

La Red de Acelerógrafos del IGN

ALCALDE, Juan Manuel ⁽¹⁾;

⁽¹⁾ Instituto Geográfico Nacional, c/General Ibáñez Ibero, 3, Madrid 28003, sismologia@mitma.es

INSTRUMENTACIÓN ACTUAL EN LA RED DEL IGN

En el año 1977 el Instituto Geográfico Nacional (IGN) instaló nueve acelerógrafos analógicos, iniciando así la red de acelerógrafos del IGN. Se obtuvieron los primeros registros con el terremoto del día 24 de junio de 1984 en la sierra de Cazulas (Granada) de magnitud 5,0 y aceleración máxima horizontal de 29,7 cm/s² registrada en el equipo de Santa Fe (Granada).

Conforme se han ido adquiriendo nuevos instrumentos, estos han sustituido a los más antiguos de la red, y en otros casos se han situado en nuevos emplazamientos, contribuyendo a la densificación de la misma. Debido a la evolución de la instrumentación, en la red se pueden encontrar equipos de diferentes fabricantes, pero en todos ellos se mantienen unas características mínimas como son: el almacenamiento digital de los datos, el registro en las tres componentes del espacio, y resolución mínima de 12 bits (Actualmente, 24 bits).

La instrumentación más reciente (GEOSIG GMSPlus) cuenta con alto rango dinámico y permiten realizar conexión remota a través de internet empleando telefonía móvil UMTS/GPRS o ADSL. El envío de datos en tiempo real y registro continuo hace posible que estas estaciones puedan ser también empleadas para el cálculo hipocentral de sismos próximos.

CONFIGURACIÓN DE LA RED

Uno de los objetivos de la Red de Acelerógrafos consiste en la obtención de datos que permitan determinar con mayor precisión la peligrosidad sísmica de nuestro entorno. Para ello, la distribución de estaciones de la red se ha diseñado densificando las zonas de mayor peligrosidad sísmica tal como indica el actual Mapa de Peligrosidad Sísmica de España, (Figura 1). Dentro de estas zonas, los equipos son instalados en las poblaciones que presentan un mayor grado de peligrosidad, así como las más pobladas. Para lograrlo, el número de estaciones de la red ha ido aumentando a lo largo de los años de una forma continua y lo sigue haciendo en la actualidad.

Así, en la actualidad la Red de Acelerógrafos del IGN cuenta con 132 estaciones, 108 de los cuales disponen de conexión remota. En la Tabla 1 se muestra el número de estaciones con o sin conexión.

| | <i>Estaciones operativas</i> |
|---------------------------------------|------------------------------|
| <i>Estaciones con conexión remota</i> | 108 |
| <i>Estaciones sin conexión remota</i> | 24 |
| TOTAL | 132 |

Tabla 1. Equipos con y sin conexión remota actualmente instalados en la red.

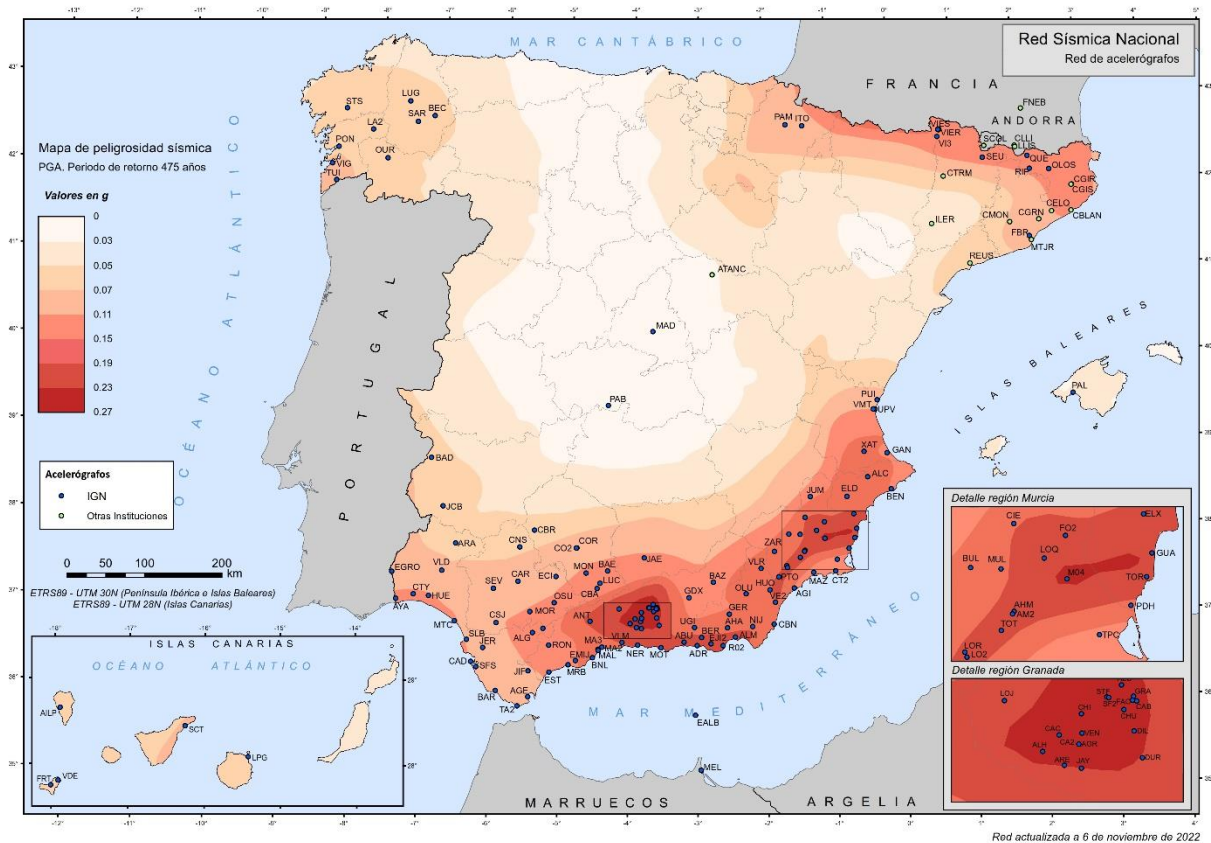


Figura 1: Red de Acelerógrafos del IGN sobre el Mapa de Peligrosidad Sísmica (2012).

Recientemente, además de lo expuesto, la Red Sísmica Nacional (RSN) dispone de una amplia red de acelerógrafos de alta resolución de desarrollo propio, denominados SILEX, cuyos sensores están basados en tecnología MEMS. Son instrumentos de muy bajo coste y permiten la transmisión del dato de aceleración en tiempo real.

Esta nueva instrumentación permite recopilar en tiempo casi real gran cantidad de datos para poder construir

los denominados ShakeMaps con datos de pico de aceleración. Estos datos están ligados a los posibles daños producidos por un terremoto en una amplia zona. Con el fin de estudiar la precisión de esta instrumentación, el IGN ha llevado a cabo diversos test en mesa vibratoria (simulador sísmico), comparándolos con los acelerómetros de la red de alta resolución, obteniéndose excelentes resultados. Hasta el momento, la RSN ha instalado más de cien de estos acelerómetros SILEX en torno a las zonas de mayor peligrosidad sísmica de nuestro país, muchos de ellos en la provincia de Granada.

CARACTERÍSTICAS DE LOS EMPLAZAMIENTOS.

En base a la disponibilidad de equipos y a las necesidades prioritarias en cuanto al conocimiento de la aceleración en localidades de interés, la red está instalada en el interior de los cascos de poblaciones. En los casos en que ha sido posible y cuando las características geológicas varían dentro de la misma población, se ha instalado ocasionalmente más de un equipo. Por lo tanto, los acelerógrafos se instalan en zonas representativas en cuanto a tipo de geología superficial y características topográficas de las poblaciones elegidas, obteniendo así un valor representativo del movimiento del suelo en esa población o de una zona especialmente conflictiva de la misma bajo la acción de un terremoto. Hasta el año 2017, la única caracterización disponible para el suelo de las estaciones se reducía a la información disponible en el MAGNA50 del IGME. En la actualidad se está procediendo, paulatinamente, a caracterizar estática y geodinámicamente el tipo de suelo en las estaciones mediante la técnica denominada “Multistation Analysis of Surface Waves (MASW)”, para la obtención de los parámetros V_{s30} , la frecuencia de resonancia (F_0) y los modelos de velocidades de la onda S en los primeros 30 m de profundidad, tendiendo ya resultados en más de sesenta emplazamientos.

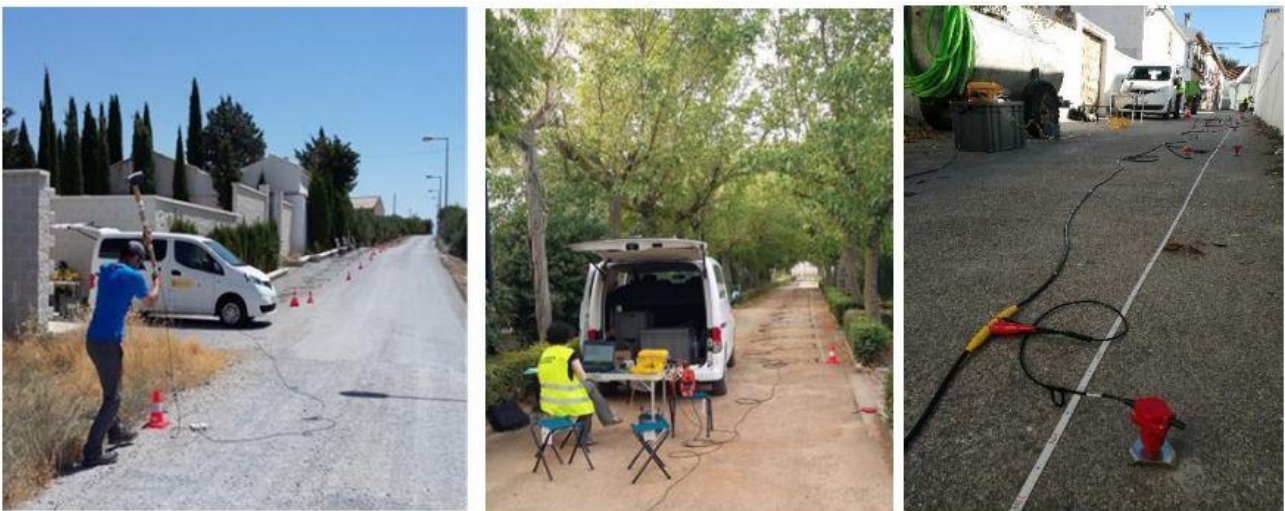


Figura 2: Trabajos de caracterización del suelo en estaciones de Granada.

En cuanto a la infraestructura necesaria se refiere (toma de corriente, conexión telefónica...), y con el objetivo de que se encuentren resguardados (agentes meteorológicos, vandalismo, hurto...), los acelerógrafos han sido normalmente instalados en edificios públicos de pequeño volumen con el objetivo de minimizar en lo posible el efecto de la estructura sobre el registro.

Con el objeto de que la estructura del edificio afecte lo menos posible a los registros obtenidos, los acelerógrafos se han instalado sobre un pilar de hormigón independiente de la solera, construido en los sótanos, planta baja del edificio o caseta anexa, siempre sobre terreno natural (ver figura 3).



Figura 3: Acelerógrafos instalados en una caseta anexa en edificio municipal de El Ejido (AL) y en un pilar en el sótano en el de Baena (CO)

De cara a que los emplazamientos elegidos presenten el menor ruido cultural posible, éstos se han alejado de obras, tomas de tensión, carreteras importantes y otros factores que puedan reducir la relación señal-ruido de los registros.

En los últimos años, la llegada de las nuevas tecnologías en comunicaciones al campo de la instrumentación sísmica (conexiones remotas mediante UMTS/GPRS) ha permitido que se replantee esta forma de instalación, y la tendencia actual de la Red de Acelerógrafos del IGN va dirigida a la implementación del llamado emplazamiento en “campo libre” dentro de las poblaciones. Aunque conseguir esto en su totalidad es prácticamente imposible, se trata de utilizar cimentaciones de hormigón que admitan la instalación de armarios de poliéster diseñados para condiciones de intemperie, o casetas de obra, que permitan alojar en su interior la instrumentación necesaria con un módulo de comunicaciones basado en telefonía móvil. De esta manera, ya no se hace necesario ubicar los acelerógrafos dentro de edificios y, por tanto, se reduce la afección del movimiento de la estructura en la señal.



Figura 4: Acelerógrafos instalados en campo libre en Pilar de la Horada, Alicante (izquierda) y Málaga (derecha).

MANTENIMIENTO DE LA RED Y RECOGIDA DE DATOS

Actualmente, la nueva instrumentación permite realizar el control del equipo y la adquisición de datos en tiempo real mediante conexión de internet para la mayoría de las estaciones.

En el caso de los instrumentos con conexión remota mediante interrogación telefónica, se realiza al menos una revisión, calibración y extracción de datos mensual, así como, la interrogación puntual a demanda en función de la sismicidad diaria. Estas estaciones reciben dos visitas anuales por parte del personal de los servicios periféricos del IGN para verificar el estado físico del instrumento, cableado, conexiones, GPS, etc.

Las estaciones que no cuentan con conexión remota reciben una visita trimensual por parte del personal de los servicios periféricos del IGN para la realización del control y extracción de datos.

Una vez extraídos los datos y las calibraciones estos son almacenados en una base de datos digital. A su vez, todos los registros son incluidos en el Catálogo de Acelerogramas que hace referencia a los parámetros del acelerograma y a la información de la localización y tamaño del terremoto que lo ha originado.

En varias ocasiones se han realizado calibraciones de diversos equipos en mesa vibratoria (simulador sísmico), lo que permite determinar los parámetros y prestaciones reales de los mismos. La primera de ellas fue realizada en 1989 en el Laboratorio de Ingeniería del Ejército con los equipos Ofiteco ACD-3P. Asimismo, en la Mesa Vibrante del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) (Navarro, 1995) fueron realizadas calibraciones en los años 2000, 2004, 2014 y 2020 donde, además, realizaron comparaciones entre distintos instrumentos de la red y de la nueva serie SILEX desarrollada en el IGN.

REGISTROS OBTENIDOS POR LA RED DE ACELERÓGRAFOS

La base de datos digital, a fecha de junio de 2023, cuenta con más 2.800 acelerogramas, cada uno de ellos con tres componentes, obtenidos a partir de más 1.600 terremotos.

Los acelerogramas registrados se corresponden con terremotos de magnitudes, mb o mbLg, entre 1,4 y 6,1. Las distancias epicentrales varían aproximadamente entre 0,5 y 270 kilómetros, y las amplitudes máximas varían entre 0,0008 g y 0,360 g.

Toda la información recogida en el banco de datos digital se encuentra disponible en un CD con los registros acelerográficos, bien en formato original (Geosig, Guralp, Kinematics y mseed) o en formato ASCII. Es posible consultar también el catálogo de acelerogramas del IGN, así como información referente a las estaciones de aceleración, en la página web del Instituto Geográfico Nacional (www.ign.es):

Catálogo de acelerogramas del IGN: <http://www.ign.es/web/ign/portal/sis-catalogo-acelerogramas>

Estaciones de aceleración del IGN: <https://visualizadores.ign.es/acelerografos/>

LA RED DE ACELERÓGRAFOS EN ARENAS DEL REY

La red de acelerógrafos del IGN cuenta con un gran número de estaciones en la provincia de Granada y, por supuesto, en muchas de las poblaciones que se vieron afectadas por el terremoto de Arenas del Rey de 1884 como Arenas del Rey, Alhama de Granada, Cacán, Jayena, etc.

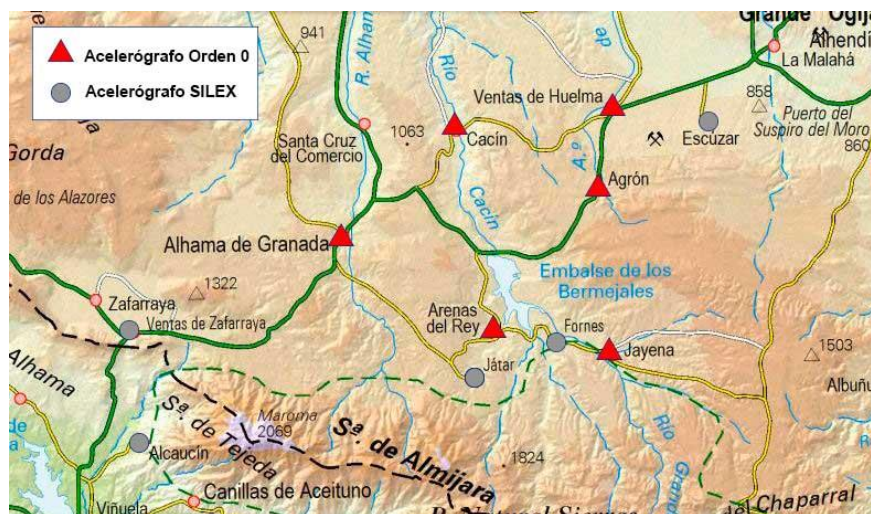


Figura 5: Estaciones de aceleración del IGN en el entorno de Arenas del Rey (GR).



La estación de Arenas del Rey se encuentra operativa desde 1994 y ha ido modernizando su instrumentación desde entonces. Hoy cuenta con un acelerógrafo que permite la conexión remota con el Centro de Recepción de Datos en el IGN en Madrid.



Figura 6: Acelerógrafo instalado en Arenas del Rey (GR).

En noviembre de 2021, la Red Sísmica Nacional perteneciente al IGN realizó trabajos de caracterización del suelo en la estación llegando a obtener un valor de V_{s30} de 444,3 m/s, lo que incluye al suelo del emplazamiento en la clase B del Euródigo EC-08. Por otro lado, no se pudo apreciar ninguna frecuencia concreta que muestre una amplificación del suelo al emplear el método Nakamura (H/V) para la obtención de frecuencias de resonancia del suelo.



| Subsoil class | Description of stratigraphic profile | Parameters | | |
|----------------|--|-------------------|----------------------|-------------|
| | | $V_{s,30}$ (m/s) | N_{SPT} (bl/30 cm) | c_u (kPa) |
| A | Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface | >800 | – | – |
| B | Deposits of very dense sand, gravel, or very stiff clay, at least several tens of m in thickness, characterised by a gradual increase of mechanical properties with depth | 360–800 | >50 | >250 |
| C | Deep deposits of dense or medium-dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of m | 180–360 | 15–15 | 70–250 |
| D | Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil | <180 | <15 | <70 |
| E | A soil profile consisting of a surface alluvium layer with $V_{s,30}$ values of class C or D and thickness varying between about 5 and 20 m, underlain by stiffer material with $V_{s,30} > 800$ m/s | | | |
| S ₁ | Deposits consisting—or containing a layer at least 10 m thick of soft clays/silts with high plasticity index ($PI > 40$) and high water content | <100 (indicative) | – | 10–20 |
| S ₂ | Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in classes A–E or S ₁ | | | |

Figura 7: Clasificación de suelos del Eurocódigo EC-08 por valor de V_{s30}

Estos metadatos de las estaciones permiten a los científicos mejorar los estudios de ingeniería sísmica asociados a datos de aceleración procedentes de las estaciones caracterizadas.