



# PROYECTO DE COMUNICACION FIJA A TRAVES DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

*Jose Luis Almazán Gárate  
Doctor Ingeniero de Caminos y  
Ldo. en Ciencias Económicas  
Profesor de la Universidad  
Politécnica de Madrid  
Director de Cooperación Técnica  
de SECEGSA*

## Introducción

Históricamente, el área del Estrecho de Gibraltar ha venido comportándose como una zona dialéctica, marco tanto de fricción como de encuentro, y el estudio de su historia supone, en gran medida, el estudio de la del propio Mediterráneo, especialmente en su parte occidental.

El estrecho es ante todo una zona de paso, y la historia demuestra que los hechos que en él se han producido han tenido unos efectos amplísimos, con repercusiones que han llegado mucho más allá de lo que podrían considerarse los límites naturales de la zona.

La escasa separación entre los continentes europeo y africano en el área del Estrecho, ha despertado desde antiguo la idea de establecer allí una comunicación fija entre ambos continentes.

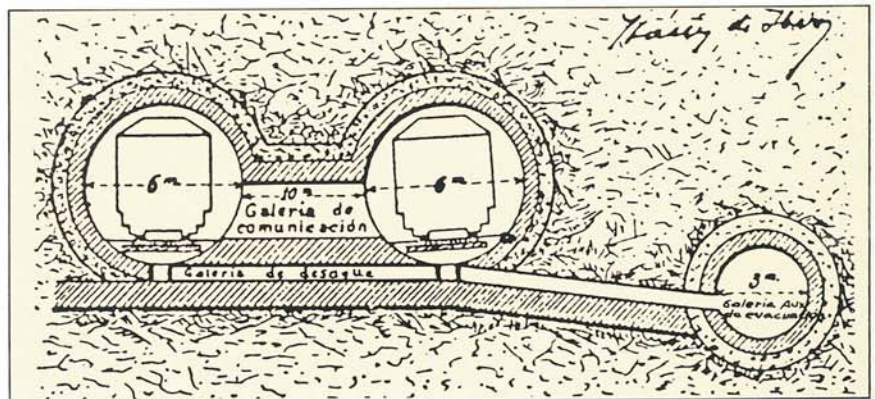
Esta idea de comunicación fija a través del Estrecho de Gibraltar, viene cobrando intermitente actualidad

en el ámbito técnico internacional ya desde 1969.

Tras ser informado por el Consejo de Obras Públicas, dependiente del Ministerio Español de Fomento, el primer proyecto técnico de enlace fijo, en 1969, han sido muchos los ingenieros, militares, técnicos y políticos que han ocupado parte de su vida en tan ambicioso proyecto, entre otros cabe citar al conde Laurent de Valledueil, al general Andrés Avelino Comerma; a los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, señores García Faria, Mendoza, Gallego Herrera, Peña Boeuf; a los generales Rubio, Alvarez de Sotomayor; al coronel Jevenois; a los técnicos señores Bressler, Berlier, Strauss e Ibañez de Ibero.

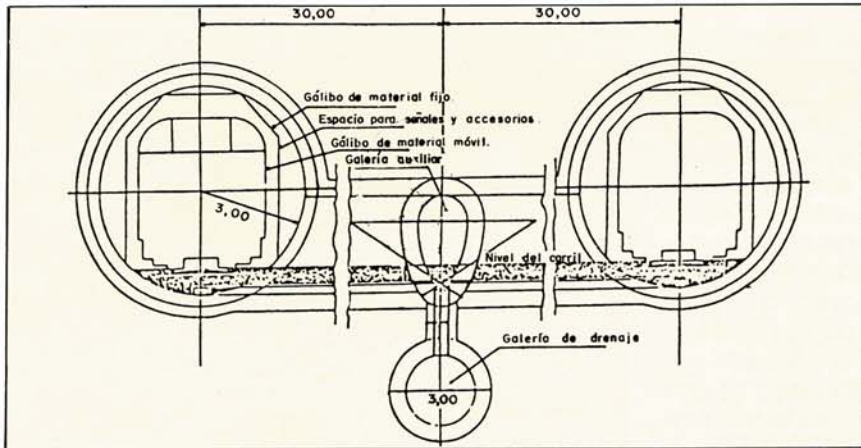
Las soluciones propuestas con distintos grados de elaboración, han sido diversas: puentes, túneles, tubos flotantes y apoyados, diques...

Uno de los rasgos fisiográficos que principalmente condicionan la selección del trazado de las diversas soluciones es la configuración topográfica del fondo marino. La zona más angosta del Estrecho es a su vez la más profunda, por lo que por ella solamente discurren los trazados de aquellas soluciones que, como el tubo sumergido, son independientes de la configuración del fondo marino. La zona que mejor conjuga los parámetros, distancia de separación y profundidad del fondo es la que discurre entre Punta Paloma en la orilla Norte y Punta Malabata en la orilla Sur.

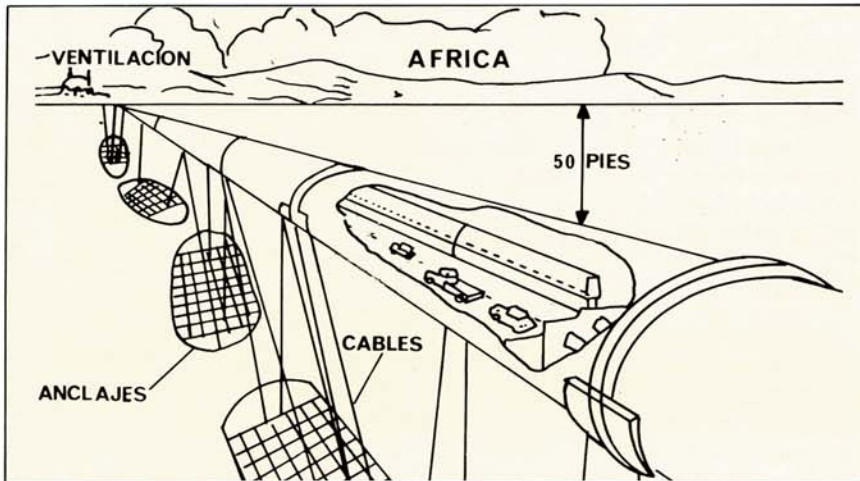


SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL (Según Ibañez de Ibero. 1908)





SECCION TRANSVERSAL DEL TUNEL (Según Jevenois. 1927)



PERSPECTIVA DEL TUBO SUMERGIDO (Gallego Herrera. 1929)

**SECEG**

En 1979, tras un encuentro entre los monarcas de los reinos de España y Marruecos, sus majestades Juan Carlos I de España y Hassan II de Marruecos, el proceso de estudios conducentes a establecer en su día un enlace fijo a través del Estrecho recibió un nuevo impulso, en uno de los fragmentos de la declaración real se dice textualmente:

"Las dos partes, conscientes de la importancia que en el futuro tendrán las relaciones entre los dos países y entre Europa y Africa, han acordado estudiar conjuntamente la viabilidad de una comunicación permanente en el Estrecho de Gibraltar, a cuyo efecto han decidido llevar a cabo un intercambio de información científica y técnica que permita

crear una sociedad mixta de estudios".

Como consecuencia de la declaración citada, los gobiernos de ambos países suscribieron sendos acuerdos de cooperación científica y técnica, y se crearon en España y Marruecos dos sociedades de propiedad estatal: SECEG y SNED.

La creación de SECEG se aprobó por Real Decreto 2627/80, con el objeto social siguiente:

a) La realización de estudios sobre una comunicación fija entre Europa y Africa a través del Estrecho de Gibraltar, y de los sistemas más adecuados para llevarla a cabo.

b) La promoción del proyecto en el ámbito nacional e internacional y cuantas operaciones puedan favo-

recer su desarrollo o realización en España, Marruecos o países terceros.

c) Cuantas actividades sean anejas o complementarias a las anteriores.

Ambas sociedades, la española SECEG y la marroquí SNED, son coordinadas y supervisadas por un Comité Mixto Hispano-Marroquí, creado en el Acuerdo Complementario de 24 de octubre de 1980 de Cooperación entre el Gobierno de España y el Gobierno de Marruecos sobre el proyecto de enlace fijo Europa-Africa a través del Estrecho de Gibraltar, firmado en Madrid por el Ministro Español de Asuntos Exteriores en representación del Gobierno de España y por el Embajador del Reino de Marruecos en Madrid en representación del Gobierno del Reino de Marruecos. La Sociedad Española de Estudios para la Comunicación Fija a través del Estrecho de Gibraltar (SECEG) se honra en estar presidida por S.A.R. Don Juan Carlos de Borbon y Vatterberg, siendo presidente de la Sociedad de Estudios Marroquí, SNED, S.A. el príncipe Mouley Hassan Ben Medi.

Ambas Sociedades han concentrado sus esfuerzos principalmente en cuatro áreas de trabajo.

- Reconocimientos fisiográficos y geológicos del Estrecho de Gibraltar.
- Estudios de factibilidad técnica de distintas soluciones ingenieriles de enlace fijo.
- Estudios de tráfico y económicos.
- Estudios jurídicos.

Habiendo realizado varios symposiums y coloquios donde han ido presentándose a la comunidad técnica y científica los resultados de los trabajos realizados, para su difusión y discusión, ofreciendo al mismo tiempo la ocasión de incorporar al proceso de estudios las contribuciones de aquellos científicos y técnicos nacionales y extranjeros interesados por tan ambicioso proyecto.



**MARCO FISICO**

**Formación del Estrecho de Gibraltar**

La historia geológica de la región comienza con la sedimentación de las rocas que actualmente afloran y que empezó a realizarse hace unos 200 millones de años y continuó hasta hace unos 20 millones de años. Desde principios del Cretácico hasta el Mioceno medio, unos 120 millones de años, se desarrolla un surco sedimentario, en el dominio intermedio entre la placa europea y la placa africana, donde se fue acumulando una serie rítmica de sedimentos denominados flysch, que fueron transportados por corrientes submarinas de turbidez.

En el Mioceno, hace unos 15 millones de años, se produjo el primer estado de tectonización, con la formación de mantos de corrimiento. Al mismo tiempo y por efecto de una torsión en planta de todo el conjunto se esboza ya el arco de Gibraltar.

Después de este estado de tectonización y probablemente hasta el Messiniense, las actuales cordilleras Béticas y Rifeñas estaban ya emergidas y físicamente unidas, no existiendo el Estrecho de Gibraltar, comunicándose el Mediterráneo y el Atlántico por los estrechos Nor-Bético y Sur-Rifeño.

Durante el Messiniense sobrevino en el Mediterráneo la denominada crisis de salidad, produciéndose la sedimentación de potentes series evaporíticas en una cuenca parcialmente desecada, e incomunicada con el Atlántico.

Hace unos seis millones de años, en el Plioceno, y como consecuencia de la apertura del Estrecho de Gibraltar se reestablece la comunicación entre el Mar Mediterráneo y el Océano Atlántico.

La apertura del Estrecho pudo realizarse, bien por génesis de una fosa tectónica o como consecuencia de un simple proceso erosivo, pero en cualquiera de los dos casos, en

el momento en que se produjo la comunicación, las aguas atlánticas debieron precipitarse hacia el Mediterráneo produciendo una erosión brutal y caótica similar a la originada por la rotura de una gigantesca presa.

**Geología**

Del análisis de la cartografía geológica realizada por ambas sociedades destaca ante todo la homología geológica entre ambas orillas del Estrecho.

Los materiales en presencia pertenecen a un corto número de grupos litológicos representativos (3 ó 5), bien caracterizados desde el punto de vista geotécnico, teniendo todos ellos una alta impermeabilidad de masa y una sostenibilidad que podría calificarse de mediana a buena.

Destaca así mismo la extrema complejidad de las estructuras de las unidades tectónicas en presencia, que constituyen una limitación de la cognoscibilidad del área.

Actualmente está fuertemente objetada la existencia de la "Falla de Gibraltar", lo que no obstante no elimina la posibilidad de accidentes tectónicos menores, que a escala de la obra de enlace fijo podrían ser muy importantes.

Los fundamentos sobre los que han descansado la hipótesis de la existencia de la "Falla de Gibraltar" tienen un origen más bien especulativo, por cuanto resultan de bus-

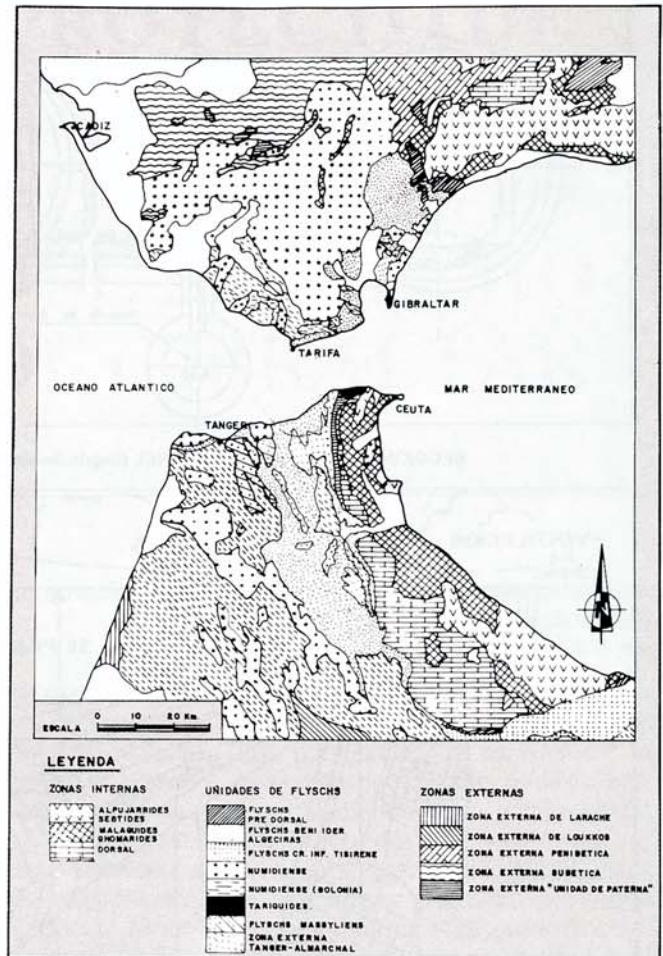
carle una prolongación a la falla de las Azores.

**Sismicidad**

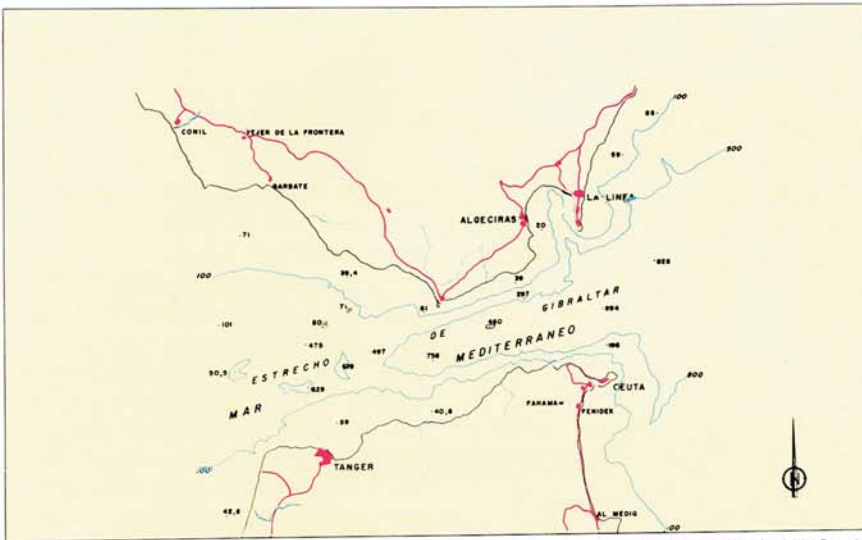
Desde el punto de vista de la actividad sísmica, la zona del Estrecho, en sentido estricto, viene determinada por una baja sismicidad, marcando la diferencia entre el Golfo de Cadiz y el Mar de Alborán.

La zona del Golfo de Cadiz tiene una sismicidad alineada en sentido Oeste-Este, con terremotos periódicos proporcionalmente de gran magnitud y presentando una situación de fuerzas compresivas en la dirección Norte-Sur.

La sismicidad de la región del Mar de Alborán presenta características bien diferenciadas, con una distribución epicentral dispersada a lo largo de toda la zona, contiene una relación más alta de sismos de







Rasgos morfológicos del fondo del Estrecho

Rasgos morfológicos del fondo del Estrecho

pequeña magnitud y aparece una mayor fracturación.

**Morfología**

La batimetría del Estrecho condiciona tanto la selección del trazado más favorable como la elección del tipo de obra y la tecnología a emplear durante su ejecución.

La observación de la carta batimétrica del Estrecho permite distinguir tres zonas diferentes:

- Zona Oriental: la más angosta y profunda.
- Zona de umbral.
- Zona Occidental: la de más suaves pendientes, existiendo en su parte central una amplia cresta que origina dos canales, el Sur y el Norte.

**Corrientes**

Dado que en el mar Mediterráneo las aportaciones de los ríos son inferiores a las pérdidas por evaporación, y que el volumen de agua se mantiene constante así como su salinidad, debe existir y de hecho existe, una aportación de agua al océano Atlántico al mar Mediterráneo que entra por el Estrecho de Gibraltar.

Así mismo, y a fin de mantener constante la salinidad del mar Mediterráneo, existe un flujo de agua mediterránea que sale del océano At-

lántico por la parte inferior del Estrecho.

El volumen estimado de agua atlántica que entra al Mediterráneo por el Estrecho es de unos 37.7 millones de millones de metros cúbicos y el flujo saliente de agua mediterránea es inferior al entrante en un 4% aproximadamente.

La distribución de velocidades de las corrientes entrante, en superficie, y saliente, de fondo, constituye un complejo problema aún no resuelto total y satisfactoriamente. En algunos puntos a lo largo de un mismo día, la corriente no sólo varía en magnitud, sino que llega a cambiar de sentido.

**Mareas**

La marea propia del Estrecho es fundamentalmente semidiurna, variando su amplitud según se considere la marea en la parte occidental, central u oriental, esta es más elevada en la zona Oeste que en la zona Este, existiendo así mismo una diferencia de altura de nivel medio del mar entre el Atlántico y el Mediterráneo, de unos 30 cm. con inclinación hacia el Este.

**Meteorología**

El Estrecho se distingue por reinar de un modo exagerado los vientos del Este, en una frecuencia superior al 40%. Así mismo la direc-

El estudio del marco físico en el que se localiza el Estrecho (geología, sismicidad, morfología, corrientes, mareas y meteorología) es fundamental en la realización del Proyecto de Enlace Fijo en el Estrecho de Gibraltar



Dos aspectos del túnel excavado bajo el Estrecho

ción Oeste es privilegiada, aunque algo inferior a la Este. Ello es debido a la forma de doble embudo del Estrecho con un largo pabellón constituido por las cordilleras de Sierra Nevada y el Rif. En Tarifa se han registrado vientos de 147 Km/hora.

En la zona del Estrecho, predominan las situaciones anticiclónicas (63,3%) sobre las de tipo ciclónico (33,2%).

La humedad relativa es bastante elevada (valores mensuales medios alrededor del 75%) y la insolación y radiación muy altas (2.989 horas de sol en Tánger y 703,6 cal/cm<sup>2</sup> por día de media anual en Algeciras).

La aparición de niebla es más frecuente en la zona Este del Estrecho, y los días de niebla más frecuentes en verano. La frecuencia de presentación de visibilidad escasa oscila entre el 5% y el 10%.

## SOLUCIONES AL ENLACE FIJO

Durante la larga historia del Proyecto han sido consideradas las siguientes tipologías:

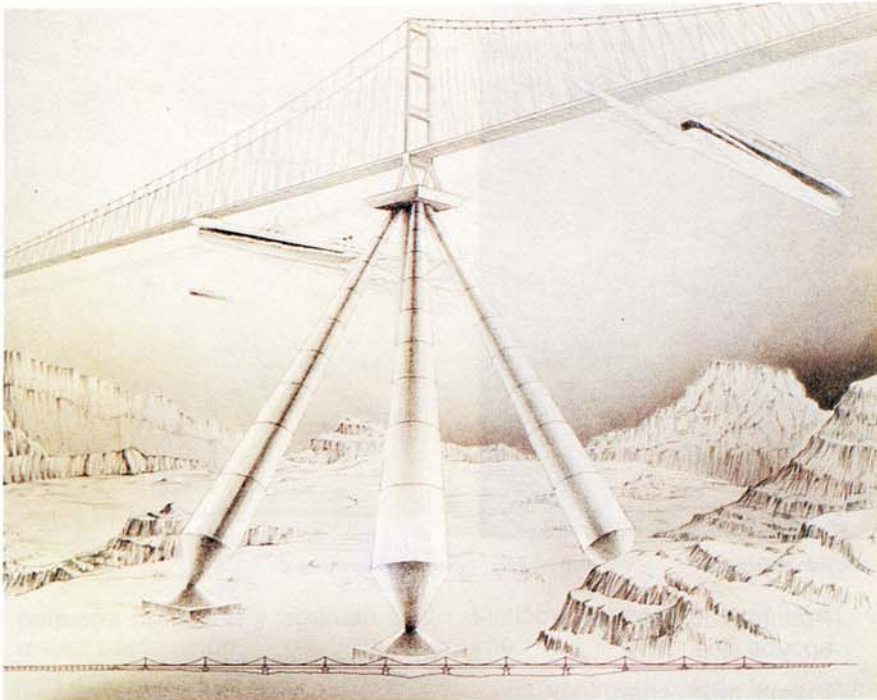
- Puente colgante sobre apoyos fijos.

- Puente articulado sobre apoyos fijos.
- Puente mixto sobre / apoyos fijos.
- Túnel subterráneo excavado con galería única y de servicio.
- Túnel subterráneo excavado con galería doble y galería de servicio.
- Puente sobre apoyos flotantes.



Panorámica del puente colgante





**Vista submarina de un tipo de apoyo fijo del puente**

- Túnel sumergido apoyado sobre pilas.
- Tubo sumergido anclado al fondo.
- Túnel apoyado en el fondo.
- Dique, con distintas variedades.
- Soluciones mixtas (túnel-puente).

Así mismo se han considerado fundamentalmente tres tipos de tráfico, para cada tipo de estructura.

- Tráfico de vehículos por carretera.
- Tráfico ferroviario.
- Tráfico mixto carretera-ferrocarril.

Algunas de las soluciones ofrecen también posibilidades para el paso de cables (de comunicaciones o eléctricos) y para el transporte de fluidos por tubería.

La tecnología disponible en la actualidad permite considerar con seriedad la factibilidad técnica de algunas soluciones. Y el ritmo de desarrollo tecnológico permite un cierto optimismo sobre la de otras en un futuro próximo.

Razones de tipo ecológico, entre otras, aconsejan desestimar alguna solución, como las de tipo dique, al resultar inaceptable su impacto ambiental.

La factibilidad técnica de las soluciones tipo túnel viene condicionada principalmente por: a) características geológicas de los terrenos, y b) problemática de la ventilación (en particular para soluciones aptas para el tráfico por carretera).

En el bloque de soluciones tipo puente, cuatro son los principales aspectos a considerar: 1) Pilas y cimentación, 2) Cables de sustentación, 3) Tablero y 4) Riesgos de colisión de buques.

### Túnel excavado

La longitud total del túnel excavado sería de unos 50 Km, con pendientes máximas del 2%.

Los problemas de ventilación de un túnel apto para el tráfico de automóviles y camiones por carretera, exigiría la construcción de unas chimeneas de ventilación con riesgos semejantes a los de las pilas de un puente, mientras que para tráfico exclusivamente ferroviario este problema queda obviado. En este último caso los automóviles los automóviles y camiones discurrirían por el túnel sobre una plataforma ferroviaria, sistema funcionalmente similar al del buque ferry, pero independiente de las condiciones meteorológicas.

El túnel del Estrecho no batiría record mundial de longitud ni de profundidad, aunque sí sería record de la combinación longitud- profundidad.

### Puente sobre apoyos fijos

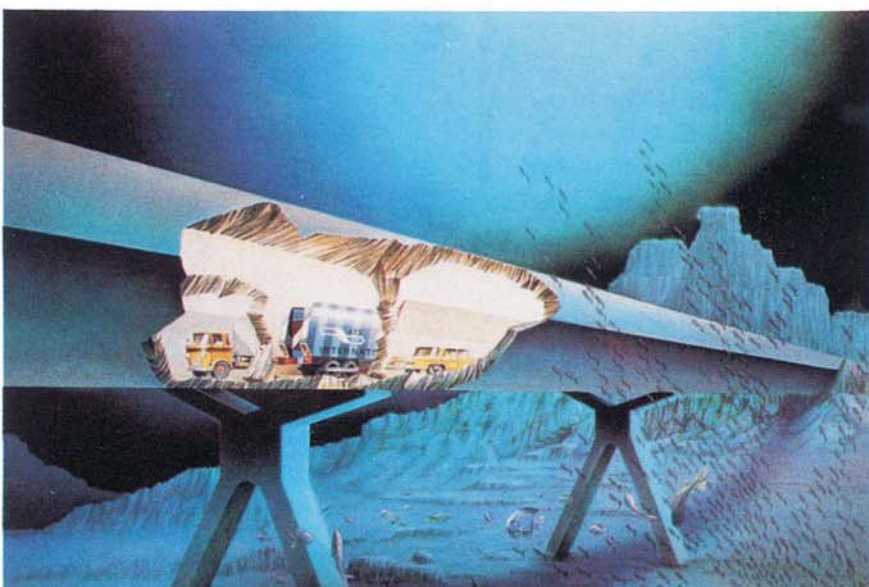
Actualmente el record de luz lo ostenta el puente Humber con 1.410 m., existiendo anteproyecto de puente para el Estrecho de Messina con luces de 3.000 m.

La luz de los vanos de las soluciones consideradas en el caso del Estrecho sería de unos 2.000 m.





**Puente sobre apoyos flotantes**



**Túnel sumergido apoyado sobre pilas**

El puente resulta más apto para el tráfico por carretera que para el tráfico ferroviario.

Los problemas jurídicos que plantea la construcción de un puente sobre apoyos fijos en el Estrecho de Gibraltar son mucho mayores que los que plantea la ejecución de un túnel excavado y menores que los ocasionados en caso de puente sobre apoyos flotantes.

### ASPECTOS ECONOMICOS

El coste y plazo de ejecución de la obra de enlace, función naturalmente del tipo de solución elegida,

resulta en todo caso inferior al coste y plazo de adaptación de las redes de carreteras y/o ferroviarias necesarias para una óptima utilización de la obra de enlace fijo, muy especialmente en los países africanos.

El lento proceso de adaptación de las redes de transporte en aras de conseguir un razonable sistema de comunicaciones por carretera y/o ferrocarril entre Europa y Africa, aconseja abordar por fases sucesivas en enlace fijo en el tramo correspondiente al Estrecho de Gibraltar.

No obstante, el considerable margen de error que tienen los análisis económicos preliminares en un

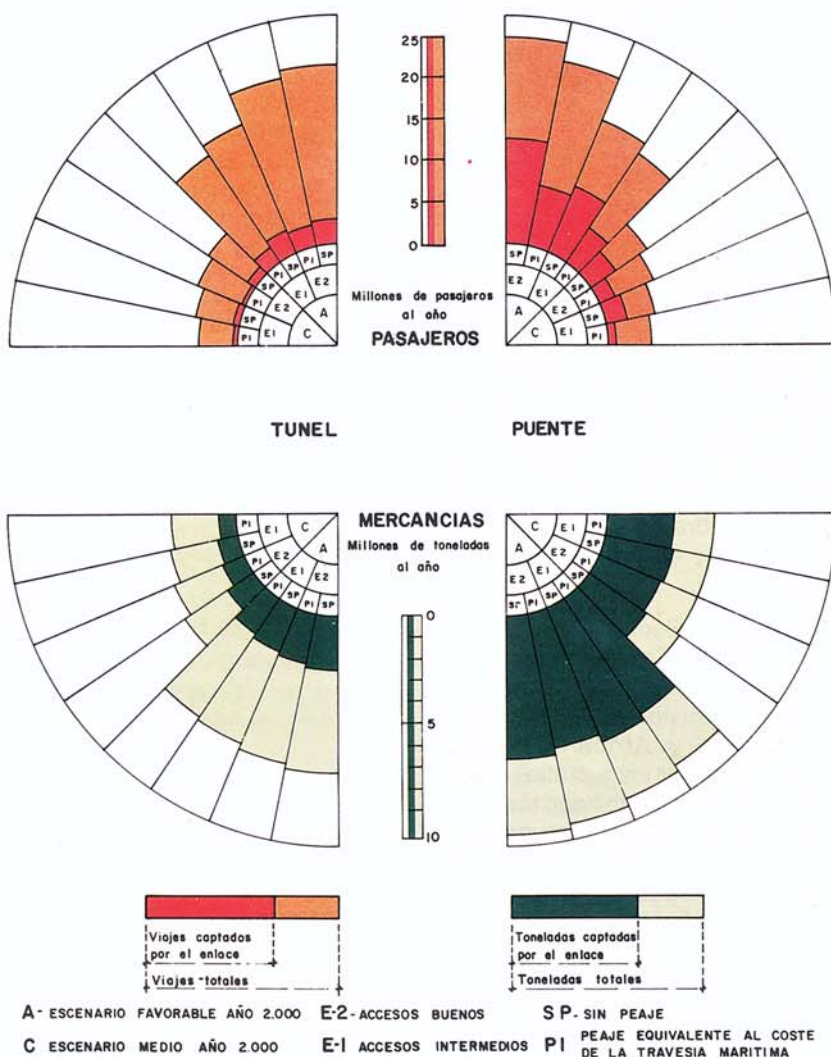
proyecto como éste, destaca el interés económico, en el sentido más amplio, que para varios países tiene la realización del Enlace Fijo, considerando sus grandes posibilidades futuras de intercambio por vía terrestre.

A corto plazo destaca el interés que para Europa y Africa presenta la posibilidad de integrar al Enlace Fijo un gasoducto que atraviese el Estrecho.

El área de influencia del Enlace viene determinada más que por la distancia a éste, por la configuración de infraestructuras de acceso en los continentes europeo y africano. La



### ESTIMACIONES DE TRAFICO EN SENTIDO TRANSVERSAL DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR



ciones internas, dado el escaso nivel de intercambio comercial entre los países africanos de la zona.

Los estudios evalúan el tráfico anual actual a través del estrecho de Gibraltar en cuatro millones de pasajeros y cuatrocientos mil vehículos, repartidos uniformemente en los dos sentidos N-S y S-N.

El tráfico anual entre las dos zonas de influencia del Enlace es de unos 14 millones de pasajeros, realizándose 2/3 de estos desplazamientos por vía aérea y 1/3 por vía marítima, y unos 22 millones de toneladas de mercancías, descontando los tráficos cautivos del transporte marítimo, petróleo y graneles, siendo el volumen total de intercambio de mercancías entre la parte sur y norte de la zona influencia de unos 210 millones de toneladas, de los que 170 son sur-norte y 40 norte-sur, es decir, el volumen África-Europa es cuatro veces superior al Europa-Africa. No obstante, al descontar los "tráficos cautivos", la situación se invierte, mostrando los estudios realizados que a través del Enlace Fijo pasarían unas cinco veces más mercancías de Europa a África en sentido inverso.

Las previsiones de tráfico futuro dependen en gran medida del gran escenario prospectivo que se adopte, así como del grado de accesibilidad al enlace, tipo de solución elegida y nivel de peaje.

Así por ejemplo, para el año 2000 en una hipótesis de crecimiento alto y con un peaje equivalente al de la travesía marítima, las previsiones de tráfico para un puente carretero oscilan entre 8,8 y 12,6 millones de pasajeros al año, unos 2 millones de vehículos y entre 4 y 6,7 millones de toneladas por año, siendo las previsiones para túnel ferroviario menores.

### EL PROYECTO EN EL AMBITO INTERNACIONAL

El proyecto de Enlace Fijo actualmente comienza a considerarse como algo real y no utópico, a la

calidad de las redes de transporte es determinante para la factibilidad económica de la obra, condicionando la utilidad de la misma.

El Enlace Fijo no es sino un eslabón en el sistema de transportes terrestres europeo y africano, y su factibilidad, capacidad y programación sólo tienen sentido dentro de ese contexto de integración.

Desde el punto de vista carretero, Europa está estructurada con una densa red principalmente de Autopistas noreste-sureste, estando la parte suroeste peor servida. En África el desarrollo del eje costero Tánger-Dakar-Abidjan-Lagos, es, fundamentalmente, para drenar

el tráfico de la costa oeste africana hacia el estrecho de Gibraltar. El eje Rabat-El Cairo exige una notable mejora. En cuanto al ferrocarril, la red europea es bastante completa, residiendo el principal problema en España. Tanto por el ancho de vía específico como por la diferencia de nivel de servicio en las conexiones del sur de España hacia Madrid y el norte y hacia Portugal. En África, mientras que El Mogreb posee una red que conecta las capitales, los otros países han desarrollado redes ferroviarias autónomas con anchos de vía distintos entre sí, redes cuyo principal objetivo ha sido conectar con los puertos, no habiéndose favorecido el desarrollo de comunica-





vista de los indicios de viabilidad técnica, económica y jurídica que tiene, si bien su realización material no aparece como inmediata, entre otros motivos por el plazo necesario para realizar los estudios técnicos.

Cabe recordar que el proceso de estudios que ha conducido a realizar el túnel SEIKAN en Japón recientemente calado ha sido de 25 años.

En el marco europeo el proyecto de Enlace Fijo ha merecido interés, entre otros organismos, de la Conferencia Europea de Ministros de Transportes, del Consejo de Europa a través de la Conferencia de poderes regionales y del Comité de Transportes Interiores de la Comisión Económica para Europa, habiendo dado este Comité un extraordinario impulso a la difusión del Proyecto.

En el marco africano, la Conferencia Africana de Carreteras ha destacado en Nairobi y Libreville el carácter prioritario del proyecto de Enlace Fijo en el marco de la red viaria africana, la Conferencia de Ministros Africanos de Transportes, Comunicaciones y Planificación, ha incluido el Enlace Fijo en el programa del decenio 1978-1988 de las Naciones Unidas para el Transporte y las Comunicaciones en África, y ha adoptado una resolución invitando a los países africanos interesados por el proyecto a iniciar los tra-

bajos de mejora de vías de acceso al Estrecho y, en particular, el eje Tánger-Lagos.

El Consejo Económico y Social de Naciones Unidas adoptó en Nueva York la resolución 57/82, instando a las Comisiones Económicas para Europa y África -CEPE y CEOA- a analizar los estudios preliminares sobre la factibilidad técnica, económica y jurídica del proyecto en aplicación de la cual un grupo de expertos se desplazó a Rabat y Madrid para estudiar los resultados de los trabajos de SECEG y SNED. Este informe fue presentado en la 2ª sesión plenaria del Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas en julio de 1983.

En este informe se concluía que:

I. Las dos Comisiones constatan que el Enlace Fijo es técnicamente realizable, que su costo será elevado pero que los beneficios económicos, políticos y sociales que se derivan del mismo son, probablemente, considerables. La realización de un proyecto de esa índole modificaría radicalmente, mejorándolas, las relaciones entre ambas orillas, norte y sur del Mediterráneo y entre los Continentes africano y europeo.

II. Aunque reconozcan que el proyecto de Enlace Fijo atañe en primer lugar a los dos países ribereños del Estrecho que lo han conce-

**"Creo que las grandes realizaciones no han sido nunca obra de contables, siempre fueron obra de pioneros" - M.J. Dunesque. Director de la división de transportes de ña CEPE de ONU. Coloquio de Madrid, noviembre 1982**

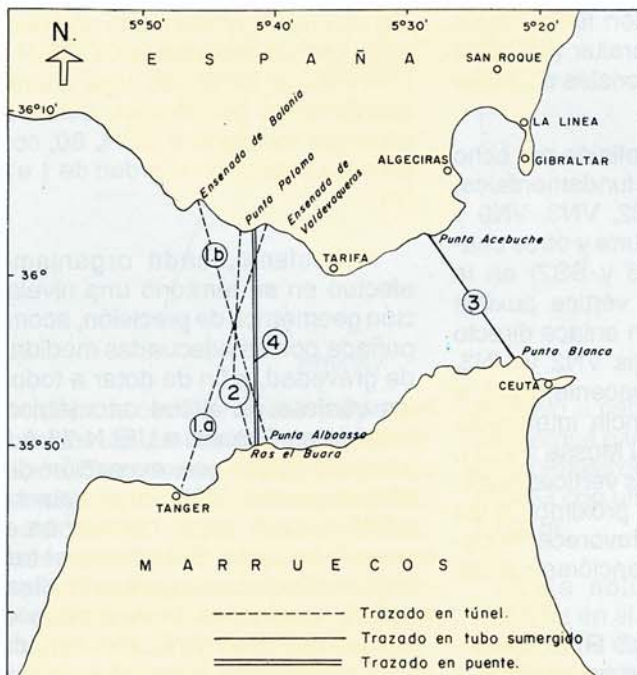


bido y estudiado, ambas Comisiones señalan que su importancia es internacional y hasta intercontinental, y que su realización merece, por tanto, la ayuda de la comunidad internacional.

III. Ambas comisiones constatan que: 1) La elección del método de realización queda pendiente y merece que se profundicen los estudios que se han llevado hasta ahora. 2) La realización del Proyecto beneficiará a la comunidad internacional, pero el marco jurídico de dicha realización deberá ser definido con precisión tanto entre los dos países promotores, como en el marco general de las organizaciones internacionales.

IV. Ambas Comisiones proponen, por tanto, que se prosigan los estudios y trabajos, declarándose dispuestas a continuar colaborando en dichos trabajos.

El Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas en su 2ª sesión plenaria celebrada en julio de 1983 hizo propias conclusiones del informe de los expertos recomendando a los Gobiernos de Marruecos y España que las tuviesen en cuenta, e invitó a los Gobiernos y organizaciones internacionales interesados, así como a los Organismos de Investigación a colaborar con los Gobiernos de España y Marruecos en la continuación de los estudios, solicitando así mismo un informe a través de la CEOA y la CEPE sobre los progresos realizados en la sesión de julio de 1984.



## " LA TIENDA VERDE "

C/ MAUDES Nº 38 - 28003 - MADRID

TI.: 533 07 91 533 64 54

Fax: 533 64 54

### "LIBRERIA ESPECIALIZADA EN CARTOGRAFIA, VIAJES Y NATURALEZA"

- MAPAS TOPOGRAFICOS: S.G.E. I.G.N.
- MAPAS GEOLOGICOS.
- MAPAS DE CULTIVOS Y APROV.
- MAPAS AGROLOGICOS.
- MAPAS DE ROCAS INDUSTRIALES.
- MAPAS GEOTECNICOS.
- MAPAS METALOGENETICOS.
- MAPAS TEMATICOS
- PLANOS DE CIUDADES.
- MAPAS DE CARRETERAS.
- MAPAS MUNDIS.
- MAPAS RURALES.
- MAPAS MONTADOS EN BASTIDORES.
- FOTOGRAFIAS AEREAS.
- CARTAS NAUTICAS.
- GUIAS EXCURSIONISTAS.
- GUIAS TURISTICAS.
- MAPAS MONTAÑEROS.

"VENTA DIRECTA Y POR CORRESPONDENCIA"

"SOLICITE CATALOGO"



# Campana 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

## 1. INTRODUCCION

Como 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

*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 Campana 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 Nationale 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-







Estación Día	SS4 RGOGA 504	SS5 RGOGA 505	SS6 RGOGA 506	SS7 RGOGA 507	VS8 RGOGA 508	Reales RPO 001	G. Honda RGOGA 501	VN1 RGOGA 501	Garlito RPO 501	VN2 RGOGA 502	Caños RGOGA 502	VN3 RGOGA 503	VN9 RGOGA 509	VN10 RGOGA 510	S. Ferno EUREF 303
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 3.002			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 3.002			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 3.002		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 3.002		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 3.002	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 3.002	22:52 03:09 0.087	22:48 03:09 2.180			22:45 03:09 0.197	23:04 03:09 2.180			

FIGURA 3

Estación Día	SS4 RGOGA 504	SS5 RGOGA 505	SS6 RGOGA 506	SS7 RGOGA 507	VS8 RGOGA 508	Reales RPO 001	G. Honda RGOGA 501	VN1 RGOGA 501	Garlito RPO 501	VN2 RGOGA 502	Caños RGOGA 502	VN3 RGOGA 503	VN9 RGOGA 509	VN10 RGOGA 510	S. Ferno EUREF 303
26/10/89 299								22:43 03:05 3.002	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 0.077
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 01:15 2.300		21:46 01:15 0.077
8/11/89 312						21:55 01:11 0.087	21:51 01:11 0.197			22:08 01:11 0.087	21:53 02:10 2.290	22:05 01:11 0.087	21:50 01:11 2.190		21:50 01:11 0.077
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, RGOGA 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 nortesur, 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



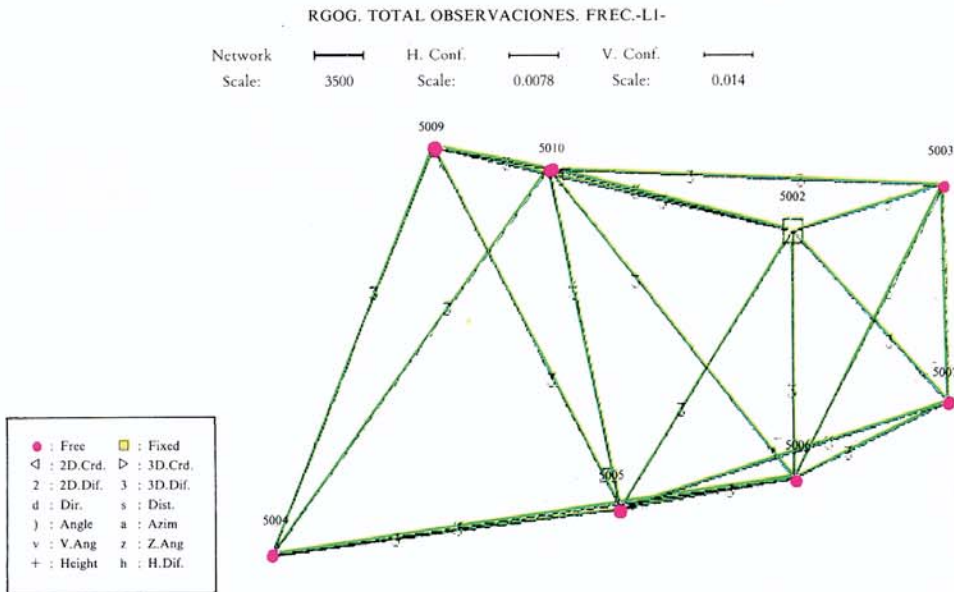


FIGURA 4

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 destrozarse 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

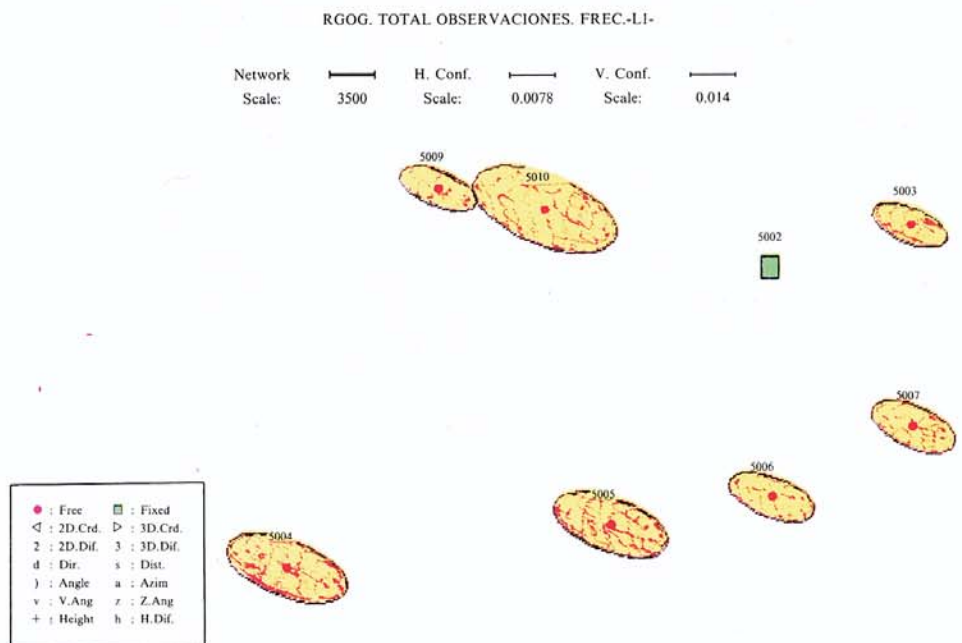


FIGURA 5



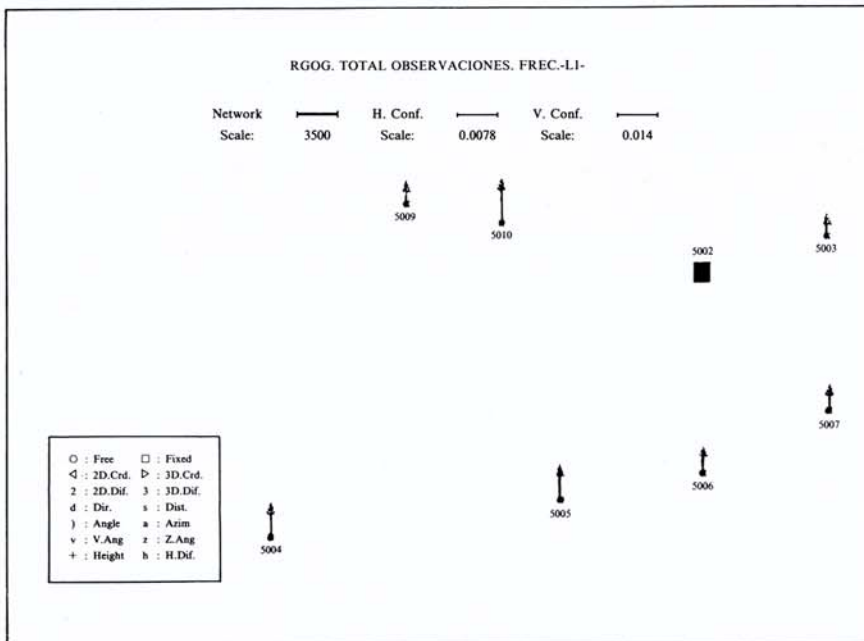


FIGURA 6

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-

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.

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-

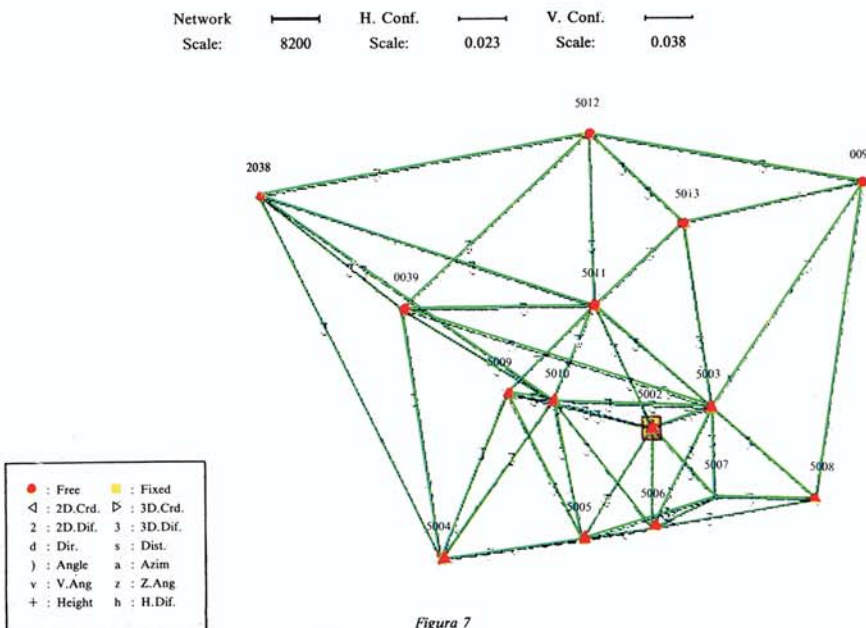


Figura 7

RGOGamp. TOTAL OBSERVACIONES. FREC.-L1-

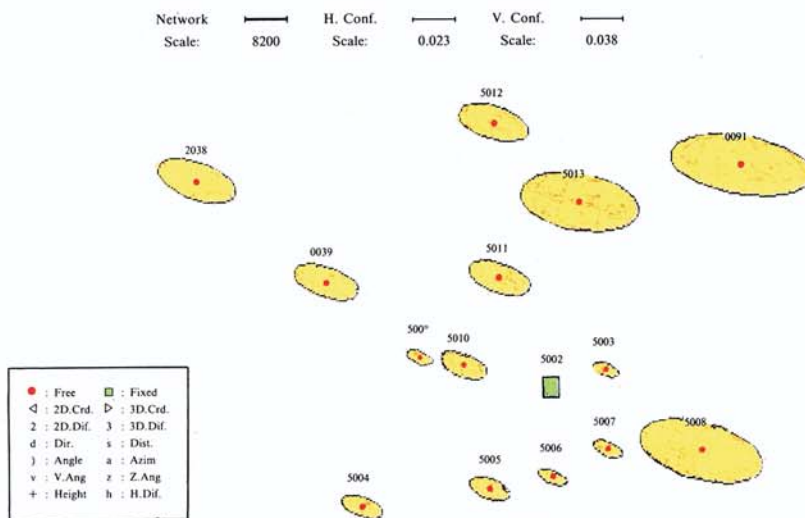


Figura 8

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 baselíneas calculadas que enlazan los ocho puntos de la red, aplicando el método de los "estimadores robustos" para ponderar debidamente las diferentes baselíneas.

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-

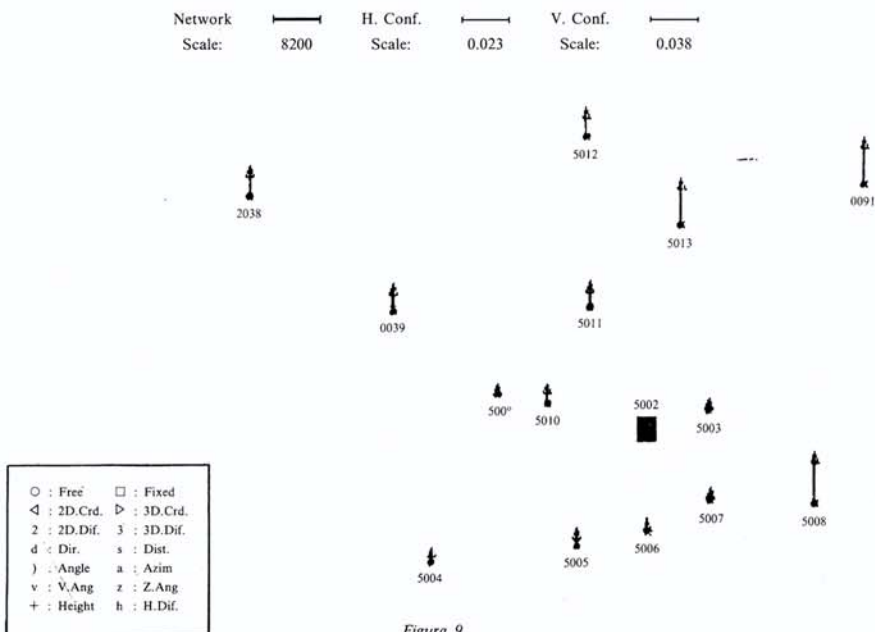


Figura 9

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 destrozar 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.