

Red geodinámica Andalucía Oriental-Norte de Africa: Diseño y Primeras Observaciones

J. GÁRATE ¹, M. BERROCOSO ¹, J. MARTÍN ¹,
M. CATALÁN PÉREZ DE URQUIOLA ¹ Y F. HERNÁNDEZ ²
¹ Real Instituto y Observatorio de la Armada
² Servicio Geográfico del Ejército

RESUMEN

La gran precisión que puede lograrse en la obtención de situaciones relativas de puntos con el sistema de posicionamiento global GPS, tras el correspondiente proceso de datos y la transformación de las coordenadas obtenidas para referirlas a un sistema preciso, abre el camino para su utilización en procesos geodinámicos en áreas geográficas limitadas, siempre que se cuente en tal zona con puntos cuyas posiciones hayan sido previamente determinadas con precisión, dentro del sistema de referencia adecuado.

El Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, donde se situó un punto dentro del sistema de referencia EUREF89, red de control geodésico a nivel continental, obtenida a partir de observaciones GPS, se encuentra en un área geográfica estratégicamente situada para la observación y estudio de la interacción de las placas euroasiática y africana.

1. INTRODUCCIÓN

El sistema de posicionamiento global GPS no puede ser utilizado como una herramienta única en aplicaciones geodinámicas a nivel global. El sistema de referencia ITRF, por ejemplo, sólo puede ser definido por medio de la utilización de estaciones VLBI, aunque las estaciones GPS permanentes contribuyen a su densificación. El geocentro y el campo del

potencial terrestre es definido principalmente a través de observaciones SLR.

Pero si se cuenta con la situación de precisión de al menos un punto dentro de un marco global como el ITRF, pueden referirse a él situaciones de puntos dentro de una cierta zona geográfica. Las variaciones de las baselíneas observadas que tienen como origen el punto referido al sistema preciso nos proporcionan la magnitud del movimiento relativo en dicha zona.

El Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando, en lo sucesivo ROA, participó en el año 1989 en la campaña EUREF89, cuyo objetivo era el establecimiento de una red de control geodésico a nivel continental. La situación obtenida en tal campaña junto con la de otras posteriores como por ejemplo EPOCH92, dota a esta institución de un punto de coordenadas conocidas con gran precisión con respecto a WGS84, que pueden transformarse a ITRF. Se cuenta además con una estación SLR donde se efectúan seguimientos de precisión de satélites artificiales como, por ejemplo, el LAGEOS o el TOPEX-POSEIDON. Estas circunstancias convierten a nuestra institución en un importante referente en cuanto a niveles de precisión de situaciones geográficas.

El área geográfica en la que se encuentra situado este observatorio, cerca de la separación de las placas tectónicas eurasiática y africana, y sobre todo de la fragmentación en la zona de las béticas, que conforma por sí misma un conjunto de microplacas, hace que esta región sea considerada de un gran interés en cuanto a su actividad geodinámica.

En este trabajo pretendemos sentar las bases para los estudios de las características geodinámicas de la zona, a partir de observaciones GPS. La primera fase ha consistido en la constitución de una red a la que denominamos *Red Geodinámica Andalucía Oriental-Norte de África*. Para ello hemos elegido un conjunto de puntos en áreas que juzgamos de interés a nuestros fines. Esos puntos han sido ya observados en una fase inicial. Además se ha monumentado los lugares de observación dotándolos de tornillos fijos para una rápida y precisa reubicación de las antenas en las posteriores reobservaciones.

2. ELECCIÓN DE LOS PUNTOS DE OBSERVACIÓN

En el mapa mostrado en la Figura 1, se señalan los puntos elegidos junto con la estación de referencia del ROA para efectuar las observaciones. Las ya efectuadas constituyen lo que hemos denominado Fase I.

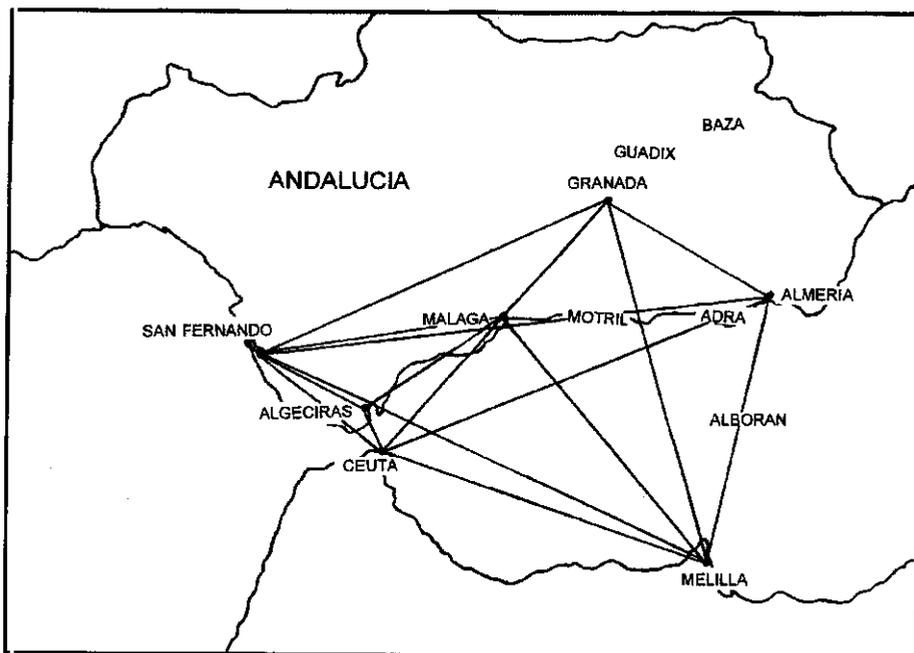


Figura 1. Red geodinámica.

Corresponden a las estaciones situadas en Algeciras, Málaga, Granada, Almería, Ceuta y Melilla. Estos puntos han sido elegidos con el criterio de poder realizar reobservaciones con cierta facilidad. Todos los que se encuentran situados en el sur de la península fueron observados por el ROA durante el mes de julio de 1994, mientras, y de forma simultánea, se observaron los situados en Ceuta y Melilla por el Servicio Geográfico del Ejército.

Asimismo se monumentaron los puntos en los que se tiene previsto efectuar observaciones en un futuro inmediato y que son los de Guadix, Baza, Motril y Adra. También pueden verse dichos puntos en la Figura 1. Si las circunstancias lo permiten se pretende realizar también observaciones en la Isla de Alborán, situada en el centro del mar de su nombre, a medio camino entre Almería y Melilla.

3. INSTRUMENTACIÓN

Las observaciones ya realizadas se efectuaron con equipos geodésicos GPS de alta precisión, todos ellos de la firma TRIMBLE NAVIGATION. Los puntos del sur de la península se observaron con receptores TRIMBLE 4000 SST, SLD, y SLT, propiedad del ROA, mientras que en Ceuta y Melilla las observaciones se realizaron con equipos TRIMBLE 4000 SSE por el servicio Geográfico del Ejército.

Todas las observaciones se realizaron utilizando una programación previa que determinaba un mínimo de 4 satélites, una máscara de elevación de 15° y un intervalo de 30 sg entre dos tomas consecutivas de datos. El objetivo era la determinación previa de las coordenadas de los puntos por lo que las precisiones requeridas se estimaban en el orden de algunos centímetros, resultados fáciles de lograr incluso con la utilización de equipos como los TRIMBLE 4000 SLD, y SLT. No obstante, la estrategia utilizada en las observaciones incluía la situación de los receptores menos precisos para la obtención de las baselíneas más cortas, con objeto de optimizar los recursos disponibles. De ese modo obtuvimos la situación del punto de Algeciras, el más cercano a la estación de referencia, con el receptor TRIMBLE 4000SLT, de una sola frecuencia, y los TRIMBLE 4000 SLD se utilizaron para determinar la situación en las estaciones de Málaga y Granada.

Tabla 1. Instrumentación utilizada.

ESTACIÓN	Día del año				
	190	191	192	193	194
San Fernando	SST	SST	SST	SST	SST
Algeciras			SLT	SLT	SLT
Málaga			SLD	SLD	SLD
Granada			SLD	SLD	SLD
Almería			SST	SST	SST
Ceuta	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE
Melilla	SSE	SSE	SSE	SSE	SSE

El procesado de datos se efectuó con ayuda del software de la propia casa TRIMBLE, el GPSURVEY para la reducción de las observaciones, mientras que el ajuste se realizó con ayuda del software TNL, integrado

en el anterior. Las efemérides precisas se obtuvieron del *International Geodynamics Service* (IGS), vía FTP, con formato SP3. Se tomó como estación de referencia para la determinación de las situaciones la del ROA, por ser la de que se conocía con precisión.

Los algoritmos utilizados fueron los de triples diferencias inicialmente, para posteriormente mejorar los resultados mediante dobles diferencias, sobre la combinación de frecuencias L1/L2 de portadora que proporcionan el observable libre de ionosfera. Esto no puede realizarse para las baselíneas correspondientes a la estación de Algeciras, cuyo receptor sólo puede observar en la frecuencia L1. Dichas baselíneas se redujeron por el procedimiento convencional de incluir los parámetros de propagación ionosférica obtenidos a través del mensaje de navegación. Por fin, para la reducción de los errores correspondientes a la propagación troposférica se utilizaron los datos meteorológicos que se incluyen en el modelo de Hopfield.

4. RESULTADOS DE LA FASE INICIAL

En la Tabla 1 mostramos los resultados de la reducción de las baselíneas. Podemos apreciar errores centimétricos cuando hay receptores SLT o SLD involucrados. En caso contrario tales errores son menores, en especial en Ceuta donde había sido situado un receptor 4000 SSE del Servicio Geográfico del Ejército. Puede comprobarse cómo, a pesar de ser mayores las distancias a Almería o Melilla, los errores en estas baselíneas son menores que en las de Algeciras o Málaga.

Tras un proceso habitual de ajuste en donde se incluye

- Obtención, a partir de Δx , Δy , Δz en cada baselínea de Δd , $\Delta \theta$, Δh , es decir, incrementos en la distancia elipsódica, el azimut normal y la altura sobre el elipsoide. Se incluyen dos parámetros que son el ratio y el porcentaje de rechazo que dan un idea de la calidad de las observaciones.
- Obtención de las coordenadas elipsódicas calculadas φ , λ , h , a partir de los resultados anteriores.
- Obtención de las coordenadas elipsódicas ajustadas por un procedimiento de mínimos cuadrados a partir de los valores anteriores.

se obtiene el conjunto de posiciones, tras pasar el test τ , que se muestra en la Tabla 2.

Los valores covariantes oscilan desde un pobre resultado por debajo de la parte por millón para la baselínea de Algeciras, hasta el orden de 1 parte por 60 millones en la medida de la baselínea de Melilla.

Tabla 2. *Posicionamientos Relativos.*

De	a	Azimut	σ	Distancia	σ	Δh	σ
ALG	ALM	72°38'27"	0.01	276423.83	0.0331	-5.49	0.0320
ALG	CEU	152°05'06"	0.22	28983.78	0.0214	+161.52	0.0312
ALG	GRA	53°52'27"	0.04	203096.73	0.0496	+768.59	0.0500
ALG	MAL	54°25'38"	0.06	112860.81	0.0390	-7.77	0.0406
ALG	MEL	111°39'04"	0.02	244181.16	0.0330	+61.66	0.0315
ALG	SFE	298°59'24"	0.05	78158.08	0.0312	+25.51	0.0311
ALM	CEU	248°23'54"	0.00	272606.45	0.0060	+167.01	0.0079
ALM	GRA	292°14'09"	0.05	106505.96	0.0456	+774.08	0.0399
ALM	MAL	266°10'34"	0.02	172853.01	0.0313	-2.28	0.0272
ALM	MEL	193°48'36"	0.01	176421.17	0.0041	+67.18	0.0090
ALM	SFE	264°07'03"	0.00	335175.54	0.0055	+31.00	0.0074
CEU	GRA	46°05'02"	0.04	209211.54	0.0375	+607.07	0.0393
CEU	MAL	40°41'29"	0.04	120205.35	0.0228	-169.29	0.0263
CEU	MEL	106°54'16"	0.00	222913.60	0.0062	-99.85	0.0059
CEU	SFE	307°51'36"	0.00	103654.93	0.0025	-136.01	0.0028
GRA	MAL	234°17'07"	0.09	90247.75	0.0481	-776.36	0.0471
GRA	MEL	164°23'52"	0.05	219024.34	0.0236	-706.92	0.0395
GRA	SFE	251°42'16"	0.02	246402.04	0.0458	-743.08	0.0392
MAL	MEL	139°38'52"	0.03	206202.93	0.0230	+69.43	0.0266
MAL	SFE	260°46'28"	0.02	162552.59	0.0305	+33.28	0.0261
MEL	SFE	294°53'09"	0.00	321853.78	0.0052	-36.16	0.0052

Por lo tanto todos los errores entran dentro de los límites de tolerancia previstos, como puede comprobarse de la inspección de las elipses de error.

Tabla 3. Posiciones Absolutas.

		Coordenadas Ajustadas	σ	Modelo de Receptor
San Fernando	Latitud	36°27'51".631	FIJAS	SST
	Longitud	6°12'20".345		
	Altura	85.853 m.		
Algeciras	Latitud	36°07'31".427	0.0149	SLT
	Longitud	5°26'34".491	0.0341	
	Altura	60.027 m.	0.0311	
Almería	Latitud	36°49'56".019	0.0030	SST
	Longitud	2°29'05".914	0.0055	
	Altura	54.534 m.	0.0074	
Ceuta	Latitud	35°53'40".144	0.0013	SSE
	Longitud	5°17'33".434	0.0032	
	Altura	221.544 m.	0.0028	
Granada	Latitud	37°11'24".814	0.0201	SLD
	Longitud	3°35'43".162	0.0478	
	Altura	828.6130 m.	0.0391	
Málaga	Latitud	36°42'45".604	0.0136	SLD
	Longitud	4°24'55".646	0.0308	
	Altura	52.257 m.	0.0261	
Melilla	Latitud	35°17'14".390	0.0022	SSE
	Longitud	2°56'52".298	0.0057	
	Altura	121.691 m.	0.0051	

5. CONCLUSIONES

Una amplia zona del entorno geográfico del ROA es de gran interés desde el punto de vista geodinámico. Los nuevos equipos TRIMBLE 4000 SSE, de los que el ROA cuenta actualmente con tres, aunque su adquisición es posterior a la realización del trabajo de campo aquí descrito, proporcionan errores en las observaciones por debajo del centímetro, a las distancias consideradas, siempre que el procesado se efectúe

con efemérides de precisión. Por lo tanto tales receptores son adecuados a los trabajos geodinámicos propuestos. Es conveniente, sin embargo, evolucionar en la utilización de softwares de reducción como el empleado en este trabajo, sin duda adecuado para labores de tipo topográfico, hacia el uso de softwares de tipo científico más adaptables a las labores aquí propuestas.

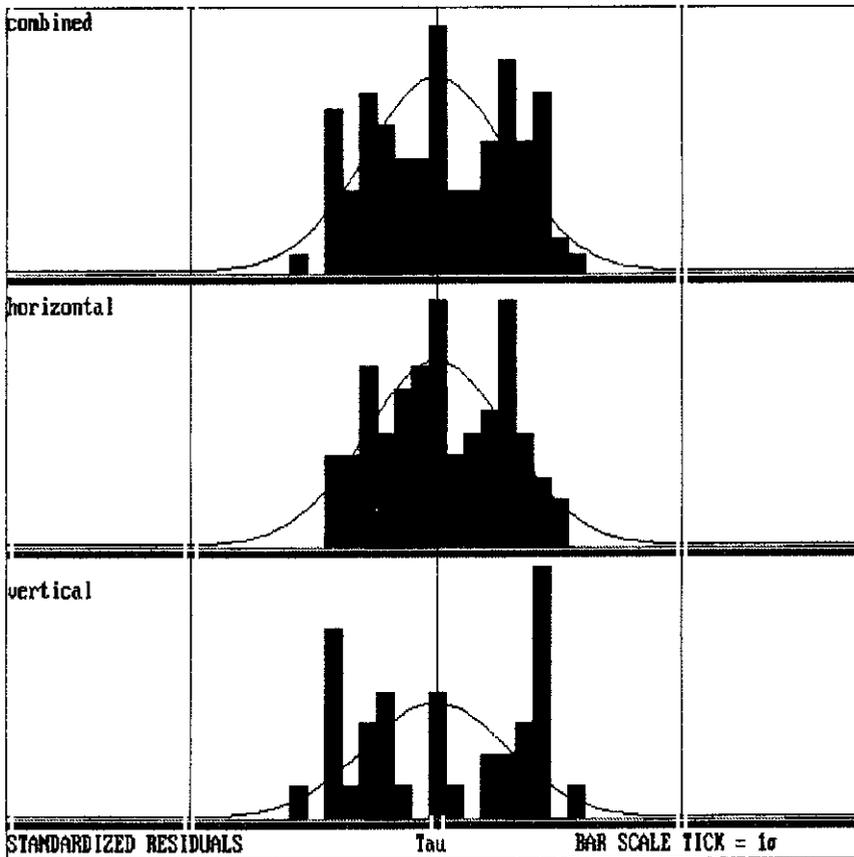


Figura 2. Test Tau. Histograma de residuos.

Por último una consideración con respecto al uso de equipos TRIMBLE 4000 SLD o SLT. Son aceptables y apropiados para observaciones iniciales, como las que se hicieron en el desarrollo del presente trabajo. Sin embargo su utilización en combinación con equipos actuales de mayor precisión empeora los resultados de la red observada. No son aptos para

los trabajos de tipo geodinámico, pues su nivel de error se sitúa en el valor esperado de llegar a enmascararlos.

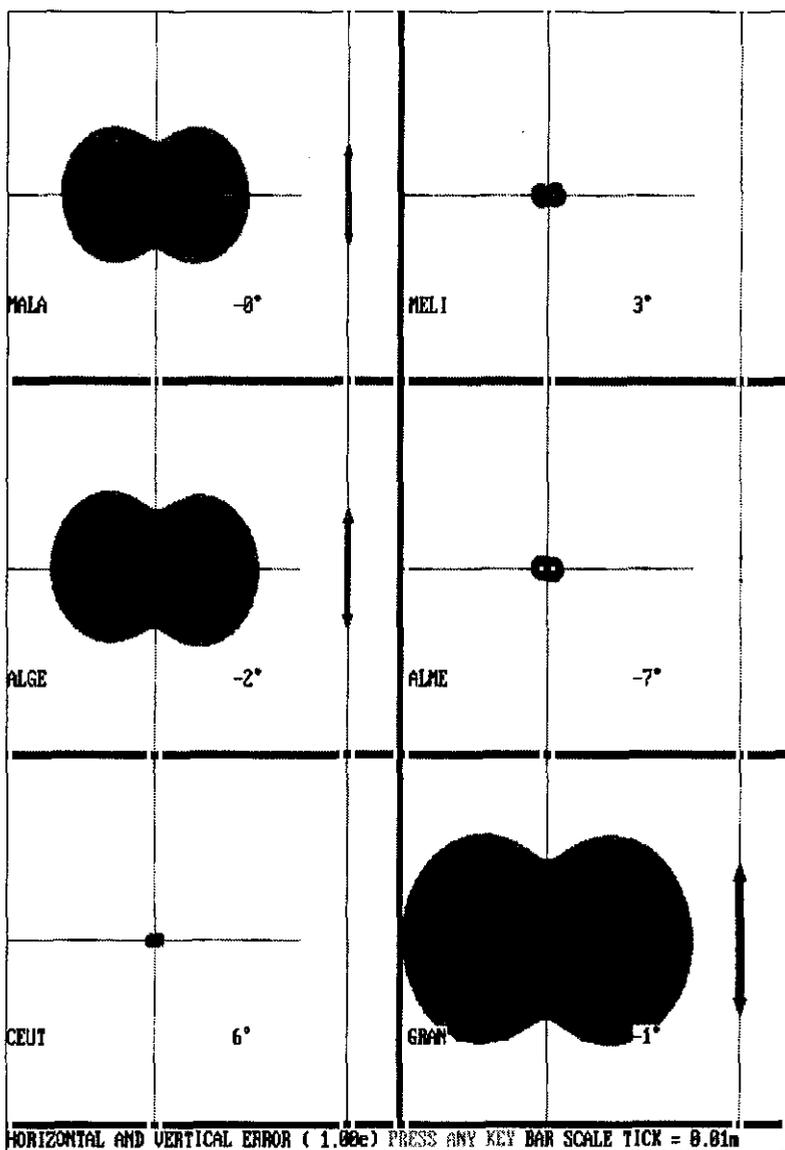


Figura 3. Elipses de error.