturas nort-sur, el primero se ubica en otra cuyas fracturas se incurvan presentando la concavidad hacia el Norte y proporciona, además, el enlace con la Red de Orden Inferior de la Provincia de Cadiz.

- El vértice Vejer pertenece a la Red de Primer Orden y, aunque desde el punto de vista geológico no reúne interés, acerca San Fernando al resto de la RGOGA.

La planificación de las observaciones, duración de las estaciones, satélites a registrar, etc., se obtuvieron aplicando el programa Plan del software TRIMVEC PLUS. La ventana más favorable se presentaba

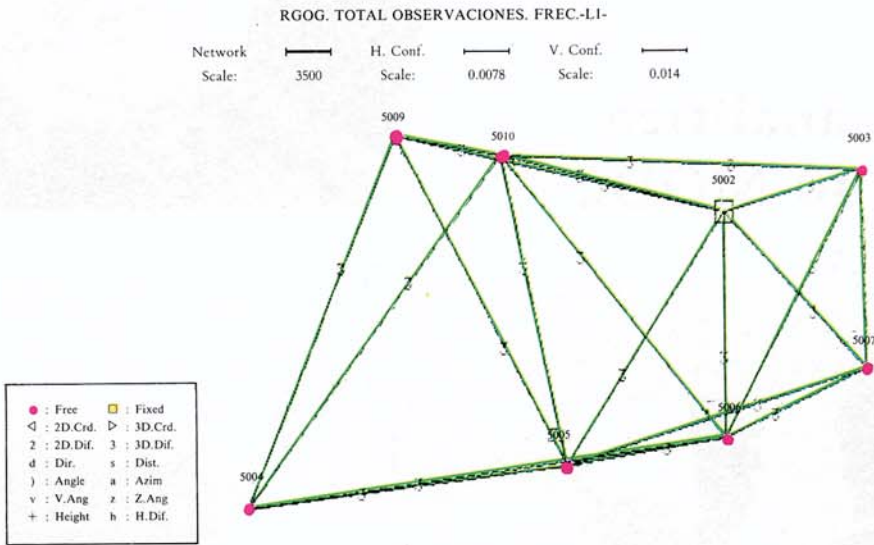


FIGURA 4

de noche (lo que reduce los posibles efectos de la ionosfera en las observaciones con una sola frecuencia) y los satélites que la constituían fueron los números PRN 3, 6, 9, 11, 12, 13, y 16. Desafortunadamente, el SV16 fue puesto como no operativo desde el día 7/10 hasta el 11/10, como pudo comprobarse durante la observación, generando un URA=16. Pese a ello y dada la imposibilidad de sustituirlo por otro, fue registrado y utilizado posteriormente en los cálculos, aunque con prevención.

**2.2. Desarrollo de la campaña**

Iniciada la campaña en la fecha prevista, su desarrollo se vió dificultado casi desde el comienzo por el fuerte temporal que se desató en la zona, hasta el punto de que, en el mes de noviembre, fue decretada "alerta roja" por los Servicios de Protección Civil. Tan desfavorable climatología afectó de forma indudable a las observaciones, puesto que algunas de las estaciones resultaron casi inaccesibles al destrozar las fuertes lluvias los caminos de acceso a ellas, por lo que algunas sesiones debieron ser suprimidas y otras recortadas en su duración. El número de ocupaciones, distribución de receptores y los días em-

pleados quedan resumidos en la figura 3.

Durante la observación de las estaciones marroquíes, ocupadas por personal técnico e instrumental españoles (dado que la DCM no disponía todavía de sus receptores GPS), SNED prestó una importante ayuda logística que hizo posible la operación, Como es acostumbrado

en todas las operaciones del Estrecho de Gibraltar, SECEG colaboró de forma trascendental con medios humanos y financieros.

El IGNE mantuvo varios contactos con la DCM, a fin de poder incluir en la operación los nuevos vértices de ampliación hacia el Sur, pero las dificultades climatológicas impidieron que tales señales se encontrasen disponibles antes de finales del mes de noviembre en que, por razones obvias, hubo de darse por concluida la campaña. En consecuencia, no puede decirse que la auténtica RGOGA haya sido definida ni observada en su totalidad, pero si es posible afirmar que la experiencia es ilustrativa de los que puede esperarse de futuras campañas y, como se verá más adelante, los resultados pueden calificarse como muy satisfactorios.

**3. CALCULOS Y COMPENSACIONES**

Finalizada la campaña se constituyó un equipo de cálculo integrado por técnicos del IGNE y del SGE (los mismos que participaron en los cálculos de EUREF89), que comenzó por la obtención de las copias de seguridad de las observaciones y el

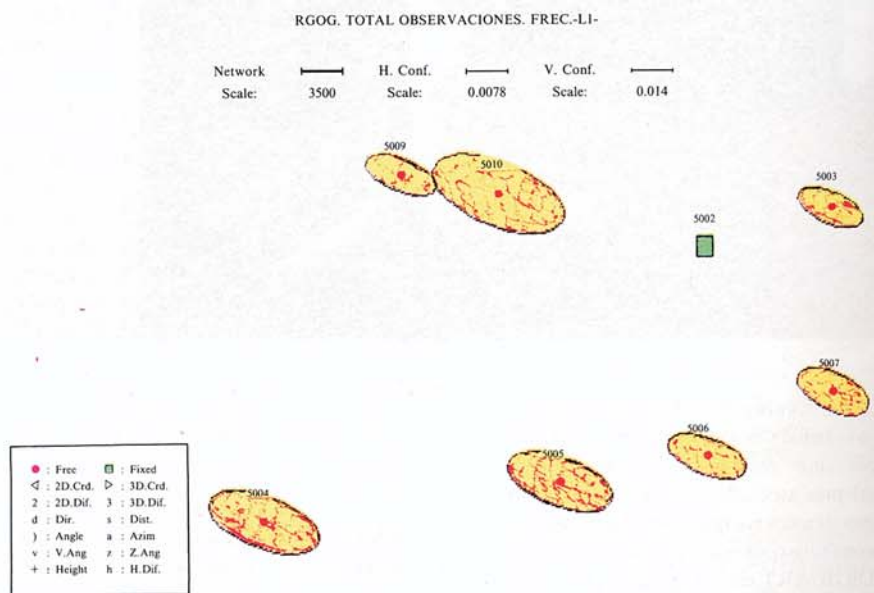


FIGURA 5

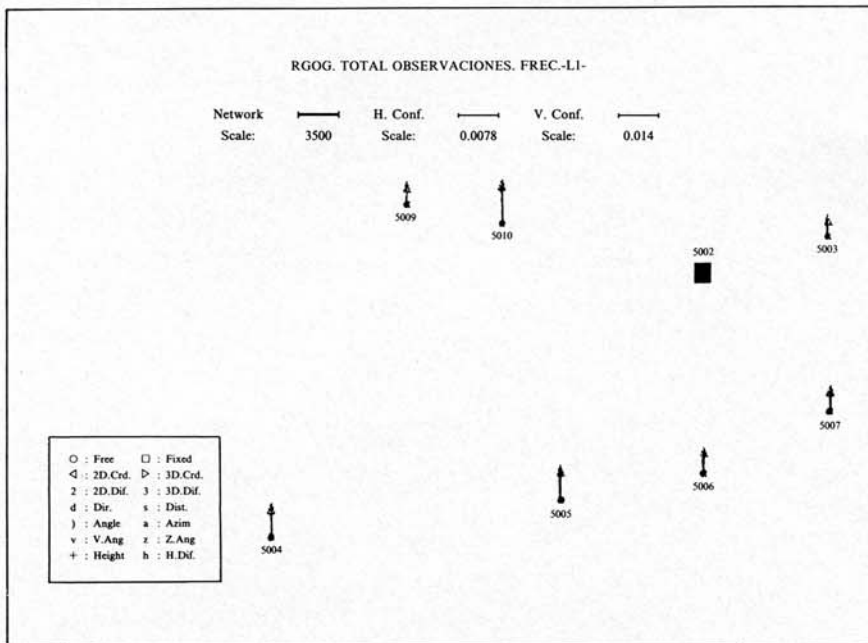


FIGURA 6

gunas baselíneas. No obstante, se ha finalizado un primer cálculo utilizando solamente la frecuencia L1 y cuyas características se exponen en las figuras y cuadros que se acompañan. Teniendo presente que no se han empleado Efemérides de Precisión, que el SV 16 es de dudosa calidad durante los días citados y las dificultades meteorológicas encontradas, la calidad de los resultados obtenidos tras las diferentes compensaciones efectuadas sobre las baselíneas calculadas, aplicando el programa GeoLab (GEOSurv. Inc.) permite afirmar que GPS es una herramienta idónea para este tipo de observaciones con una relación calidad/costo muy superior a la relativa a las observaciones convencionales.

El proceso de compensación se ha conducido en dos etapas bien diferenciadas:

- Compensación de RGOG, a fin de comparar resultados y precisiones con los obtenidos en las campañas convencionales.

- Compensación de RGOGA introduciendo como coordenadas finales fijas las correspondientes al punto fiducial San Fernando 2038, tal y como han sido obtenidas en España tras la campaña EUREF89, es decir, relativas a la estación VLBI Robledo y con empleo de Efemérides Transmitidas. Con toda seguridad esta compensación será repetida cuando estén disponibles las coordenadas calculadas por los Centros de Proceso EUREF89.

análisis de las mismas. En la entrevista celebrada en Lisboa (18/1/90) con el profesor Günter Hein (Universität der Bundeswehr, München), se acordó remitirle todos los datos obtenidos en la campaña a fin de que, por su parte, se procediese a otro cálculo diferente al español y que será presentado en el mismo coloquio.

Tras el esclarecimiento de todos los datos registrados en el campo referentes a características de las estaciones, tales como alturas de las antenas, y que requirieron bastante trabajo dadas las deplorables condiciones bajo las que hubo de realizarse el trabajo (noche, lluvias, viento, temporal...), pudo iniciarse el

cálculo de las observaciones GPS, utilizando al efecto el software TRIMVEC PLUS (Rv. BC). Este cálculo resultó bastante más complicado de lo normal a causa del empleo simultáneo de equipos de una y dos frecuencias, lo que obligó a efectuar determinaciones separadas de baselíneas con la frecuencia L1 y libres de ionosfera.

Todavía no puede considerarse que la fase de cálculo haya quedado finalizada, restando datos por analizar, consecuencia de ciertos defectos encontrados en los registros de frecuencia L2 (ya puestos de manifiesto en EUREF89) y que ponen en duda la conveniencia de utilizar las soluciones libres de ionosfera en al-

CUADRO 1

INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL		Servicio Programas Geodésicos		
RGOG. TOTAL OBSERVACIONES. FREC.-L1-				
A = 6378137.000	B = 6356752.314	X0 = 0.000	Y0 = 0.000	Z0 = 0
ELLIPSE:				
2-D AND 1-D STATION CONFIDENCE REGIONS (95.000 %):				
IDENT.	MAJOR SEMI-AXIS	MINOR SEMI-AXIS	AZ-(MAJ)	VERTICAL
5009	0.0066	0.0036	125.47	0.0103
5005	0.0097	0.0055	124.13	0.0157
5007	0.0074	0.0041	128.14	0.0118
5006	0.0072	0.0041	124.61	0.0123
5004	0.0102	0.0057	124.00	0.0164
5010	0.0125	0.0071	126.28	0.0206
5003	0.0064	0.0036	126.58	0.0103

CUADRO 2

INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL		Servicio Programas Geodésicos		
RGOGA. MIXTA. (GPS. FREC.-L1-. Distancias 1984 Angulos 1984)				
A = 6378137.000	B = 6356752.314	X0 = 0.000	Y0 = 0.000	Z0 = 0
ELLIPSE:				
2-D AND 1-D STATION CONFIDENCE REGIONS (95.000 %):				
IDENT.	MAJOR SEMI-AXIS	MINOR SEMI-AXIS	AZ-(MAJ)	VERTICAL
5009	0.0063	0.0035	124.87	0.0101
5005	0.0081	0.0050	120.53	0.0148
5007	0.0066	0.0039	127.89	0.0113
5006	0.0063	0.0039	122.30	0.0117
5004	0.0096	0.0055	123.89	0.0160
5010	0.0102	0.0062	121.38	0.0194
5003	0.0057	0.0034	124.85	0.0099

RGOGamp. TOTAL OBSERVACIONES. FREC.-L1-

Network Scale: 8200 H. Conf. Scale: 0.023 V. Conf. Scale: 0.038

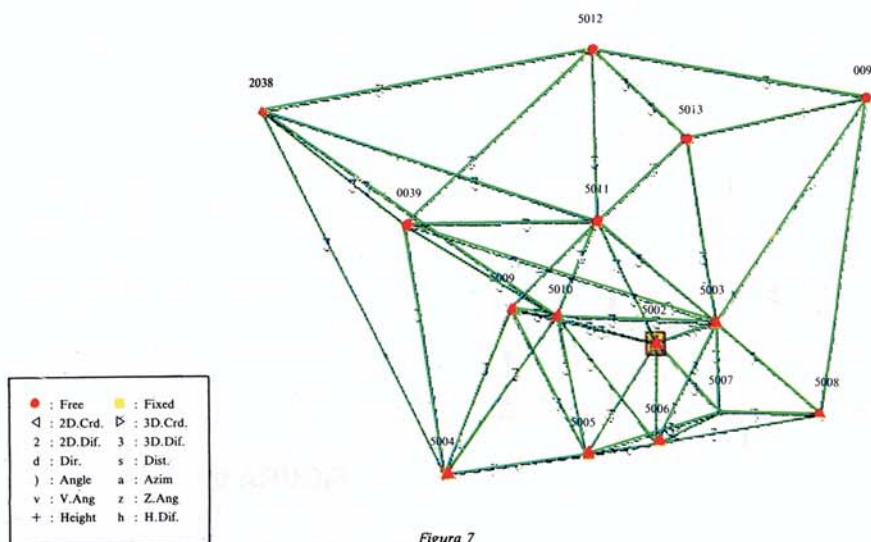


Figura 7

RGOGamp. TOTAL OBSERVACIONES. FREC.-L1-

Network Scale: 8200 H. Conf. Scale: 0.023 V. Conf. Scale: 0.038

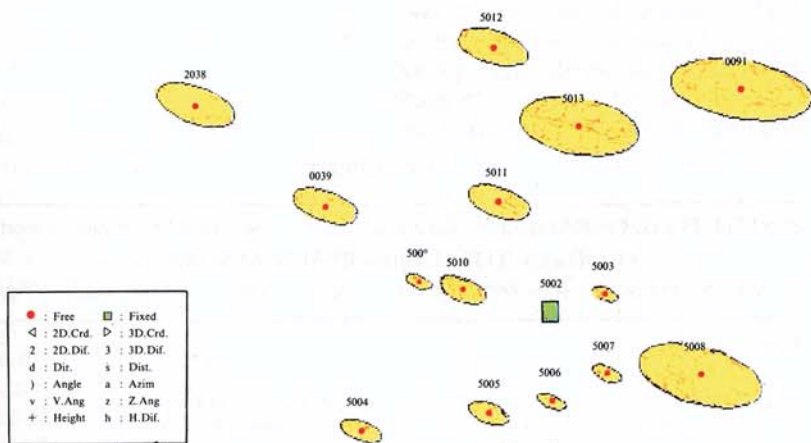


Figura 8

La simple inspección de los ficheros de mensaje puso de manifiesto una notable diferencia entre el número de medidas registradas por los receptores SLD y ST sobre la frecuencia L1 y en un mismo receptor SLD entre receptores L1 y L2. Respecto a lo primero cabe apuntar que en algunas estaciones, la antena ST se utilizó separada del receptor, por lo que, al carecer de plano de tierra, no es extraño que se produzca un registro deficiente. Con relación al segundo caso, ya se ha hecho constar en varias ocasiones la irregularidad denotada en los registros de la frecuencia L2, circunstancia que posteriormente TRIMBLE NAVIGATION LIMITED modificó de forma totalmente satisfactoria.

La compensación de RGOG, con el programa GeoLab se realizó utilizando todas las baselneas calculadas que enlazan los ocho puntos de la red, aplicando el método de los "estimadores robustos" para ponderar debidamente las diferentes baselneas.

En principio, las soluciones alcanzadas se muestran más consistentes que las procedentes de las observaciones convencionales, como se desprende del análisis de las elipses de error en ambos cálculos.

Aunque de valores aparentemente semejantes en sus semiejes mayores (en el orden de 0,015 m para las convencionales y de 0,010 para las GPS), en la solución convencional dichos semiejes respon-



## ESTUDIOS GEOGRÁFICOS ANALÍTICOS

- RESTITUCION ANALITICA Y ANALOGICA
- CATASTRO RUSTICO Y URBANO
- MAPAS, GUIAS TURISTICAS Y CARRETERAS
- FOTOGRAFIA AEREA Y PARCELACION
- DIGITALIZACION

Paseo de Extremadura, 198

Teléfono 470 21 21

28011 - MADRID

RGOGamp. TOTAL OBSERVACIONES. FREC.-LI-

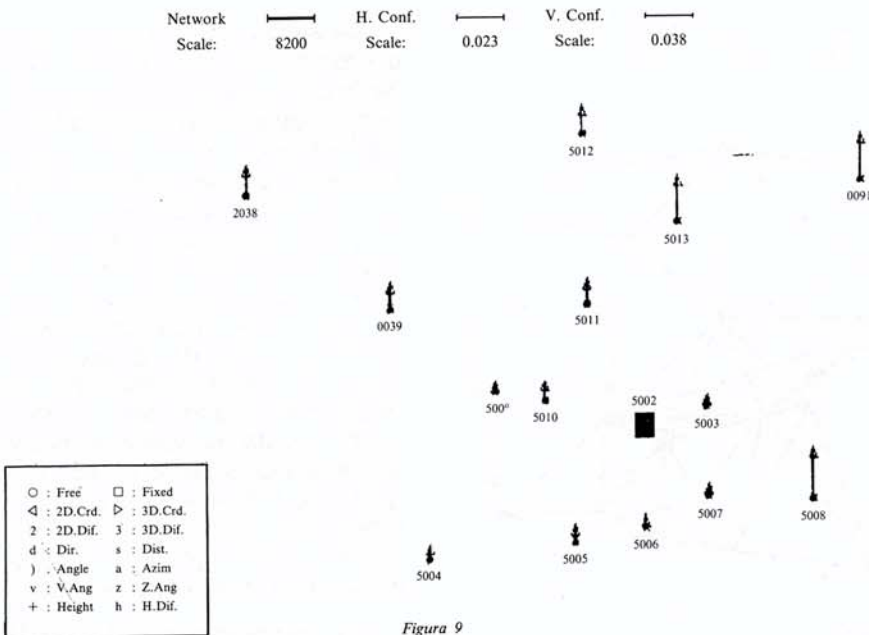


Figura 9

FIGURA 9

den a una fiabilidad del 68%, en tanto, e la solución GPS, la fiabilidad es del 95%. Por lo que se refiere al cálculo de las altitudes elipsoidales, los errores obtenidos en la nueva solución, dentro del mismo margen de fiabilidad, se encuentran en un orden mejor que 0,020 m, precisión muy superior a la obtenida en el enlace altimétrico realizado mediante distancias cenitales recíprocas y simultáneas. Las figuras 4, 5 y 6 y el cuadro 1 muestran los valores numéricos y gráficos obtenidos para la solución.

Por lo que se refiere a la compensación de RGOGA, puede afirmarse que los resultados alcanzados son de inferior calidad, a lo que contribuyen varios factores tales como: menor número de sesiones y menor duración de las mismas a causa del impresionante temporal desencadenado en esta fase del trabajo, que, como ya se hizo constar, impidió el acceso a algunas de las estaciones por destrozarse las pistas y senderos de acceso a las mismas; la mayor longitud de las baselíneas, adecuadas al empleo de la doble frecuencia para la eliminación del error ionosférico, donde, al utilizarse receptores de una sola frecuencia, no fue posible el cálculo "libre de ionosfera". Esta circunstancia ha de atribuirse a la necesidad de retirar

de la campaña los equipos 4000 SLD del SGE a fin de su inmediato traslado a la Antártida; puesta en estado no operativo (enfermo) del SV 16 durante los días en que se llevó a cabo esta fase de la observación; deficiencias ya anotadas, en los registros de los receptores 4000 ST y el hecho de que en la parte ampliada de la red los lados resultan

CUADRO 3

INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL Servicio Programas Geodésicos  
 RGOGamp. TOTAL OBSERVACIONES. FREC.-LI-  
 A = 6378137.000 B = 6356752.314 X0 = 0.000 Y0 = 0.000 Z0 = 0

ELLIPSE:

2-D AND 1-D STATION CONFIDENCE REGIONS (95.000 %):

IDENT.	MAJOR SEMI-AXIS	MINOR SEMI-AXIS	AZ-(MAJ)	VERTICAL
2038	0.0207	0.0118	124.15	0.0319
5009	0.0071	0.0039	125.37	0.0111
5008	0.0316	0.0186	118.40	0.0517
5005	0.0111	0.0063	123.96	0.0180
5007	0.0080	0.0045	128.19	0.0128
5011	0.0164	0.0097	122.94	0.0268
5006	0.0079	0.0044	124.36	0.0134
5004	0.0111	0.0062	123.80	0.0177
0039	0.0171	0.0100	122.21	0.0274
5010	0.0129	0.0073	125.54	0.0213
5013	0.0293	0.0188	109.37	0.0472
5003	0.0069	0.0039	126.34	0.0111
5012	0.0180	0.0107	119.21	0.0295
0091	0.0347	0.0198	106.48	0.0496

considerablemente más largos. Todo ello, sin duda alguna, influye en la precisión final del resultado. En cualquier caso, el cálculo definitivo de esta figura RGOGA, no se da como concluido, por lo que los resultados que se presentan en las figuras 7, 8 y 9 y cuadro 3 deben considerarse como provisionales.

Finalizada la compensación pura GPS de RGOG, se llevó a cabo una compensación mixta, añadiendo a las baselíneas tratadas las distancias geométricas medidas en 1984, una vez corregidas de refracción y curvatura y reducidas a las mismas marcas que las mediciones GPS.

La ponderación de dichas distancias se efectuó de forma similar a la aplicada en 1985 en el programa COREIN (IGN) para las distancias reducidas al elipsoide.

El test de chi-cuadrado quedó superado con un factor de varianza muy próximo a la unidad, obteniéndose un e.m.c. para los residuales de distancia igual a 0,018 muy similar al resultante en la compensación de 1985.

Posteriormente se introdujeron los ángulos directamente medidos por el método de Schreiber. En una primera fase se trataron las estaciones españolas, dada su ya comprobada superior calidad sobre las estaciones marroquíes.

La ponderación se basó en el valor del e.m.c. que afecta a cada ángulo directamente medido, sin introducción previa de compensación de vuelta de horizonte, pero, de acuerdo con lo obtenido en COREIN (1985), los ángulos afectados con un e.m.c. inferior a 0"20 se ponderaron como si este valor fuese su error. El test fue superado con un histograma bien ajustado a una distribución normal.

Por último, se introdujeron los ángulos relativos a las estaciones marroquíes, adoptando el criterio de un mínimo e.m.c. de 0"30 y, tras la eliminación de varios ángulos con residuos inadmisibles, se finalizó la compensación mixta GPS, distancias láser y ángulos observados con

los resultados mostrados en el cuadro 2. Como puede apreciarse comparando los cuadros 1 y 2, la introducción de las observaciones convencionales mejora mínimamente la solución reduciendo las elipses de error y el error vertical en el orden de 0,001 m.

Esta solución se considera todavía completa hasta tanto no se introduzcan las observaciones astronómicas, las altitudes ortométricas y las distancias cenitales observadas en 1984. Pese a ello, debe aceptarse que la solución 1990 es más consistente que la alcanzada en 1984 y que son las observaciones GPS las que fundamentalmente condicionan la solución.

#### 4. CONCLUSIONES

La principal conclusión que se deriva de la campaña GPS RGOGA, es la muy superior rentabilidad del empleo de esta técnica sobre el de las observaciones convencionales, especialmente en una zona de características climatológicas tan adversas como el Estrecho de Gibraltar.

Por una parte, los tres meses que requirió la operación convencional han quedado reducidos a veinte días de campaña y para una figura como RGOGA, que consta de casi el doble de estaciones que RGOG; por otra, bajo las condiciones atmosféricas en que se desarrolló la observación GPS, una observación convencional habría resultado absolutamente imposible, pues la visibilidad entre ambas márgenes fue prácticamente nula durante todo el tiempo que duró la campaña.

Otra importante conclusión deducida es la relativa a la precisión alcanzada con la aplicación de GPS, que, a la vista de los resultados obtenidos tras las compensaciones, puede afirmarse resulta superior a la que se obtuvo con las observaciones convencionales.

Además, GPS permite el refuerzo de la figura RGOGA sin necesidad de intervisibilidad entre las estaciones, circunstancia muy importante en una zona de orografía tan complicada como la del Estrecho de Gibraltar. Indudablemente, la incorporación del vértice VS8 a RGOG refuerza la figura de enlace entre ambas márgenes.

De igual forma, la ampliación hacia el norte -que en la futura campaña se incrementará con dos nuevas estaciones- no habría sido posible por técnicas convencionales, dada la nula visibilidad que los vértices de RGOG presentan hacia esa dirección.

Esta nueva ampliación, consistente en la construcción de dos nuevos vértices, uno en las proximidades de Medina Sidonia y otro al norte de San Roque (fig.2), ambos inmediatos al anillo de nivelación geométrica de alta precisión del Estrecho de Gibraltar, tiene la doble finalidad de acortar las longitudes de algunas baselíneas y de reforzar la altimetría de precisión de la red.

Confiamos en que, por parte marroquí, se adopten con prontitud medidas semejantes a fin de que, en la primavera de 1991, sea posible realizar la observación completa de la definitiva RGOGA y fijar la periodicidad de las posteriores observaciones.

#### 5. BIBLIOGRAFIA

1. Memoria de los trabajos geodésicos en el Estrecho de Gibraltar. Años 1982, 1983, 1984, 1985/1986. SECEG/IGNE.
2. La Red Geodésica del Estrecho de Gibraltar. SECEG/IGNE, 1986.
3. Travaux géodésiques dans le détroit de Gibraltar. J.L. Caturla, L.Tikdirine. Vancouver, 1987.