

**ESTUDIO PRELIMINAR DE LA SISMICIDAD
RECIENTE DE ALMERÍA**

María Dolores Romacho Romacho Romero ^(1,2)

José Manuel García García ^(1,2)

Manuel Navarro Bernal ^(1,2)

Francisco Vidal Sánchez ⁽²⁾

*(1) Departamento de Física Aplicada.
Universidad de Almería*

*(2) Instituto Andaluz de Geofísica y
Prevención de Desastres Sísmicos*

INTRODUCCIÓN

La sismicidad de una región comprende el estudio de las propiedades de las fuentes sísmicas y los terremotos que producen, su distribución espacio-temporal y la energía liberada.

Los catálogos sísmicos ponen de manifiesto la sismicidad de una región en sentido estricto, ya que contienen una información sistemática y ordenada de los datos referentes a los terremotos: fecha, hora origen, localización epicentral, profundidad y magnitud. La sismicidad entendida en sentido más general comprende, además, la información sobre el mecanismo focal, las dimensiones de la fuente sísmica y los esfuerzos relajados. También es importante establecer la correlación espacio-temporal de eventos.

El elemento básico para realizar estudios de sismicidad es la Red Sísmica (Posadas, 1994), es decir, una distribución espacial de estaciones sísmicas complementada con el soporte informático adecuado que permita el análisis de los datos y que conduzca a la determinación de parámetros focales y otras propiedades de la fuente sísmica.

El establecimiento en 1962 de la red mundial de estaciones estándar (WWSSN), supuso un notable avance para los estudios de sismicidad. Tres estaciones de esta red mundial se ubicaron en la Península Ibérica (Málaga, Toledo y Oporto).

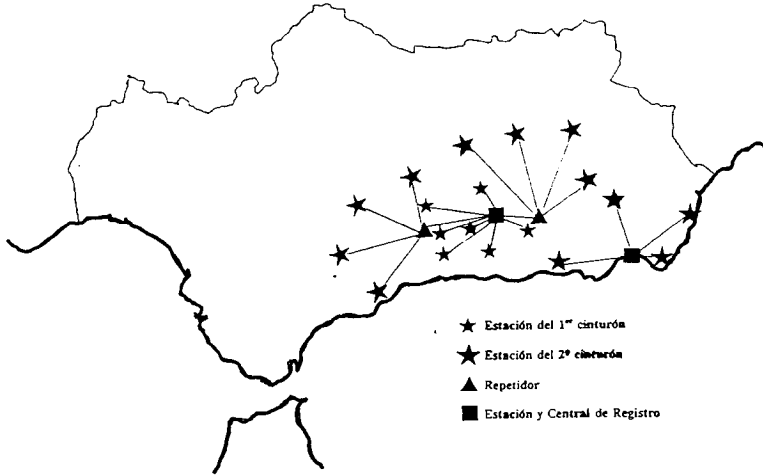


Figura 1. Red Sísmica de Andalucía: situación de las estaciones permanentes

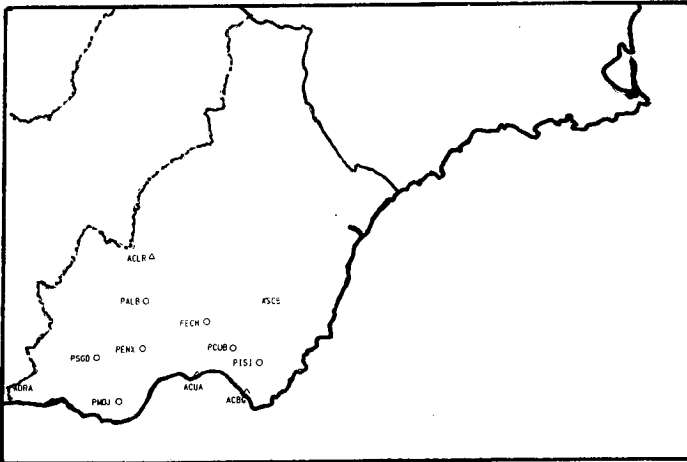


Figura 2. La Subred Local de Almería, de la R.S.A. (o Estaciones portátiles, Estaciones permanentes)

El Instituto Andaluz de Geofísica y Prevención de Desastres Sísmicos (IAGPDS, entonces Observatorio Universitario de Cartuja) puso en marcha un proyecto de desarrollo e instalación de una red de estaciones sísmicas de alta sensibilidad que permitiera llevar un seguimiento de la actividad sísmica en Andalucía. Este proyecto iniciado en 1979, fue impulsado y llevado a cabo a través de una serie de Convenios entre la Junta de Andalucía y la Universidad de Granada. El primer cinturón de la Red Sísmica de Andalucía (RSA) comenzó a funcionar en Enero de 1983, instalándose posteriormente el segundo cinturón y la subred de Almería (fig. 1).

En Junio de 1991 se llevó a cabo una Campaña Internacional de Microsismicidad en la provincia de Almería en la que participaron diferentes instituciones universitarias y organismos oficiales, tanto españoles como italianos. Coincidiendo con el inicio de la Campaña, y para su realización, se instaló y puso en funcionamiento una subred de la RSA en Almería. Está integrada por cinco Observatorios Geofísicos (estaciones permanentes) situados en Sierra de Gata (término municipal de Almería), Sierra de Filabres (término municipal de Gérgal), Sierra de Cabrera (término municipal de Sorbas), Sierra de la Contraviesa (término municipal de Adra) y en la Facultad de Ciencias Experimentales, (Universidad de Almería) donde se encuentra la Estación Central de Registro y Proceso de Datos. Para la Campaña de Microsismicidad se desplegaron además un conjunto de 21 estaciones portátiles; cuatro de ellas, pertenecientes al Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), fueron distribuidas en el Valle del Andarax, (Canjáyar, Ohanes y Laujar) con sistema de registro centralizado en Padules; otras 12 estaciones con registro independiente, pertenecientes a universidades y centros oficiales italianos, se distribuyeron en los Campos de Níjar y de Tabernas y en la costa del Levante. Siete estaciones portátiles del IAGPDS, con registro centralizado en el Campus Universitario de Almería, se instalaron en La Mojonera, el Marchal de Enix, Sierra de Gádor, Alboloduy, Sierra de Alhambilla, Cueva de los Ubeda y San Isidro. Estas estaciones siguieron funcionando hasta Mayo de 1993 (fig. 2).

SISMICIDAD ESPACIAL Y TEMPORAL

La distribución de los terremotos en el espacio y en el tiempo, son dos aspectos fundamentales en el estudio de la sismicidad de una región. A escala mundial la distribución espacial de los terremotos se concentra, como es bien sabido, en franjas bien definidas sobre la superficie terrestre. La existencia de tales franjas se explica con la tectónica general de placas. Los epicentros se

acumulan principalmente en los bordes de placa, aunque existen también distribuciones en el interior de las placas. Esto pone de manifiesto la posibilidad de deformación de las mismas y las zonas de debilidad cortical.

La sismicidad temporal puede abordarse de dos maneras: analizando los tiempos de ocurrencia de los terremotos o bien a partir de los intervalos que median entre cada dos eventos consecutivos. La aplicación de los modelos estadísticos es particularmente adecuada para el caso de las series sísmicas, es decir, la ocurrencia de eventos próximos en el espacio y separados por cortos intervalos de tiempo (Posadas et al, 1993).

Admitiendo, como buena aproximación, el modelo de relajación de esfuerzos para explicar el mecanismo de generación del terremoto, es bastante plausible considerar que, para cada región sismogénica, el número de pequeños terremotos será mayor que el de los grandes. Ello puede verificarse analizando la relación entre el número N de terremotos con magnitud igual o mayor que un valor dado m . Gutenberg y Richter (1954), establecieron a tal efecto una ley que lleva su nombre, mediante la cual se establece que:

$$\log N = a - b.m$$

donde a y b son parámetros con una significación particular. El parámetro “ a ” está relacionado con el nivel de actividad de una región; el parámetro “ b ” se identifica con la forma en que ocurren los grandes terremotos frente a los de pequeña magnitud. Este parámetro, por tanto, es un indicador aceptable de la actividad tectónica, lo que le concede un carácter de predictor válido. A modo de indicación los valores típicos del parámetro b , para el Sur de España son los siguientes (Ibáñez, 1993): Béticas ($0.9 < b < 1.00$), Mar de Alborán ($b = 0.80$), Golfo de Cádiz ($b = 1.08$).

SISMICIDAD EN LAS BÉTICAS Y EL MAR DE ALBORAN

Para destacar la importancia de la sismicidad de una zona es necesario analizar la actividad sísmica de zonas limítrofes más amplias, donde aquella se encuentra enmarcada.

La sismicidad de Almería se integra en la de las Béticas - Mar de Alborán, que a su vez pertenece a la zona de interacción entre África y Eurasia. La actividad sísmica espacial de esta zona está bien perfilada desde los $20^{\circ}W$ a $12^{\circ}W$, siguiendo una dirección aproximada de E-W, con terremotos de gran magnitud.

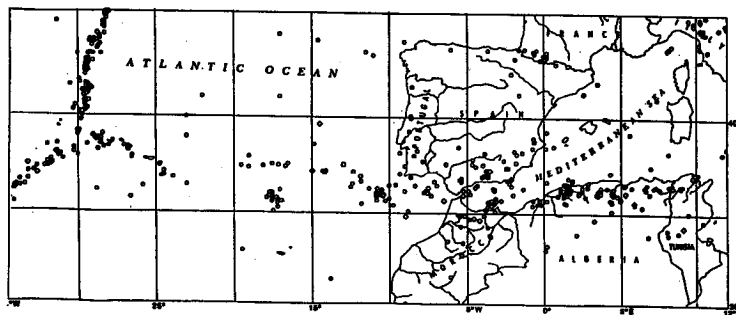


Figura 3 a. Mapa de epicentros en la Región Azores-Iberia-Túnez, representando los terremotos localizados histórica o instrumentalmente desde 880 Ac a 1959 DC, según el catálogo del IGN (España) y desde 1960 a 1985 según los datos del U.S. Geological Survey. Las magnitudes (m_b ó M_s) son ≥ 4.5 . (Según Udías et al., 1986)

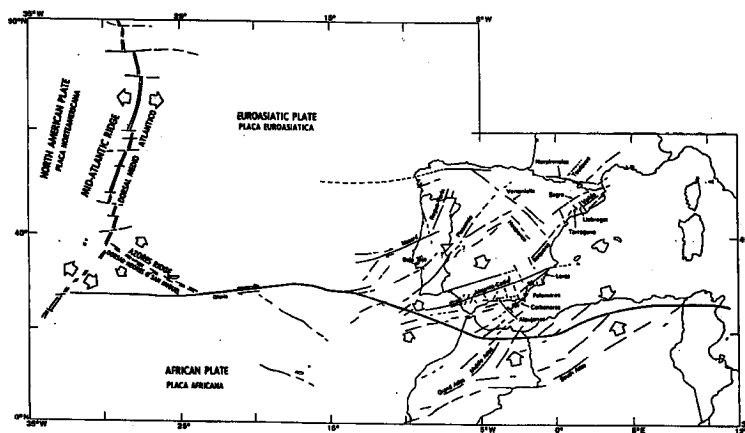


Figura 3b. Representación esquemática de la tectónica de la región Azores-Iberia-Túnez.

Desde los 12°W a los 6°W comienza a manifestarse una cierta dispersión en la distribución de epicentros, predominando sin embargo líneas de actividad bien perfilada en las direcciones E-W y SE. De los 6°W a 0°W aparece una gran complejidad que corresponde a las Béticas, Mar de Alborán y Norte de Marruecos. Es precisamente en esta zona donde se encuadra la sismicidad de Almería.

La sismotectónica de las Béticas, Mar de Alborán y norte de Marruecos pone en evidencia su complejidad. Así, los mecanismos de los sismos subcorticales manifiestan la existencia de ejes de presión E-W, mientras que los sismos superficiales presentan mecanismos de falla inversa con direcciones de esfuerzos aproximadamente E-W, y otros en otras direcciones; algunos sismos presentan fallamiento normal con ejes de tensiones según direcciones SE-NW y E-W (Vidal, 1986).

La zona sur del Mar de Alborán y norte de Marruecos presenta mecanismos que corresponden a esfuerzos de compresión, en direcciones predominantes N-S y N-NW que tienden a NW-SE a medida que se va al E. En el NW y W del Mar de Alborán las direcciones de esfuerzos se dispersan aunque para terremotos de profundidad intermedia predomina la dirección E-W.

En la figura 3a, puede apreciarse la sismicidad espacial de la región Azores- Ibero-Mogrebí y, como se ha indicado, se aprecia el contraste entre las zonas de actividad bien perfilada, frente a las de actividad más dispersa, como es el caso de las Béticas-Mar de Alborán. En la figura 3b se presenta un esquema de la tectónica de la zona.

FRACTURAS EN LA PROVINCIA DE ALMERÍA

Ha sido ampliamente comprobada la estrecha relación entre fallas y terremotos. El movimiento de la falla, sobre todo en caso de grandes terremotos, evidencia de forma contundente esta asociación. La localización de los epicentros de las réplicas de un terremoto pone de manifiesto, en muchos casos, la línea activa de falla.

Es, por tanto, bastante clarificador, para explicar la sismicidad de una zona, tener un conocimiento previo de las fracturas existentes que gobiernan dicha actividad. La determinación de los sistemas de fracturas y de las fallas se obtiene a partir de diferentes métodos; uno de los más utilizados es la cartografía geológica complementada con otras fuentes de conocimientos como son los perfiles geofísicos (sísmicos, eléctricos, magnéticos), red de cauces fluviales,

geológica complementada con otras fuentes de conocimientos como son los perfiles geofísicos (sísmicos, eléctricos, magnéticos), red de cauces fluviales, deformaciones recientes y distribución de focos sísmicos entre otros.

Por medio de fotos del satélite LANDSAT se han podido confeccionar mapas de lineamientos principales; así se ha hecho en el caso de las Béticas, (Vidal, 1986), interpretándose dichos lineamientos como fracturaciones o accidentes geomorfológicos.

Basándonos en el estudio detallado, sobre las principales fracturaciones de las Béticas (fig.4), que fue realizado por Vidal (1986), aquí se destacarán aquellas fracturas que afectan principalmente a la provincia de Almería y zonas próximas. Posteriormente se intentará establecer una relación entre esta actividad sísmica y los sistemas de fracturas más relevantes.

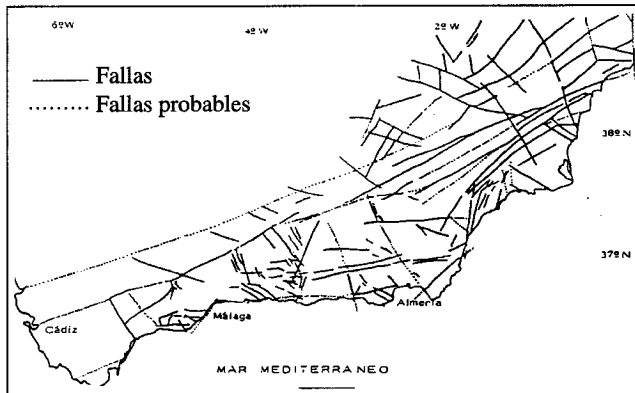


Figura 4. Principales fallas de las Béticas (según Vidal, 1986).

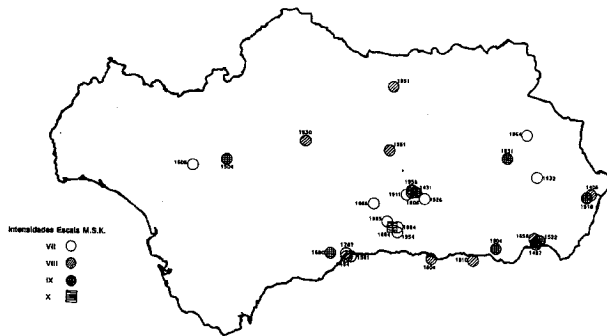


Figura 5. Terremotos destructores en Andalucía siglos XV al XX
(Datos del IAGPDS)

Según el autor citado las direcciones predominantes en las Béticas son las N10-30E, las N30-60W, las N70-100E y las E-W. La red fluvial confirma estas direcciones predominantes ya que está controlada por fracturas en esas direcciones.

El sistema de fracturas N10-30E está compuesto por un conjunto más numeroso de fallas pero de menor tamaño. A este sistema pertenece la falla de Carboneras, que va desde el este de Almería hasta el norte de Carboneras. La parte SW está formada por dos fallas paralelas (Bousquet, 1979); en esta zona las fracturas de El Alquíán, con dirección NW-SE, forman un conjunto conjugado al anterior. La parte central y NE, de la falla de Carboneras, presenta actividad sísmica registrada. La falla de Palomares comienza en la costa de Carboneras y se prolonga hasta las proximidades de Lorca, con algunas fallas paralelas a aquella.

Pertenece a la segunda dirección predominante de las Béticas aquella fractura que va desde el Este de Adra a Sierra Nevada, presentando también apreciable actividad sísmica. Existe, además, un conjunto de fallas paralelas y próximas a la anterior (Berja, Dalias, Benínar), que han producido una notable actividad sísmica tanto histórica como instrumental. Según Sanz de Galdeano (1983), la fractura de Tíscar puede, desde el borde oriental de la Sierra de Baza, atravesar la Sierra de Filabres hasta Sierra Alhamilla e incluso hasta Cabo de Gata.

Las fracturas E-W más importantes son las del Corredor de las Alpujarras, la falla del río Almanzora y la línea de costa Almería-Málaga. El Corredor de las Alpujarras cuenta con dos fracturas importantes, que afectan a la provincia de Almería, una al sur de Sierra Nevada y otra al norte de las Sierras de Alhamilla, Gádor y la Contraviesa, prolongándose hasta Sierra de Tejada. La línea de costa presenta una falla importante desde Roquetas, en la parte sur de Sierra de Gádor, hasta Vélez-Málaga. El cauce del Almanzora está controlado por dos fallas, una al norte de la Sierra de Filabres en dirección E-W, y la otra desde Huércal-Overa hacia el mar, en dirección N40-50W. Tienen actividad sísmica asociada, principalmente en el cruce de ambas.

LA SISMICIDAD DE ALMERÍA Y PROVINCIA

En Almería y su provincia han ocurrido terremotos destructores (fig.5), de los que existe constancia en sus documentos históricos. Los estudios de sismicidad histórica han hecho posible evaluar determinadas características de

estos terremotos. Es cierto que, como señala Vidal (1993), la información para estos eventos, que ocurrieron con anterioridad al siglo XV, es escasa y a veces tergiversada por condicionamientos religiosos de la época y concepciones localistas del mundo conocido. Sin embargo, constituyen el único testimonio de la actividad sísmica más importante de ese periodo (Espinar, 1994).

La información sobre la actividad sísmica entre 1400 a 1900, es más precisa, aunque a veces incompleta. Durante este periodo suceden, en Almería y provincia, una serie de terremotos destructores que describiremos con brevedad, ya que no se pretende en este trabajo hacer un análisis detallado de su sismicidad histórica.

En la zona sísmica de Almería-Andarax ocurrieron varios terremotos destructores, el de Noviembre de 1487 que según Vidal (1993), pudo alcanzar el grado IX de intensidad. El de 22 de Septiembre de 1522, cuya acción destructora cubrió una gran área, en la ciudad de Almería quedaron destruidos la Catedral y otros templos, parte de la muralla y Alcazaba, el puerto y gran número de casas. Afectó también a otras ciudades distantes como Cuevas de Almanzora, Baza, Guadix y hasta la misma Granada.

En Diciembre de 1658 hubo una serie de terremotos que comenzó el día 30 y el 31 hubo trece sismos sentidos. El 1 de Enero se sintieron nueve y se siguieron sintiendo terremotos hasta Junio de 1659. Parece probable que la zona epicentral estuviese entre Almería y Cabo de Gata.

La zona sísmica de Vera-Almanzora cuenta con un conjunto de terremotos históricos destructores. El de Vera de 1406, que según Galbis (1932), destruyó gran parte del castillo, de la muralla y de la Mezquita. El 9 de Noviembre de 1518 ocurrió otro que destruyó totalmente la ciudad de Vera, volviéndose a edificar en otro lugar próximo al anterior. Más tarde en 1863 tuvo lugar una serie sísmica, cuyo mayor terremoto ocurrió el 10 de Junio de 1863, al que siguieron una gran cantidad de réplicas durante los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre.

En la zona Adra-Berja-Dalías cabe destacar el terremoto histórico del 25 de Agosto de 1804, en Dalías, con grandes destrozos en este pueblo y en otros cercanos como Berja, Canjáyar, Ohanes, Alcolea y Roquetas. Los terremotos más importantes de la época instrumental son los del 16 de Junio de 1910, en Adra, de magnitud 6.3 que causó destrozos notables en dicha ciudad, con numerosas réplicas en el mismo día y otras a lo largo del mismo mes y el de 5 de Marzo de 1932 con magnitud 4.7, que fue sentido con mayor intensidad en Vícar.

Los terremotos de la serie del 4 de Marzo de 1751, en Vélez-Rubio, ocurrieron de forma casi continuada y en un corto intervalo de tiempo. Causaron notables destrozos en numerosos edificios de dicho pueblo.

Ya en la época instrumental, en el año 1911, se instaló en Almería un sismómetro mecánico Mainka. Fué ubicado en el Observatorio Geofísico del IGN, (antes Estación Sismológica de Almería), y posteriormente, en el año 1960, se instaló otro sismómetro Stuttgart. Ambos estuvieron en funcionamiento hasta 1985, siendo sustituidos por otros sistemas de registro más avanzados. En 1962 se implantan en la Península Ibérica las estaciones estándar de la Red mundial WWSSN. La más cercana a Almería es la estación de Málaga. Por tanto, hasta 1983, la actividad de la provincia de Almería se recoge principalmente en las estaciones WWSSN del Instituto Geográfico Nacional y en las del Observatorio Universitario de Cartuja (Granada).

Como una muestra de esta actividad sísmica, la figura 6 presenta la distribución de los epicentros de terremotos cuya magnitud es mayor o igual a 4 en escala Richter, ocurridos en el período 1962 a 1993. Puede apreciarse que estos terremotos se distribuyen en las diferentes zonas sismogénicas de Almería, confirmándose una actividad moderada de mediana magnitud.

Se aprecia, en dicha figura 6, un terremoto de magnitud 5, que tuvo lugar el 13 de Septiembre de 1984 en Cabo de Gata, seguido de una réplica a las pocas horas, cuya magnitud fué de 4.4.

En la figura 7 se presenta la distribución de epicentros, para Almería y zonas próximas, desde la época histórica a la instrumental (1989). Los datos instrumentales están recogidos de diferentes catálogos.

En 1983 el IAGPDS pone en funcionamiento la Red Sísmica de Andalucía y con sus datos se ha podido elaborar un catálogo completo de esta zona, así como completar, con una información más detallada, las características de los terremotos y microterremotos ocurridos, desde entonces, hasta la fecha.

La actividad registrada por la RSA en el periodo 1983 - 1991, con terremotos de magnitud mayor que 1.0, se refleja en la figura 8. Se aprecia la alta densidad de datos para un intervalo temporal de sólo ocho años, frente a la menor densidad que aparece en la figura 9.

En fases posteriores se amplía la RSA con la instalación de una subred en Almería. Siendo esta provincia una de las zonas de más actividad sísmica de Andalucía, este hecho justifica el que la ampliación de la RSA se efectuara con la instalación de cinco estaciones permanentes en dicha provincia.

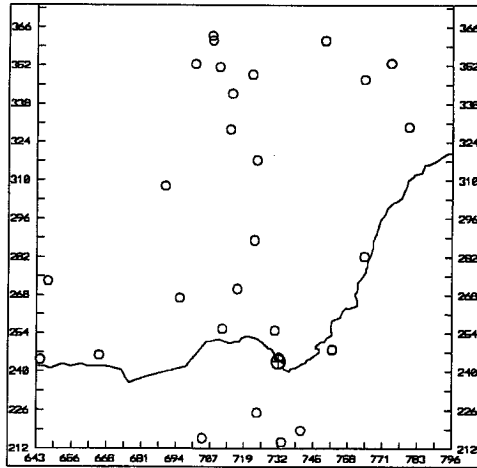


Figura 6. Terremotos de magnitud $m \geq 4$ en la provincia de Almería, para el periodo 1962-1993

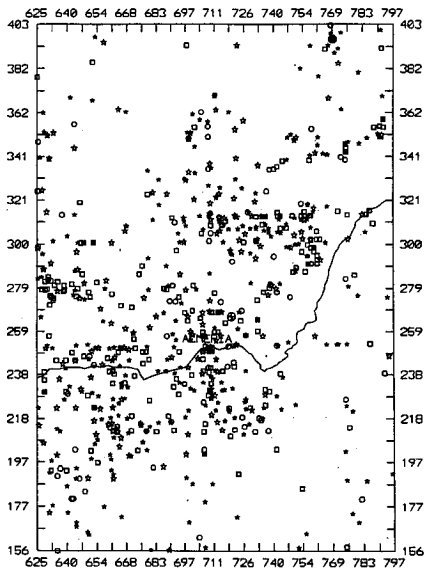


Figura 7. Terremotos de la provincia de Almería para el periodo 0 al 1989. Los símbolos hacen referencia a la magnitud: \square , sin determinar; \circ , $m=1$; *, $m=2$; \star , $m=3$; \odot , $m=4$.

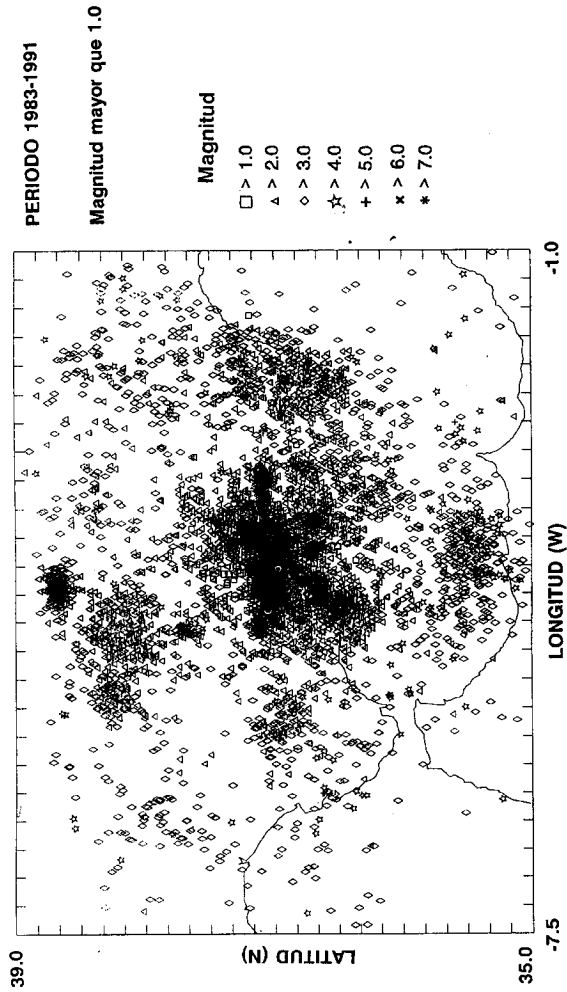


Figura 8. Sismicidad de Andalucía. Periodo 1983-1991. Datos de la R.S.A.

El funcionamiento de la subred de Almería coincidió con el inicio de una Campaña Internacional de Microsismicidad llevada a cabo desde Junio a Diciembre de 1991. Esta Campaña fué organizada por el IAGPDS en colaboración con otras entidades nacionales e internacionales: Universidad de Salerno, El Ente per le Nuove Tecnologie, L'Energia e L'Ambiente (ENEA), Universidad de Catania, Instituto Nacional de Vulcanología y el Observatorio Vesubiano por la parte italiana, CSIC, Universidad de Barcelona y Servei Geològic de Catalunya por parte española.

Desde la instalación y puesta en marcha de esta subred de la RSA, se ha venido detectando una continua actividad sísmica y microsísmica, aunque como ya se ha indicado, de moderada y pequeña magnitud. La figura 9 pone de manifiesto la actividad de la provincia de Almería desde 1991 hasta 1993, pero registrada sólo con estaciones de la RSA (Granada). La figura 10 presenta, a su vez, la actividad de la misma zona y en el mismo periodo, pero sólo con los datos de la subred de Almería. Es obvio que, en este caso, el nivel de actividad se ve incrementado como consecuencia de la disminución del umbral de detectabilidad de microsismos, por la presencia de esta subred local.

La actividad sísmica de Almería es principalmente de tipo superficial, y para ponerlo de manifiesto, se presentan diferentes distribuciones epicentrales en función de la profundidad (figs. 11 a 13). Se aprecia que la máxima actividad se concentra en los primeros 20 km de la corteza. Se han localizado 255 terremotos en profundidades comprendidas entre 0 km y 5 km, y 240 cuya profundidad está comprendida 5 km y 20 km; sólo 31 tienen una profundidad mayor que 20 km pero en ningún caso se alcanzan los 100 km.

En el contexto general de las Béticas, donde se encuentra Almería, también la actividad sísmica es predominantemente superficial, aunque, como señala Ibáñez (1993), con la RSA se han podido detectar un número importante de terremotos cuya profundidad se encuentra entre los 30 a 120 km. La principal agrupación tiene lugar en la zona límite de las provincias de Málaga y Granada hasta introducirse en el Mar de Alborán, correspondiendo la mayor profundidad a la costa de Málaga.

El carácter moderado de la sismicidad de Almería, en este periodo, se refleja en las distribuciones epicentrales según dicho parámetro. En la figura 14, se han representado los sismos cuya magnitud es menor o igual a 2.5, constituyendo la casi totalidad de los registrados en este periodo. Sólo 52 eventos presentan una magnitud mayor que 2.5 (fig 15).

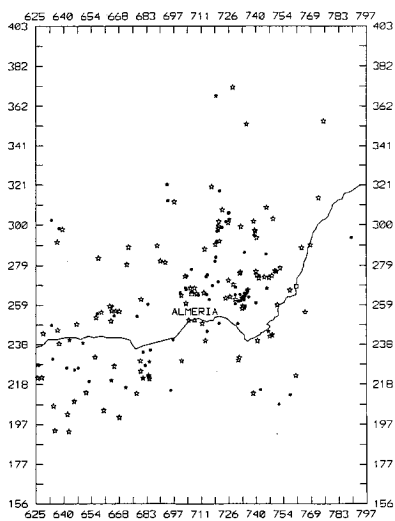


Figura 9. Actividad sísmica de Almería. Periodo 1991-93. Datos de la R.S.A.

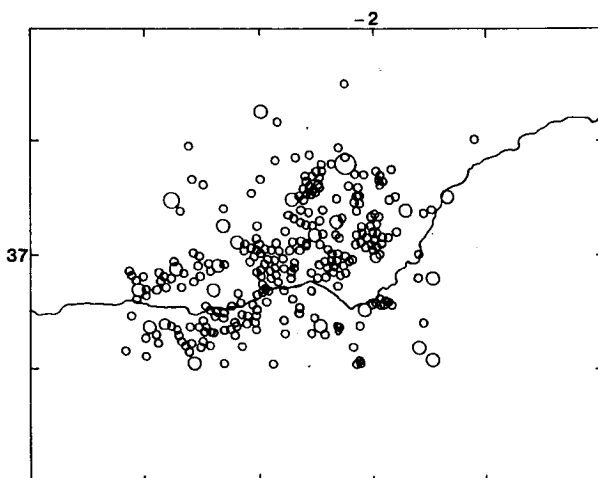


Figura 10. Actividad sísmica de Almería. Periodo 1991-93. Datos de la Subred de Almería.

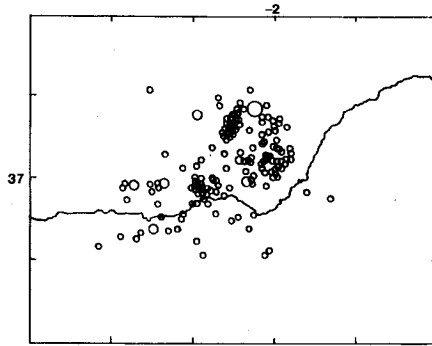


Figura 11. Distribución de terremotos y microterremotos. Periodo 1991-93. profundidad $0 \leq h \leq 20$ km.

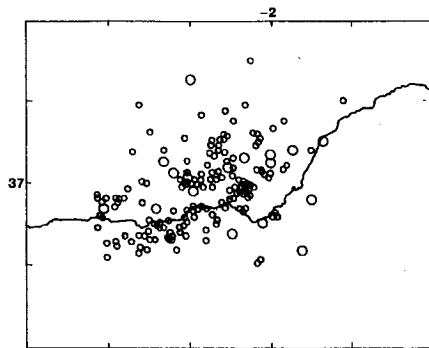


Figura 12. Distribución de terremotos y microterremotos. periodo 1991-93. Profundidad $5 \text{ Km.} < h \leq 20 \text{ Km.}$

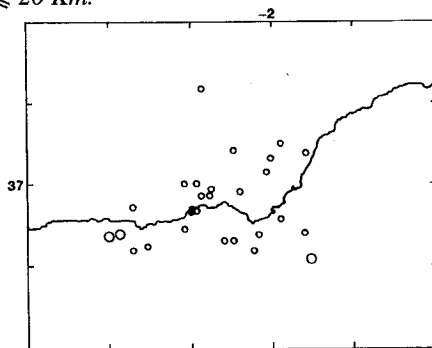


Figura 13. Distribución de terremotos y microterremotos. Periodo 1991-93. Profundidad $h > 20 \text{ Km.}$

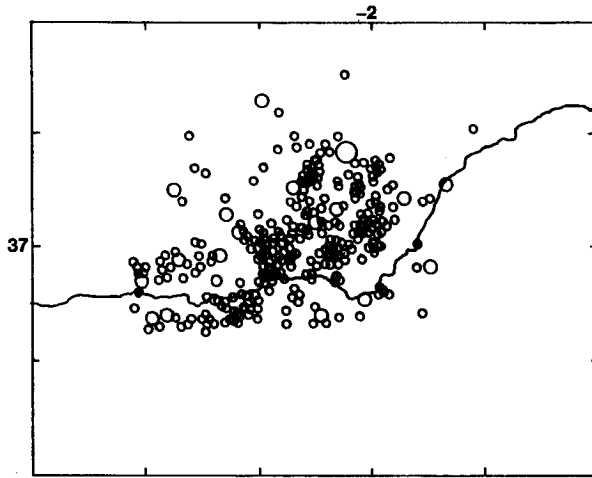


Figura 14. Epicentros de terremotos y microterremotos registrados por la Subred de Almería (1991-93). Con magnitud ≤ 2.5 .

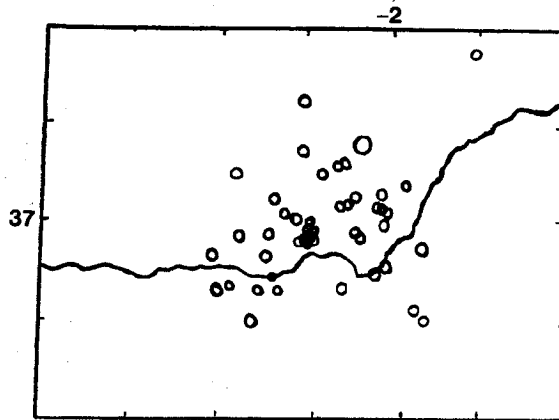


Figura 15. Epicentros de terremotos y microterremotos registrados por la Subred de Almería (1991-93). Con magnitud $m > 2.5$.

Con objeto de perfilar algunas tendencias en la actividad sísmica de Almería, se presenta en la figura 16, la distribución de la misma según las diferentes zonas activas. Es difícil encontrar agrupamientos que se ajusten a las fracturas predominantes, sólo en los casos de las zonas Andarax-Almería y Vera-Almanzora se puede apreciar con más claridad un agrupamiento en la dirección E-W. En las otras zonas la actividad se distribuye de una forma más bien dispersa.

Respecto a los terremotos que han sido sentidos por la población, nos vamos a referir a los ocurridos en la provincia de Almería en el periodo de instalación y funcionamiento de la Subred (1991 a 1993).

En 1991, en los meses de Abril y Mayo, ocurrieron seis cuya magnitud está comprendida entre 3.1 a 3.8, cinco de ellos en Chirivel y uno en María de magnitud 3.4. En esa fecha se estaba terminando la instalación de la subred de Almería, y por eso sólo fueron detectados con la RSA, por lo que no se ha registrado la posible actividad microsísmica asociada.

En el año 1992 fueron sentidos los terremotos de Santa Cruz (24 de Febrero) de magnitud 3.2, de Cabo de Gata (3 de Junio) de magnitud 3.2, el de Carboneras (8 de Septiembre) de magnitud 3.4 y el de Adra (5 de Octubre) de magnitud 3.3.

En el año 1993, en el periodo de Enero a Mayo, la actividad más relevante en la provincia de Almería ha sido la siguiente. Una pequeña serie sísmica ocurrió entre los días 4 a 10 del mes de Enero (fig. 17a). En el día 4 se registraron 2 terremotos y 15 microterremotos, entre las 10 horas hasta las 20 horas. El primero de los terremotos fue de magnitud 3.8 y el segundo de magnitud 3.3, los microterremotos tuvieron magnitudes comprendidas entre 1.0 y 2.1. El primero y más grande de la serie fue sentido con intensidad máxima de grado III (escala MSK) en las poblaciones de Adra, Balerna, El Ejido, Dalías, La Aldeilla y Roquetas de Mar. Su epicentro próximo a Punta Sabinar, fue localizado en los 36.671 N y 2.662 W, con 9 km de profundidad. En la figura 17b se presenta el mapa de isosistas correspondiente a dicho terremoto, según datos del IAGPDS. Otro terremoto sentido fue el que tuvo lugar el 5 de Abril, de magnitud 3.4, cercano a la aldea de Almanzora. Se sintió con intensidad III-IV (Escala MSK) en los pueblos de Almanzora, Cantoria, Macael, Fines, Huércal-Overa, Albos, Albalá y Arboleas. El terremoto del 29 de Julio, cuyo epicentro se localizó cercano a Gádor tuvo una magnitud de 3.4 y profundidad 9.9 kms, siendo su intensidad de grado I. Desde Mayo hasta Noviembre han ocurrido siete terremotos de magnitud comprendida entre 2.0 a 2.9 siendo todos ellos de intensidad I;

en Viator (2), Santa María de Nieva (2), Sierra de Almagrera(1), Berja(1) y Sorbas (1). Todos ellos registrados por la subred de Almería y la RSA, y localizados en el IAGPDS con todos los datos.

Esta revisión de la actividad sísmica más importante de Almería, en el intervalo temporal 1991-1993, pone de manifiesto el carácter moderado de la misma, al menos en el período analizado.

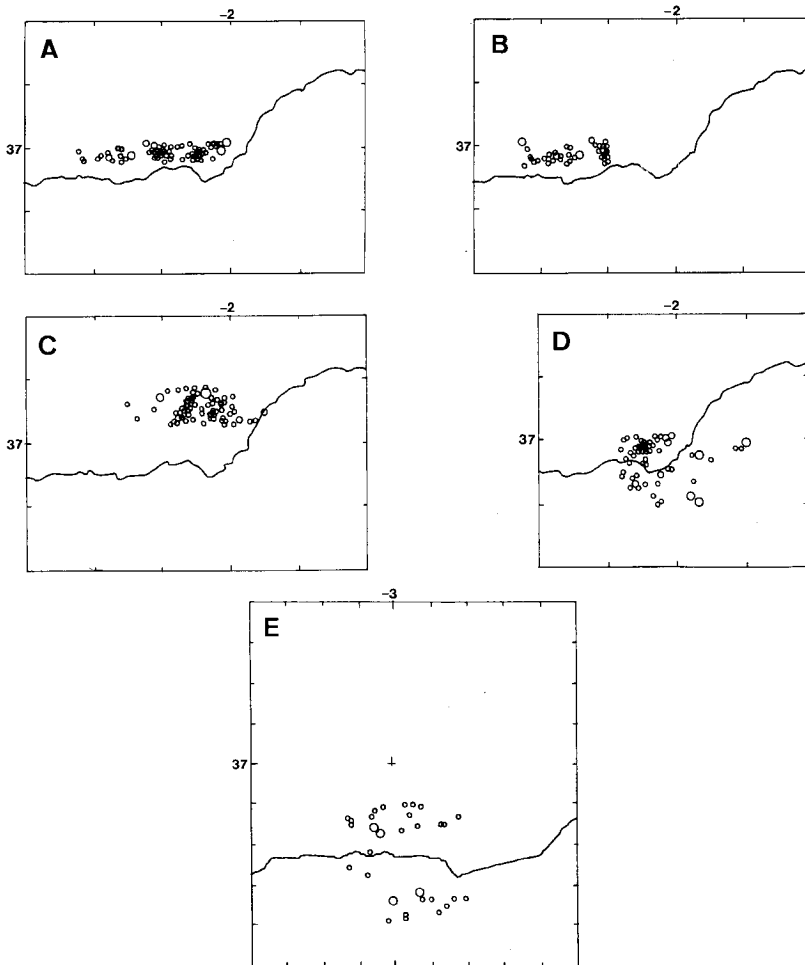


Figura 16. Distribución de epicentros en la zona (a) Sierra Alhamilla-Andarax-Alpujarras, (b) Almería-Andarax, (c) Almanzora-Vera, (d) Sierra Alhamilla-Cabo de Garta y (e) Adra-Dalías-Berja.



Figura 17a. Serie sísmica de Roquetas de Enero 1993.

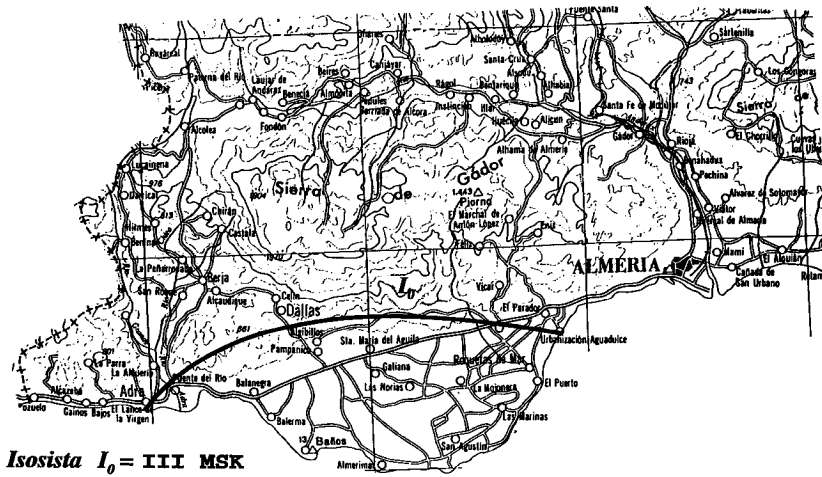


Figura 17b. Mapa de isosistas del terremoto de la serie de Roquetas (datos del IAGPDS).

LEYES DE RECURRENCIA

Se ha deducido la ley de Gutenberg-Richter (GR) a los datos obtenidos con la subred de la RSA, correspondientes al período de Junio de 1991 hasta Marzo de 1993.

Como ya se ha indicado, la ecuación que relaciona la magnitud de los terremotos con su frecuencia, puede aplicarse de dos formas, (Vidal, 1986), una representando el número acumulativo de terremotos en función de la magnitud y la otra tomando simplemente el número de terremotos cuya magnitud es igual o mayor que una dada. También existen diferentes métodos para calcular los parámetros a y b de la fórmula de GR, pero según el autor citado anteriormente, el parámetro b, que es el más importante, no queda demasiado afectado por la utilización de uno u otro método.

En este trabajo hemos optado por representar el número acumulativo en función de la magnitud, para evitar errores debidos al uso de clases desiguales. Se han calculado los parámetros a y b por el método de mínimos cuadrados, utilizando un programa convencional. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 18.

La ley de GR, para la zona estudiada, en el periodo indicado es:

$$\log N = 4.3 - 0.98 \cdot m$$

El rango de magnitud es de 1.4 a 3.9, con intervalo de clase de 0.1, habiéndose obtenido un coeficiente de correlación de 0.99 y una desviación estandar de 0.08. Los valores de a y b son concordantes con los obtenidos por diferentes autores para zonas próximas a la que se analiza aquí (Vidal, 1986; Muñoz y Udías, 1980).

PARÁMETROS FUENTE Y RELACIONES DE ESCALA

Para completar este estudio preliminar de la sismicidad reciente de Almería, se han seleccionado, de la serie de Roquetas de Enero 1993, aquellos terremotos que han sido registrados con una aceptable relación señal-ruido, que permita calcular los parámetros fuente así como diferentes leyes de escala (Tabla I).

Se han aplicado las técnicas usuales; cálculo de espectros de las fases P y S de dichos terremotos, correcciones instrumental, de atenuación, de radiación y efecto de sitio. Siguiendo el modelo de Brune (1970, 1971) se han relacionado

los parámetros espectrales con los focales. Se ha incorporado la técnica de Snoke (1987) para determinación de la f_c , (García et al 1991) y la de Gibowitz et al (1991) para el cálculo de la energía sísmica liberada.

En la tabla II se presentan los valores obtenidos para el momento sísmico M_0 , radio de la fuente r , esfuerzos relajados $\Delta \sigma$ y energía sísmica E_s de los sismos analizados.

Datos Almería 1991-1993

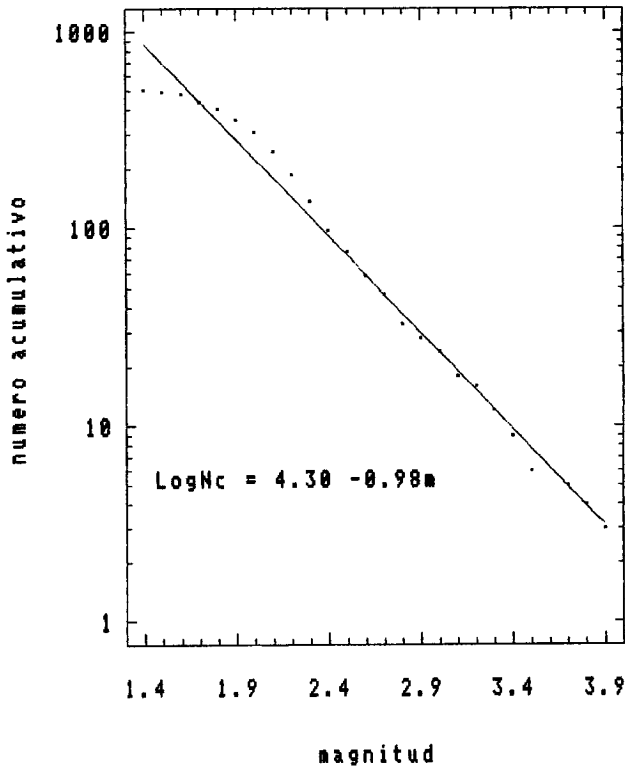


Figura 18. Relación Gutenberg-Richter, magnitud-número acumulativo de sismos, para Almería, durante el periodo 1991-93

Nº	fecha	hora	lat.	lon.	prof	mag.
1	93/ 1/ 4	9:19:25.64	36.648	-2.652	8.0	3.3
2	93/ 1/ 4	9:32:42.94	36.670	-2.643	8.8	1.4
3	93/ 1/ 4	9:39:59.08	36.651	-2.657	10.4	1.7
4	93/ 1/ 4	10:31:45.40	36.671	-2.642	8.5	1.4
5	93/ 1/ 4	13:20:50.94	36.668	-2.653	9.0	1.8
6	93/ 1/ 4	16:56:52.80	36.645	-2.652	7.6	2.3
7	93/ 1/ 4	17:14:56.63	36.648	-2.653	7.8	2.8
8	93/ 1/ 4	20:23: 6.50	36.653	-2.650	8.5	2.3
9	93/ 1/ 5	1: 7:34.94	36.645	-2.648	8.7	2.2
10	93/ 1/ 5	7:35: 0.26	36.659	-2.646	8.0	1.8
11	93/ 1/ 5	10: 9:32.90	36.667	-2.642	8.5	1.7
12	93/ 1/ 6	15:52:17.89	36.669	-2.644	6.4	2.3
13	93/ 1/ 7	0:38:33.17	36.638	-2.655	7.4	2.3
14	93/ 1/ 7	7: 6:41.38	36.645	-2.652	10.0	2.3

Tabla I. Sismos analizados. Serie de Roquetas. Enero 1993

Nº	Mo (dinxcm)	r (Km)	Δe (bar)	Es (J)
1	4.14E+20	0.56	1.11E+00	3.20E+08
2	1.22E+18	0.19	8.25E-02	5.86E+04
3	5.37E+18	0.23	2.43E-01	1.17E+06
4	1.20E+18	0.20	7.02E-02	4.80E+04
5	1.89E+18	0.27	5.52E-02	6.19E+04
6	8.29E+18	0.23	3.06E-01	1.07E+06
7	1.64E+20	0.46	7.44E-01	1.67E+08
8	5.92E+18	0.33	1.03E-01	2.94E+05
9	2.03E+18	0.21	1.22E-01	1.40E+05
10	2.27E+18	0.21	1.07E-01	1.14E+05
11	1.00E+18	0.20	7.17E-02	5.46E+04
12	1.66E+19	0.29	3.56E-01	3.18E+06
13	1.77E+19	0.26	4.56E-01	4.08E+06
14	9.98E+18	0.23	3.93E-01	3.19E+06

Tabla II. Parámetros focales. Serie de Roquetas. Enero 1993

Serie de Roquetas Enero 1993

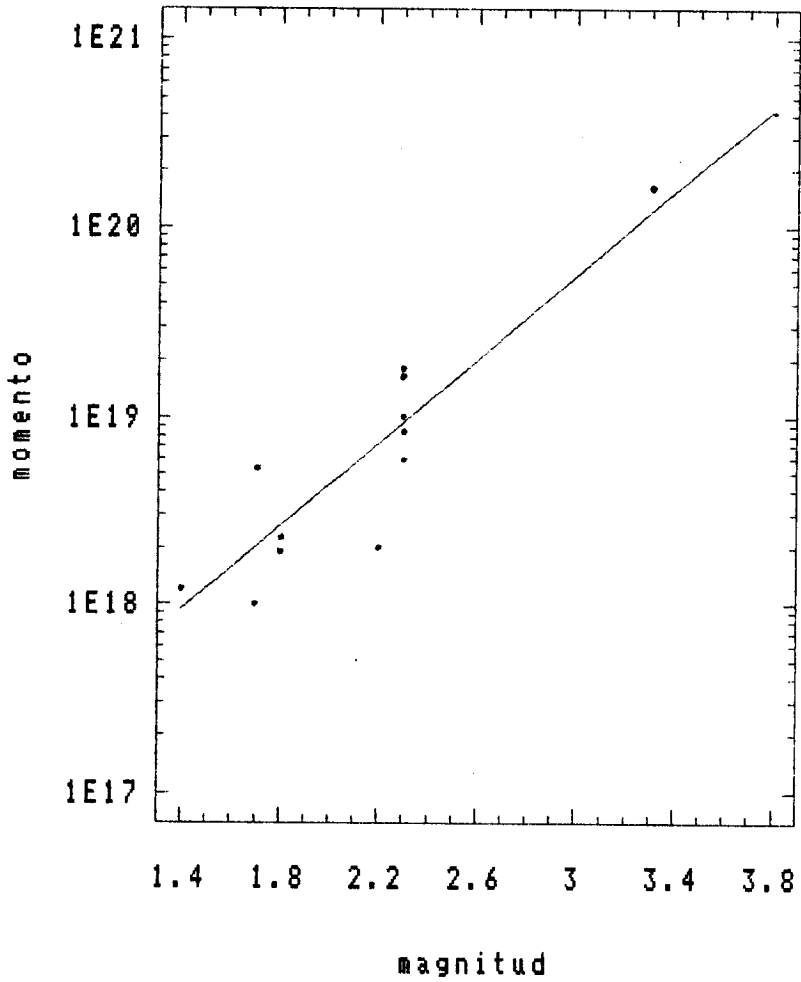


Figura 19. Relación Momento sísmico (din x cm) - magnitud.

Serie de Roquetas Enero 1993

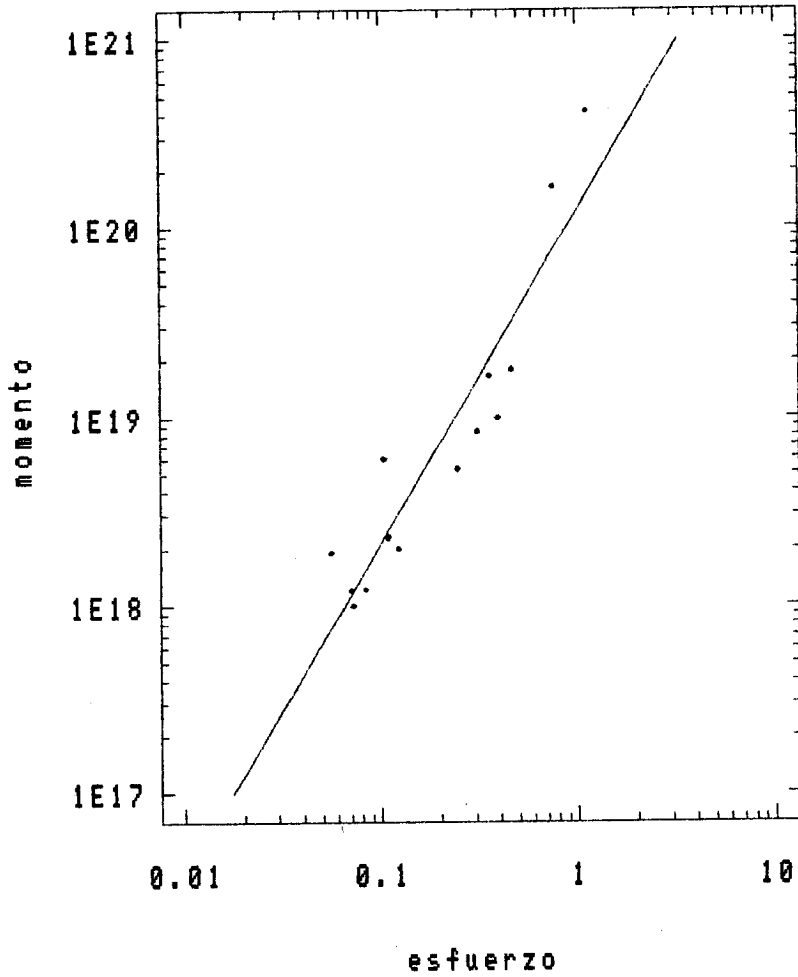


Figura 20. Relación Momento sísmico (din x cm) - esfuerzos relajados (bar).

En la figura 19 se presentan los valores del momento en función de la magnitud así como la línea ajustada según el método de mínimos cuadrados. El ajuste obtenido es el siguiente:

$$\log Mo = 1.10 \cdot m + 16.42$$

Con un coeficiente de correlación (CC) de 0.94 y una desviación estándar de 0.26.

El ajuste obtenido para el caso del momento y la caída de esfuerzos es (fig. 20):

$$\log Mo = 1.76 \Delta \sigma + 20.09$$

con CC = 0.93 y desviación estándar de 0.29.

Los valores de los esfuerzos relajados son muy bajos. Los obtenidos en otros estudios de zonas próximas a ésta, también resultaron bajos (Romacho, 1988).

Se pretende, en fases posteriores, ampliar este estudio preliminar sobre la sismicidad de Almería con nuevos datos y a partir de ahí establecer unas conclusiones más definitivas sobre los resultados obtenidos.

REFERENCIAS

- BOUSQUET, J.C., (1979). Quaternary strike-slip faults in southern-eastern Spain, *Tectonophysics*, Vol. 52, pp. 277-286.
- BRUNE, J.N., (1970). Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, *J. Geophys. Res.*, Vol. 75, pp. 4997-5009.
- BRUNE, J.N., (1971). Correction (to Brune (1970)), *J. Geophys. Res.*, Vol. 76, pp.5002.
- ESPINAR, M., (1994). Los estudios de sismicidad histórica en Andalucía: los terremotos históricos de la provincia de Almería. En este volumen.
- GALBIS, J., (1932). Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5 E y 20 W y los paralelos 45 N y 25 N. *Inst. Geog. Cat.* Tomo 1, pp. 807.
- GARCÍA, J.M.; M.D. Romacho; M. Navarro; A. Posadas; F. de Miguel. (1991). Estudio espectral de focos sísmicos de la serie de Antequera (Málaga) de 1989. VII Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica.

GIBOWICZ, S.J., R.P. YOUNG, S. TALEBI, D.J. RAWLENCE, (1991). Source parameters of seismic events at the underground research laboratory in Manitoba, Canada: Scaling relations for events with moment magnitude smaller than -2. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 81, No. 4, pp. 1157-1182.

GUTENBERG, B. and C.F. RICHTER, (1954). *Seismicity of the Earth and Associated Phenomena*, Princeton University Press.

IBÁÑEZ, J. (1993). La sismicidad de Andalucía, en *Curso de Prevención Sísmica* editado por F. Vidal. I.A.G.P.D.S., Universidad de Granada.

MUÑOZ, D. y A. UDÍAS, (1980). Estudio de los parámetros y serie de réplicas del terremoto de Andalucía del 25 de Diciembre de 1884 y de la sismicidad de la región de Granada-Málaga, en "El terremoto de Andalucía de 1884", IGN, pp. 95-139.

POSADAS, A., (1994). Estudios sismológicos con redes sísmicas locales. En este volumen.

POSADAS, A.; F. VIDAL; F. DE MIGUEL; G. ALGUACIL; J. PEÑA; J.M. IBÁÑEZ; J. MORALES. Spatial and temporal analysis of a seismic series using the principal components method: the Antequera series, Spain, 1989. *J. Geophys. Res.*, Vol 98, No B2, pp. 1923-1932.

ROMACHO, M.D., (1988). *Mecánica de las fuentes sísmicas. Estudio espectral de fases corticales de terremotos norte-africanos*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

SANZ DE GALDEANO, C., (1983). Los accidentes y fracturas principales de las Cordilleras Béticas. *Estudios geológicos*, Vol. 39, pp. 157-165.

SNOKE, J.A., (1987). Stable determination of (Brune) stress drops. *Bull. Seism. Soc. Am.* Vol. 77, No. 2, pp. 530-538.

VIDAL, F. (1986). *Sismotectónica de la región Béticas-Mar de Alborán*. Tesis doctoral. Univ. de Granada.

VIDAL, F., (1993). *Terremotos relevantes y su impacto en Andalucía en Curso de Prevención Sísmica* editado por F. Vidal. I.A.G.P.D.S., Universidad de Granada.