

## **ESTACIONES Y REDES SÍSMICAS EN LA PENÍNSULA IBÉRICA: ESTADO ACTUAL**

### **STATIONS AND SEISMOLOGICAL NETWORKS IN THE IBERIAN PENINSULA: STATE OF THE ART**

Gerardo Alguacil<sup>(1)</sup>, José Martín Dávila<sup>(2)</sup>

(1) Instituto Andaluz de Geofísica, Universidad de Granada.

(2) Instituto y Observatorio de la Armada, S. Fernando. Cádiz.

#### **RESUMEN**

En la Península Ibérica se encuentran instaladas en unas 55 estaciones sísmicas de Banda Ancha (BB) y más de 70 de Corto Periodo (SP), así como un número indeterminado de acelerógrafos. Dichos equipos han sido desplegados y están siendo mantenidos por diferentes organismos y centros, en unos casos con fines puramente científicos y en otros dentro de las responsabilidades de vigilancia que algunas instituciones tienen asignada. En el presente trabajo se pretende dar una visión general de la situación actual de dicho despliegue, facilitando, en lo posible enlaces a las páginas web correspondientes donde se puede encontrar información más detallada, y la forma de contactar con los responsables de dicha instrumentación.

#### **ABSTRACT**

Nowadays, in the Iberian Peninsula have been installed 55 Broad Band (BB) seismic stations and more than 70 Short Period (SP) ones, together with an indeterminate number of accelerometers. These equipments have been deployed and are maintained by different organisms and centres, sometimes with only research purposes and sometimes under some Institutions

surveillance responsibilities. The aim of this work is to provide an overview of the present status of the previous mentioned deployment, providing, where possible, links to web pages where a more detailed information and the way to link to that instruments responsible persons can be found.

**Palabras clave:** Estaciones sísmicas, redes sísmicas, periodo corto, banda ancha, acelerógrafo, Peninsula Ibérica

## INTRODUCCIÓN

El comienzo de los registros sísmicos instrumentales en la Península comienza en el año 1898, con la instalación de un péndulo horizontal tipo «Milne» en el recinto del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando (ROA). Hasta principios de la década de los ochenta, el registro sísmico se basaba exclusivamente en los observatorios clásicos, equipados con instrumentos de registro fotográfico, con la excepción de la estación de alta ganancia (HGLP) instalada en Toledo por el Lamont-Doherty (Payo y Gómez-Menor, 1998). Por la expansión urbana, varios de estos observatorios habían quedado además expuestos directamente al ruido «cultural», que limitaba las amplificaciones efectivas y, por tanto, la detectabilidad. En los últimos veinte años el panorama de la instrumentación sísmica de la Península Ibérica ha cambiado de forma espectacular. Con los despliegues de las primeras estaciones telemétricas, se consigue mejorar el nivel de amplificación, ya que se utilizan emplazamientos remotos. En España, las estaciones del Valle de los Caídos (GUD) y Alfacar (AFC) (Instituto Geográfico Nacional, IGN), en Granada, con radio-telemetría analógica, son probablemente las primeras estaciones permanentes de este género, seguidas por cuatro estaciones en esta misma provincia instaladas por la Universidad de Granada. Posteriormente se despliegan las de la Red del Estrecho (SECEGSA, ROA, IGN) y la Red sísmica Nacional (Instituto Geográfico Nacional, 1991), ésta última con enlaces telefónicos analógicos a la central del IGN. Le siguen en breve espacio de tiempo otras redes o ampliaciones de las primeras, como las de Cataluña (Servei Geologic de la Generalitat), la red de corto periodo del ROA que complementa la Red del Estrecho, la Red Sísmica de Andalucía (Universidad de Granada y más tarde la de Almería), la de la Universidad de Alicante, etc.

Desde finales de los ochenta se impone paulatinamente el registro digital de forma rutinaria, generalmente por disparo. Esto mejora el margen dinámico de los registros y hace posibles una serie de estudios hasta entonces muy limitados por los datos analógicos. En los últimos años del siglo XX, se empiezan a extender las estaciones de banda ancha (BB), un concepto

instrumental que viene a superar la clásica división entre sismómetros de corto y largo periodo y en cuyo éxito tienen una parte fundamental las nuevas técnicas electrónicas, con sistemas de adquisición de datos de resolución y margen dinámico varios órdenes de magnitud mejores que la generación anterior. Por otra parte, las capacidades de los soportes magnéticos de datos facilitan el registro continuo, hasta entonces mayoritariamente disparado por sucesos.

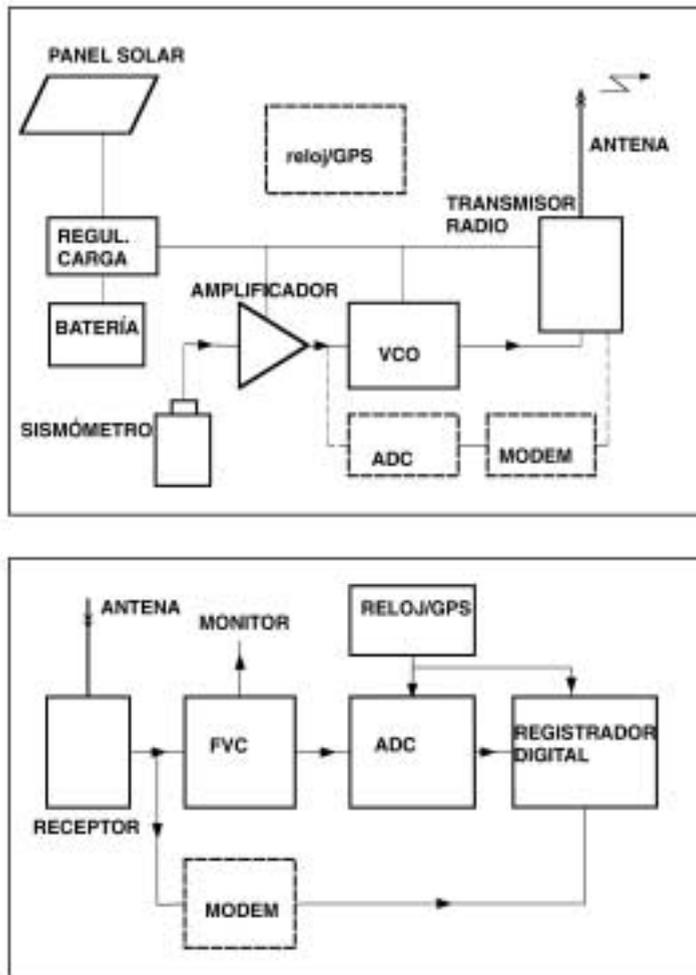
Los avances en informática y en comunicaciones han llevado en los últimos años a una generación de estaciones sísmicas mucho más flexibles, que registran de forma autónoma y se interrogan remotamente desde diversos puntos, formando lo que se ha dado en llamar «redes sísmicas virtuales». Una misma estación puede formar parte de varias redes simultáneamente, ya que se accede a ella desde los centros de datos o los usuarios autorizados para hacerlo, aunque su instalación y mantenimiento dependa de diferente organismo o institución.

## **ESTACIONES Y SISTEMAS**

La práctica totalidad de las estaciones que actualmente funcionan disponen de registro digital. El margen dinámico de éste, sin embargo, varía entre 12 bit (72dB) hasta 24 bit (144dB), lo que supone una diferencia de más de tres órdenes de magnitud. Los sistemas de menor resolución están asociados a estaciones con telemetría analógica por modulación de frecuencia (figura 1), bien sea por línea telefónica dedicada o por radio-enlace, lo que limita el margen dinámico. Estas estaciones tienen en general amplificaciones altas, ya que están dedicadas a la microsismicidad, y utilizan sensores pasivos de periodo libre 1s. La estación central de recepción asigna también el tiempo, que es único para todas las estaciones de cada red telemétrica.

La figura 1 muestra el esquema de una estación típica de esta clase. El sensor, normalmente uniaxial-vertical, de periodo propio 1s, proporciona la señal a un preamplificador, eventualmente con algún filtrado para limitar el ancho de banda. La salida se lleva a un modulador de frecuencia (telemetría analógica) o a un conversor analógico digital (telemetría digital). En el primer caso, la señal modulada de audiofrecuencia se transmite por línea telefónica (generalmente multiplexada con otras, lo que limita adicionalmente la dinámica) o vía radio de baja potencia y banda estrecha. Si la señal es digital, se transmite a través de un radio-MODEM en forma de tramas. Opcionalmente estas tramas de datos pueden incluir el tiempo en origen, si la estación incorpora un reloj sincronizado con el Tiempo Universal (TU), p.e. con un receptor GPS.

En la estación receptora (figura 1) se centraliza normalmente el registro de varias estaciones de campo. La señal de audio de un receptor de audio se

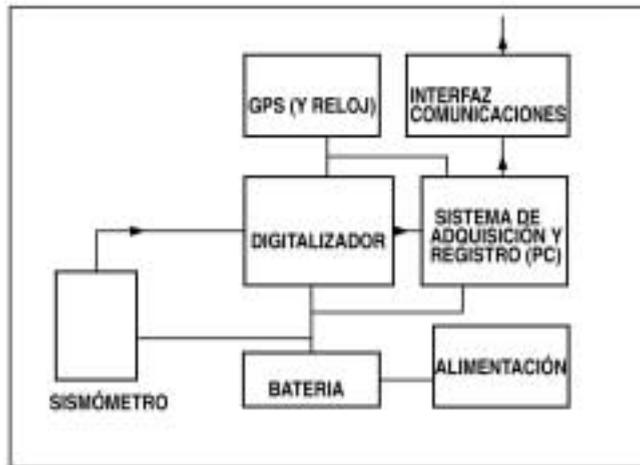


**Figura 1.-** Arriba: Esquema de una típica estación sísmica telemétrica. La señal del sismómetro se amplifica hasta un nivel apropiado para la entrada de un oscilador controlado por tensión (VCO) –telemetría analógica- o, alternativamente, un digitalizador (ADC) –telemetría digital-. La señal resultante se transmite por radio o por línea telefónica. En el caso digital, a través de un MODEM. El conjunto se alimenta de una fuente ininterrumpida, normalmente una batería cargada por paneles solares, si el sitio es remoto. Abajo: La estación receptora. Se recibe la señal por radio y se demodula con un conversor frecuencia-tensión (FVC), cuya salida (señal sísmica recuperada) se convierte a forma digital y se lleva al registrador correspondiente. Si la señal enviada ya es digital, solo se requiere un MODEM antes del registrador. Éste comúnmente es un PC o estación de trabajo con lo

demodula en un convertor de frecuencia a voltaje (FVC), recuperando la señal sísmica. Ésta se convierte a forma digital y pasa al registrador, bien continuo o disparado por sucesos (generalmente un PC o estación de trabajo). Se incorpora la información temporal en una de estas dos últimas etapas. Alternativamente, si la telemetría es digital, la salida de la radio va aun MODEM, del que obtenemos la señal sísmica en forma digital.

Una consideración importante se refiere a la precisión del tiempo. Para la mayoría de estudios de rutina, una precisión del orden del intervalo de muestreo (típicamente 0.01-0.02s) es suficiente. Pero en algunos trabajos que implican localizaciones relativas de múltiplos (p.e. Stich et al., 2001) o cambios a lo largo del tiempo de la velocidad de propagación de las ondas (p.e Poupinet et al., 1984) , se necesitan precisiones (relativas entre estaciones) mejores al menos en un orden de magnitud. Por esto es importante conocer con precisión los retrasos relativos que introducen los diferentes elementos del sistema, sobre todo si hay cambios a lo largo del tiempo.

La generación más actual y de hecho la mayoría de nuevas instalaciones la constituyen (figura 2) las estaciones de banda ancha (BB). Con sismómetros



**Figura 2.-** Esquema de una típica estación moderna de banda ancha. El sismómetro, triaxial, suministra una señal de nivel adecuado para convertirse directamente a forma digital. En este proceso normalmente se añade el tiempo universal, tomado de un reloj sincronizado vía GPS. El sistema de registro almacena los datos y eventualmente analiza posibles sucesos. A través de una línea de comunicación (teléfono, satélite, GSM, línea de datos...) se transmite en tiempo real o se accede a la estación para interrogarla. En caso de transmisión en tiempo real, no hay registro en campo.

realimentados de amplio margen dinámico, utilizan digitizadores de 24 bit nominales colocados junto al sensor y su telemetría es digital, bien en tiempo real o bien diferido. En estos casos, la comunicación se establece de varios modos posibles: a través de MODEM por la red telefónica conmutada, por la red de telefonía GSM, por líneas terrestres de datos dedicadas (usualmente entre centros de datos, no hasta la estación misma) y por líneas de datos vía satélite.

El tiempo en estos casos se asigna en origen, ya que la telemetría no es generalmente en tiempo estrictamente real, mediante el correspondiente reloj ligado a un receptor GPS.

Se presenta en la figura 2 la descripción esquemática de una estación tipo de esta clase. El sismómetro de banda ancha, triaxial, se instala en condiciones adecuadas de aislamiento (ver p.e. NMSOP, New Manual of Seismological Observatory Practice) y su señal se digitaliza con alta resolución. No se requiere en este caso amplificador, ya que el sensor es activo y la señal a su salida es de nivel adecuado. Los conversores de alta resolución, generalmente del tipo conocido como «sigma-delta», funcionan con el principio de sobre-muestreo y decimación posterior a una etapa de filtrado digital. Su resolución nominal típica es de una parte en 16 millones respecto del fondo de escala (144 dB), si bien en algunos su resolución real es algo menor. Esto permite aprovechar las características de los sismómetros y registrar dentro de escala señales sísmicas de muy amplia dinámica. La señal digital puede transmitirse continuamente o registrarse en disco. En este caso, también suele realizarse una detección de sucesos, para facilitar la búsqueda de ellos por la estación que interroga o realiza el análisis. La estación de campo dispone de un medio de comunicación (satélite, teléfono, línea de datos...), que permite su interrogación y su control remoto, mediante algún protocolo (telnet, ftp). La tendencia actual es que el control del sistema y el registro lo realice un ordenador estándar de bajo consumo, más bien que un procesador especial, lo que facilita el uso de sistemas operativos y procedimientos bien conocidos.

## REDES ACTUALES EN ESPAÑA

Varios organismos e instituciones han instalado y mantienen redes sísmicas. En la Tabla I se recoge una lista de las estaciones permanentes actualmente en funcionamiento, que puede no ser completa, ya que las nuevas instalaciones se suceden con frecuencia. Las figuras 3 y 4 muestran respectivamente la distribución de estaciones permanentes de corto periodo y de banda ancha.

**TABLA I**

<b>CODIGO</b>	<b>SITUACIÓN</b>	<b>LAT ° N</b>	<b>LON ° E</b>	<b>ALTIT.</b>	<b>CENTRO</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>TIPO</b>
AAPN	Sierra Chanzas (Granada)	37.3077	-4.1202	1160	IAG	L4-C 14bit	SZ
ACBG	Cabo de Gata (Almería)	36.7686	-2.1939	64	IAG-UAL	L4-C 14bit	SZ
ACHM	Chimeneas (Granada)	37.105	-3.8297	860	IAG	L4-C 14bit	SZ
ACLR	Gérgal (Almería)	37.1897	-2.5822	1490	IAG-UAL	L4-C 14bit	SZ
ACU	Canalobre	38.51133	-0.41066	580	IGN	SS-1	SZ
ADRA	Adra (Almería)	36.7894	-3.0486	875	IAG-UAL	L4-C 14bit	SZ
AFUE	Fuente Hervi- dero(Granada)	37.1134	-3.5069	1586	IAG	L4-C 14bit	SZ
ALBA	Albanyà	42.3133	2.7192	378	ICC	L4-C 16bit	SZ
ALJ	Sierra de Al- -jibe (Cádiz)	36.5299	-5.6494	477	ROA	L4-C 12bit	SZ
ALM	Almería	36.85167	-2.45983		IGN	STS-2	BB-3C
ALoj	Sierra Loja (Granada)	37.109	-4.105	1340	IAG	L4-C 14bit	SZ
ANER	Maro (Málaga)	36.7623	-3.8453	170	IAG	STS-2 24bit	BB-3C
APHE	Sierra Albu- -ñuelas (Granada)	36.952	-3.688	1360	IAG	L4-C 14bit	SZ
ARAC	Aracena (Huelva)	37.8923	-6.5647	675	IAG	STS-2 24bit	BB-3C
ASCB	Sierra Cabrera (Almería)	37.0394	-2.0056	550	IAG-UAL	L4-C 14bit	SZ
ASMO	Sierra Morrones (Granada)	37.358	-3.743	1170	IAG	L4-C 14bit	SZ
ATEJ	Sierra Tejeda (Granada)	36.915	-4.014	1480	IAG	L4-C 14bit	SZ
CAD	Túnel del Cadí (Pirineos)	42.3402	1.8412	1207	IEC	CMG-3T 132dB	BB-3C
CART	Cartagena (Murcia)	37.5869	-1.0012	49	ROA/UCM	STS-2 24bit	BB-3C
CAVN	Les Avellanes	41.8826	0.7516	634	ICC	CMG-40T 24bit	BB-3C
CBRU	Bruguera	42.2855	2.1803	1327	ICC	STS-2 24bit	BB-3C
CEBR	Ebre	40.8209	0.4924	58	ICC	CMG-3 24bit	BB-3C
CFON	Fontmartina	41.7623	2.4356	973	ICC	CMG-40T 24bit	BB-3C
CGAR	Garraf	41.2944	1.9149	584	ICC	CMG-3 24bit	BB-3C
CLLI	Llivia	42.4792	1.9742	1413	ICC	CMG-40T 24bit	BB-3C
CNIL	Chiclana (Cádiz)	36.37	-6.0545	115	ROA	L4-C 12bit	SZ
CORG	Organyà	42.2303	1.3176	716	ICC	CMG-3 24bit	BB-3C
CRE		38.2792	-0.85		UAlI	L4-C 3D 12bit	S-3C
CREV		38.2792	-0.85		UAlI	L4-C 12bit	SZ
CRT	Observatorio Cartuja (Granada)	37.1913	-3.5944	770	IAG	SS-1 3C 14bit	S-3C
CSOR	Soriguera	42.3756	1.1339	1227	ICC	STS-2 24bit	BB-3C
CSOR	Sort	42.3757	1.1339	1225	ICC	L4-C 10bit	SZ
EALB	Alborán	35.9399	-3.0343	20	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C

**TABLA I (continuación)**

<b>CODIGO</b>	<b>SITUACIÓN</b>	<b>LAT ° N</b>	<b>LON ° E</b>	<b>ALTIT.</b>	<b>CENTRO</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>TIPO</b>
EALH	Alhama	37.85816	-1.41966	294	IGN	SS-1	SZ
EBAD	Badajoz	38.7556	-7.0133	221	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
EBAJ	Bajamar (Tenerife)	28.5399	-16.3434	239	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
EBAN	Baños	38.17099	-3.78999	460	IGN	SS-1	SZ
EBEN	Beniarda (Alicante)	38.7038	-0.225	764	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
EBER	Berja (Almería)	36.8979	-2.8896	1690	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
EBR	Observa- torio Ebro	40.8207	0.4933	0	EBR	STS-2 24bit	BB-3C
ECHE	Chera	39.59083	-0.96766	643	IGN	SS-1	SZ
ECOG	Cogollos	37.02716	-3.56633	1176	IGN	SS-1	SZ
ECRE		38.2508	-0.8083		UALi	FBA 20bit	A-3C
ECRI	Cripán	42.05861	-2.51000	807	IGN	SS-1	SZ
EGRA	Graus	42.19516	0.31600	706	IGN	SS-1	SZ
EGUA	Guajares	36.83366	-3.56533	386	IGN	SS-1	SZ
EHOR	Hornachuelos	37.82316	-5.24799	160	IGN	SS-1	SZ
EHUE	Huescar	37.81483	-2.59266	980	IGN	SS-1	SZ
EJIF	Jimena de la Frontera	36.45133	-5.46883	260	IGN	SS-1	SZ
ELIJ	Sierra de Lijar	36.91902	-5.37962	870	IGN	SS-1	SZ
ELIZ	Elizondo	43.16400	-1.31408	523	IGN	L4-C	SZ
ELOB	Lobios (Orense)	41.8674	-8.0611	980	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
ELOJ	Loja	37.14799	-4.15300	998	IGN	L4-C	SZ
ELUQ	Luque	37.56050	-4.26683	703	IGN	SS-1	SZ
EMAL	Málaga	36.72750	-4.41110	60	IGN	L4-C	SZ
EMEL	Melilla	35.29999	-2.95666	85	IGN	SS-1	SZ
EMON	Mondoñedo	43.43616	-7.32983	615	IGN	SS-1	SZ
EMOS	Mosqueruela (Teruel)	40.3639	-0.4721	1694	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
EMUR	Murta (Murcia)	37.8422	-1.2405	574	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
ENIJ	Níjar	36.97149	-2.20700	440	IGN	SS-1	SZ
EPAB	San Pablo (Toledo)	39.5449	-4.3499	946	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
EPED		38.0147	-0.8842		UALi	FBA 20bit	A-3C
EPLA	Plasencia	40.06416	-6.08033	591	IGN	SS-1	SZ
EQUE	Quentar	37.20860	-3.44444	1050	IGN	STS-2	BB-3C
EQUES	Quesada (Jaén)	37.8028	-3.0711	1140	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
ERIP	Rio piedras	37.37610	-7.02555		IGN	STS-2	BB-3C
ERON	Agron	37.01799	-3.80500	1305	IGN	L4-C	SZ
EROQ	Roquetas	40.82316	0.40883	284	IGN	SS-1	SZ
ERTA	Hosta de S. Juan (Tarragona)	40.9567	0.3335	547	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
ERUA	La Rúa	42.39266	-7.14249	431	IGN	SS-1	SZ
ESAC	S. Caprasio (Zaragoza)	41.7219	-0.4693	815	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C

**TABLA I (continuación)**

<b>CODIGO</b>	<b>SITUACIÓN</b>	<b>LAT ° N</b>	<b>LON ° E</b>	<b>ALTIT.</b>	<b>CENTRO</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>TIPO</b>
ESEL	Selva	39.76816	2.89433	231	IGN	SS-1	SZ
ETER	Terrades	42.30150	2.85550	238	IGN	SS-1	SZ
ETOB	Tobarra (Albacete)	38.6447	-1.5478	855	IGN	CMG-3T 24bit	BB-3C
ETOR	Torete	40.81949	-2.05516	1018	IGN	SS-1	SZ
Eval	Valverde del Camino	37.58416	-6.44516	295	IGN	SS-1	SZ
EVIA	Vianos	38.68499	-2.50250	1142	IGN	SS-1	SZ
EZAM	Zamans	42.14899	-8.69499	398	IGN	SS-1	SZ
GIBL	El Cuervo (Sevilla)	36.8301	-5.9674	448	ROA	L4-C 12bit	SZ
GORA	Gorafe (Granada)	37.4805	-3.0398	895	IAG	STS-2 24bit	BB-3C
GUD	Guadarrama	40.64316	-4.15366	1268	IGN	SS-1	SZ
HORN	Hornachuelos (Córdoba)	37.8466	-5.2582	268	IAG	STS-2 24bit	BB-3C
LIJA	Sierra de Lijar (Cádiz)	36.9061	-5.4038	1003	ROA	L4-C 12bit	SZ
MAHO	Mahón (Baleares)	39.8959	4.2665	13	ROA/UCM	STS-2 24bit	BB-3C
MAIG		38.525	-0.6625		UAli	L4-C 12bit	SZ
MELI	Melilla (North Africa)	35.2899	-2.9392	22	ROA/UCM	STS-2 24bit	BB-3C
MOMI	Sierra de Momias (Cádiz)	36.3301	-5.72	420	ROA	L4-C 12bit	SZ
OLT	Olot	42.1448	2.4753	741	ICC	L4-C 10bit	SZ
PAB	San Pablo	39.54580	-4.34830	925	IGN/IRIS	STS-1	VBB-3C
PONT	Pont de Suert	42.4046	0.7569	1098	ICC	L4-C 16bit	SZ
PUJA		37.9913	-0.9347		UAli	L4-C 12bit	SZ
REAL	Sierra Bermeja (Málaga)	36.484	-5.2078	1452	ROA	L4-C 12bit	SZ
RESI	Resinera (Granada)	36.8779	-3.8499	1370	IAG	L4-C 14bit	SZ
ROM		38.3842	-0.9183		UAli	L4-C 3D 12bit	S-3C
SCRT	Cerro de San Cristobal (Cádiz)	36.635	-6.175	133	ROA	L4-C 12bit	SZ
SELV	Sierra Elvira (Granada)	37.238	-3.7277	650	IAG	STS-2 24bit	BB-3C
SESP	Santiago de la Esp. (Granada)	38.12	-2.5452	1528	IAG	STS-2 24bit	BB-3C
SFS	San Fernando (Cádiz)	36.4656	-6.2055	84	ROA	L4-C 12bit	SZ
SFS	San Fernando (Cádiz)	36.4656	-6.2055	84	ROA/UCM	STS-2 24bit	BB-3C
SFS	San Fernando (Cádiz)	36.4656	-6.2055	84	ROA	S-5100	LP-3C
STS	Santiago	42.88599	-8.55250	265	IGN	SS-1	SZ
UNIP		38.3883	-0.5117		UAli	L4-C 12bit	SZ
VELZ	Vélez Rubio (Almería)	37.5838	-1.988	1000	IAG	STS-2 24bit	BB-3C

**TABLA I (continuación)**

<b>CODIGO</b>	<b>SITUACIÓN</b>	<b>LAT ° N</b>	<b>LON ° E</b>	<b>ALIT.</b>	<b>CENTRO</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>TIPO</b>
VIH	Vielha	42.6288	0.7701	1724	ICC	L4-C 10bit	SZ
VILA	Vilada	42.1347	1.8914	861	ICC	L4-C 16bit	SZ
ZUHE	Zuheros (Córdoba)	37.5433	-4.3032		IAG	STS-2 24bit	BB-3C

Abreviaturas y siglas:

EBR:	Observatorio del Ebro	STS-2: modelo de Streckeisen
IAG:	Instituto Andaluz de Geofísica- Universidad de Granada	CMG-3T: modelo de Guralp
ICC:	Institut Cartografic de Catalunya	FBA: Servoacelerómetro
IEC:	Institut d'Estudis Catalans- Laboratori d'Estudis Geofísics	L4-C: modelo de Mark Products
IGN:	Instituto Geográfico Nacional	SS-1: modelo de Kinematics
ROA:	Real Instituto y Observatorio de la Armada	S 5100: Modelo Spregnether
UAL:	Universidad de Almería Dpto. de Física Aplicada	BB: Banda Ancha
UALi:	Universidad de Alicante- Diputación de Alicante	LP: Largo Periodo
UCM:	Universidad Complutense de Madrid	SZ: Corto Periodo (componente Vertical)



**Figura 3.-** Situación de las estaciones permanentes españolas de corto periodo (SP), excepto las de Canarias.



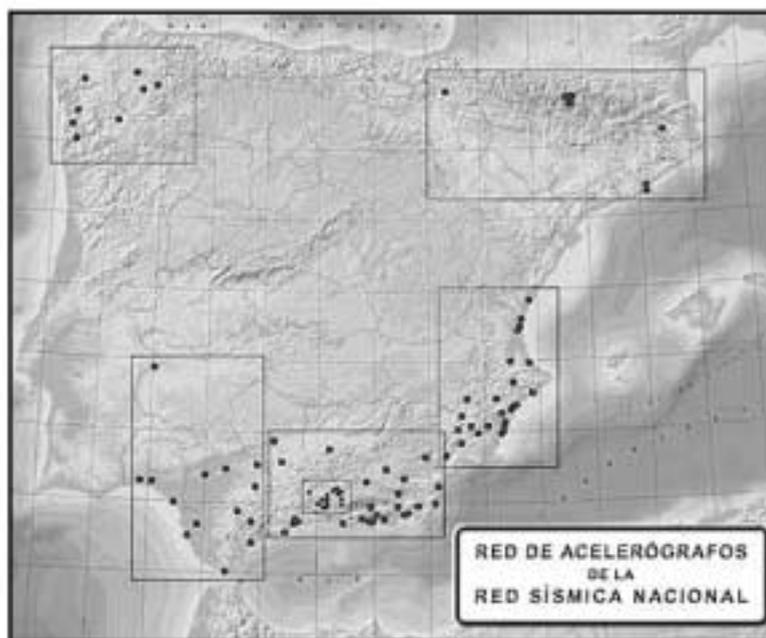
**Figura 4.-** Situación de las estaciones permanentes españolas de banda ancha (BB), excepto las de Canarias.

Exponemos a continuación sucintamente las características de algunas de estas redes.

### **Red Sísmica Nacional:**

Responsabilidad del Instituto Geográfico Nacional, es la de cobertura más amplia ([www.geo.ign.es/servidor/sismo/sismo.html](http://www.geo.ign.es/servidor/sismo/sismo.html)) y la de mayor número de estaciones. Ha evolucionado a partir de estaciones con telemetría analógica por teléfono. Actualmente dispone de estaciones BB con telemetría digital en tiempo real vía satélite, estaciones BB y de corto periodo interrogadas por línea telefónica y estaciones en tiempo real con telemetría telefónica. Como parte de esta red sísmica, existe un conjunto de acelerógrafos autónomos (Figura 5) desplegados especialmente en las áreas más activas del territorio. Los tipos de sensores empleados pueden verse en la tabla I. Esta red emplea digitizadores y telemetría Nanometrics y registradores Reftek en las estaciones interrogadas.

Un elemento singular que forma parte de esta red es la antena sísmica (array) de Sonseca (Toledo) ([www.geo.ign.es/servidor/sismo/red/esla.html](http://www.geo.ign.es/servidor/sismo/red/esla.html)), con un dispositivo externo de ocho estaciones de largo periodo y unos 50 km de apertura y uno interior con 19 estaciones de corto periodo y unos 10 km de diámetro. Este dispositivo se desplegó como parte del sistema de verificación



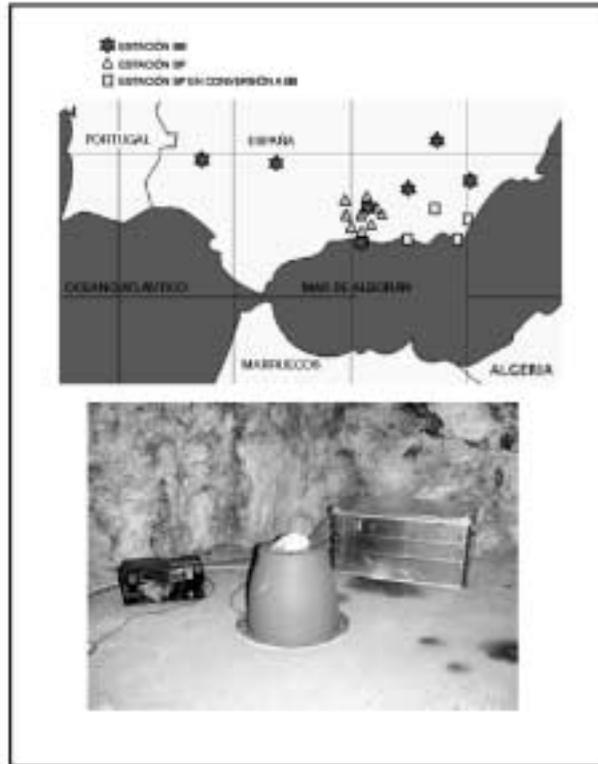
**Figura 5.-** Mapa de situación de los acelerógrafos instalados como parte de la Red Sísmica Nacional, bajo la responsabilidad del IGN.

de pruebas nucleares, actualmente integrado en la CTBTO (Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organisation).

### **Red Sísmica de Andalucía**

Como zona con máxima actividad sísmica de la Península, Andalucía ha atraído el interés de varias instituciones que han desplegado estaciones en esta región. Una de ellas, el Instituto Andaluz de Geofísica, de la Universidad de Granada, denomina así su red, parcialmente compartida con la Universidad de Almería.

Actualmente cuenta (Figura 6) con una red básica de 13 estaciones de corto periodo con telemetría analógica en tiempo real y registro digital, un conjunto de 8 estaciones de banda ancha con acceso telefónico bajo interrogación y varios acelerógrafos. Los equipos de SP son de diseño propio y los de BB utilizan digitalizadores Earth Data, y como sistema de adquisición, un PC de tipo industrial ejecutando SEISLOG (Natvik et al., 1999). Está en proceso de remodelación, ya que algunas estaciones SP se van a reconvertir a telemetría



**Figura 6.-** Arriba: mapa de situación de las estaciones de la Red Sísmica de Andalucía, responsabilidad del Instituto Andaluz de Geofísica, de la Universidad de Granada. Abajo: Aspecto de la estación BB instalada en las Cuevas de Nerja. De izquierda a derecha, acelerógrafo, sensor BB con su cubierta de aislamiento y caja con registrador digital, alimentación y MODEM telefónico.

digital y otras se cambiarán a BB con interrogación. Como equipos portátiles, la red cuenta con módulos de antenas sísmicas, que han operado hasta ahora sobre todo en la Antártida y en otros entornos volcánicos (p.e. Ibáñez et al., 2000). Más información en <http://www.ugr.es/~iag/rsa.html#banda>).

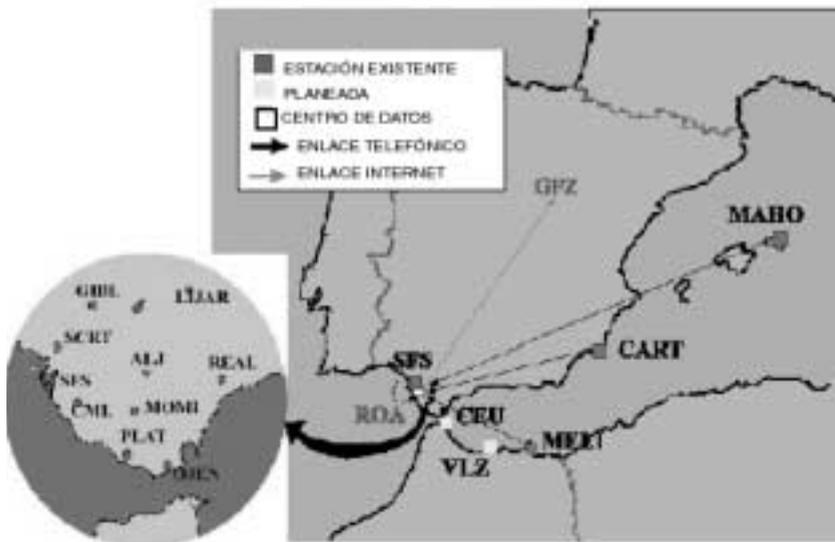
### **Red Sísmica del ROA.**

El Real Instituto y Observatorio de la Armada mantiene en el propio Observatorio una estación de largo periodo Sprengnether de 3 componentes con registro analógico y digital (<http://www.roa.es>), una red (Figura 7) telemétrica

de 10 estaciones de corto periodo de diseño propio (Martín Davila et al, 2001). Además ha desplegado una red de Banda Ancha en colaboración con la Universidad Complutense de Madrid (UCM) .

### Red Sísmica de Banda Ancha del ROA y la UCM.

El ROA de forma conjunta con la UCM, con la colaboración del GeoforschungZentrum (GFZ) de Potsdam (Alemania), han desplegado un conjunto de 4 estaciones de Banda Ancha, dotadas de sensor STREKEISEN STS-2 y Sistema de adquisición de datos Quanterra (<http://www.roa.es>; <http://www.ucm.es/info/Geofis/g-sismolo/G-Sismolo.html> ). Son accesibles mediante interrogación, y se encuentran asociadas a diversas redes internacionales (GEOFON, ORFEUS, etc) (Buforn, et al 2001). Esta red será ampliada en número próximamente (figura 7).



**Figura 7.-** Izquierda: Mapa de situación de las estaciones de la red del Real Instituto y Observatorio de la Armada (ROA, <http://www.roa.es>). Derecha: Mapa de la red de Banda Ancha del ROA y de la Universidad Complutense de Madrid (UCM, <http://www.ucm.es/info/Geofis/g-sismolo/G-Sismolo.html>).

Además de la red de Banda Ancha, el ROA ha desplegado de forma conjunta con la UCM una red de 3 acelerógrafos en el entorno de la Bahía de Cádiz.



### Red Sísmica de la Universidad de Alicante

Esta Red consta actualmente (Figura 9) de siete estaciones telemétricas de corto periodo, dos de las cuales son triaxiales, una estación de Banda Ancha con sensor Strekeisen STS-2 y sistema de adquisición de datos Quanterra, y dos acelerógrafos de alta resolución. Información detallada de la red se encuentra en <http://www.ua.es/ursua/>.



**Figura 9.-** Mapa de la red sísmica de la Universidad de Alicante. Reproducción de <http://www.ua.es/ursua/> , septiembre de 2003.

### Las redes de Canarias

Aunque no propiamente de territorio peninsular, se han incluido en la tabla I las estaciones del IGN en las Canarias. Además de éstas, existe una estación BB con sensor CMG-40T en la Casa de los Volcanes de Lanzarote, que mantiene el Instituto de Volcanología del CSIC en colaboración con diversas instituciones Canarias. Asimismo operan dos estaciones SP en el Parque de Timanfaya.

### Otras estaciones españolas

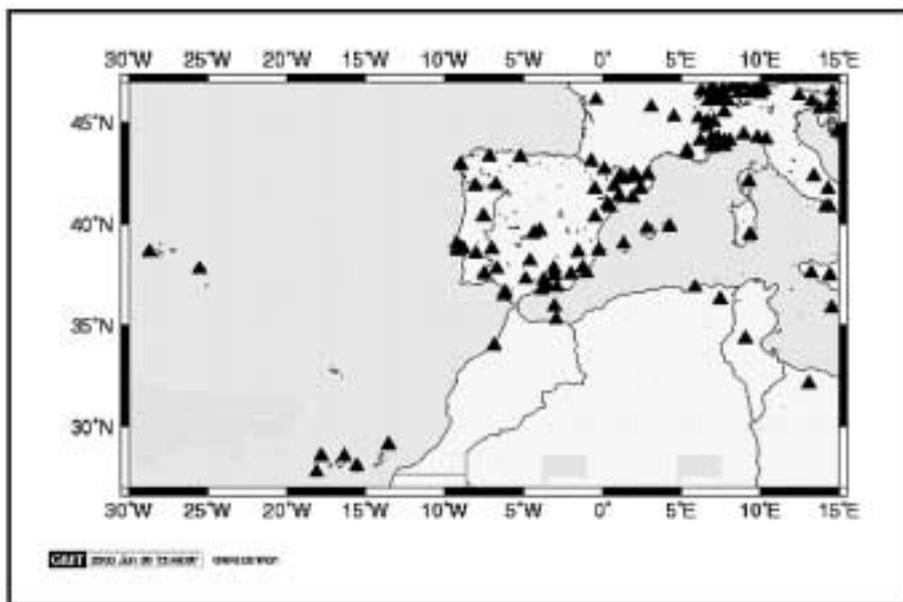
El Observatorio del Ebro mantiene en operación en su sede una estación sísmica de banda ancha (Ugalde et al., 2002), con un sensor STS-2 y sistema de adquisición MARS-88 (Información adicional en <http://www.obsebre.es/w3/sismica.php> ). El Laboratori d'Estudis Geofísics del Institut d'Estudis Catalans tiene instalada una estación BB asimismo en el Túnel de Cadí, cuyo ruido de fondo se ha estudiado con gran detalle (Vila, 1998). Está equipada con un sensor Guralp CMG-3T y un sistema de adquisición de datos Nanometrics. Dicho laboratorio posee instaladas dos estaciones sísmica más de Banda Ancha, una de ellas en el Monasterio del Poblet, y la segunda en la central de Vandellós II. Más información en <http://www.am.ub.es/~jvila/legef/>).



**Figura 10.-** Estaciones SP en Portugal continental (figura modificada de Instituto de Meteorología, 2003, <http://www.meteo.pt/sismologia/sismologia.html>)

### Estaciones y redes portuguesas

Las estaciones continentales de Portugal pueden verse en la Figura 10 (<http://www.meteo.pt/sismologia/sismologia.html>). En ella no están incluidas las estaciones BB, que se representan en la figura 11 para toda la zona del oeste europeo, incluidas sus zonas insulares (Orfeus Data Center, 2003 <http://orfeus.knmi.nl/>). Actualmente hay ocho estaciones BB operativas en



**Figura 11.-** Estaciones BB en el oeste europeo, incluidas las zonas insulares (figura modificada de Orfeus Data Center, 2003, <http://orfeus.knmi.nl/>).

territorio continental portugués, dos en Azores y una en Madeira. Equipan sensores STS-2, excepto EVO, con un STS-1. Las instituciones responsables son el Instituto de Meteorología y el Centro de Geofísica de la Universidad de Lisboa, con la red ULISSEIS (Silva y Silveira, 2002).

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

La Península Ibérica cuenta actualmente con alrededor de 55 estaciones de banda ancha operativas y más de 70 de corto periodo cuya finalidad incluye la investigación. Las instituciones implicadas en la instalación y mantenimiento de estas redes son organismos públicos con respon-

sabilidades de vigilancia y, por tanto con presupuestos específicos para ello, y otros grupos de investigación que han creado y mantienen estas estructuras fundamentalmente por medio de proyectos asociados a sus propios resultados de investigación.

Junto a éstas existe un número indeterminado de acelerógrafos, en parte dedicados a la investigación y en parte al control técnico de estructuras, además de estaciones sísmicas de vigilancia y control, responsabilidad de los correspondientes organismos, en presas, instalaciones peligrosas, etc.

Aunque es creciente la integración de la mayoría de estos datos en redes internacionales, que permiten el acceso a los mismos, los procedimientos de mantenimiento, calibración y distribución son todavía heterogéneos y en muchos casos irregulares, lo que supone una dificultad añadida al uso de los mismos en investigación.

En cualquier caso, estas redes suponen hoy día una herramienta formidable para los sismólogos, que disponen de datos de calidad desconocida hace pocos años sobre la zona y que están comenzando a dar valiosos resultados científicos reflejados en publicaciones.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las instituciones que aparecen mencionadas en este capítulo las informaciones remitidas para la compilación de datos. Este trabajo ha sido subvencionado en parte por el Ministerio de Ciencia y Tecnología, proyecto REN2000-0777-C02-02RIES.

## REFERENCIAS

- BUFORN, E.; UDÍAS, A.; MARTÍN DAVILA, J.; PAZOS, A. (2001): Broadband Station Network ROA/UCM/GFZ in South Spain and Northern Africa. *Seismological Research Letters*, 76, 173-176.
- CTBTO, COMPREHENSIVE NUCLEAR-TEST-BAN TREATY ORGANISATION <<http://www.ctbto.org>>.
- GOULA, X.; J.A. JARA, T. SUSAGNA AND A. ROCA (2001): A New Broad-Band Seismic Network with Satellite Transmission in Catalonia (Spain).
- IBÁÑEZ, J.M.; DEL PEZZO, E.; ALMENDROS, J.; LA ROCCA, M.; ALGUACIL, G.; ORTIZ, R.; Y GARCÍA, A. (2000): Seismovolcanic signals at Deception Island volcano, Antártica: Wave field análisis and source modeling". *Journal of Geophysical Research*, 105, B6, 13.905-13931.
- INSTITUT CARTOGRAFIC DE CATALUNYA, 2003, <<http://www.icc.es/sismes/castella/rsis/nuevared/bruguera.html>> [consulta septiembre 2003].

- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (1991): "Spanish National Seismic Network. En: *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Maghrebian Region*. J. Mezcua y A. Udías (ed.). Instituto Geográfico Nacional. Madrid. 3-16.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, 2003,  
<http://www.meteo.pt/sismo-logia/sismologia.html> [consulta septiem-bre 2003].
- MARÍN DAVILA, J.; GARATE, J.; PAZOS, A.; CATALÁN, M.; UDÍAS, A.; BERROSO, M.; HANKA, W.; BUFORN, E.; Y VARIOS, 2001: The Royal Naval Observatory in San Fernando (ROA) Seismic (SP, LP, VBB) and Geodetic (GPS) NETS DEPLOYED south Spain – North Africa region. En Workshop on the geodynamics of the western part of Eurasia-Africa plate boundary (Azores – Tunisia) Extended Abstracts book. Boletín ROA Núm. 3/2001. Edita Ministerio de Defensa.
- NATVIK, Ø. T. UTHEIM AND J. HAVSKOV (1999). SEISLOG: A seismic data acquisition system for Windows85/NT. User manual, University of Bergen.
- NMSOP, IASPEI NEW MANUAL OF SEISMOLOGICAL OBSERVATORY PRACTICE (2002): Editor Bormann, P., Potsdam (Alemania) . [www.seismo.com/nmsop/nmsop/nmsop.html](http://www.seismo.com/nmsop/nmsop/nmsop.html).
- ORFEUS DATA CENTER, 2003, <<http://orfeus.knmi.nl/>> [consulta septiembre 2003].
- PAYO, G. y R. GÓMEZ-MENOR (1998): Historia del Observatorio Geofísico de Toledo. 221 pp. Instituto Geográfico Nacional. Toledo.
- POUPINET, G., ELLSWORTH, W.L. & FRÉCHET, J. (1984): Monitoring velocity variations in the crust using earthquake doublets: an application to the Calaveras Fault, California. *J. Geophys. Res.* 89, 5719-5731.
- REAL INSTITUTO Y OBSERVATORIO DE LA ARMADA. Septiembre de 2003.  
<http://www.roa.es> .
- SILVA, P.L.; SILVEIRA, G.M. (2002): ULISSEIS – A rede sísmica da Universidade de Lisboa. En: 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. García y Berné (ed.). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia. 516-519.
- STICH, D.; G. ALGUACIL, AND J. MORALES (2001): The relative location of multiplets in the vicinity of the Western Almería (southern Spain) earthquake series of 1993-1994. *Geophys. J. Int.* 146, 801-812.
- UGALDE, A.; VILA, J.; VAN DER MEIJDE, M.; MARONE, F.; VAN DER LEE, S. (2002): Análisis del ruido sísmico de banda ancha en la estación EBR y correlación con los cambios de presión atmosférica. En: 3ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geodesia y Geofísica. García y Berné (ed.). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 501-504.
- UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID. DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA, Septiembre de 2003.  
<http://www.ucm.es/info/Geofis/g-sismolo/G-Sismolo.html>.
- VILA, J. (1998): The broad-band seismic station CAD (Túnel del Cadí, Eastern Pyrenees): Site characteristics and background noise. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 88, 297-303.