



RIESGO SISMICO EN LA CUENCA DE ALCOY (ALICANTE)

Aproximación a una zonificación sísmica

Julián García Mayordomo

TESIS DE MASTER

IV MASTER EN INGENIERIA GEOLOGICA

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

Edición digital compilada por el autor 18/10/2010

IV MASTER DE INGENIERIA GEOLOGICA 1996/1998

D. Julián Valerio Conde

Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos (CEDEX, Laboratorio de Geotecnia)

y

D. Luis Ignacio González de Vallejo

Catedrático de Ingeniería Geológica (F. de CC. Geológicas, U. Complutense de Madrid)

CERTIFICAN QUE HAN SUPERVISADO EL TRABAJO:

RIESGO SISMICO EN LA CUENCA DE ALCOY

Aproximación a una Zonificación Sísmica

Correspondiente a la TESIS DE MASTER DE:

Julián García Mayordomo

D. Julián Valerio Conde

D. Luis I. González de Vallejo

En Madrid a 20 de Abril de 1998

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiera agradecer a D. Julián Valerio y a D. Luis González de Vallejo el haber aceptado supervisar este trabajo. También a D. Claudio Olalla por sus valiosas aportaciones y su cordialidad.

A mis compañeros y amigos del master, especialmente a Meaza y a Eva por su simpatía y ofrecimiento.

A la gente del Departamento de Geodinámica, especialmente a Josechu y Miguel por el apoyo técnico prestado.

A Juanmi, David y Rafa por estar siempre ahí, como las grandes estrellas del Rock & Roll.

A Natalia por sus *cuentos por teléfono*.

A mi familia por comprender la situación por la que estaba pasando y a mi perro que no se aburría de estar conmigo (yo sí!).

A mis amigos del barrio por intentar llevarme por el mal camino, y conseguirlo...(a veces, menos de las que yo hubiera deseado...).

A Elena por todo, especialmente por aguantar mis tormentas de mal humor y por que sin su apoyo no se que hubiera sido de mí...

Finalmente agradecerle al tiempo atmosférico su solidaridad durante los días de Semana Santa.

RESUMEN

La Cuenca de Alcoy es una importante zona industrial y demográfica de la provincia de Alicante que ha experimentado terremotos destructores en el pasado. En este trabajo se presenta una aproximación a una zonificación sísmica basada en los datos de aceleración suministrados por la norma sismorresistente española (NCSE-94), el espectro de respuesta de la prenorma europea (EUROCODIGO-8), información geotécnica procedente de trabajos desarrollados en el área por el Instituto Tecnológico Geominero y trabajos geológicos de campo de varios autores. Se revisa la información sísmica proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional y se analizan las relaciones sismicidad-tectónica regionales. Se realiza un estudio de la geología de la Cuenca de Alcoy y se establece un mapa geológico que servirá de base para los estudios siguientes, también se evidencia la presencia de fallas activas en la zona. Para el cálculo de la respuesta del suelo y la estimación de fenómenos inducidos se definen dos hipótesis de riesgo. Se clasifican los suelos de la Cuenca de Alcoy y se establece su distribución espacial. Por último se analiza la ocurrencia de los riesgos de licuefacción y de reactivación de deslizamientos. Finalmente los resultados se expresan en varios mapas de riesgo sísmico de la Cuenca de Alcoy.

ABSTRACT

Alcoy Basin is an important industrial and demographic zone of the Alicante region (Spain) which has suffered disastrous earthquakes in the past. In this work a seismic zoning of the area is approached based on acceleration data supplied by the spanish seismo-resistive provisions (NCSE-94), the response spectra defined in the european provisions (EUROCODIGO-8), geotechnical data from local studies of the Instituto Tecnológico Geominero, and geological field studies in the area developed by various authors. Seismic data provided by the Instituto Geográfico Nacional are examined and regional relationships between seismicity and tectonics are analysed. A geological study of Alcoy Basin is developed and a geological base map is settled for further studies. Also evidence of active faults in the area is given. Two hypothetical levels of seismic hazard are established in order to compute soil response and induced phenomena estimation. Soil classification of Alcoy Basin and spacial arrangement are made. At last, occurrency of liquefaction and slope instability risks are analysed. Finally results are expressed in different seismic risk maps of Alcoy Basin.

INDICE

CAPITULO 1: Introducción	2
1.1.- Importancia del tema de estudio	2
1.2.- Interés de la zona de estudio	2
1.3.- Marco geográfico de la zona de estudio.....	2
1.4.- Antecedentes generales.....	4
1.4.1.- Antecedentes en el área de trabajo	4
1.5.- Alcance y objetivos del presente proyecto	4
 CAPITULO 2: Metodología General en los Estudios de Zonificación Sísmica	 6
2.1.- Introducción general	6
2.2.- Determinación de la peligrosidad sísmica.....	6
2.2.1.- Definición de las provincias y fallas sismogénicas	7
2.2.2.- Métodos de cálculo de la peligrosidad.....	8
2.2.3.- Método determinista y métodos probabilistas.....	9
2.3.- Determinación de la respuesta del suelo: efecto sitio	10
2.3.1.- Métodos para caracterizar la respuesta del suelo	10
2.3.2.- Clasificación de suelos en normas sismorresistentes	11
2.3.3.- Espectros de respuesta en normas sismorresistentes	13
2.4.- El efecto topográfico.....	15
2.4.1.- El estudio del efecto topográfico.....	15
2.4.2.- Valoración del efecto topográfico.....	15
2.4.3.- Factores del efecto topográfico.....	15
2.4.4.- Métodos de valoración del efecto topográfico	16
2.5.- Efectos inducidos por la acción de los sismos	18
2.5.1.- Efectos sobre las propiedades del terreno (movilidad cíclica y licuefacción)	18
2.5.2.- Deslizamientos.....	21
2.5.3.- Tsunamis	22
2.6.- Determinación de la vulnerabilidad	22
2.6.1.- Factores que intervienen en la determinación de la vulnerabilidad	22
2.6.2.- Métodos de evaluación de la vulnerabilidad	23
 CAPITULO 3: Estudio Sismotectónico Regional	 26
3.1.- Marco sísmico regional de la Cuenca de Alcoy.....	26
3.2.- Antecedentes.....	26
3.3.- Sismicidad del Prebético de Alicante	27
3.3.1.- Sismicidad histórica	27
3.3.1.1.- Distribución geográfica.....	28

3.3.2.- Sismicidad instrumental	29
3.3.2.1.- Distribución geográfica.....	31
3.3.3.- Mapas de isosistas	32
3.4.- Determinación de zonas y fallas sismotectónicas	32
CAPITULO 4: Estudio Geológico de la Cuenca de Alcoy	37
4.1.- Marco geológico regional	37
4.1.1.- Principales características del Prebético de Alicante	37
4.1.2.- Evolución tectónica del Prebético de Alicante	38
4.1.2.1.- Evolución tectónica preneógena	38
4.1.2.2.- Evolución tectónica neógena	39
4.2.- Síntesis geológica de la Cuenca de Alcoy	40
4.2.1.- Estratigrafía de la Cuenca de Alcoy.....	40
4.2.1.1.- Sustrato preneógeno	40
4.2.1.2.- Materiales neógenos	43
4.2.1.3.- Materiales cuaternarios	44
4.2.2.- Tectónica de la Cuenca de Alcoy	45
4.2.2.1.- Pliegues.....	45
4.2.2.2.- Fracturación	46
4.3.- Neotectónica de la Cuenca de Alcoy.....	46
4.3.1.- Tectónica activa en la Cuenca de Alcoy	47
4.3.2.- Fallas activas	47
4.3.3.- Fallas de actividad no demostrada	48
CAPITULO 5: Determinación de la Peligrosidad Sísmica	50
5.1.-Antecedentes.....	50
5.2.- Estimación de la peligrosidad por el método determinista	50
5.3.- Estimación de la peligrosidad basada en la NCSE-94	50
5.4.- Elección de las hipótesis de riesgo	52
CAPITULO 6: Caracterización de la Respuesta del Suelo	54
6.1.- Clasificación de los suelos de la Cuenca de Alcoy	54
6.2.- Estimación de la respuesta del suelo	54
CAPITULO 7: Estimación del Riesgo de Licuefacción	57
7.1.- Materiales susceptibles	57
7.2.- Posición del nivel freático	57
7.3.- Hipótesis de partida.....	57
7.4.- Estimación del riesgo de licuefacción	58
CAPITULO 8: Estimación del Riesgo de Deslizamientos.....	61
8.1.- Antecedentes en la Cuenca de Alcoy.....	61

8.2.- Caracterización de los terrenos susceptibles	61
8.3.- Estimación de las áreas con riesgo de deslizamientos profundo.....	62
8.4.- Estimación del riesgo de deslizamiento inducido por sismos en las margas miocenas TAP	62
CAPITULO 9: Zonificación del Riesgo Sísmico.....	67
9.1.- Zonificación del efecto sitio	67
9.2.- Zonificación de riesgos inducidos	67
9.2.1.- Zonas con riesgo de deslizamientos.....	67
9.2.2.- Zonas con riesgo de licuefacción	67
9.2.3.- Zonas con riesgo de rotura del terreno.....	68
CAPITULO 10: Conclusiones y Recomendaciones	72
10.1.- Conclusiones.....	72
10.1.1.- Sismicidad regional.....	72
10.1.2.- Tectónica activa en la Cuenca de Alcoy	73
10.1.3.- Determinación de la peligrosidad.....	73
10.1.4.- Caracterización de los suelos ante la acción sísmica	73
10.1.5.- Estimación del riesgo de licuefacción y de deslizamientos	74
10.2.- Recomendaciones.....	74
CAPITULO 11: Bibliografía	76
ANEXOS	81
Anexo I: Clasificación de Suelos Propuesta por el EUROCODIGO-8.....	82
Anexo II: Clasificación Geotécnica de los Tipos de Suelos Descritos para la Cuenca de Alcoy	84
Anexo III: Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes.....	89

CAPITULO 1: Introducción

1.1.- Importancia del tema de estudio

Los terremotos son una de las catástrofes naturales que más pérdidas e impotencia provocan en las sociedades, ya que ni son predecibles, ni pueden ser controlados. Un ejemplo reciente sería la catástrofe sísmica de Asís (Italia) que aparte de provocar cuantiosas pérdidas económicas ha generado una alarma social importante. En el ámbito español la reciente crisis sísmica de Galicia ha puesto de manifiesto el impacto que pueden tener pequeños terremotos en la sociedad.

Si el actual conocimiento científico de este fenómeno no permite su predicción ni su control, el único medio de disminuir su carácter catastrófico será mediante la prevención y atenuación de sus efectos (González de Vallejo, 1980; IGME, 1987). En este sentido los estudios de zonificación sísmica se revelan como una herramienta eficaz. Se trata de estudios multidisciplinarios con aplicaciones concretas: preventivas y mitigadoras.

1.2.- Interés de la zona de estudio

El área de investigación se caracteriza por ser una zona de alta demografía y presentar una actividad industrial muy potente. La región ha sufrido diversos sismos destructivos a lo largo de su historia (1549, Játiva, I=VIII; 1620, Alcoy, I=VIII; 1644, Alcoy, I=IX; 1748, Enguera, I=IX; 1945, Onteniente, Mb=5.8 (I=VII)). En el contexto del conocimiento actual es posible realizar un estudio que evalúe el riesgo sísmico de la región en vistas a proveer las bases de una adecuada ordenación territorial.

Por otra parte, la ciudad de Alcoy encargó un estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico para el núcleo urbano (ITGE, 1990), muestra de la preocupación de las autoridades por el tema.

1.3.- Marco geográfico de la zona de estudio

El área de estudio comprende un cuadro de 18 x 18 Km abarcando una área de 324 Km². Las coordenadas UTM que definen este cuadro son:

	Latitud UTM	Longitud UTM
Esquina NE	4.301.450	734.000
Esquina SW	4.283.450	716.000

Este cuadro se desarrolla prácticamente entero en territorio de la provincia de Alicante, si bien en la esquina noroccidental aparece un pequeño área de la provincia de Valencia.

La cuenca de Alcoy se desarrolla en una depresión confinada entre sierras (**fig. 1.1**).

Los principales relieves están constituidos, al norte, por la S^a de Benicadell, con su máxima cota en el pico Benicadell (1105 m.s.m.). Al este la S^a Mariola con la máxima elevación del área, el pico Montcabré (1390). Al sur limita con la S^a de Ondoches (Ojo del Moro, 1051) y al este, y de norte a sur, con la S^a de la Albureca (Cerrillo, 765), Loma Redonda (982) y S^a de Serrella (Serrella, 1359).

La red de drenaje se estructura en 3 ríos principales de bajo caudal, río Agres al norte, río Peñaguila al sur y el río Serpis. Este último constituye el canal principal, que desemboca en la costa mediterránea por Gandía (Valencia). El río Serpis antes de abandonar la Cuenca de Alcoy por el extremo nororiental se encuentra embalsado en la presa de Beniarrés. La red secundaria está formada por numerosos barrancos de régimen estacional que presentan un importante encajamiento en los materiales margosos del Tap que ocupan extensamente la depresión de Alcoy.

La principal vía de comunicación es la carretera N-340 Alicante-Valencia que cruza la cuenca por Alcoy, Cocentaina y Muro de Alcoy. Estas tres poblaciones agrupan la mayor parte de la demografía y actividad económica del área. Sus términos municipales constituyen prácticamente el 50 % de la zona de trabajo. Otras poblaciones importantes son Beniarrés, Benimarfull, y Benilloba.

El clima es de tipo continental, caracterizado por inviernos fríos y veranos cálidos, con una precipitación media anual es de 500 mm. El paisaje está típicamente formado por bancales de frutales (almendros, olivos, cerezos,...) que se desarrollan extensivamente en la depresión, y por pinares y encinares en los relieves montañosos.

1.4.- Antecedentes generales

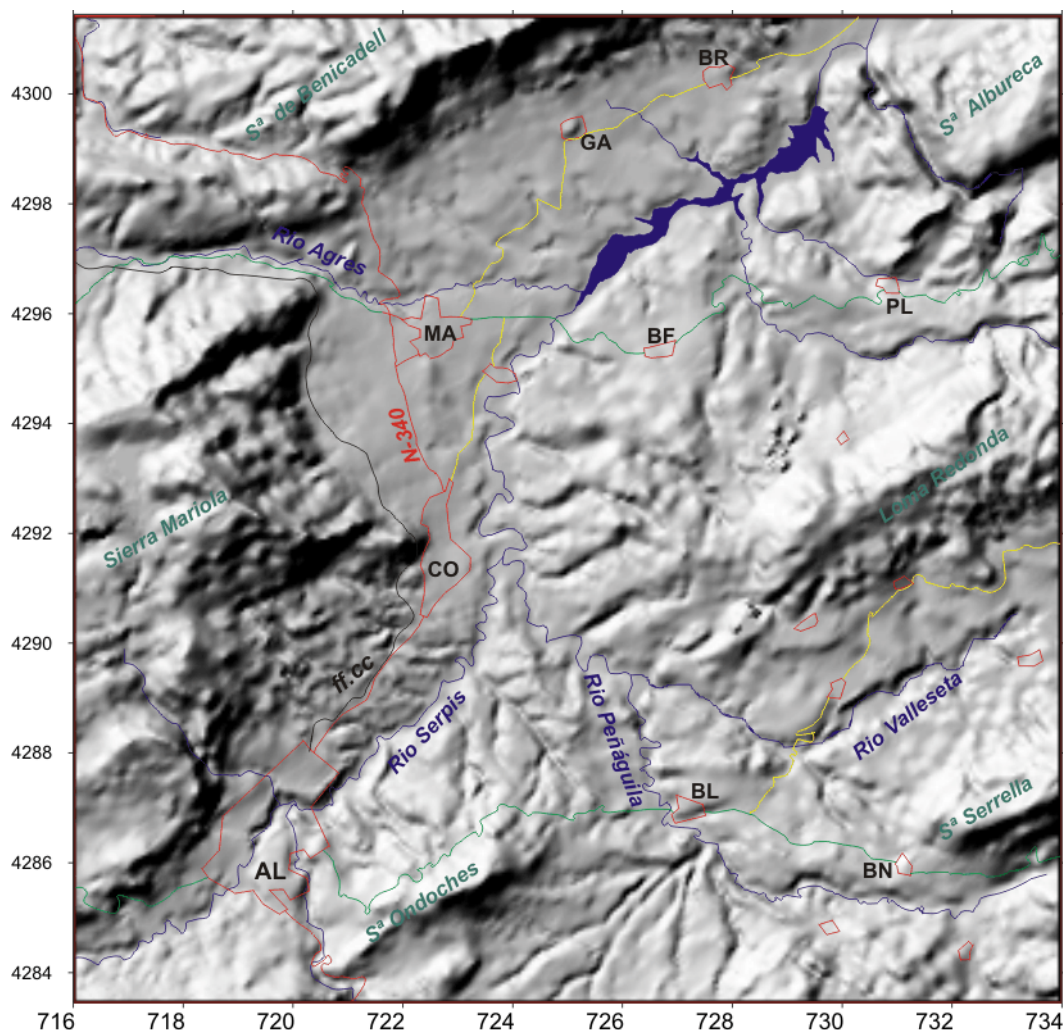


Fig. 1.1 Marco geográfico de la zona de estudio.



AL:Alcoy	CO:Cocentaina	MA:Muro de Alcoy
BF:Benimarfull	PL:Planes	BL:Benilloba
BN:Benasau	GA:Gayanes	BR:Beniarrés

Los estudios de zonificación sísmica pretenden determinar áreas que se puedan considerar homogéneas en relación a su grado de riesgo sísmico. Éste vendrá determinado por múltiples y complejas variables a analizar a diferentes escalas, pero que finalmente quedarán reflejadas en un mapa orientado al objeto del trabajo.

Existen diversos trabajos que determinan la peligrosidad sísmica a nivel nacional (escalas 1:1.000.000) y que obviamente no entran en aspectos concretos de zonificación sísmica (Munuera, 1969; antigua norma sismorresistente PDS-1974; Martín Martín, 1984; nueva norma sismorresistente NCSE-94).

La determinación del emplazamiento y construcción de estructuras de potencial riesgo para la sociedad (centrales energéticas, presas, reservorios,...) llevan aparejado un estudio de riesgo sísmico específico. En España existen normas concretas relativas a la construcción de estructuras singulares, por ejemplo la Instrucción de Grandes Presas, que llevan incorporado el tratamiento del riesgo sísmico. Estos trabajos, obviamente, están muy orientados a un emplazamiento concreto y su extrapolación a otras áreas requiere de nuevos trabajos.

Recientemente se han llevado a cabo estudios de zonación en poblaciones urbanas (Barcelona, Granada, Alcoy, Lorca,...). Estos son trabajos de escalas grandes (E1/5.000), también por eso denominados de microzonación, y están muy condicionados por la cantidad, distribución y calidad de la información geotécnica disponible. Este tipo de trabajos dejan abierta la posible extrapolación de los datos a una región mayor que el núcleo urbano.

1.4.1.- Antecedentes en el área de trabajo

Los antecedentes más directamente relacionados con el tema de estudio son trabajos realizados por el actual Instituto Tecnológico Geominero de España (ITGE):

- Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos para la Ordenación Urbana de Alcoy, E: 1/25.000, 1/2.500 y 1/1.000 (IGME, 1985).
- Estudio de Riesgos Naturales en la Ciudad de Alcoy (Riesgo de avenidas y Vulnerabilidad y Riesgo sísmico) (ITGE, 1990).
- Estudios de microzonificación de la peligrosidad y vulnerabilidad sísmica en Alcoy y Lorca. (Mulas de la Peña, 1992).

Otras fuentes de información técnica consultadas han sido:

- Mapa Geológico de Alcoy, E 1/50.000. (IGME, 1974).
- Mapa Geotécnico General de Alcoy, E:1/200.000. (IGME, 1973).
- Mapa de Orientación al Vertido de Residuos Urbanos de la Cuenca de Alcoy, E: 1/50.000. (IGME, 1978).

1.5.- Alcance y objetivos del presente proyecto

En este proyecto de master se pretende llevar a cabo una zonificación sísmica de un área de 324 Km². Para ello se parte de información técnica preexistente y se utiliza un SIG (Sistema de Información Geográfico: programa informático de tratamiento, computación y generación de información georreferenciada). Las diversas fuentes de información consultada han determinado una necesaria homogeneización de la escala de trabajo a 1/50.000, aunque finalmente, por motivos de encuadernación, se ha escogido la escala 1/120.000 para la presentación de los mapas.

En el *Capítulo 2* se exponen los principales aspectos que se investigan en un trabajo de zonificación. No es el objeto del presente trabajo desarrollarlos exhaustivamente sino presentar una breve exposición de los principales factores y métodos involucrados. En algún caso se han desarrollado más ampliamente temas que se han considerado originales, como es el apartado 2.4 sobre el efecto topográfico.

En el *Capítulo 3* se estudian las características de la sismicidad regional del entorno de la Cuenca de Alcoy y se establece un esquema sismotectónico regional.

En el *Capítulo 4* se expone un resumen de la geología de la Cuenca de Alcoy con dos objetivos: obtener una cartografía geológica adecuada para el trabajo y evidenciar la existencia de fallas activas en el área.

En el *Capítulo 5* se determina la peligrosidad sísmica de la Cuenca de Alcoy y se definen las hipótesis de riesgo en las que se van a basar los capítulos posteriores.

En el *Capítulo 6* se caracteriza la respuesta sísmica de los diferentes tipos de suelos de la Cuenca de Alcoy.

En los *Capítulos 7 y 8* se analizan dos posibles riesgos inducidos por la acción sísmica: licuefacción y reactivación de deslizamientos.

En el *Capítulo 9* se presenta una perspectiva global del riesgo en la Cuenca de Alcoy para las dos hipótesis analizadas en este trabajo.

En el *Capítulo 10* se establecen las conclusiones de cada trabajo específico desarrollado.

Finalmente, en el *Capítulo 11* se detallan las referencias bibliográficas mencionadas en el texto.

Los objetivos de la presente Tesis de Master se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Exponer sintéticamente la metodología de trabajo en zonificación sísmica.
- Hacer una aplicación concreta, en grado de aproximación, para la Cuenca de Alcoy.

CAPITULO 2: Metodología General en los Estudios de Zonificación Sísmica

2.1 Introducción general

Existen diferentes mecanismos capaces de producir terremotos (colapsos, explosiones, erupciones volcánicas), sin embargo el mecanismo más frecuente y significativo a escala global son los terremotos de origen tectónico. Estos tienen lugar al producirse una liberación súbita de energía elástica a una determinada profundidad en el interior de la corteza terrestre. La liberación de energía tiene lugar cuando el estado tensional de la corteza supera el límite de resistencia de la roca. Parte de la energía liberada se pierde en calor por fricción entre las paredes de la falla y parte se libera en forma de ondas elásticas (ondas de cuerpo). Estas ondas se transmiten en todas las direcciones del espacio llegando a interaccionar con la superficie terrestre donde se genera un nuevo tipo de ondas (ondas de superficie), que son las principales responsables de los efectos destructivos de los terremotos.

La intensidad del movimiento que experimenta la superficie terrestre en un terremoto depende de varios factores: energía liberada (magnitud), distancia al punto de emisión de la energía (hipocentro), amplificación por las características de las capas superficiales del terreno (efecto sitio), o por fuertes irregularidades en la topografía (efecto topográfico). El movimiento sísmico tiene lugar en las tres direcciones del espacio produciendo desplazamientos y giros que imponen una sollicitación dinámica a las estructuras ingenieriles.

Los daños producidos en estructuras ingenieriles son fundamentalmente debidos a la propia vibración de la estructura y a la sobrecarga por asientos diferenciales. El diseño sismorresistente persigue crear estructuras capaces de soportarlas. Uno de los elementos más importantes de un diseño estructural de estas características es considerar en el cálculo una aceleración de diseño. Esta suele ser la aceleración horizontal del terreno. Para su correcta definición es necesario contar con la información que se desprende de los estudios de zonificación sísmica.

En un estudio de zonificación también se deberá considerar la vulnerabilidad de estructuras ya construidas y los posibles efectos inducidos por el terremoto (licuefacción, deslizamientos,...).

2.2.- Determinación de la peligrosidad sísmica

En zonificación sísmica la determinación de la peligrosidad puede constituir un estudio pionero, puede ser un estudio mejorado de anteriores a otras escalas, o simplemente puede darse por definido en base a un estudio preceptivo, como por ejemplo en España la Norma Sismorresistente NCSE-94.

La peligrosidad sísmica de un emplazamiento o área se define como la probabilidad de que se supere un determinado parámetro sísmico (intensidad, magnitud, aceleración) en un determinado periodo de tiempo.

Los estudios de peligrosidad sísmica constan fundamentalmente de dos etapas consecutivas, la definición de provincias y/o fallas sismogénicas y el cálculo de la

peligrosidad (**fig. 2.1**). El área a estudiar se suele definir por un círculo de radio entre 100 y 300 km centrado en el emplazamiento, según sea el objeto del estudio.

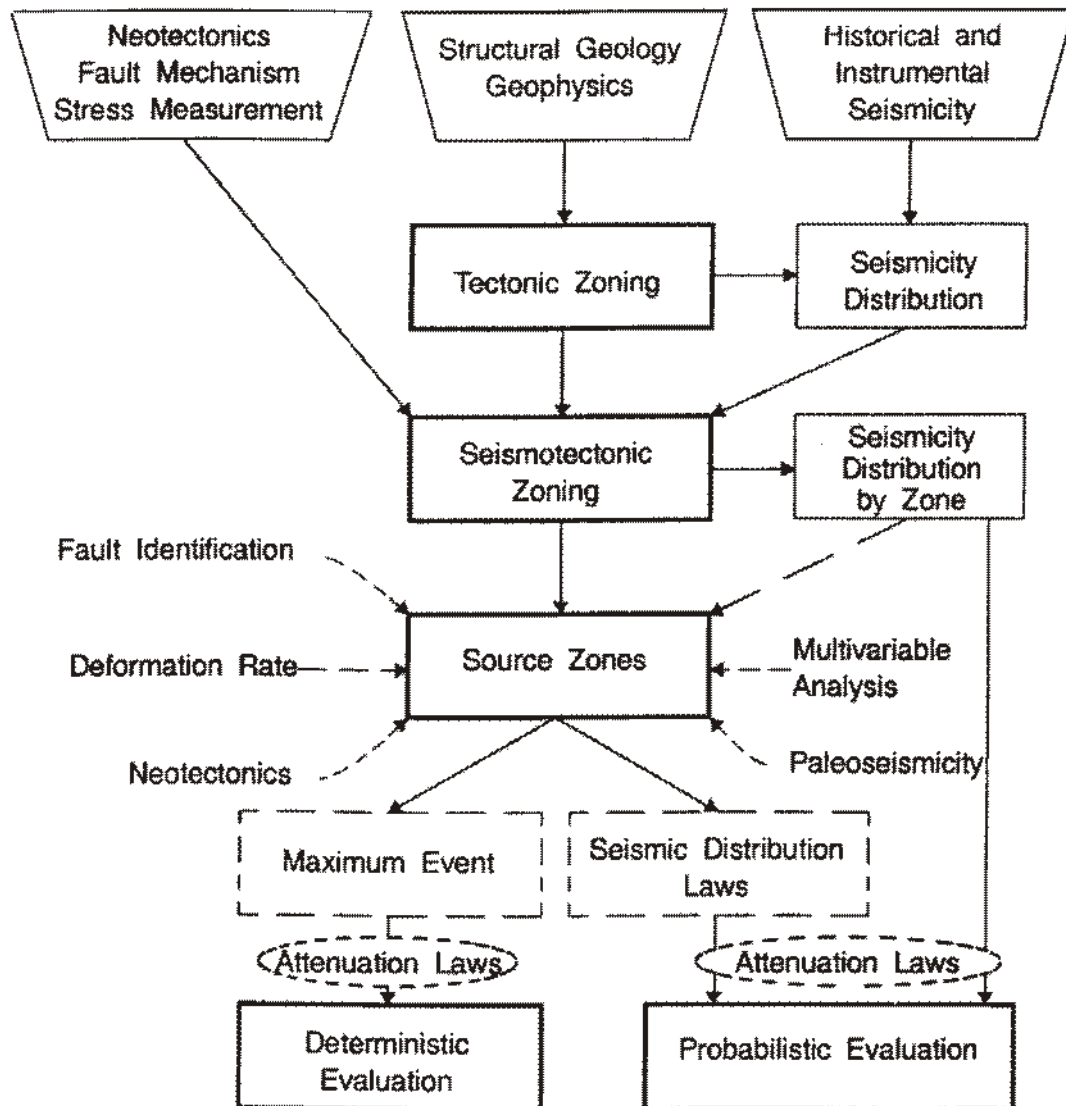


Fig. 2.1 Esquema metodológico de los estudios de peligrosidad sísmica. Extraído de Ferrieux & Soulas (1991).

2.2.1- Definición de las provincias y fallas sismogénicas

La primera de las etapas conlleva la definición de provincias sismogénicas, es decir áreas de sismicidad homogénea en relación a un régimen tectónico más o menos singular. Para la definición de estas zonas se precisan de estudios sismotectónicos, estudios que comprenden la interrelación entre fenómenos tectónicos y la distribución de la sismicidad en un área. Este tipo de estudios comprenden una serie de aspectos que se describen sucintamente a continuación:

Aspectos geológicos:

- Estudios neotectónicos orientados a determinar el régimen de esfuerzos actual.

- Detección de áreas y/o accidentes potencialmente activos.
- Clasificación de las áreas y/o fallas en base a su actividad. En la **tabla 2.1** se muestra el criterio que se adoptará en este trabajo.
- Completar el catálogo sísmico en base a estudios de paleosismicidad.

FALLAS EXTINTAS	La falla no desplaza materiales ni estructuras prelio-cuaternarias. La mineralogía de la brecha de falla es incompatible con el régimen de esfuerzos y/o térmico actual.
FALLAS NO DEMOSTRADAS	La falla es una fractura secundaria pequeña. La falla no desplaza materiales o estructuras del cuaternario. El estilo y orientación de la falla hace que el desplazamiento sea desfavorable en el régimen de esfuerzos actual. La falla muestra asociación con pequeños terremotos. La falla ha experimentado múltiples reactivaciones post-hercínicas. La falla presenta analogías con fallas activas.
FALLAS ACTIVAS	La falla tiene dimensiones apropiadas y está unívocamente relacionada con terremotos grandes bien localizados. La falla concuerda con hipocentros precisos y es consistente con mecanismos focales bien determinados. La falla desplaza la superficie o materiales y/o estructuras cuaternarias.

Tabla 2.1 Criterios de clasificación de fallas ordenados de mayor a menor importancia. Modificado de Mallard (1991).

Aspectos sismológicos:

- Recopilación de información sísmica disponible: histórica, instrumental, sismogramas, mecanismos focales, mapas de isosistas,...
- Elaborar un catálogo de eventos sísmicos lo más completo y homogéneo posible.
- Obtener una representación espacial de la sismicidad del área.

Finalmente se obtendrán dos mapas, el mapa de estructuras tectónicas activas y el mapa de distribución sísmica. La adecuada interpretación de ambos generará el mapa sismotectónico, que estructurado en zonas con límites geográficos concretos proveerá el de provincias y fallas sismogénéticas.

2.2.2.- Métodos de cálculo de la peligrosidad

El objetivo que se persigue es determinar una serie de terremotos característicos para determinados periodos de retorno. En función del periodo de retorno podrán ser aplicados a la construcción de diferentes tipos de obra, según su importancia social-medioambiental y su vida útil.

El valor que interesa obtener en definitiva es un valor característico de la aceleración horizontal para poder empezar el diseño sismorresistente. Para ello es necesario contar con sismos registrados mediante acelerógrafos. En España este tipo de registros son muy escasos, y por tanto se ha recurrido a formulaciones empíricas que relacionan los valores de intensidad MSK con los de aceleración. La norma NCSE-94 define el nivel de peligrosidad básica para todo el territorio nacional, expresado en términos de aceleración y con un periodo de retorno de 500 años.

La peligrosidad puede quedar definida para un emplazamiento concreto o se puede definir para áreas, expresada en mapas de isomagnitudes o isoaceleraciones.

2.2.3.- Método determinista y métodos probabilistas

Ambos métodos parten de los resultados de la etapa anterior, concretamente es necesario conocer los siguientes datos:

- Límites geográficos de las provincias sismogénicas y/o dirección, buzamiento y coordenadas de las fallas o segmentos de fallas sismogeneradores.
- Tasa anual de terremotos: nº de terremotos/año en cada provincia y/o falla.
- Parámetro b de la relación de Gutenberg-Richter: $\ln(N^\circ \text{ de sismos}) = A + bM$, donde A es una constante que define el nivel inferior de sismicidad y b es la pendiente de la recta, definiendo las características de la sismicidad.
- Leyes de atenuación: Las leyes de atenuación son expresiones del tipo: $\Delta I = A + (\log R)B$, donde ΔI es la variación del parámetro sísmico en cuestión (intensidad, magnitud, aceleración,...) a una distancia R del foco; A y B son constantes. Mediante una adecuada ley de atenuación se puede estimar la influencia lejana de los parámetros sísmicos del terremoto.

Método determinista:

El método determinista asigna a cada provincia y/o falla sismogénica el máximo terremoto conocido generado por ella.

Los resultados del método determinista son, obviamente, conservadores, ya que suponen el máximo terremoto de cada zona y/o falla como el característico.

Métodos probabilistas:

Los métodos probabilistas se basan en aplicar distribuciones estadísticas (Poisson, Gumbel,...) a la muestra de terremotos, requieren bastantes cálculos y suelen estar programados para su uso en ordenador (EQ-RISK, EF-RISK,...). Los resultados que se obtienen son la probabilidad de excedencia de determinado parámetro sísmico (magnitud, intensidad, aceleración,...) en un determinado periodo de tiempo. Si este periodo de tiempo es un año se define el periodo de retorno como la inversa de la probabilidad:

$$T = P(a > A)^{-1}$$

Donde:

$P(a > A)$: Probabilidad del parámetro a de exceder a el valor A en un año.

T: Periodo de retorno

Si el periodo de tiempo a considerar es la vida útil de la obra entonces:

$$P(a > A; T, t) = 1 - (1 - 1/T)^t$$

Donde:

$P(a > A; T, t)$: Probabilidad de excedencia del evento A con un periodo de retorno T en t años.

Este último valor de la probabilidad es el de mayor interés. Los resultados de este método son mucho más ajustados y de mayor aplicabilidad que los del método determinista.

2.3.- Determinación de la respuesta del suelo: efecto sitio

La propagación de las ondas sísmicas de un medio rígido (roca) a uno blando (suelo) implica una variación en sus características (amplitud, frecuencia, longitud) determinando amplificaciones/atenuaciones de los parámetros sísmicos (aceleración,

velocidad, desplazamiento). Los terrenos rocosos transmiten preferentemente ondas de bajo periodo mientras que los suelos blandos transmiten ondas de altos periodos. Este efecto unido a el periodo de las construcciones cimentadas sobre un tipo u otro de terreno determinará la magnitud de los daños.

Este efecto fue ampliamente reconocido en el sismo de Ciudad de México el 19 de septiembre de 1985 (Bolt, 1993). La distancia hipocentral del sismo determinó que alcanzaran la ciudad ondas de periodo largo. Mientras en los terrenos rocosos se produjo atenuación y escasos daños en las edificaciones, en los terrenos blandos se produjo amplificación resultando las áreas más dañadas, sobre todo en los edificios de periodo grande con 10-14 plantas.

2.3.1.- Métodos para caracterizar la respuesta del suelo

Existen diferentes métodos para caracterizar la respuesta del suelo ante una acción sísmica. En general se pueden diferenciar:

Métodos indirectos: Precisan partir de una aceleración pico horizontal definida en un anterior estudio de peligrosidad. Conociendo este dato y partiendo de un modelo de comportamiento dinámico de los suelos del área de estudio se puede estimar la respuesta del suelo mediante técnicas matemáticas asistidas por ordenador (por ejemplo el programa SHAKE).

Métodos directos: Consisten en tener una red de acelerógrafos instalada en los lugares de interés (donde varíen las propiedades del suelo, en cimas, estructuras singulares,...) y esperar a que suceda un sismo característico. Posteriormente se procede a analizar los parámetros registrados (velocidad, aceleración, desplazamiento del suelo, periodo dominante, duración del sismo,...) y a relacionarlos con las características locales que se persiguen determinar (espectro de respuesta, amortiguamiento, periodos fundamentales,...). Una variante a este método es generar pequeños sismos (microsismos) y estudiar la respuesta del suelo mediante acelerogramas adecuadamente escalados en tiempo y amplitudes.

El objeto final de estos métodos es definir un espectro de respuesta aplicando las ecuaciones que definen el movimiento en un oscilador elástico simple de un solo grado de libertad para diferentes frecuencias. El resultado se expresa en un gráfico que relaciona la frecuencia (o periodo) con un parámetro espectral (aceleración, velocidad, desplazamiento) que define la amplificación o atenuación del terreno respecto al parámetro sísmico considerado (generalmente la aceleración). Todos estos parámetros se pueden representar en un gráfico único cuadrilogarítmico (**fig. 2.2**).

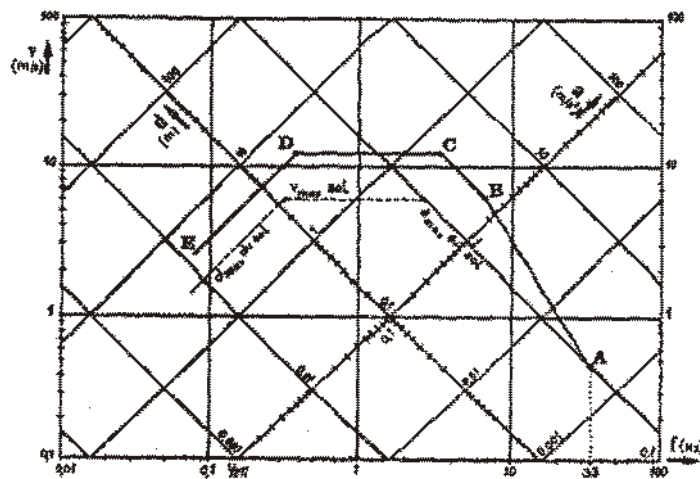


Fig. 2.2 Espectro de respuesta con representación conjunta del desplazamiento relativo (d), pseudovelocidad (v) y pseudoaceleración (a) de un oscilador simple elástico. Extraído de AFPS (1990).

2.3.2.- Clasificación de suelos en normas sismorresistentes

Las propiedades dinámicas de un suelo se estudian mediante ensayos de laboratorio (columna resonante, corte simple cíclico, triaxial cíclico...) y ensayos in situ (cross-hole, down-hole,...) . Este tipo de ensayos es muy específico y se emplea en estudios localizados para grandes obras. En este sentido las normas de diseño sismorresistente persiguen clasificar los suelos en categorías basadas en datos de obtención más o menos habitual y extrapolables en áreas mas extensas. Como ejemplo se van a comparar la nueva norma española sismorresistente (NCSE-94), el Eurocodigo-8 (1997) y las *Recommandations* de la AFPS (Association Française du Genie Parasismique, 1990).

Los parámetros más utilizados en las clasificaciones son la velocidad de las ondas de corte (V_s), el número de golpes del Standard Penetration Test (N), la resistencia a compresión simple (q_u) y la densidad relativa (γ_{or}). Según el tipo de suelo (granular o cohesivo) unos parámetros son más representativos que otros. En las **tablas 2.2, 2.3, 2.4** y **2.5**, se presenta una comparación entre los tres tipos de clasificación.

V_s m/s	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
EUR.-8		C	I		B				A		
NCSE-94		III			II			I			
AFPS		c	b			a			Roca sana		

Tabla 2.2 Comparativa en base a los rangos de V_s definidos en las clasificaciones de suelos de la NCSE-94, EUROCODIGO-8 y las *Recommandations* de la AFPS.

N SPT	0	10	20	30	40	50	60
EUR.-8		C		B			A
NCSE-94		II			I		
AFPS	c	b		a			

Tabla 2.3 Comparativa en base a los rangos de N (SPT) definidos en las clasificaciones de suelos de la NCSE-94, EUROCODIGO-8 y las Recomendations de la AFPS.

Dr %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
EUR.-8				C				B			A
AFPS	c				b			a			

Tabla 2.4 Comparativa en base a los rangos de Dr (%) definidos en las clasificaciones de suelos de la NCSE-94, EUROCODIGO-8 y las Recomendations de la AFPS.

qu Mpa	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
EUR.-8	C	B			A
NCSE-94	II				
AFPS	c	b		a	

Tabla 2.5 Comparativa en base a los rangos de la resistencia a compresión uniaxial (qu) definidos en las clasificaciones de suelos de la NCSE-94, EUROCODIGO-8 y las Recomendations de la AFPS.

Como puede observarse las categorías de clasificación varían de una publicación a otra.

El dato más determinante en todas las clasificaciones es la velocidad de propagación de las ondas de cizalla (V_s). Sobre este aspecto se aconseja considerar la V_s de los 30 primeros metros (Borcherdt, 1994).

Otro factor a tener en cuenta es el espesor mínimo de suelo que se ha de estudiar. La NCSE-94 obliga a estudiar un mínimo de 30 mtrs. por debajo de la cimentación. Las *Recommendations* definen cuatro tipos de *sitio* en función de los grupos de suelos presentes y su espesor, de hecho el espectro de respuesta lo definen en función de estos sitios y no del tipo de suelo.

Finalmente todas las publicaciones dicen que en caso de duda en la clasificación del suelo se escoja la opción conservadora. A su vez para suelos muy blandos especifican estudios especiales.

En la **tabla 2.6** se propone una correlación entre las diferentes categorías de suelo en base a la velocidad de las ondas de cizalla (V_s), por considerarse el parámetro más significativo. En el caso de las *Recommendations* se han supuesto los tipos de *sitio* más comunes. De esta manera un tipo **roca sana** equivale a un **S₀**, un tipo **a** a un suelo **S₁**, un tipo **b** a un **S₂** y un tipo **c** a un **S₃**.

EUR.-8	NCSE-94	AFPS
A	I y II	S ₀ y S ₁
B	II y III	S ₁ y S ₂
C	III	S ₂ y S ₃

Tabla 2.6 Correlación en base a la velocidad de las ondas S entre las diferentes categorías de suelos definidas en las clasificaciones de suelos de la NCSE-94, EUROCODIGO-8 y las Recomendations de la AFPS.

2.3.3.- Espectros de respuesta en normas sismorresistentes

Los espectros de respuesta normalmente están definidos para tres tipos de suelos (roca o rígido, intermedio y blando). Como se puede observar en las **figuras 2.3, 2.4 y 2.5** en general el espectro para suelo rígido o roca es muy parecido tanto en la NCSE-94 como en el Eurocodigo-8 y las *Recommendations*, diferenciándose más en los tipos de suelo intermedios. Los espectros de respuesta están definidos para amortiguamientos del 5% aunque pueden ser transformados para otras relaciones de amortiguación. Corresponden, además, a la aceleración espectral horizontal. Para la obtención del espectro de la componente vertical se puede aplicar un factor de conversión, generalmente del 70 %, al espectro de aceleración horizontal.

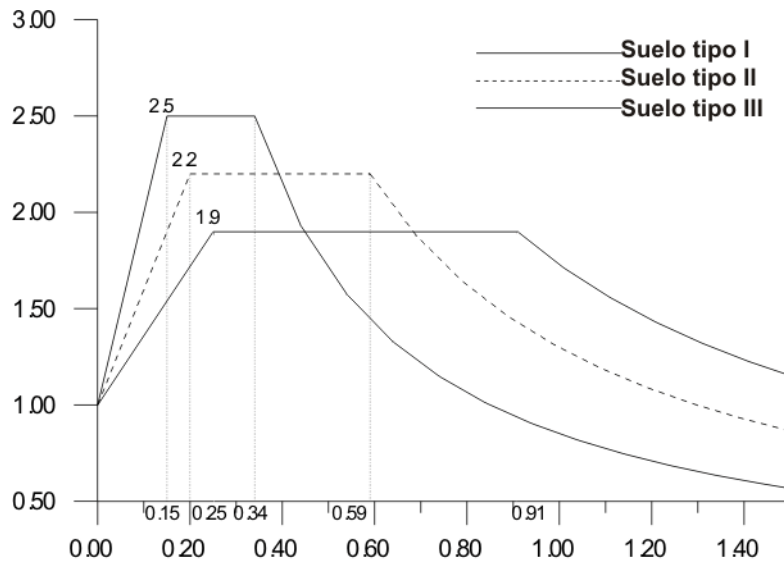


Fig. 2.3
Espectro de respuesta de la NCSE-94 para un amortiguamiento del 5 % y un factor de contribución (K) de 1.

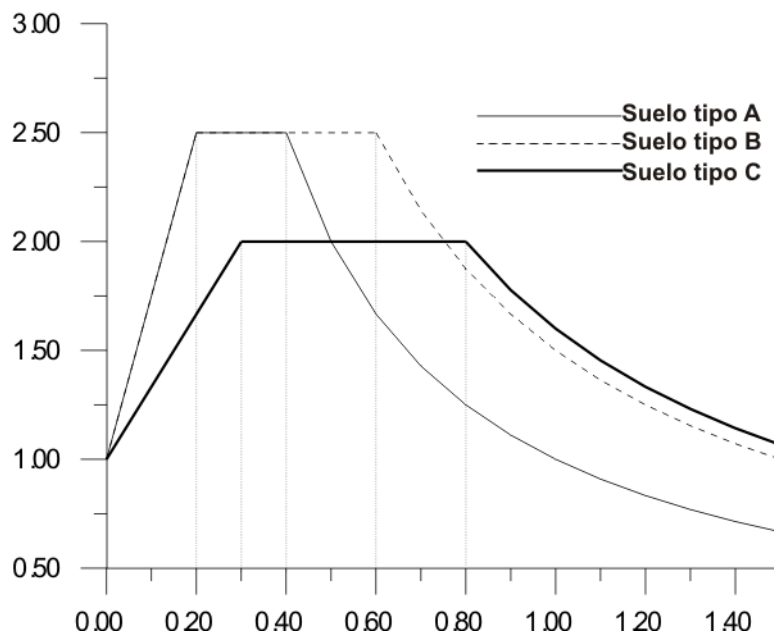


Fig. 2.4
Espectro de respuesta del EUROCODIGO-8 para un amortiguamiento del 5 %.

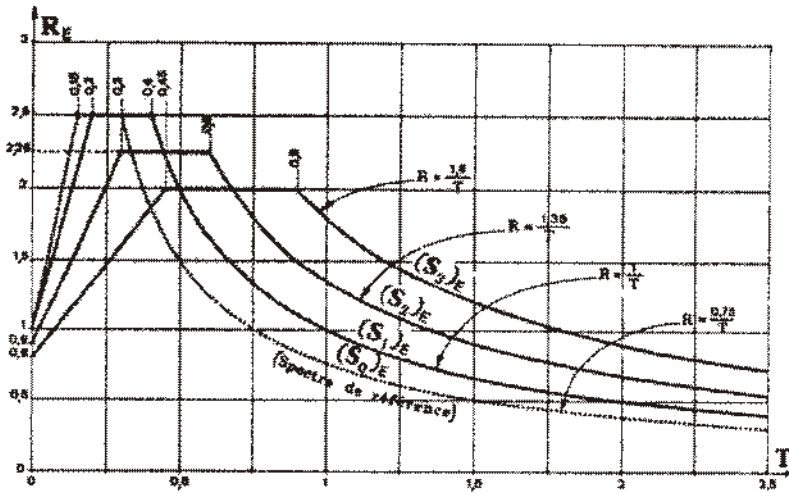


Fig. 2.5
Espectro de respuesta
de la AFPS para un
amortiguamiento del 5%.

La NCSE-94 considera un factor de contribución de la peligrosidad sísmica (K) en base a la cercanía a la falla Azores-Gibraltar. K varía de 1.5 (la peligrosidad está determinada por la mencionada falla) a 1 (la peligrosidad queda determinada por terremotos continentales o de áreas marítimas adyacentes). Según el valor de K el espectro queda modificado para registrar mayores amplificaciones en la rama de velocidad espectral constante (banda de periodos altos) consistentes con los efectos de un sismo lejano.

Conocidos los espectros de respuesta para cada tipo de terreno y la aceleración sísmica del terremoto a considerar podemos calcular fácilmente el valor de la amplificación debida a el efecto sitio para diferentes contenidos frecuenciales.

En la **tabla 2.7** se propuso una correlación entre las diferentes clases de suelo definidas en las normas. Basándonos en ella es posible hacer una comparativa entre las máximas aceleraciones deducibles de los espectros en la rama de aceleración constante de los diferentes espectros (**tabla 2.8**).

NCSE-94*	EUR.-8	AFPS
I (2.5)	A (2.5)	S_0 (2.5)
II (2.2)	A y B (2.5)	S_1 (2.5)
III (1.9)	B y C (2.0)	S_2 y S_3 (2.25-2.0)

Tabla 2.8 Comparativa entre las máximas aceleraciones del terreno definidas en los espectros de la NCSE-94, EUROCODIGO-8 y las Recommendations de la AFPS.

*Para un valor de $K=1$.

Se puede deducir que en el caso de suelos rígidos o rocosos los valores son idénticos. En comparación, la NCSE-94 estima valores de aceleración más bajos en suelos intermedios y blandos. En el caso de suelos blandos esta diferencia se hace más patente.

2.4.- El efecto topográfico

El efecto topográfico fue por primera vez reconocido instrumentalmente en el terremoto de San Fernando (California) en Febrero de 1976. El sismo con una $M_s = 6.6$ alcanzó un máximo de aceleración en la cresta de una de las lomas rocosas donde se apoyaban los estribos de la presa de Pacoima. El 23 de Noviembre de 1980 tuvo lugar un sismo de $M_l = 6.5$ en una región del sur de Italia constituida por zonas llanas con relieves calizos. La evaluación de daños posterior al sismo reveló que la intensidad en las cimas de las lomas había sido del orden de dos veces mayor que en las planicies circundantes (Siro, 1982 en Reiter, 1990). En este caso construir en roca fue más peligroso que construir en las llanuras de sedimentos blandos.

2.4.1.- El estudio del efecto topográfico

La caracterización del efecto de la topografía es actualmente un tema en investigación que presenta numerosas complejidades, no pudiéndose hoy en día cuantificar de una manera aceptable.

El principal problema con el que se enfrentan los investigadores es la dificultad de aislar el fenómeno topográfico de otros efectos (Dowrick, 1977).

Los relieves modelizados en los estudios son superficies bidimensionales con una estructura geológica muy simple. En general están basados en un solo tipo de onda, normalmente ondas S polarizadas (SH o SV), sin tener en cuenta los posibles efectos producidos por ondas P y superficiales.

Todos estos factores hacen que los valores de amplificación obtenidos sean menores que los que realmente se han constatado en sismos. Los cálculos teóricos predicen amplificaciones del orden de 1.5, sin embargo la experiencia sísmica indica que se pueden alcanzar hasta 3 (Geli et al, 1988).

2.4.2.- Valoración del efecto topográfico

Aunando los resultados de estudios teóricos y experimentales, y con el apoyo de los datos registrados en sismos, se puede hacer una valoración cualitativa del efecto topográfico:

- Las cimas de los relieves amplifican el movimiento del suelo y las bases de los relieves lo atenúan.
- En las laderas se pueden producir tanto amplificaciones como atenuaciones, resultando en importantes movimientos diferenciales, tanto mayores cuanto más cerca de la cima (Geli et al, 1988).
- En todos los casos el movimiento horizontal resulta ser mas amplificado que el movimiento vertical (Aki & Richards, 1980).
- La duración del sismo en las cimas se incrementa (Wang & Tim Law, 1994).

2.4.3.- Factores del efecto topográfico

El valor de la amplificación debida a el efecto topográfico depende de las siguientes variables:

Frecuencia de la onda sísmica:

Para todas las frecuencias las partes altas de los relieves amplifican el movimiento del suelo (Bolt & Bullen, 1985), si bien esta amplificación parece hacerse máxima cuando la longitud de onda es similar al ancho del relieve (Geli et al, 1988).

Ángulo de incidencia de las ondas sísmicas:

Se puede deducir a partir de resultados experimentales en campo (Rogers et al, 1984 y Griffiths & Bollinger, 1979, en Geli et al, 1988) que el efecto amplificador es mayor cuando la onda incide ortogonalmente a el eje mayor del relieve y menor cuando la onda incide paralelamente a este mismo eje.

Cercanía de otros relieves:

Geli, Bard y Jullien (1988) desarrollaron un modelo numérico con el fin de caracterizar este fenómeno. Establecieron la existencia de tres relieves paralelos de iguales dimensiones y compararon los resultados con los obtenidos por el mismo método para un relieve solitario, concluyendo lo siguiente: La amplificación siempre es mayor para el caso de relieves vecinos que para el del relieve solitario. En el caso de relieves vecinos la amplificación en la cima del relieve central es siempre máxima respecto a los relieves laterales. De la misma manera ocurre con el efecto de atenuación en la base de los relieves.

Es importante destacar que la influencia debida a la cercanía de otros relieves también puede tener lugar por efecto de relieves bajo la superficie (a modo de asperezas subterráneas).

Forma del valle:

La división entre relieves puede tener lugar a través de un valle. La forma de éste puede afectar a la amplificación del movimiento sísmico. Valles con forma rectangular o trapezoidal amplifican más que valles con forma de V (Zhao & Valliopan, 1992).

Existencia de una capa meteorizada:

La amplificación sísmica debida a las malas propiedades geotécnicas del subsuelo es un hecho ampliamente constatado y estudiado. En general es en las superficies más o menos planas donde estos materiales pueden alcanzar espesores importantes. Sin embargo, en el caso del efecto topográfico, este hecho puede tener lugar al poderse encontrar potencias considerables de roca fracturada y meteorizada.

2.4.4.- Métodos de valoración del efecto topográfico

La valoración del efecto topográfico puede ser realizada a nivel local y a nivel de planificación.

A nivel local las Recommandations de la AFPS definen un coeficiente de amplificación topográfica (τ) en función del tipo de topografía (en cresta, picos,...) y de la relación entre las máximas pendientes que definen la forma topográfica. En el caso más frecuente, en cresta, (**fig. 2.6**) se definen tres áreas donde se ha de considerar este efecto:

Condición topográfica de cresta: $H \geq 10 \text{ m}$ y $i \geq 1/3$

Segmento CB : $\tau = 1$, para $I-i \leq 0.40$
 $\tau = 1 + 0.80 (I-i-0.4)$, para $0.40 \leq I-i \leq 0.90$
 $\tau = 1.40$, para $I-i \geq 0.90$

El valor de su proyección en la horizontal (b) debe ser como mínimo igual a $20I$ ó $(H+10)/4$.

Segmentos AC y BD: Se estima el valor de su amplificación con una relación lineal decreciente a partir de la proyección b , según la expresión:

$$a = AC = H/3$$

$$c = BD = H/4$$

Se deduce que el valor máximo de τ tiene lugar desde la cresta hasta una distancia aguas arriba de $H/4$.

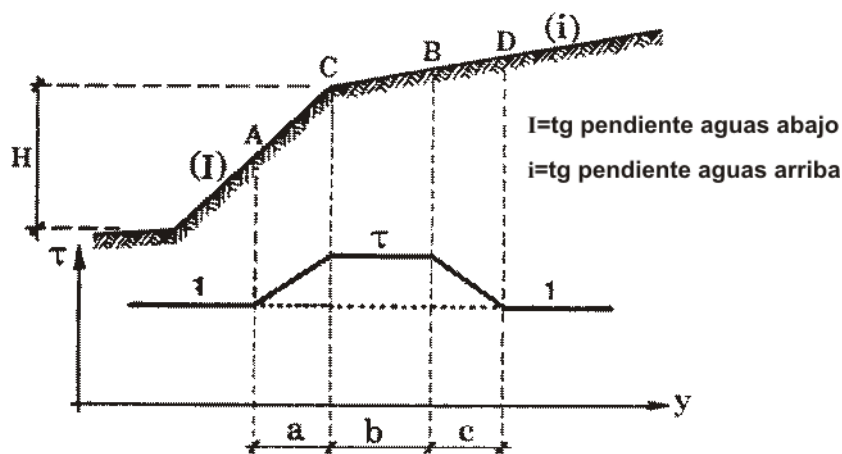


Fig.2.6 Método de valoración del efecto topográfico según las Recomendaciones de la AFPS (1990). Ver explicación en el texto.

En los estudios de planificación se suele incluir un mapa de pendientes y si bien no se valora el efecto topográfico en sí, si se “microzonan” independientemente las áreas con fuertes pendientes y se las clasifica como áreas obligatorias de ampliación de los estudios geotécnicos. Otros trabajos, como el de Alcoy (I.T.G.E., 1990) o Lorca (Mulas de la Peña, 1992) sí evalúan de forma objetiva el efecto amplificador, estableciendo áreas de isoamplificación por factor topográfico.

El método aplicado en ambas ciudades consiste en la realización de un número determinado de cortes topográficos que atraviesen las zonas de desnivel (fig. 2.7). Desde los puntos situados a menor cota (talwegs de ríos o barrancos) se trazan líneas a intervalos de 10° (en el caso de Alcoy) o de 5° (caso de Lorca). Cada intervalo entre líneas tiene asignado un valor de cuantificación. Por ejemplo, en el caso de Alcoy, los intervalos entre 10° - 20° tienen valor 1, entre 20° - 30° valor 2, entre 30° - 40° valor 3,.... De manera que cuanto mayor es el valor, mayor es la amplificación esperable. Las áreas de isoamplificación se establecen en función de los puntos de corte de estas líneas con la topografía e interpolando en las áreas entre corte y corte.

De este modo las áreas de isoamplificación se distribuyen en bandas subparalelas de grado decreciente a medida que nos alejamos de los talwegs.

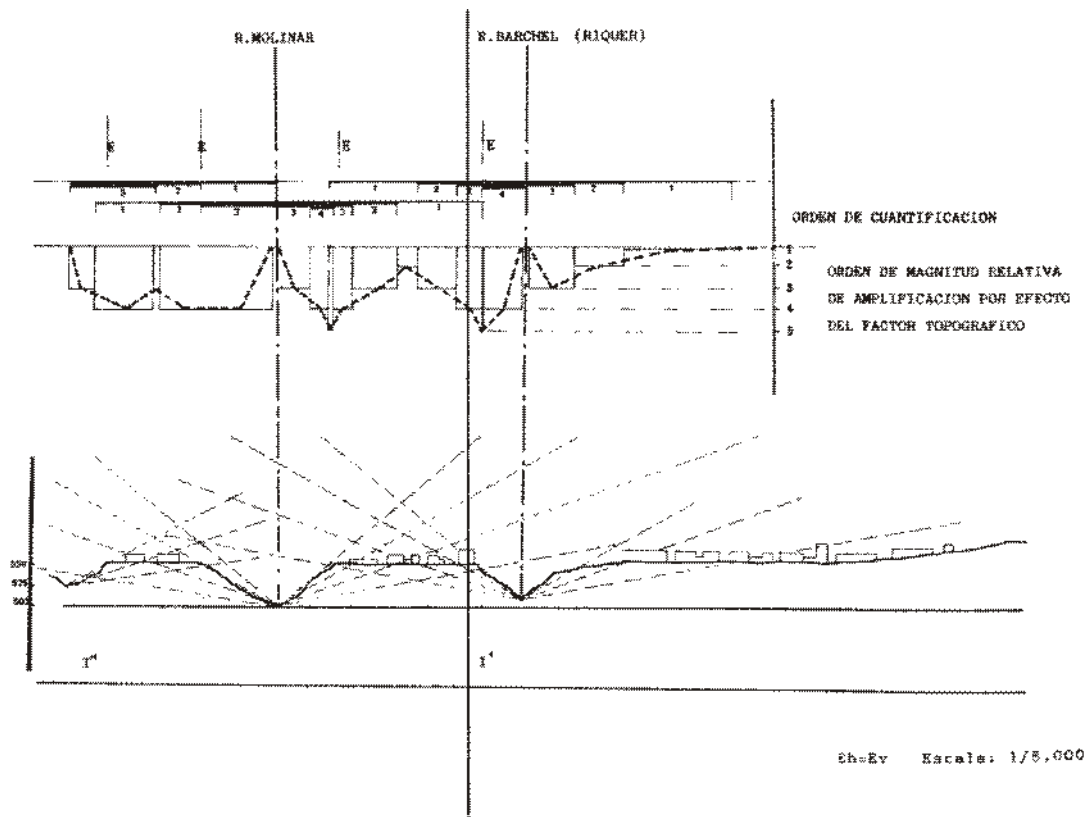


Fig. 2.7 Método de valoración del efecto topográfico. Ver explicación en el texto.
Extraído de ITGE (1990).

La aplicación del método determina que zonas con altas pendientes y grandes desniveles ocupen amplias áreas; mientras que zonas con altas pendientes pero con desniveles menores tengan una expresión areal menor, para el mismo grado de amplificación.

2.5.- Efectos inducidos por la acción de los sismos

Los efectos inducidos por la acción sísmica puede llegar a suponer mayores pérdidas que la propia vibración en sí. De estos, el fenómeno de la licuefacción es el más importante, como se ha podido constatar en numerosos terremotos.

2.5.1.- Efectos sobre las propiedades del terreno (movilidad cíclica y licuefacción)

La acción sísmica puede modelizarse como un esfuerzo tangencial cíclico. Ensayos de laboratorio demuestran que el comportamiento resistente de los suelos ante este tipo de esfuerzos es solo ligeramente menor que ante esfuerzos tangenciales estáticos (Soriano, 1980). Por el contrario las deformaciones que se registran son mucho mayores.

Ante la sollicitación dinámica, el suelo experimenta un proceso de reorganizamiento que se traduce en una disminución de volumen (densificación). Cuando

esta disminución no es posible por no existir la posibilidad de drenaje se produce un aumento de la presión intersticial. Si ésta iguala o supera la presión de confinamiento se anula la presión efectiva; es la licuefacción inicial. En suelos con densidades relativas altas el proceso de rotura será de carácter dilatante y por tanto la presión intersticial decrementará, alcanzándose importantes deformaciones sin llegar a rotura (movilidad cíclica). Sin embargo, en suelos de densidad relativa baja la deformación puede ser tan grande que el suelo se comporte como un fluido (licuefacción s.s.). Los suelos más susceptibles a este tipo de deformaciones son las arenas flojas saturadas y las arcillas sensitivas.

Los factores que controlan la licuefacción de suelos se pueden sumarizar de la siguiente manera:

Tipo de suelo:

Los suelos más susceptibles de experimentar licuefacción son los incoherentes, de tamaño arena fina, uniformes, de partículas redondeadas, con empaquetado cúbico, de densidad relativa baja y con escaso contenido en finos.

Los siguientes valores, extraídos de varias fuentes, pueden ser significativos para identificar suelos potencialmente licuables:

Suelos arenosos:

Coeficiente de Uniformidad ($C_u = D_{60}/D_{10}$) menor de 15.

Tamaño medio de las partículas (D_{50}) entre 0.05-1.50 mm.

El contenido en finos ($d_{\bullet 0.005}$ mm) no es mayor del 10%.

La densidad relativa (D_r) es menor del 75%.

Suelos arcillosos:

Tamaño medio de las partículas (D_{50}) superior a 0.005 mm.

Límite líquido (W_L) inferior al 35%.

Índice de plasticidad (I_p) menor del 10%.

Humedad superior al 0.9 del W_L .

Presión confinante:

La licuefacción se hace más improbable a mayores profundidades ya que la presión confinante confiere mayor resistencia al suelo. No se ha reconocido licuefacción más allá de 15 metros (Wang & Tim Law, 1994).

Profundidad del nivel freático:

La profundidad del nivel freático es un factor determinante ya que es necesaria la condición de saturación para que se produzca la licuefacción s.s.. Wang & Tim Law (1994) afirman que a profundidades más bajas de 5 metros no se ha constatado nunca licuefacción.

Tamaño del terremoto:

La máxima aceleración horizontal del terremoto es un factor determinante para la ocurrencia de licuefacción. Numerosos autores sugieren que la licuefacción tiene lugar a partir de terremotos de I a VI.

Duración del terremoto:

La duración del terremoto es un factor importante para determinar el potencial de licuefacción ya que determina, en forma general, el número de ciclos significativos de deformación a que se ha de someter el suelo en ensayos de laboratorio cíclicos (Seed & Idriss, 1971).

Dentro de los métodos para evaluar el potencial de licuefacción de un suelo podemos diferenciar entre métodos basados en resultados de ensayos de laboratorio y métodos de campo. Los primeros persiguen determinar, bajo diferentes presiones de confinamiento, las tensiones tangenciales críticas que habrán de desarrollarse a distintas profundidades para causar licuefacción en el mismo número de ciclos del terremoto particular. Los ensayos que más frecuentemente se emplean son el triaxial cíclico y el corte simple cíclico. La tensión tangencial cíclica media de un suelo se puede estimar como (Seed et al., 1983):

$$CSR = [\tau_{cm}/\sigma'_{v0}] = 0.65 [\sigma_v/\sigma'_{v0}] a_{m\acute{a}x}/g r_d$$

Donde:

CSR (Cyclic Shear Stress Ratio) Razón de esfuerzo tangencial cíclico

τ_{cm} Tensión cíclica tangencial media

σ_v Tensión vertical total (γh)

σ'_{v0} Tensión efectiva vertical

$a_{m\acute{a}x}$ Aceleración máxima horizontal del sismo esperado.

r_d Factor de reducción con la profundidad ($r_d = 1 - 0.015 h$)

A partir de las conclusiones de estos estudios para diferentes características de terreno y de las experiencias en sismos pasados, se puede determinar el potencial de licuefacción mediante métodos empíricos expresados en ábacos (Fig. 2.8). Estos relacionan datos de campo (CPT, SPT, Vs) con la tensión tangencial de licuefacción para diferentes magnitudes de sismo. Se pueden dar tres casos: Licuefacción muy probable, licuefacción poco probable y licuefacción dudosa. Esta última requeriría estudios detallados (ensayos de laboratorio).

En trabajos orientados a la planificación se hace necesario la utilización extensiva de método empíricos. Como ejemplo se pone el método de la Chinese National Code of Aseismic Design for Buildings basado en el índice N del SPT y en el contenido en finos:

$$N_{cr} = N_0 [0.9 + 0.1(d_s - d_w)] \sqrt{(3/p_c)}$$

Donde:

N_{cr} es el valor crítico de licuefacción.

d_w es la profundidad del nivel freático (m).

d_s es la profundidad del suelo (m).

p_c es el contenido de finos

($\phi 0.005\text{mm}$) en %, cuando $p_c < 3$ entonces $p_c = 3$.

N₀ es un valor obtenido de la tabla

siguiente:

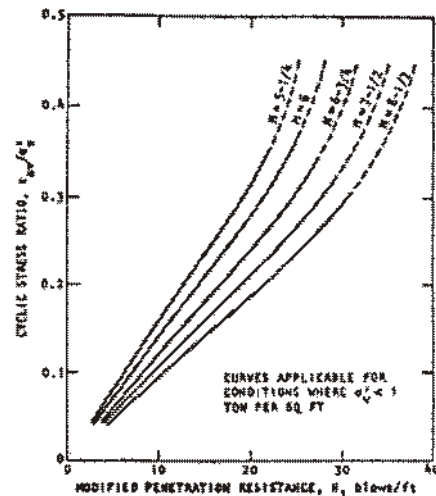


Fig. 2.8 Abacos para la estimación del CSR crítico en arenas a partir de datos de SPT y magnitudes sísmicas. Extraído de Seed & Idriss (1971).

	VII	VIII	IX
Campo próximo	6	10	16
Campo lejano	8	12	-

La licuefacción es muy probable cuando $N_{cr} \leq N_0$.

Cuando los datos de campo son numerosos y se tiene una cartografía geotécnica. Es posible realizar una serie de columnas tipo de suelos y determinar su CSR, ya sea por ensayos de laboratorio o de campo. Conocido el valor de la aceleración crítica de licuefacción para cada columna tipo se puede estimar el riesgo de licuefacción en una área extensa.

2.5.2.- Deslizamientos

La acción sísmica puede suponer el desequilibrio de laderas o taludes metaestables con el consiguiente aumento de pérdidas.

La mayor parte de estos efectos se producen en sismos con $I \geq VIII$ (Wang & Tim Law, 1994), si bien dependerá de cada caso concreto. En general los deslizamientos inducidos tendrán lugar en áreas ya de por sí inestables y donde se contaba con factores de seguridad bajos. Por lo tanto el caso más frecuente será la reactivación de deslizamientos preterritos.

Los factores que controlan el proceso son varios. El efecto más directo del movimiento sísmico es provocar un aumento de las fuerzas desestabilizadoras y por tanto una disminución directa del factor de seguridad. Otros factores son debidos a posibles cambios en las propiedades del terreno (densificación) unidos a incrementos en la presión intersticial. También la acción sísmica puede provocar movimientos diferenciales entre capas blandas superiores (que amplifican) y capas duras inferiores, condicionando una superficie de debilidad en la interfase.

En áreas estables también pueden ocurrir deslizamientos originados por la licuación de una capa a determinada profundidad.

Como en anteriores casos este efecto puede evaluarse a dos niveles, local o de planificación. Los primeros deben contar con un estudio de campo donde se determine el tipo de deslizamiento y los parámetros geomecánicos de las formaciones involucradas. Posteriormente pueden realizarse análisis pseudo-estáticos, que consideran la acción sísmica como una fuerza estática independiente del tiempo, que se incorpora a la ecuación del factor de seguridad. Análisis más realísticos conllevarían el planteamiento del problema en términos dinámicos, aumentando la complejidad en relación con los métodos pseudo-estáticos.

A nivel de planificación tradicionalmente se elaboran los mapas de riesgos de deslizamiento. Estos mapas fundamentalmente tienen en cuenta la pendiente del terreno, la litología y la profundidad del nivel freático. Este es un caso típico de superposición de información temática y por tanto ideal para ser tratada mediante un sistema de información geográfico. A partir de una serie de modelos geométricos y geomecánicos de deslizamientos reconocidos en campo, y aplicando un método pseudo-estático, puede aproximarse una aceleración crítica de rotura para cada modelo de inestabilidad (Higgins & Rockaway, 1986). En el capítulo 6 se desarrolla un método similar para la Cuenca de Alcoy.

2.5.3.- Tsunamis

Los maremotos o tsunamis son ondas de periodo largo generadas en el océano por diferentes causas (deslizamientos, vulcanismo marino, explosiones,...) si bien la más importante a escala global son los terremotos generados en la corteza oceánica. El 80% de los tsunamis se genera en el cinturón sísmico pacífico.

El movimiento sísmico provoca la movilización de la lámina de agua generándose una ola de longitud entre 200-700 Km y que se propaga a velocidades que pueden superar los 800 km/h. Los periodos de estas ondas varían entre 1-0.1 horas con amplitudes de 0.1-1 metro, si bien cuando alcanzan la costa ésta puede llegar a los 30 metros.

El estudio del riesgo de tsunami constituye en sí mismo una disciplina muy específica, con alcance y métodos diferentes a los de una zonificación en continente. Estos estudios se basan en determinar las zonas afectadas por tsunamis históricos, estudios dinámicos de generación de ondas, etc... En base a estos estudios se persigue zonificar el grado de riesgo, definido como el alcance máximo del tsunami con efectos dañinos. Uno de los factores determinantes es el tipo de costa. Medvedev (1965) define cuatro tipos en función de sus características morfológicas:

Tipo 1: Desfavorable. Extensas zonas planas con estrechamientos. Calas abiertas y bahías conectadas con estuarios.

Tipo 2: Medio. Costas en pendiente descendiente hacia la playa en forma de terrazas. La altitud de la terraza inferior es de unos 10 m.

Tipo 3: Favorable. Calas cerradas bloquean el avance de la altura de la onda. Costas acantiladas.

Si bien en zonas costeras la consideración de los efectos de los tsunamis es preceptiva en un estudio de zonificación, en el marco de este estudio, desarrollado en el interior de la península, no es necesario.

2.6- Determinación de la vulnerabilidad

La vulnerabilidad es una medida del daño potencial que puede originarse durante un evento sísmico de determinada peligrosidad. La vulnerabilidad para ser correctamente estimada necesita de estar precedida de los estudios comentados en los apartados anteriores (peligrosidad, respuesta del suelo,...).

En el marco de la zonificación sísmica los estudios de vulnerabilidad son los de aplicación más práctica para la sociedad: ordenación territorial, ordenación urbana, planes de emergencia sísmica, estudios de coste-beneficio,...

2.6.1.- Factores que intervienen en la determinación de la vulnerabilidad

Podemos diferenciar entre factores externos e internos (**fig. 2.9**). Los factores externos son los que se refieren básicamente a dos cuestiones fundamentales:

- Peligrosidad sísmica.
- La influencia e impacto entre edificios próximos.

Los factores internos serían los que conciernen al propio diseño estructural de la obra: dimensiones, cimentación (interacción suelo-estructura), altura, rigidez, planta, alzado,...

El estudio de los factores internos se lleva a cabo en grandes obras de seguridad; por el contrario en estudios que abarcan conjuntos de construcciones se hace necesario simplificar.

2.6.2.- Métodos de evaluación de la vulnerabilidad

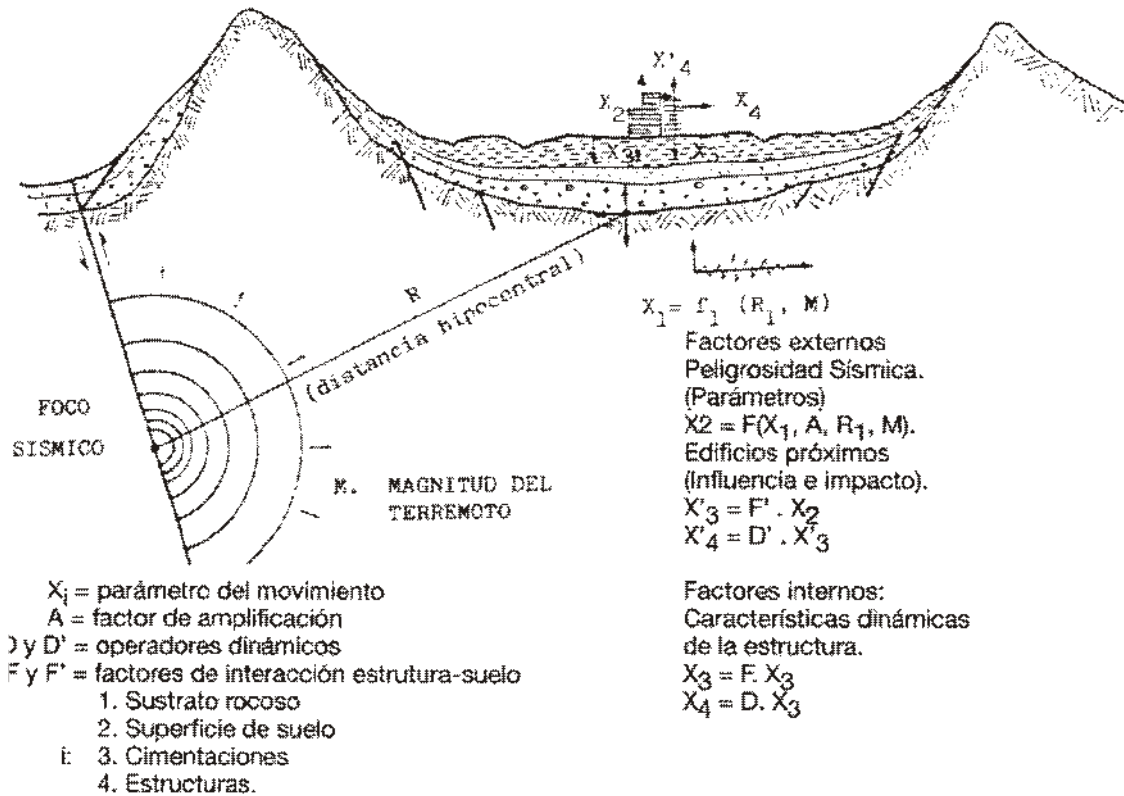


Fig. 2.9 Factores que intervienen en la determinación de la vulnerabilidad. Extraído de ITGE (1990).

La vulnerabilidad puede ser estimada para obras concretas localizadas donde se estima la vulnerabilidad de una sola obra sin considerar interacciones con otras próximas, o para núcleos urbanos donde el factor de cercanía es obvio.

En el primer caso se realiza un estudio específico que puede dar lugar a la aplicación de modelos matemáticos y numéricos (elementos finitos) que estimen el comportamiento estructural de la obra, pudiéndose llegar a realizar ensayos en simuladores sísmicos de elementos estructurales a escala.

Para el caso de determinar la vulnerabilidad en núcleos urbanos se hace imprescindible usar un método cualitativo y sencillo. En este tipo de estudios se suele partir de los efectos ocasionados por anteriores terremotos. El parámetro que relaciona efectos con sismicidad se denomina intensidad. Los efectos que se consideran son los fenómenos sentidos por las personas, los daños producidos en las construcciones y los cambios advertidos en la naturaleza. En España se usa la escala de intensidad MSK (Medvedev-Sponheur-Karnik) y se considera la siguiente tipología de construcciones y clases de daños (PDS-1, 1974; IGN, 1982):

Tipos de construcciones:¹

Tipo A. Con muros de mampostería en seco o con barro, de adobes, de tapial.

¹ No se consideran las construcciones diseñadas con criterios sismorresistentes.

Tipo B. Con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero, de sillarejo, de sillería, entramados de madera.

Tipo C. Con estructura metálica o de hormigón armado.

Clases de daños:

Clase 1. Daños ligeros: Fisuras en los revestimientos, caída de pequeños trozos de revestimiento.

Clase 2. Daños moderados: Fisuras en los muros, caída de grandes trozos de revestimiento, caída de tejas, caída de pretilas, grietas en las chimeneas e incluso derrumbamientos parciales de las mismas.

Clase 3. Daños graves: Grietas en los muros, caída de chimeneas de fábrica o de otros elementos exentos.

Clase 4. Destrucción: Brechas en los muros resistentes, derrumbamiento parcial, pérdida del enlace entre distintas partes de la construcción, destrucción de tabiques y muros de cerramiento.

Clase 5. Colapso: Ruina completa de la construcción.

Para determinar la distribución y número de construcciones que se correspondan con los tipos A, B y C se emplean censos de edificación, disponibles en los ayuntamientos, fotos aéreas de detalle,... Finalmente se zonifica en áreas más o menos homogéneas en cuanto al tipo o proporción de construcciones contenidas en ellas.

Conociendo estos datos se puede construir una matriz de porcentajes del nivel de daños. En ellas se relaciona la tipología de construcciones y la clase de daños, con el nivel o niveles de peligrosidad característicos. En la **tabla 2.9** se puede ver la realizada en el estudio de zonificación sísmica de la ciudad de Alcoy (ITGE, 1990).

NIVEL DE DAÑOS		Intensidad VII		Intensidad VIII		Intensidad IX	
CLASE	TIPO	B	C	B	C	B	C
1	Ligeros		5%				
2	Moderados	50%			50%		
3	Graves			50%	5%		50%
4	Destrucción			5%		50%	5%
5	Colapso					5%	

Tabla 2.9 Porcentajes de clase de daños en construcciones del tipo B y C para diferentes niveles de riesgo. Extraído de ITGE (1990).

En un estudio de vulnerabilidad también se ha de tener en cuenta la singularidad de las construcciones en relación a su importancia económica y social. En este aspecto la NCSE-94 define 3 tipos:

De moderada importancia: Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario o producir daños económicos significativos a terceros.

De normal importancia: Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio para la colectividad, o producir importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

De especial importancia: Aquellas cuya destrucción por el terremoto pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos (hospitales, colegios, monumentos históricos, telecomunicaciones, bomberos, cuarteles, industrias, centrales energéticas,...)

Dentro de éstas se incluyen las denominadas en estudios americanos como life-lines:

Life-lines: Son obras de carácter lineal que tienen mucha importancia tanto en la prevención de catástrofes inducidas (incendios, inundaciones) como en el aspecto de permitir una adecuada asistencia o evacuación. Entre otras son: conducciones de gas, electricidad y agua (y sus respectivos depósitos o estaciones); puentes, vías de acceso principal,...

CAPITULO 3: Estudio Sismotectónico Regional

3.1.- Marco sísmico regional de la Cuenca de Alcoy

Para el estudio de la sismicidad regional de la Cuenca de Alcoy se ha escogido un área que incluya por entero la unidad estructural del Prebético de Alicante abarcando las siguientes coordenadas:

	X UTM	Y UTM
Esquina NE	800.000	4.330.000
Esquina SW	670.000	4.230.000

Este marco está incluido en la zona sismogenética número seis de la tesis de Martín Martín (1984) (**fig. 3.1a**). Por otra parte López Casado et al. (1987) define 7 fuentes sismogenéticas para la región sudeste española. Según este trabajo la zona de estudio quedaría englobada en la fuente sísmica de Enguera, que abarca, entre otras, a las poblaciones situadas en la depresión de Alcoy (**fig. 3.1 b**).

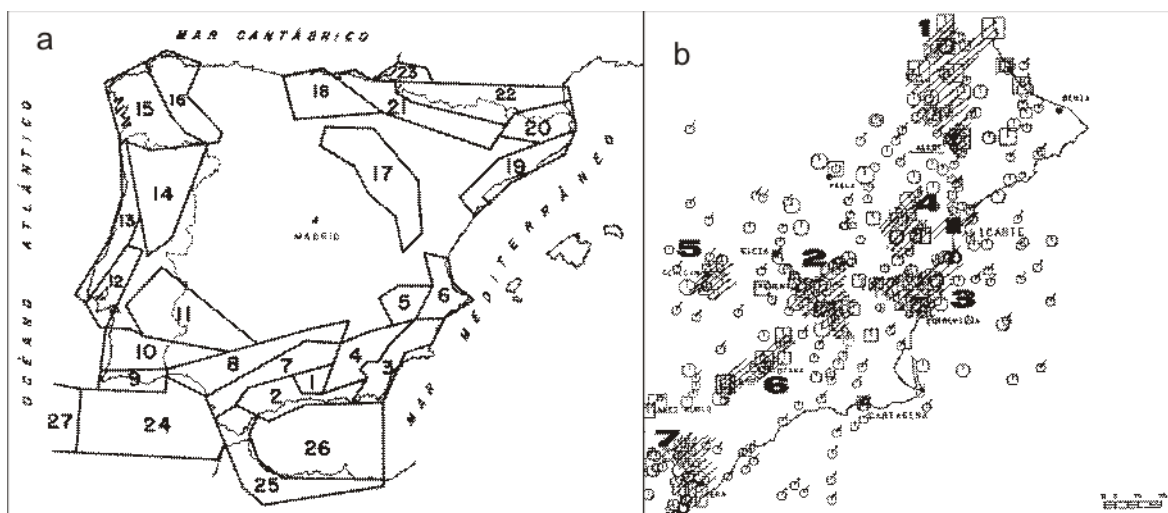


Fig. 4.1(a) Zonas sismogenéticas de la Península Ibérica. El área de estudio queda englobada en la número 6. Extraído de Martín Martín (1989). (b) Localización de fuentes sísmicas en el sureste peninsular. Extraído de López Casado et al (1987). Las zonas rayadas marcan la situación aproximada de la fuente. El área de estudio comprendería la fuente número 1 o de Enguera.

La base de datos sísmica ha sido obtenida a través del banco de datos sísmicos del Servicio de Sismología e Ingeniería Sísmica del Instituto Geográfico Nacional. Comprende un periodo desde 1258 hasta finales de 1994 resultando un total de 328 sismos registrados en un intervalo de 669 años, incluyendo réplicas.

3.2.- Antecedentes

Los primeros trabajos sobre el sureste de la península son debidos a Rey Pastor (1951 y 1956), que incluso llega a elaborar un mapa sismotectónico. Otros trabajos de carácter sismotectónico son los de López Marinas (1976), Mézcua (1985), López Casado et al (1987) y Sanz de Galdeano (1988). Los trabajos de recopilación de datos sísmicos

históricos e instrumentales más importantes son el catálogo de Galbis Rodríguez (1932 y 1940), Rey Pastor (1951), Fontserè (1971), y el catálogo del Instituto Geográfico Nacional (Mézcua y Martínez Solares,1983).

3.3.- Sismicidad del Prebético de Alicante

3.3.1.- Sismicidad histórica

El periodo histórico comprende desde el primer sismo del que se tiene conocimiento histórico en la región (1.258 -Onteniente-) hasta finales del año 1927. Este periodo comprende un total de 99 sismos, de los cuales 65 tienen calculada la intensidad MSK (I). Las intensidades calculadas en el catálogo sísmico por lo general se refieren a los daños deducidos en localidades importantes, de las cuales se tiene constancia histórica. Las poblaciones que han sufrido sismos destructivos ($I \geq VII$) son las siguientes (tabla 3.1):

LOCALIDAD PRINCIPAL	INTENSIDAD M.S.K.	FECHA (a/m/d)
ALCOY	IX	1645/??/??
ENGUERA	IX	1748/03/23
JATIVA	VIII	1.519/11/??
ALCOY	VIII**	1620/12/02
ENGUERA	VIII	1748/04/02
GUADALEST	VII	1.544/06/22
OLIVA	VII	1598/12/26
GANDIA	VII	1599/01/??
ELCHE*	VII	1730/04/2?
SALINAS*	VII	1916/11/3?

* Elche y Salinas se encuentran fuera del Prebético de Alicante pero están incluidas en el cuadro de coordenadas UTM analizado.

** Este sismo está clasificado como de intensidad IX por otras fuentes (Fontserè et al,1971)

Tabla 3.1. Localidades que han experimentado sismos destructivos en el periodo histórico.

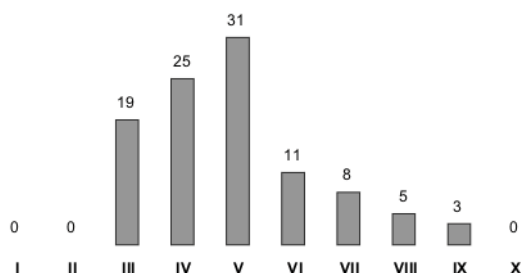


Fig. 4.2 Distribución porcentual de los valores de intensidad en el periodo histórico. Numero de sismos 65.

La intensidad registrada más frecuente es la de grado IV y V (fig. 3.2). No existe representación de sismos menores de III, probablemente debido a la escasa repercusión social que tiene un sismo de esta intensidad.

Los parámetros de Gutenberg-Richter calculados para este periodo son $A=3.77$ y $b=-0.316$ eliminando réplicas y premonitorios (fig. 3.3).

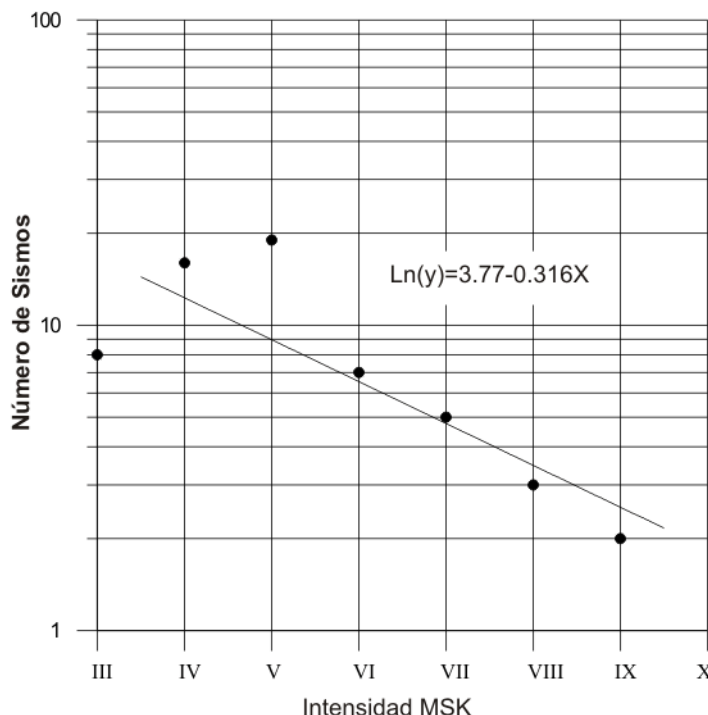


Fig. 4.3 Ajuste exponencial de Gutenberg-Richter para el periodo histórico.

El ajuste lineal se ha realizado obviando el valor de y de los sismos con $I=III$, por no considerarlo representativo para el periodo histórico. Se puede observar que la recta se ajusta bastante bien para los sismos de intensidad seis en adelante. El cruce de la recta con el eje de abscisas determinaría un sismo de intensidad máxima igual a XII (11.9).

3.3.1.1.- Distribución geográfica

Con los datos de localización epicentral servidos por el IGN se representa en la fig. 3.4 la distribución geográfica de la sismicidad histórica. En la figura se puede apreciar como, generalmente, los agrupamientos de epicentros se dan en torno a poblaciones importantes. En muchos casos estos agrupamientos no marcan mas que la población más importante que sintió el sismo, como se comentó anteriormente. En base a las agrupaciones de epicentros se pueden diferenciar las siguientes zonas:

- Zona de Enguera.
- Zona de Játiva-La Pobra del Duc-Castell de Rugat.
- Zona de Gandía.
- Zona de Oliva.
- Zona de Onteniente.
- Zona de Alcoy.
- Zona de Castalla-Ibi.
- Zona de Alicante.
- Zona de Elche.
- Zona de norte y sur de Crevillente.
- Zona de Santa Pola.

También hay que destacar grandes áreas en las que no hay constancia de sismicidad histórica, o ésta es de carácter singular:

- Zona occidental de la Plataforma de Albacete y norte de la depresión del Vinalopó.
- Margen suroriental costero y cabo de la Nao.

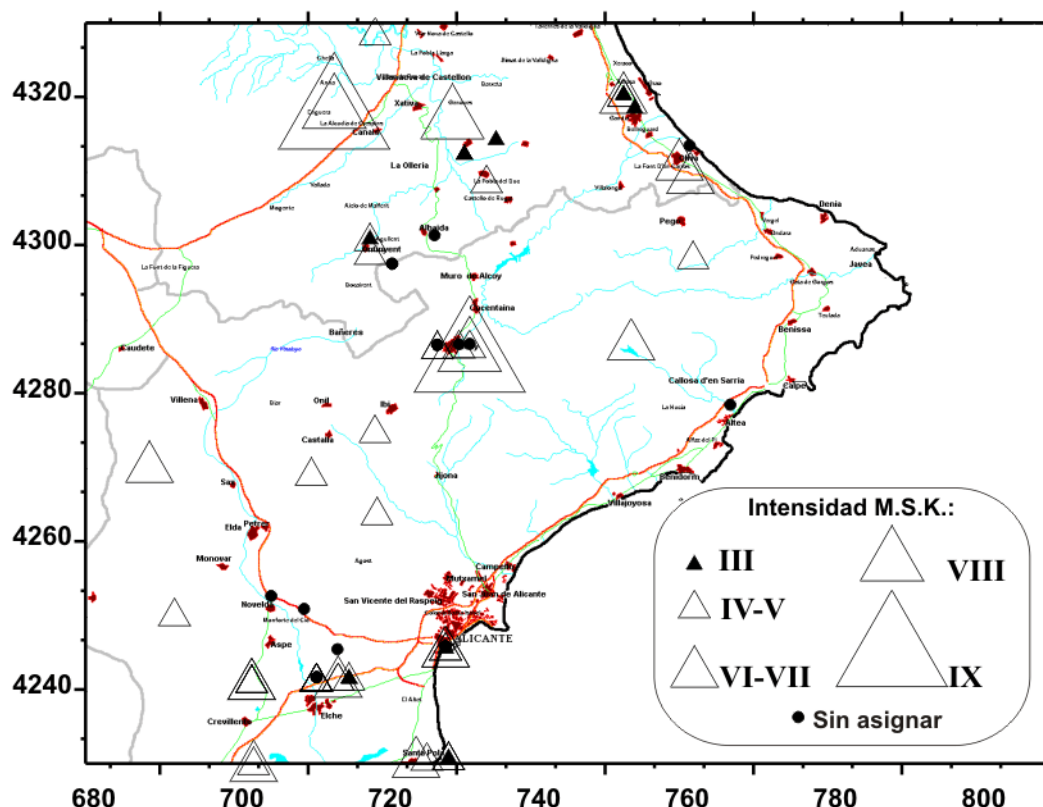


Fig. 4.4 Distribución geográfica de la sismicidad histórica (1258-1927).

3.3.2.- Sismicidad instrumental

La sismicidad instrumental en el área de trabajo comienza en el año 1927. Para el estudio se han considerado datos hasta finales de 1994 (229 sismos). En el catálogo se incluyen datos de intensidad y magnitud generalmente correlacionados, excepto cuando el número de observaciones es muy bajo, entonces solo figura el dato de intensidad.

A diferencia de la sismicidad histórica sí existe registro de sismos débiles (II) (**fig. 3.5a**). La clase más frecuente es la de III (49%). No existen sismos superiores a VII y a partir de V son muy poco frecuentes. En relación con las magnitudes éstas se sitúan en el intervalo de 2 a 4, siendo mucho menos frecuentes los sismos de magnitud mayor a 4 (**fig. 3.5b**). El sismo más destacable es el del 1 Julio de 1945 de $M_b=4.8$ y que afectó a Onteniente con una $I=VII$.

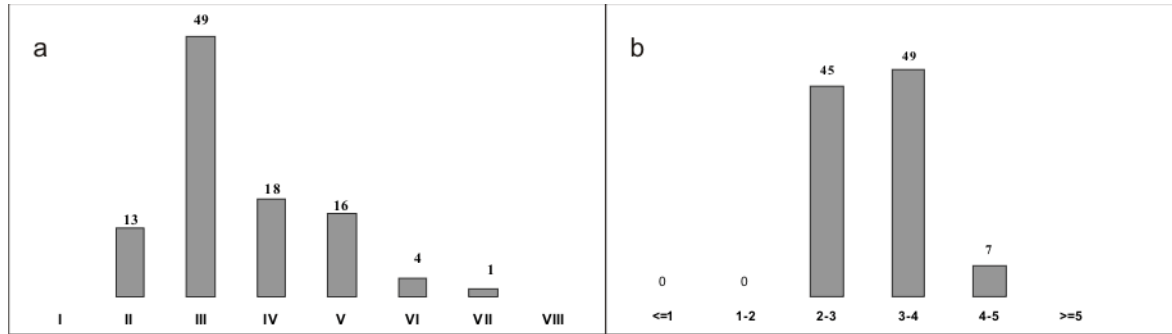


Fig. 4.5 (a): Distribución porcentual de los valores de intensidad en el periodo instrumental. Numero de sismos 142. (b): Idem de la magnitud (mb). Número de sismos 163.

La calidad de la información, entendida como aquella que tiene el mínimo error en su localización, es fundamental para poder establecer relaciones entre sismicidad y accidentes tectónicos. Dentro del conjunto de sismos instrumentales solo 73 (32%) y 81 (35%), tienen calculado el error vertical y horizontal, respectivamente.

Como se puede apreciar en la **figura 3.6a** un 66% tiene un error horizontal entre 1-5 Km, que podríamos considerar aceptable, y un 12% un error demasiado grande para establecer una localización razonable (21-50 Km). En comparación, el error vertical (**fig.3.6b**) tiene un mayor porcentaje de error aceptable (71%), si bien se llegan a alcanzar errores mayores de 50 Km (4%).

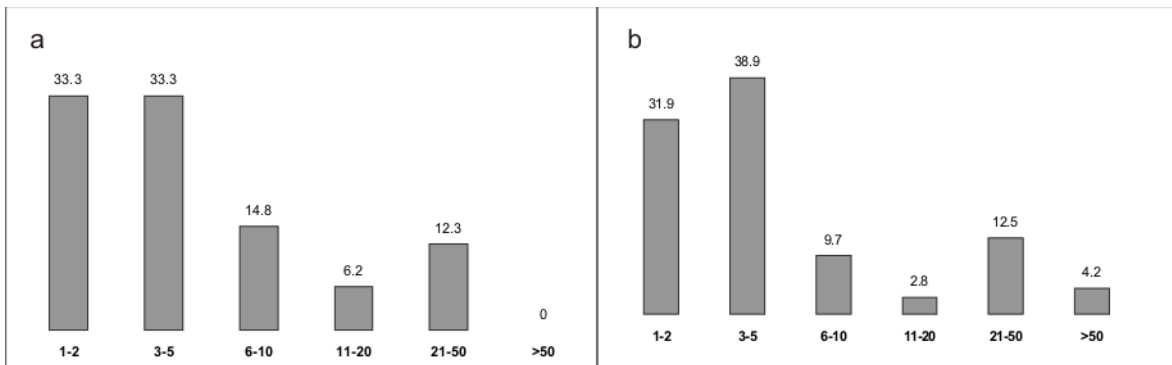


Fig. 4.6 (a): Distribución porcentual del error horizontal (Km). Numero de sismos 81. (b): Idem del error vertical (Km). Número de sismos 73.

La profundidad del foco es en general de carácter superficial, estando comprendida en los primeros 10 Km de corteza, (**fig. 3.7**).

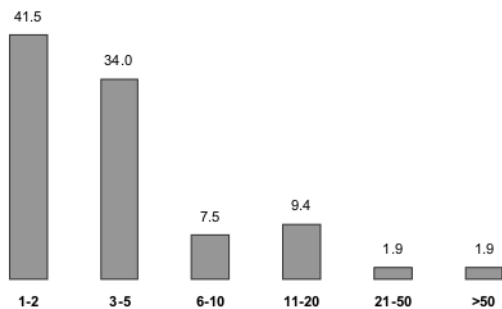


Fig. 4.7 Distribución porcentual de la profundidad del foco en sismos con error vertical menor de 5 Km. Número de sismos 51.

similar a como se hizo en el periodo histórico.

Para poder comparar la relación de Gutenberg-Richter entre los periodos histórico e instrumental es necesario homogeneizar los datos en un solo parámetro. Se han considerado en primer lugar los sismos con intensidad calculada y posteriormente a través de la expresión $M=0.552I+1.34$ (IGN, 1982) se han obtenido los valores de intensidad en sismos que solo figuraba el valor de magnitud. Se han eliminado réplicas y premonitorios. Para el ajuste lineal se han obviado los valores de $I=I$, de manera

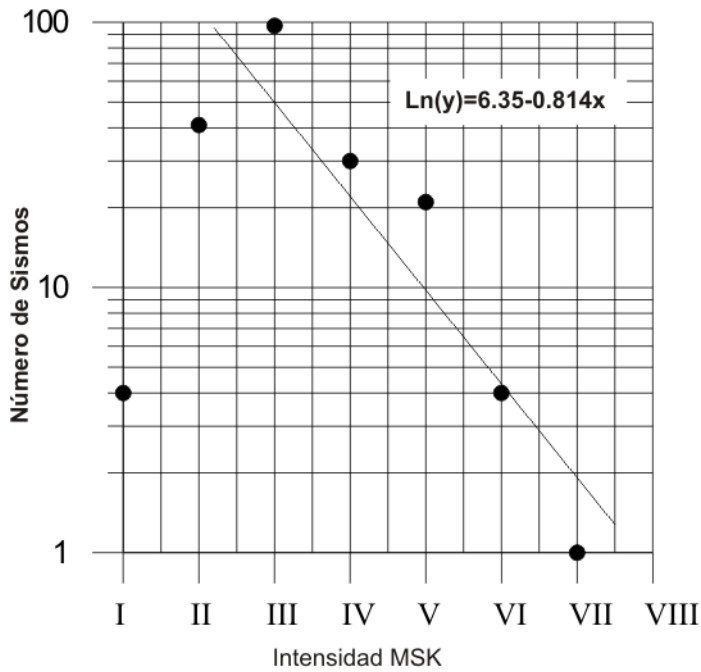


Fig. 4.8 Ajuste exponencial de Gutenberg-Richter para el periodo histórico.

3.3.2.1.- Distribución

geográfica

En la **figura 3.9** se representa la distribución geográfica de la sismicidad instrumental en base a los datos del IGN.

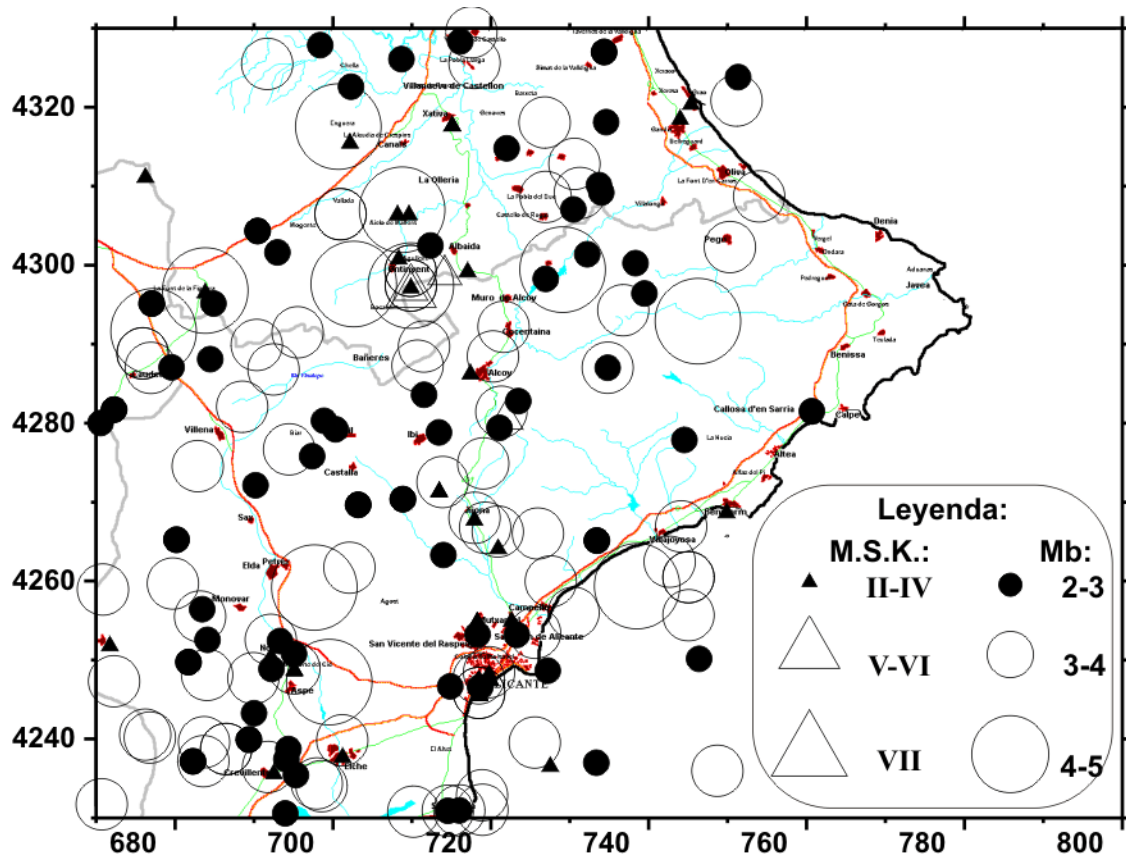


Fig. 4.9 Distribución geográfica de la sismicidad instrumental (1927-1994).

Como se puede apreciar, el volumen de información es mucho mayor en comparación con la distribución obtenida anteriormente en base a la sismicidad histórica. La distribución espacial, a su vez, también es mejor, ya no agrupándose los epicentros sistemáticamente en torno a poblaciones importantes.

Todas las zonas que presentaban sismicidad histórica continúan presentado sismicidad en el periodo instrumental. Por otra parte numerosas zonas que no estaban representadas en el periodo histórico ahora sí lo están. También hay que destacar áreas exentas de sismicidad, o de presencia anecdótica. Éstas coinciden con las definidas anteriormente en el periodo histórico:

- Zona del Cabo de la Nao.
- Zona occidental de la Plataforma de Albacete.

3.3.3.- Mapas de isosistas

A través del estudio de mapas de isosistas de sismos especialmente intensos, en general a partir de VII, es posible inferir la dirección de propagación preferente de la energía, que idealmente coincidirá con la de la ruptura.

En la zona de estudio solo existen dos mapas de isosistas de estas características (Rey Pastor, 1951; IGN, 1982) (**fig. 3.10a y b**). Se trata del sismo del 1 de Julio de 1945 de Onteniente (I=VII) y el del 28 de noviembre de 1916 de Salinas (I=VII).

En el primer mapa es posible inferir una dirección de propagación NE-SW. Esta coincide con el accidente de carácter regional que discurre por el borde norte de las sierras de Solana y Benicadell. El segundo presenta un máximo de intensidad secundario situado en Onteniente. Este fenómeno, que ha sido observado varias veces en otros mapas de isosistas, podría ser debido a algún efecto local amplificador de la Cuenca de Albaida donde se asienta Onteniente.

3.4.- Determinación de zonas y fallas sismotectónicas

Como se vio en el apartado 3.1 la zona de estudio quedaba englobada en una provincia sismogenética (**figs. 3.1a y b**). Partiendo de este contexto se pretende hacer una aproximación a los accidentes activos de la región en base a la correlación entre la distribución de la sismicidad y los principales accidentes tectónicos de escala regional que estructuran el prebético de Alicante (**fig. 3.11**). Para ello se han definido lineaciones y zonas sismotectónicas.

Una lineación sismotectónica se define por una lineación de epicentros que coinciden con un determinado accidente tectónico regional de carácter lineal. Si los epicentros se distribuyen concentrados en un determinado área, donde no se reconoce un solo accidente, sino un área de intensa fracturación, lo denominaremos zona.

Es necesario hacer una serie de limitaciones a este método. Como se ha visto en el apartado 3.3.2 el error horizontal sólo está calculado para un 35% de la sismicidad instrumental. De este 35% solo el 66% tiene un error menor de 5 Km. La representación espacial de solo estos datos sería muy escasa para poder detectar posibles estructuras sismogenéticas.

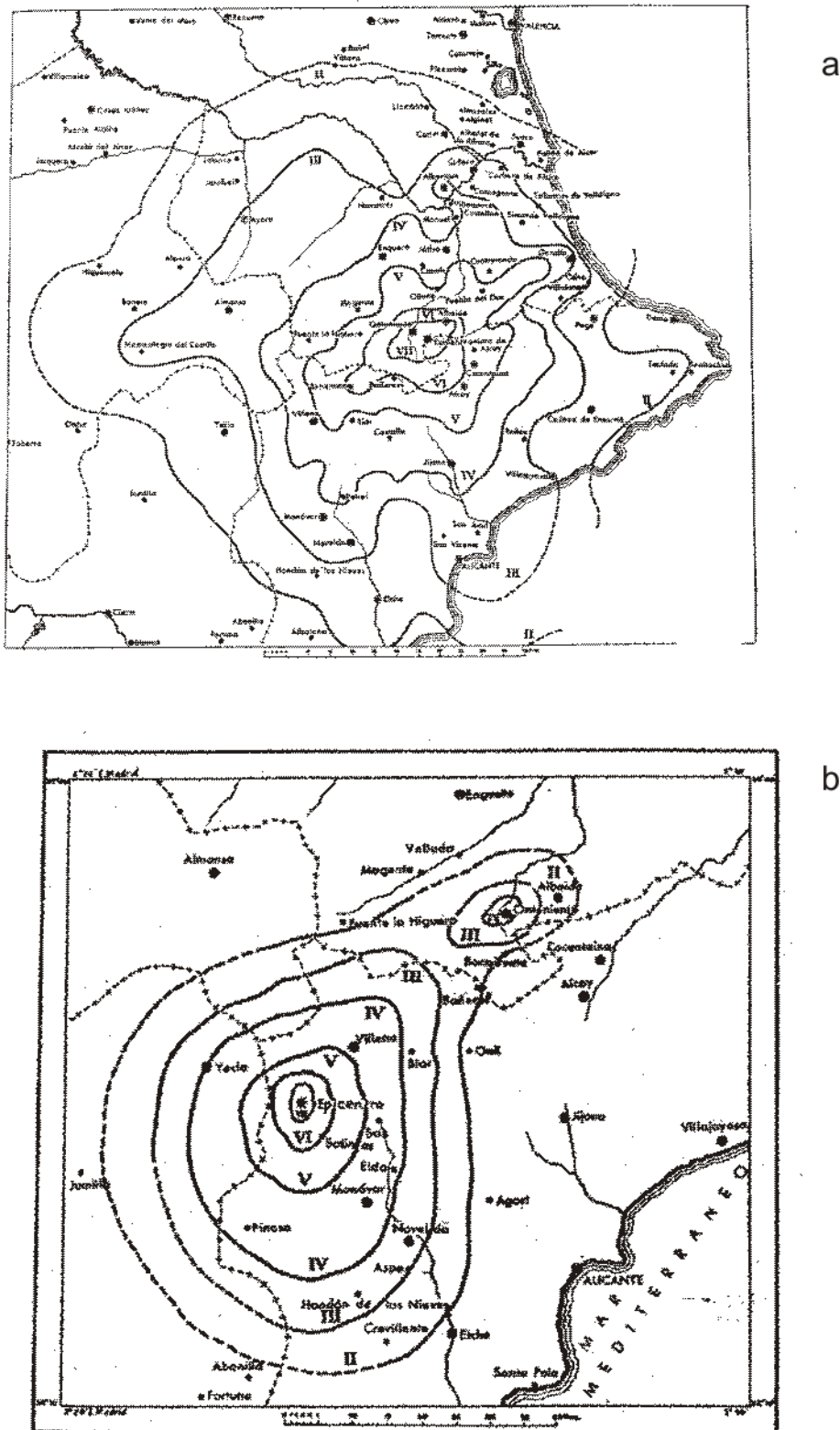


Fig. 4.10
a: Mapa de isosistas del sismo 1 de Julio de 1947 con epicentro en Onteniente.
b: Idem del sismo 28 de noviembre de 1916 con epicentro en Salinas.
Discusión en el texto.

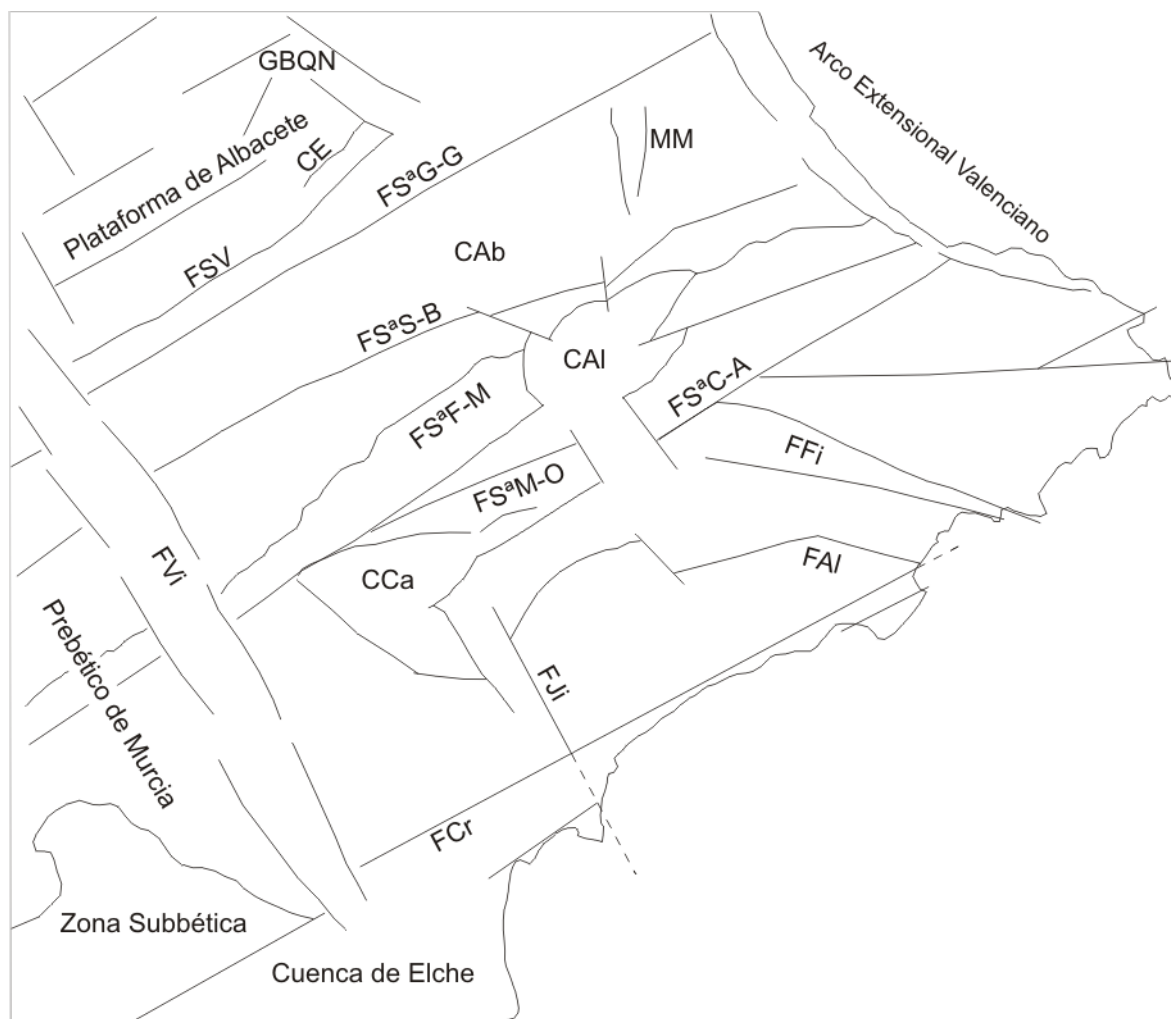


Fig. 4.11 Esquema Tectónico del Prebético de Alicante

CAI: Cuenca de Alcoy CCa: Cuenca de Castalla CAI: Cuenca de Albaida MM: Macizo de la Marchuquera FCr: Falla de Crevillente FJi: Falla de Jijona FAI: Falla de Altea FFi: Falla del Finestrat FS^aC-A: Falla de S^a Carrasqueta-Aitana FVi: Falla del Vinalopó FS^aM-O: Falla de S^a Menechaor-Ondoches FS^aF-M: Falla de S^a Fontanella-Mariola FS^aS-B: Falla de S^a Solana-Benicadell FS^aG-G: Falla de S^a Grossa-Gorda FSV: Flexura Sur Valenciana CE: Cabalgamiento de Enguera GBQN: Graben de Bicorp-Quesa-Navarrés.

Por otra parte, la situación en superficie del epicentro dependerá del buzamiento de la falla sismogeneradora, determinando la posibilidad de asignar incorrectamente epicentros a la traza superficial de fallas.

Debido a todas estas incertidumbres fundamentales, en el esquema sismotectónico no se proyectarán trazas superficiales de fallas, sino simplemente líneas esquemáticas con direcciones coincidentes con los principales accidentes regionales del Prebético de Alicante.

En la **figura 3.12** se representa sobre un modelo digital del terreno la distribución espacial de epicentros del periodo instrumental, y las relaciones deducidas con la tectónica regional de la zona de estudio. Se han definido las siguientes zonas y lineaciones sismotectónicas:

1. Zona oriental de la Plataforma de Albacete: Este área abarca el Graben de Bicorp-Quesa-Navarrés y el Cabalgamiento de Enguera.
2. Zona costera nororiental: Esta zona estaría en relación con las estructuras del Arco Extensional Valenciano.
3. Zona del Macizo de la Marchuquera: Esta zona presenta interferencia de estructuras de dirección prebética con direcciones ibéricas.
4. Lineación de S^a Grossa-Gorda.
5. Zona del norte de la Depresión del Vinalopó: En esta área se produce la intersección de la Falla del Vinalopó, Falla de S^a Grossa-Gorda y la Flexura Sur Valenciana.
6. Lineación del Vinalopó.
7. Lineación de S^a Solana-Benicadell (Accidente de Onteniente).
8. Lineación de S^a Fontanella-Mariola-Forada.
9. Lineación de la Sierra de Menechaor-Ondoches.
10. Lineación de S^a Carrasqueta-Aitana.
11. Lineación de la Falla de Jijona.
12. Lineación del borde occidental de la Depresión de Castalla.
13. Zona sur de la Depresión del Vinalopó: En esta área se produce la intersección de la Falla del Vinalopó, con la Falla de Crevillente y fallas NNW-SSE del Prebético de Murcia.
14. Fallas de dirección NNW-SSE de la Zona Subbética.
15. Falla de Crevillente y su prolongación oriental.

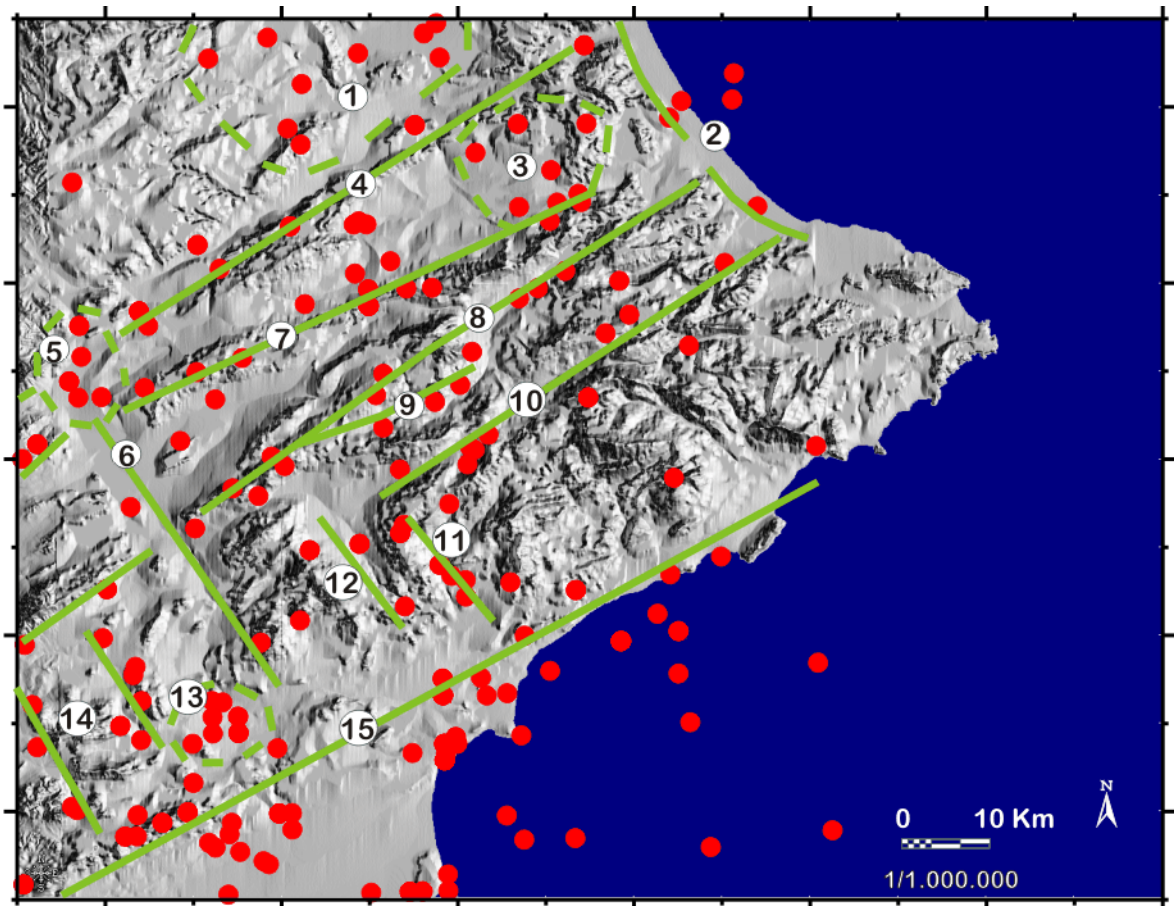


Figura 3.- Esquema sismotectónico del Prebético de Alicante. Los círculos rojos marcan la situación de epicentros instrumentales. Líneas verdes y a trazos marcan líneas y zonas sismotectónicas, respectivamente.

La información sísmica utilizada, a pesar de su problemas de calidad, parece relacionarse con relativa claridad a accidentes tectónicos principales de carácter regional.

Las zonas sismotectónicas se sitúan en la intersección de grandes accidentes donde se producen aglomeraciones de sismos (zonas 5 y 13), si bien también se desarrollan en zonas de intensa fracturación de escaso desarrollo lineal (zonas 1 y 3).

CAPITULO 4: Estudio Geológico de la Cuenca de Alcoy

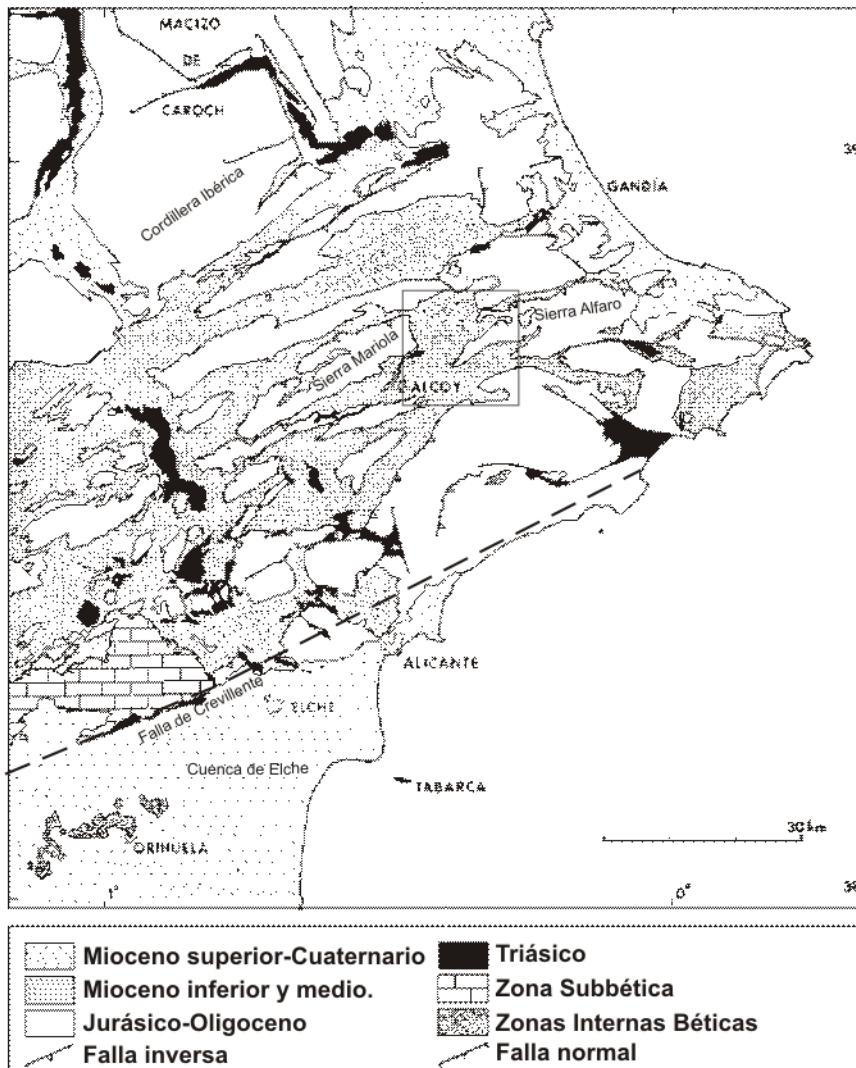
4.1.- Marco geológico regional

Regionalmente la Cuenca de Alcoy se enclava en la zona prebética de las cordilleras Béticas, dentro del dominio geológico del Prebético de Alicante.

Como Prebético de Alicante se denomina a el área localizada en el extremo oriental de las zonas externas del orógeno bético (**Fig. 4.1**). Básicamente se trata de un cinturón de pliegues y cabalgamientos de vergencia general norte desarrollado sobre materiales mesozoicos y cenozoicos.

4.1.1.- Principales características del Prebético de Alicante

En el Prebético de Alicante se encuentran representados y prácticamente enteros los periodos desde el Triásico hasta el Mioceno superior. El triásico aflora extensamente en forma diapírica, íntimamente ligado a zonas de falla. Los afloramientos mesozoicos y paleógenos ocupan los relieves más importantes del área, constituidos por anticlinales de longitud kilométrica. La ocurrencia de depósitos neógenos por lo general está limitada a las cuencas sinclinales.



Dentro del Prebético se pueden diferenciar dos subzonas merced a sus diferencias estratigráficas, que reflejan la paleogeografía mesozoica-paleógena del antiguo margen pasivo de Iberia. Al norte el Prebético Externo, caracterizado por series poco potentes, detríticas, dolomíticas y propias de un ambiente costero-nerítico, y al sur el Prebético Interno de series más potentes, más carbonáticas y margosas propias de un ambiente de plataforma más profunda y abierta. El límite entre ambos lo constituye una *franja anómala*, de características propias, de dirección ENE (S^a Mariola-S^a de Alfaro) que representaría la antigua línea de costa paleógena (Almela et al,1975; Martínez del Olmo,1975; Rodríguez Estrella,1977a; De Ruig,1992).

Estructuralmente en el Prebético Externo se desarrolla un tren de pliegues y cabalgamientos subparalelos de dirección ENE que conforman un país de cuencas y sierras alargadas. Estos pliegues presentan ambos flancos con fuertes buzamientos y una amplia zona de charnela. El flanco septentrional, generalmente invertido, cabalga sobre las cuencas sinclinales. Asociado a las zonas de cabalgamiento afloran materiales triásicos (Keuper) altamente desorganizados de lo que se infiere que han servido como superficies de despegue. En dirección ENE se desarrollan corredores tectónicos de fallas de desgarre. Son muy frecuentes fallas conjugadas de dirección NW-SE y NNW-SSE con salto normal-direccional que determinan la aparición de pequeñas depresiones.

En el Prebético Interno, al sur de S^a Mariola-S^a Alfaro (**fig. 4.1**), los pliegues se aprietan fuertemente estructurándose en escamas cabalgantes. Los ejes de los pliegues presentan tres orientaciones: ENE, NW-SE y N-S. Estas dos últimas asociadas a zonas de cizalla NNW-SSE. Es muy frecuente la ocurrencia de fallas normales subparalelas a los cabalgamientos en los flancos normales de los pliegues. También en este área se desarrollan desgarres de dirección ENE. En el borde meridional hay que destacar la prolongación de la Falla de Crevillente.

4.1.2.- Evolución tectónica del Prebético de Alicante

En la evolución tectónica del Prebético de Alicante se pueden distinguir dos etapas principales, la evolución preneógena y la neógena. La primera va a determinar la distribución de los diferentes conjuntos litológicos preneógenos que se describirán en el apartado de estratigrafía. La segunda determinará la tectónica que actualmente se puede observar en la Cuenca de Alcoy.

4.1.2.1- Evolución tectónica preneógena

La historia tectónica preneógena describe el inicio y desarrollo de un rift.

Este periodo se compone de la suma de episodios de extensionales que irían afectando progresivamente a partes más externas del incipiente margen de Iberia en formación. Comprende una etapa inicial continental, representada por los materiales triásicos, hasta el desarrollo de una cuenca de sedimentación marina a partir del jurásico.

Esta cuenca se encontraría estructurada en bloques limitados por fallas a los que se asocia ascenso diapírico pasivo de materiales triásicos (Rodríguez Estrella,1977a y b; De Ruig,1992).

A comienzos del Paleógeno tiene lugar la emersión de la plataforma prebética. Está podría estar relacionada con un evento tectónico compresivo de corta duración. De Ruig (1992) sugiere que tendría su origen en la transmisión de los esfuerzos compresivos del final de la colisión continental en los Pirineos a lo largo de la litosfera ibérica; esto provocaría un levantamiento del borde de la cuenca así como una retirada de la línea de costa.

4.1.2.2- Evolución tectónica neógena

El neógeno va a registrar la transformación de un margen continental estructurado en bloques tectónicos a un cinturón de pliegues y cabalgamientos.

Durante el neógeno tendrán lugar sucesivos periodos de extensión y compresión. Megías et al. (1983) deducen cinco unidades tectosedimentarias (UTS) en el neógeno y una en el pliocuaternario, separadas por discordancias regionales. Estas, si bien están reconocidas a nivel regional, no son coetáneas en el tiempo para todo el prebético debido a la propia evolución de sur a norte de la deformación. Este hecho determina que las partes externas del prebético muestren un menor grado de deformación y un retraso deformacional en relación con las partes más internas. Hecha esta consideración pueden relacionarse de manera general las UTS con las siguientes etapas tectónicas:

UTS Ne-0: Finales Oligoceno - Comienzos Aquitaniense (Extensión)

Tiene lugar una fase extensional que afecta a todo el prebético fragmentando la cobertera mesozoico-paleógena y acentuando la estructura preexistente en bloques.

En esta etapa y a favor de la tectónica extensional, continúa el ascenso de masas diapíricas iniciado a finales del cretácico.

UTS Ne-1: Finales Aquitaniense - Comienzos Burdigaliense (Compresión)

En este periodo se produce una inversión del campo de esfuerzos definiéndose una dirección de máximo acortamiento NNW-SSE (Montenat et al,1987; Pierson D´Autrey,1987; De Ruig,1992). Comienza a desarrollarse un cinturón de pliegues y cabalgamientos de dirección predominante ENE-WSW. El paso a un ambiente compresivo se interpreta como la respuesta a los emplazamientos de láminas cabalgantes que comenzaron en la región Bética.

UTS Ne-2: Finales Burdigaliense - Langhiniense (Compresión)

Esta etapa comienza con un rápido ascenso del nivel del mar, origen de los depósitos hemipelágicos margosos del TAP.

Tiene lugar una segunda fase de plegamiento coaxial con la anterior (De Ruig,1992), desarrollándose un apretamiento cada vez mayor de las trazas de los pliegues ENE. La deposición de las margas es fuertemente sinsedimentaria detectándose discordancias progresivas y disminución del espesor con la cercanía a las charnelas de los anticlinales.

UTS Ne-3: Serravaliense - Comienzos Tortoniense (Transpresión)

En este periodo se produce una rotación de los ejes de esfuerzos. La dirección NNW-SSE establecida a comienzos del Neógeno gradualmente va rotando hasta alcanzar, para tiempos tortonienses una dirección NW-SE (De Ruig,1992). Según esto en el Tortoniense se establece un régimen transpresivo dextral. Se desarrollan pliegues en direcciones NE, oblicuas a la traza de los pliegues ENE mayores descritos anteriormente. El Sinclinal del Sing, en la Cuenca de Alcoy, es citado por diversos autores (Cater,1987; Pierson D´Autrey, 1987; De Ruig,1992) como evidencia del cambio en la orientación de la máxima compresión horizontal durante el Tortoniense.

UTS Ne-4 y Ne-5: Finales del Tortoniense a el Pliocuaternario (¿Transpresión?)

En esta etapa encontramos tanto estructuras extensionales como compresionales, correspondientes a esfuerzos compresivos alternativos E-W y N-S, de los que el registro más evidente corresponde a la dirección N-S (López Casado, 1987; De Ruig, 1990).

Bousquet et al (1976) y Montenat et al (1987 y 1996) en base a estudios en la Zona Bética, y Pierson D´Autrey (1987) en el Prebético, establecen una rotación de los ejes de esfuerzos desde el Tortoniense (NW-SE) hasta el Pliocuaternario (NNW-SSE).

El límite Tortoniense-Messiniense marca el comienzo de la emersión de toda la zona prebética, excepto en las partes mas meridionales del prebético interno y al sur de Alicante (Cuenca de Elche) donde continúa la sedimentación marina. La sedimentación continental se desarrolla en pequeñas cuencas intramontanas y se compone de materiales característicos de depósitos fluviales, lacustrinos y de abanicos aluviales (Pierson D´Autrey,1987). En

general se localiza una discordancia intrapliocena, presentándose el plioceno sup. y el cuaternario conjuntamente (UTS Ne-6) (Megías et al,1983; Sanz de Galdeano,1983).

4.2.- Síntesis geológica de la Cuenca de Alcoy

La cuenca de Alcoy se sitúa en el límite Prebético Interno-Prebético Externo, presentando características comunes a ambos dominios y características sedimentológicas propias de un ambiente transicional (*Franja anómala*).

Para los efectos de este trabajo se ha realizado una cartografía geológica sintética (**fig. 4.2**) en base a las siguientes fuentes de información:

- Mapa geológico nº 821 (Alcoy), E:1/50.000 (IGME, 1975).
- Cartografía geológico-geotécnica 1/25.000 del estudio municipal de Alcoy
- Cartografía geológica de los materiales neógenos del borde sur y oriental de S^a Mariola, E:1/25.000 (García Mayordomo, en edición).
- Cartografía geológica de la Cuenca de Alcoy de Pierson D`Autrey (1987).

El criterio seguido para la realización de la cartografía ha estado orientado hacia el aspecto litológico, pero proveyéndola de significado estratigráfico.

4.2.1.- Estratigrafía de la Cuenca de Alcoy

4.2.1.1.- Sustrato preneógeno

Esta unidad engloba los siguientes materiales (**fig. 4.2**):

MESOZOICO:

El mesozoico aflora fundamentalmente en los relieves de la mitad septentrional (S^a Benicadell, S^a Albureca, S^a Mariola y Loma Redonda). En la Cuenca de Alcoy se han reconocido los siguientes periodos:

-Triásico sup. (keuper):

El keuper se presenta en su facies característica de arcillas rojas y verdes, areniscas, niveles dolomíticos y yesos trabeculares-masivos. En la zona se presentan, además, con relativa abundancia cuarzos de compostela bipiramidados y corroídos.

Los afloramientos de Keuper en la zona son escasos y pequeños. Se destaca por su tamaño el afloramiento diapírico de Cocentaina-Alcoy, asociado a el extremo oriental de la falla de Mariola. También tienen lugar afloramientos puntuales de Keuper asociados a fracturas en el borde norte de la S^a de Ondoches y borde sur de la S^a de Benicadell.

- Jurásico (kimmeridgiense-Portlandiese):

Solo existe un pequeño afloramiento que se localiza en el núcleo del anticlinal de Sierra Mariola en su terminación este.

Los materiales jurásicos se componen de muro a techo de: dolomías, calizas dolomíticas, calizas criptocristalinas, calizas gravelosas y areniscas; sobrepasando en total los 400 mts. (Almela et al,1975).

- Cretácico:

La serie cretácica en la zona de estudio se caracteriza por su complejidad puesta de manifiesto por presentar facies diferentes para depósitos de la misma edad. Se puede

separar en dos partes fundamentales atendiendo a criterios de sedimentación que reflejan una evolución tectonosedimentaria compleja.

Serie cretácica inferior (Cretácico inf. a Albiense medio)

La serie cretácica inferior aflora muy tectonizada y bien repartida por todos los relieves de la hoja, tanto al sur como al norte. El tramo inferior (Neocomiense-Barremiense inf.) se compone de calcarenitas oolíticas, areniscas ferruginosas y margas grises con intercalaciones de biomicritas arenosas. La serie completa se ha podido reconocer en el anticlinal de Mariola donde alcanza 200-300 mtrs. de potencia (Almela et al, 1975; Rodríguez Estrella, 1977a).

La serie superior se compone de biomicritas, calcarenitas y margas amarillas de aspecto noduloso con abundantes fósiles bentónicos y rudistas calculándosele una potencia entre 200-300 mtrs (Almela et al, 1975).

Serie cretácica superior (Albiense sup.-Maestrichtiense)

El Albiense superior marca el comienzo de una dolomitización masiva. En el área de estudio esto queda reflejado en los afloramientos dolomíticos de los relieves de la mitad septentrional (S^a de Benicadell, S^a Mariola, Loma Redonda), mientras que en la parte sur (S^a Serrella) no se constata la existencia de dolomitización.

Los depósitos dolomíticos generalmente se pueden separar en tres tramos: Dolomías grises, dolomicritas y margas dolomíticas, con una potencia total de 200-250 mtrs. Encima de ellos se desarrollan biomicritas y calcarenitas bioclásticas. En S^a Mariola solo se reconoce un único paquete de dolomías grises masivas con un espesor entre 200-250 mtrs, seguido por calizas micríticas arcillosas finamente estratificadas con interbancos margosos amarillentos y episodios de calizas nodulares. Martínez del Olmo et al. (1975) las atribuye 100 mtrs de potencia. Representan las facies de la regresión finicretácica.

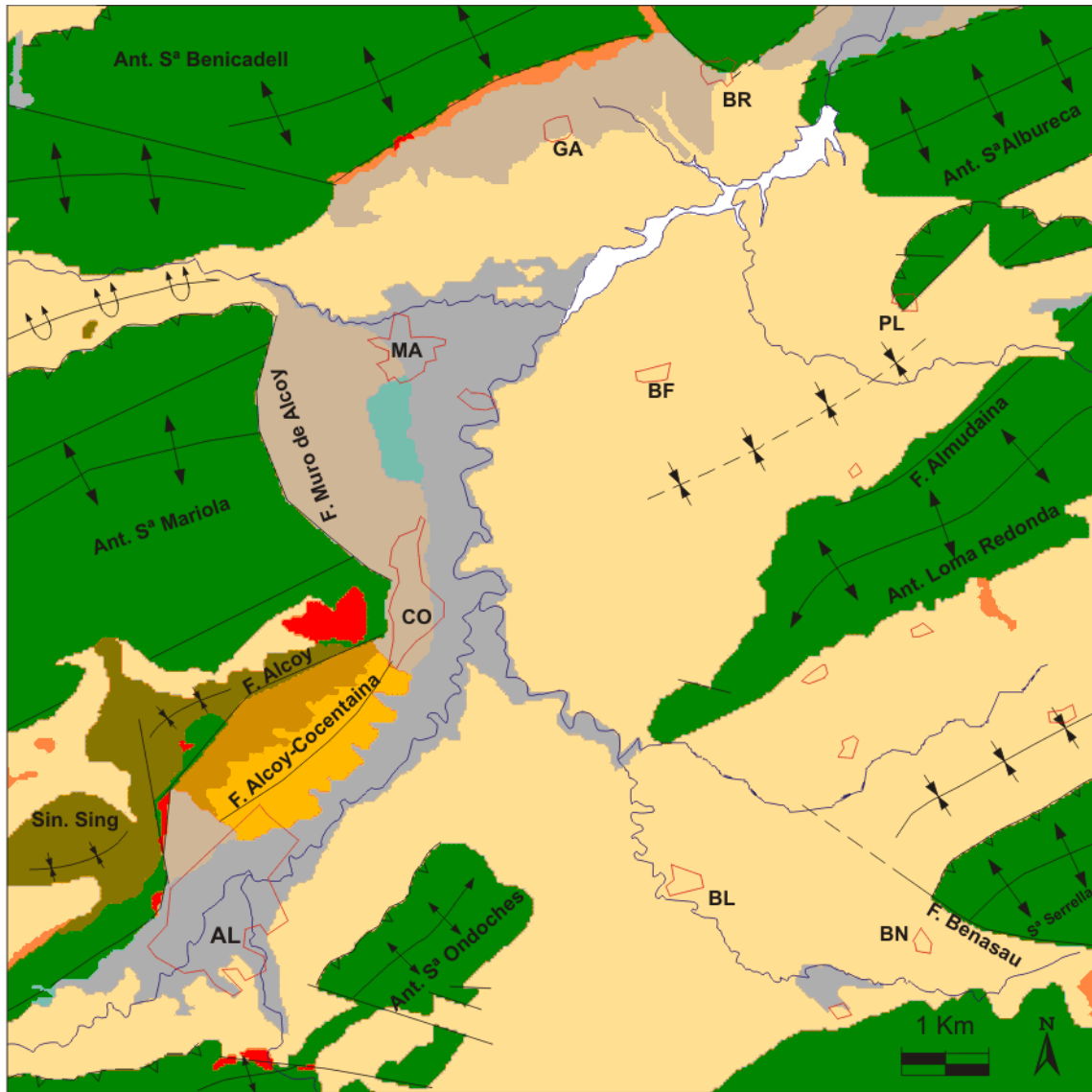
Por el contrario en S^a Serrella los materiales están constituido por una alternancia de margas y margocalizas de aspecto flyschoides, que van evolucionando hacia unas margas pelágicas.

PALEOGENO:

A finales del cretácico tiene lugar una regresión generalizada quedando la plataforma del prebético externo emergida y sometida a erosión. Mientras, en el prebético interno va a continuar la sedimentación submarina altamente influenciada por los aportes continentales. En el área de estudio esto queda reflejado por la localización de los afloramientos paleógenos, predominantemente al sur de la franja anómala (S^a Mariola-Loma Redonda) así como por el desarrollo de facies flysch.

- Paleoceno:

Se trata de facies flysch compuestas por calcarenitas, margas esquistosas, arcillas rojas, calizas arcillosas y pararecificales. Aflora principalmente en S^a Serrella, y de manera puntual en El Salt (oeste de la Ciudad de Alcoy). También ha sido localizada por el autor en el paraje de Sant Colomé (extremo oriental del flanco sur del anticlinal de Mariola).



ESCALA 1/120.000

- Sustrato Preneógeno: Dolomías, calizas y margas.
- Keuper: Arcillas versicolores, areniscas y yesos.
- Mioceno inf.-md.: Margas TAP.
- Mioceno medio: Calcarenitas.
- Mioceno superior: Calcarenitas y conglomerados.
- Plioceno: Capas conglomeráticas con interestratos arenolimosos.
- Plio-pleistoceno: Arcillas margoarenosas con lentejones de gravas.
- Cuaternario aluvial: Arcillas margoarenosas con gravas dispersas.
- Cuaternario de pie de monte: Gravas en matriz arenolimsa.
- Cuaternario travernítico: Calizas oquerosas y tobas.

Fig. 4.2 Mapa Geológico de la Cuenca de Alcoy. Las abreviaturas de las poblaciones son las mismas que en la figura 1.1.
Ant:Anticlinal S:Sinclinal F:Falla (ver texto).

- Eoceno:

Los afloramientos se localizan en S^a Serrella y en la S^a de Ondoches, donde se pasa de las facies flysch a margas con nummulites y calizas pararrecifales a techo. En la S^a de Ondoches, afloran únicamente depósitos de calizas pararrecifales.

- Oligoceno:

El Oligoceno presenta en la zona dos facies características, una marina y otra continental. Las facies marinas están compuestas, en los afloramientos más completos, por tres tramos: margas, calizas organógenas de carácter pararrecifal y margas. Se localiza en S^a Serrella y en el segmento SW de la S^a de Ondoches. También ha sido observada en el Tosal del Moro y probablemente sea la justificación morfológica de pequeños y numerosos resaltes topográficos en la margen sur de la cuenca de Alcoy.

Las facies continentales están representadas por una megabrecha polimítica de matriz arenosa cementada con abundante fauna destrozada. La composición de los cantos, en algunos casos bloques, es altamente variable presentando fragmentos de materiales triásicos, mesozoicos y paleógenos. Son muy frecuentes las intercalaciones de margas color salmón. Es difícil estimar una potencia para esta formación, variando considerablemente de unos puntos a otros. Su aparición está frecuentemente asociada a fallas importantes.

4.2.1.2.- Materiales neógenos

Las facies miocenas van a registrar una transgresión generalizada en todo el prebético así como una sedimentación sintectónica que produce discordancias angulares y cambios bruscos de potencia. La sedimentación tiene lugar en pequeñas cuencas sinclinales independientes originadas por el plegamiento de la plataforma mesozoica, lo que da lugar a una paleogeografía compleja. El borde sur de S^a Mariola va actuar de límite marino hasta el Serravaliense donde la transgresión alcanzará el prebético externo. Finalmente, el Tortoniense registrará una paulatina regresión para establecerse en el Plioceno un ambiente continental que se prolonga hasta la actualidad.

- Mioceno inferior-medio margoso (facies TAP):

El mioceno inferior comienza con la sedimentación de calizas en facies pararrecifales y calcirruditas de cemento arcilloso rojo en discordancia angular y erosiva con los paleorrelieves mesozoicos. Esta unidad no se ha distinguido en la cartografía geológica, a pesar de su carácter rocoso, por presentar afloramientos irrelevantes en la zona de estudio.

Inmediatamente a esta unidad se desarrolla un potente depósito de margas pelágicas, denominadas en la terminología local como facies TAP. Su espesor total supera los 1000 metros. Martínez del Olmo et al. (1975) cita la penetración de 1350 mtrs. en estos materiales de un pozo de exploración en Onteniente sin llegar a la base de la secuencia.

- Mioceno medio calizo:

Eventualmente las facies Tap se pueden separar en dos tramos merced a la existencia local de una capa de calizas biodetríticas compuesta por una melange de fragmentos heterométricos angulosos. Tiene un espesor muy variable, incluso en algunas zonas no se detecta, siendo éste entre 6-10 mtrs para el sector oriental de S^a Mariola (Martínez del Olmo et al,1975).

- Mioceno superior calizo (Tortoniense):

En discordancia sobre las margas Tap se deposita un conglomerado calizo bioclástico bien cementado que hacia sus términos superiores se va haciendo más arenoso. En el área de estudio se localiza al norte de la ciudad de Alcoy, en el borde sur de S^a Mariola. Su potencia es muy variable, si bien puede superar los 100 metros.

Sobre las calcirruditas tortonienses se ha citado por algunos autores la presencia de sedimentos lacustres que se desarrollarían en cuencas endorreicas (Martínez del Olmo, 1975; Pierson D'Autrey, 1987). En la zona de estudio no se han encontrado afloramientos.

- Plioceno:

Sobre la serie anterior se desarrolla una serie fluvial. En la zona de estudio la ocurrencia de la serie fluvial está localizada al norte de Alcoy. Se compone de bancos conglomeráticos de matriz arcilloso-limosa con interbancos arenosos y/o margo-limosos de tonos rojizos y cementados. Mientras que los primeros predominan hacia el norte los interbancos arenosos se van haciendo más potentes y frecuentes hacia el sur. El grado de cementación disminuye a su vez también hacia el sur. Esta serie se encuentra limitada al norte por la falla de Alcoy. En las proximidades de la falla se observa la serie basculada hacia el plano de falla.

- Plio-Pleistoceno:

A partir de los relieves constituidos por los depósitos pliocenos se desarrollan una serie de abanicos aluviales. Estos materiales son de características parecidas a los anteriores pero con un mayor predominio de arcillas. También son frecuentes lentejones de grava de potencia y distribución variable.

4.2.1.3.- Materiales cuaternarios

Solo se han representado en la cartografía aquellas extensiones de materiales cuaternarios representativas, omitiéndose coluviones y depósitos aluviales de reducida expresión espacial.

Depósitos de pie de monte (conos de deyección y abanicos aluviales):

Se desarrollan fundamentalmente en la vertiente sur de la S^a de Benicadell y en la terminación oriental de S^a Mariola. Están compuestos por gravas intercaladas en una matriz arenosa-limosa. Es frecuente la aparición ocasional de delgados niveles de calcretas.

Depósitos aluviales:

En esta unidad se incluyen tanto depósitos de terraza como de llanura de inundación. El mayor desarrollo de terrazas tiene lugar en el curso del río Serpis distribuyéndose principalmente en su margen izquierdo. Se pueden reconocer con seguridad un mínimo de dos terrazas. Están compuestas principalmente por materiales margoso-arenosos con presencia variable de lentejones de gravas. La potencia total de las terrazas es muy variable, si bien en algunos sectores alcanzan los 30 metros.

Los depósitos de llanura de inundación no presentan grandes extensiones desarrollándose encajonados en los cursos de los principales ríos. En general se trata de depósitos finos arcillo-limosos con grava dispersa de escaso espesor (0.5-1.5 m).

Depósitos travertínicos:

Los depósitos travertínicos son bastante frecuentes en toda la zona de estudio, si bien su representación espacial es pequeña. El mayor afloramiento tiene lugar al oeste de Muro de Alcoy en el margen izquierdo del río Serpis. Este depósito, que posiblemente se trate de una terraza antigua del río Serpis, presenta las características calizas oquerosas con huellas de raíces (tobas).

4.2.2.- Tectónica de la Cuenca de Alcoy

La Cuenca de Alcoy es el resultado de la evolución tectónica neógena descrita en el apartado 4.1.2.2. El relieve que observamos en la actualidad constituye un relieve conforme, en cuanto a que estructuras anticlinales constituyen elevaciones y estructuras sinclinales depresiones. La unión de depresiones sinclinales junto con la actividad de fallas normales han conformado esta depresión.

El extenso desarrollo de depósitos margosos, unido a alta antropización de las depresiones, condiciona que sea en las sierras, de materiales competentes, donde más fácilmente se reconozca la tectónica.

4.2.2.1.- Pliegues

Las principales estructuras se desarrollan sobre el sustrato preneógeno estando definidas por pliegues y cabalgamientos subparalelos de dirección ENE-WSW. Estas estructuras tienen continuidad regional, presentándose en la zona de estudio solo parte de ellas.

En la descripción estratigráfica del sustrato preneógeno se vio como existían dos tipos litológicos fundamentales. Esto hecho va a condicionar dos estilos de deformación diferente para la mitad norte y sur de la zona.

Los anticlinorios de la mitad septentrional (A. de S^a Mariola, A. de Loma Redonda, A. de S^a Albureca y A. de S^a Benicadell), compuestos principalmente por potentes series carbonáticas cretácicas, se caracterizan por presentar amplias bóvedas planas, y fuertes buzamientos en ambos flancos. Esta forma en “cofre” o “champiñón” clásicamente ha sido interpretada como respuesta a efectos halocinéticos de los materiales infrayacentes yesíferos triásicos (Martínez del Olmo et al, 1975,1976 y 1978; Almela et al,1975; Rodríguez Estrella,1977b; Colodrón et al,1981).

Los anticlinorios de la mitad meridional (A. S^a Serrella y A. S^a Ondoches), compuestos por series margosas y flyschoides, se caracterizan por presentar una fuerte deformación estructurándose en escamas cabalgantes.

En el área de trabajo también se han podido reconocer pliegues en materiales neógenos. Concretamente en las margas miocenas Tap y en los materiales carbonáticos tortonienses. Se trata de estructuras sinclinales donde los depósitos presentan características claras de plegamiento sindeposicional, como aumentar de espesor hacia el eje y presentar discordancias progresivas en los flancos.

En el único afloramiento Tortoniense del área de estudio se desarrolla un abierto sinclinal asimétrico, con un flanco norte de buzamientos entre 10-20° y un flanco sur muy corto de buzamientos subverticales (sinclinal del sing).

4.2.2.2.- Fracturación

Los fracturación en la Cuenca de Alcoy se desarrolla en tres direcciones principales:

Accidentes ENE

Con esta dirección nos referimos a dos tipos de accidentes de longitud regional con origen y funcionamiento diferente. Por una parte los cabalgamientos de vergencia general norte desarrollados en los flancos inversos de las principales estructuras anticlinales y por otra los accidentes lineales que discurren subparalelos a ellos. Estas estructuras funcionaron durante la etapa compresiva de la primera mitad del neógeno (ver 4.1.2.2). Posteriormente el cambio de orientación del tensor de esfuerzos condicionó

la transformación de estos accidentes en corredores tectónicos de fallas en dirección. En el área de estudio este hecho se observa en el anticlinal de S^a Mariola y en su continuación en el anticlinal de S^a Albureca. En ambos flancos se desarrollan accidentes fuertemente lineales y subverticales a favor de la geometría en “champiñón” de esta estructura.

Presentan dos tipos de cinemática diferentes en función de las dos orientaciones del tensor de esfuerzos para la segunda mitad del neógeno. Se les atribuye una cinemática dextral para el periodo serravaliense-tortonense (De Ruig,1992) y sinistral inversa a partir de finales del Tortonense (Pierson D´Autrey,1987; Montenat et al.,1996).

Accidentes NNW-SSE y NW-SE

Estos accidentes tienen una continuidad regional mucho menor que los anteriores. Ambos juegos de fallas se caracterizan por deformar transversalmente a estructuras de dirección ENE. Comenzarían a funcionar en la segunda mitad del neógeno, presentando dos tipos de cinemática diferentes en función de las dos orientaciones diferentes del tensor de esfuerzos para esta época. Primero, durante el periodo serravaliense-tortonense, las NNW-SSE actuarían preferentemente como desgarres sinestrales y las NW-SE como fallas normales. Desde finales del tortonense hasta, al menos, el pliocuaternario las NNW-SSE funcionan como normales y las NW-SE como dextrales.

4.3.- Neotectónica de la Cuenca de Alcoy

La neotectónica se define como el estudio de las deformaciones producidas desde el tiempo en el cual se considera que el campo de esfuerzos es el actual. En este sentido puede considerarse como periodo neotectónico a partir del final tortonense, cuando tiene lugar la última rotación de la dirección máxima de compresión horizontal situándose en dirección NNW-SSE (ver 4.1.2.2).

La evolución tectónica neógena experimentada en la región ha determinado tanto la formación de accidentes nuevos como la reactivación de otros. Asumiendo para el periodo presente la dirección de acortamiento NNW-SSE es posible la reactivación de cualquiera de los accidentes descritos en el apartado 4.2.2.2. Las fallas NW-SE y NNW-SSE serán las más favorables para acomodar la deformación y en las que, a priori, será más fácil reconocer actividad actual. No obstante, en otras áreas, la actividad parece concentrarse en antiguos accidentes ENE como parece deducirse del esquema sismotectónico presentado en el capítulo 3 (**fig. 3.12**).

4.3.1.- Tectónica activa en la Cuenca de Alcoy

La propias características geomorfológicas de la Cuenca de Alcoy son evidencia del control tectónico actual sobre otros procesos geodinámicos externos (Goy et al, 1989). Muestra de ello son la propia estructura geológica conforme con la topografía, la existencia de fuertes desniveles topográficos lineales, el importante encajamiento de la red fluvial, la existencia de barrancos colgados y las bruscas inflexiones en las líneas de drenaje actuales.

En el área de trabajo son muy escasos los estudios de tectónica activa desarrollados. Actualmente el autor está llevando a cabo estudios relacionados con la actividad de determinadas fallas. A falta de completarlos adecuadamente sólo se describirán sucintamente las fallas activas detectadas, así como otras de actividad no demostrada pero con similitudes próximas a fallas activas. El criterio de clasificación seguido es el descrito en la **tabla 2.1** del apartado 2.2.1.

4.3.2.- Fallas activas

En la **figura 4.3** se puede observar la distribución espacial de estas fallas en relación a el marco estructural de la Cuenca de Alcoy y a cuatro epicentros de sismos instrumentales

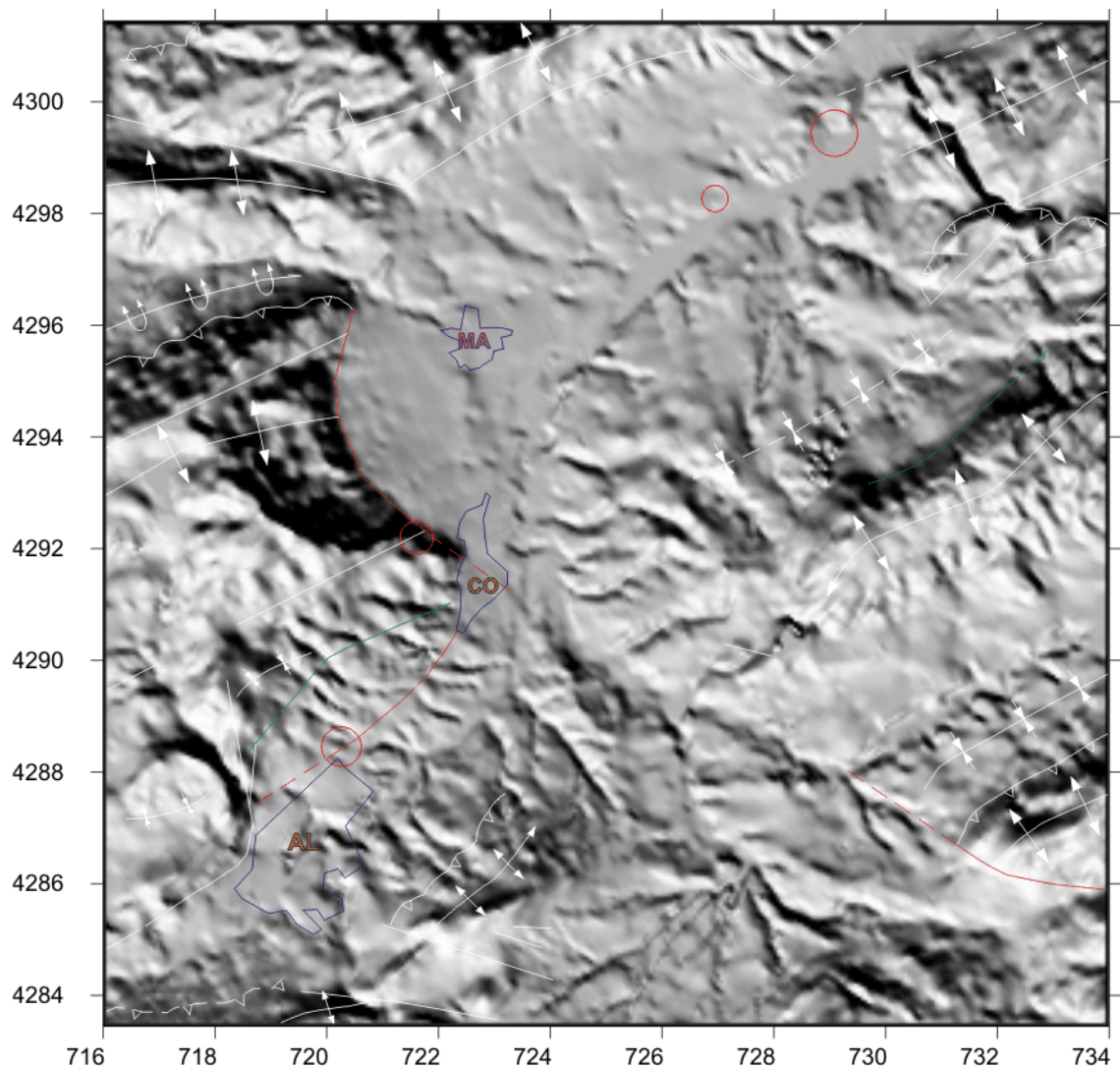


Fig. 4.3. Modelo digital de la Cuenca de Alcoy donde se sitúan fallas con actividad demostrada (en rojo) y fallas con actividad no demostrada (en verde). En blanco otras estructuras tectónicas. Las circunferencias rojas indican epicentros de sismos instrumentales.

con magnitud calculada que caen en la zona de estudio. Dos epicentros parecen asociarse

bien a la Falla de Alcoy-Cocentaina y la de Muro de Alcoy, con $mb=3.7$ y 3.1 , respectivamente. Los otros dos ($mb=2.6$ y 4.0) parecen alinearse con un accidente NE-SW situado al norte de la S^a de la Albureca. Solo el sismo de $mb=4.0$ tiene calculado el error horizontal, siendo de 4 Km. En general, a esta escala, estos datos no pueden considerarse fiables para determinar la localización de fallas activas.

Falla de Alcoy-Cocentaina:

Se trata de una falla de traza curva desarrollada en materiales plioleistocenos. El estudio en afloramiento de la falla determina una cinemática sinistral transpresiva, compatible con el régimen de esfuerzos actual NNW-SSE.

La falla deforma sinistralmente los cauces de los barrancos que bajan de S^a Mariola dando lugar a bruscos cambios en su trazado, capturas y abandonos de canales.

Falla de Muro de Alcoy:

Esta falla supone la brusca terminación del extremo oriental de S^a Mariola. Se pueden diferenciar en ella tres segmentos, siendo los segmentos sur y central los que presentan mayores indicios de actividad. Presenta un escarpe de falla bien conservado con estrías que determinan una cinemática normal pura para el segmento central y normal dextral para el segmento sur, ambas compatibles con el régimen de esfuerzos actual. Se puede estimar un salto mínimo de más de 1.000 mtrs.

El estudio de los perfiles longitudinales de los cauces que bajan de S^a Mariola determinan la existencia de varios saltos compatibles con la dirección de estas fallas. A su vez algunos de los abanicos aluviales presentan geometrías deformadas.

La terraza travertínica situada al oeste de Alcoy se presenta basculada hacia el plano de falla.

Falla de Benasau:

Esta falla supone la brusca terminación del extremo oriental de S^a Serrella. Presenta un importante escarpe morfológico de varios metros con numerosas estructuras desarrolladas en el plano de falla. El estudio de las estrías determina una cinemática normal dextral, compatible con el régimen de esfuerzos actual. Se puede estimar un salto mínimo de más de 400 mtrs.

La falla deforma los depósitos coluvionares que se forman a su pie evidenciando varios eventos sísmicos.

4.3.3.- Fallas de actividad no demostrada

Las fallas así denominadas son aquellas que presentando analogías con fallas activas, éstas no llegan a ser determinantes para ser calificadas como tales a falta de nuevas evidencias (**fig. 4.3**).

Falla de Alcoy:

Esta falla aflora al norte de la falla de Alcoy-Cocentaina. Se encuentra estructurada en varios segmentos de direcciones NE-SW y ENE-WSW. Presenta un escarpe de falla de varios metros sin estrías claras.

Supone el inicio del desarrollo de los abanicos aluviales pliocenos hacia el sur. Éstos se encuentran basculados hacia el plano de falla determinando un control deposicional.

Falla de Almudaina:

Esta falla de dirección NE-SW afecta al flanco norte del Anticlinal de Loma Redonda. Presenta un escarpe de varios metros con acanaladuras que evidencian una cinemática normal-sinistral compatible con el régimen de esfuerzos actual.

Presenta coluviones asociados a el plano de falla, que si bien no llegan a cubrirlo tampoco muestran evidencias de deformación.

CAPITULO 5: Determinación de la Peligrosidad Sísmica

5.1.- Antecedentes

Existen varios estudios que determinan la peligrosidad en la zona de estudio. En la **tabla 5.1** se presenta un resumen de los más importantes indicando el nivel básico de peligrosidad estimado (ITGE, 1990). En ella se puede observar que existen fuertes discrepancias en los resultados obtenidos. Esto es debido fundamentalmente al método de cálculo usado en cada estudio y a el periodo de datos analizado. Por ejemplo, para el sismo de I=VIII resulta un periodo de retorno de más de 1000 años según el método Zonificado Gumbel I, y de más de 10.000 según el mismo método no zonificado, para el mismo periodo de datos (1750-1980). Llama la atención que los estudios deterministas no consideren el valor de I=IX cuando en el catálogo del IGN figura un sismo de la misma intensidad en la ciudad de Alcoy.

5.2.- Estimación de la peligrosidad por el método determinista

El mayor terremoto reconocido en el área de estudio es de I=IX (1645, Alcoy). López Casado et al (1987) estiman un periodo de retorno de 150 años para esta intensidad.

5.3.- Estimación de la peligrosidad basada en la NCSE-94

En este trabajo nos vamos a basar en la estimación de peligrosidad de la norma NCSE-94.

En la NCSE-94 se incluye un mapa nacional con isolíneas de aceleración básica (a_b) y de coeficiente de distribución K. El valor de a_b es el valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno correspondiente a un periodo de retorno de 500 años. El coeficiente K mide la influencia en la peligrosidad sísmica de cada punto de los distintos tipos de terremotos considerados en el cálculo de la misma. Básicamente representa la influencia de terremotos lejanos en la Falla Azores-Gibraltar. En la zona de estudio K vale 1, lo que a efectos prácticos significa que no se estiman en el área terremotos de campo lejano.

La cuenca de Alcoy queda atravesada por la isolínea de 0.07 g, quedando aproximadamente la parte norte en el campo de 0.06 g y la sur en el 0.07 g. Los municipios más importantes quedan definidos de la siguiente manera (**tabla 5.2**):

MUNICIPIOS PRINCIPALES:	VALOR DE LA ACELERACION BASICA:
ALCOY	0.07
COCENTAINA	0.06
MURO DE ALCOY	0.06

Tabla 5.2 Valores de la aceleración básica definidos en la NCSE-94 para los principales municipios de la Cuenca de Alcoy.

FECHA	NOMBRE DEL ESTUDIO (Macrozonación sísmica)	ESCALA DE TRABAJO	METODO DE CALCULO	PARAMETRO DE CALCULO	VALORES PREFIJADOS DE LOS PARAMETROS			PERIODOS DE DATOS	NIVEL BASICO DEL PARAMETRO PARA EL AREA DE ESTUDIO
					I	a	T (años)		
1974	MAPA DE LA NORMA SISMORRESISTENTE PCS-1. CORRESPONDE AL MAPA DE ZONAS SISMICAS GENERALIZADAS DE LA PENINSULA IBERICA. (MUNUERA, 1969)	1:1M	Ni determinista Ni probabilista No considera ley de atenuación; ni los terremotos lejanos (Falla Azores Gibraltar)	I (A partir de un índice)			50?		VII
1981	MAPA DE INTENSIDADES MAXIMAS SENTIDAS (1936- 1983). REY PASTOR (1951) y MARTIN MARTIN (1981 y 1983)	1:1M	Determinista (influencia relativa de los grandes terremotos)	I máx. MSK no es probabe (600 años)					VII
1981	MAPA DE RIESGO SISMICO DE MARTIN Y SIERRA (1405-1980)		Probabilista no zonificado. Gumbel I.	I			500 1.000		VI VII
1983	TESIS DE MARTIN MARTIN 48 MAPAS DE RIESGO SISMICO Probabilista con diversas hipótesis sísmicas y estadísticas (Frecuencia de terremotos- intensidad Gumbel I)		Zonificado distribución frecuencia de terremotos-intensidad	I			100 500 1.000	1380-1980	V VI VII 5.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1915-1980	V VI VII 1.000-5.000
				T	VIII				
				a			100 500 1.000	1930-1980	— + 75 gals - 100 gals = 1.000
				T		100			
			Zonificado Gumbel I	I			100 500 1.000	1405-1980	IV VI VII = 5.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1750-1980	IV V VI + 1.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1800-1980	V VI VI o VII 1.000-5.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1915-1980	VI VII VIII 500-1.000
				T	VIII				
			No zonificado Gumbel I				100 500 1.000	1380-1980	V VI VII 5.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1750-1980	IV V VI + 10.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1800-1980	IV V VI 1.000-5.000
				T	VIII				
				I			100 500 1.000	1915-1980	IV V VI + 1.000
				T	VIII				
				a			100 500 1.000	1930-1980	25-50 gals 50-100 gals 100-150 gals 1.000-5.000
				T		100			
1983	ESTUDIO DE RIESGO SISMICO EN ESPAÑA	1:1M	Probabilista zonificado. Dist. (relación cuadrática frecuencia-intensidad). Ley de atenuación de SPOUHEVER.	I ₀ (epicentral)	Las probabilidades anuales se han pa- sado a periodos de retorno.		100 1.000 10.000	CATALOGO SISMICO (IGN) VERSION AÑO'80	VI-VII VII-IX IX-X
1985	ESTUDIO DE RIESGO SISMICO EN CASTELLON, VALENCIA Y ALICANTE (ARENILAS PARRA, BISBAL CERVELLO)	1:500.000	Determinista	I			50 100 500 1.000	Catálogo de datos sísmi- cos IGN y otras fuentes hasta el 1984	VIII-IX V-VI V-VI VI-VII VII-VIII
			Probabilista						
1989	APORTACION AL CONOCI- MIENTO SISMOTECTONICO DEL SUDESTE DE ESPAÑA. ENSAYO DE DELIMITACION DE FUENTES SISMICAS. (LOPEZ CASADO et al)		Probabilista Gumbel I	I			60 150		VIII IX
	FUTURA NORMA SISMORRESISTENTE	1:1M	Probabilista	a _n				Banco de datos (IGN)	0.07 g (gravedad)

Tabla 5.1 Síntesis de los estudios de riesgo sísmico que incluyen la Cuenca de Alcoy. Extraído de Estudio de Riesgos Naturales en la Ciudad de Alcoy ITGE (1990).

La NCSE-94 permite calcular la a_b para otros periodos de retorno multiplicando la a_b de $T=500$ años por $(P_R/500)^{0.37}$, siendo P_R el nuevo periodo de retorno. Además en la NCSE-94 es posible correlacionar estos valores con su equivalente en intensidad mediante la expresión:

$$I = [3.2233 + \log_{10}(a_b/g)] / 0.30103$$

Según esta expresión el sismo $I=IX$, estimado por el método determinista en el apartado 5.5.2, tendría un periodo de retorno de aproximadamente 27.000 años y supondría una a_b de 0.31.

Para las aceleraciones básicas (a_b) que se definen en el área de estudio (0.06 y 0.07) se pueden obtener las siguientes aceleraciones e intensidades en función de diferentes periodos de retorno (**tabla 5.3**):

P_R (en años)	a_b (g)	I (MSK)	a_b (g)	I (MSK)
100	0.03	5.8	0.04	6
500	0.06	6.6	0.07	6.9
1.000	0.08	7	0.09	7.2
5.000	0.14	7.9	0.16	8.1
10.000	0.18	8.2	0.21	8.5

Tabla 5.3 Valores de aceleración básica e intensidad para diferentes periodos de retorno. En negrilla se indican los dos valores definidos para la Cuenca de Alcoy. Según la NCSE-94.

Con el objeto de obtener un valor homogéneo de intensidad y aceleración para la Cuenca de Alcoy definiremos el nivel básico de peligrosidad en $a_b=0.07$, equivalente a un sismo de $I=VII$ con un periodo de retorno de 500 años.

5.4.- Elección de las hipótesis de riesgo

En la NCSE-94 se define la aceleración de cálculo (a_c) como el producto entre un coeficiente de riesgo (p) y la aceleración básica de $T=500$ años. El valor del coeficiente de riesgo se calcula por la expresión $p=(t/50)^{0.37}$ donde la variable t es el periodo de tiempo en años a considerar, habitualmente la vida de la obra. La norma establece que las construcciones de normal importancia tengan un $t \approx 50$ años, y las de especial importancia un $t \approx 100$ años (**tabla 5.4**).

T	I (MSK)	a_b	t= 50	a_c	t= 100	a_c	t=300	a_c
100	6	0.04	40%	0.04	63%	0.05	99%	0.08
1.000	7.2	0.09	5%	0.09	10%	0.12	25%	0.17
10.000	8.5	0.21	0.5%	0.21	1%	0.27	3%	0.41

Tabla 5.4 Probabilidad de excedencia para diferentes tipos de terremotos, definidos por su periodo de retorno (T), intensidad (I) y aceleración básica (a_b), y diferentes periodos de tiempo (t). En negrilla los valores escogidos para plantear las hipótesis de riesgo medio y máximo en la Cuenca de Alcoy.

A efectos de una planificación adecuada es necesario definir diferentes hipótesis de riesgo denominadas según la probabilidad de excedencia que presenten. Para la Cuenca de Alcoy definiremos dos hipótesis tomando como base una vida de obra de 100 años.

Hipótesis de riesgo medio (probabilidad de excedencia del 10%):

Correspondiente a un sismo de $T=1000$ años, de $I=VII$ y con una $a_c=0.12g$.

Hipótesis de riesgo máximo (probabilidad de excedencia del 1%):

Correspondiente a un sismo de $T=10.000$ años, de $I=VIII-IX$ y con una $a_c=0.27g$.

CAPITULO 6: Caracterización de la Respuesta del Suelo

6.1.- Clasificación de los suelos de la Cuenca de Alcoy

En este trabajo se va a usar la clasificación de suelos propuesta por el EUROCODIGO-8. En este documento se definen tres tipos básicos de suelos clasificados en función de 4 parámetros geotécnicos (**anexo I**).

La metodología empleada ha consistido en dos etapas. En primer lugar se procedió a la recopilación de información geotécnica. El documento fundamental lo ha constituido el estudio geotécnico y de riesgos geológicos del término municipal de Alcoy (IGME, 1985). En él se relacionan unidades geológicas con tipos geotécnicos a escala 1/25.000. En la **anexo II** se pueden observar las categorías de suelos resultantes para cada tipo de material geológico en función de los datos geotécnicos disponibles.

Posteriormente, mediante el uso de un sistema de información geográfico (SIG), se reclasificaron las variables que definían la estratigrafía del mapa geológico de la Cuenca de Alcoy (**fig. 4.2**) para obtener un mapa de tipos de suelos (**fig. 6.1**). Este proceso consiste simplemente en asignar un nuevo valor, que se traduce en un nuevo color, a los valores ya conocidos. Por tanto implica la obtención de un nuevo mapa a partir de otro sin reelaboración de la información precedente.

Como en todo estudio a escalas pequeñas existe un determinado grado de incertidumbre respecto a la variabilidad espacial de las propiedades geotécnicas. Un factor de importancia decisiva es la propia variabilidad de las formaciones geológicas. Así, por ejemplo, es de esperar mayor uniformidad en las propiedades geotécnicas de formaciones rocosas duras que en formaciones blandas o recientes (margas, aluviales,...). Esta incertidumbre ya está asumida, en cuanto a que las formaciones geológicas descritas en el mapa geológico (**fig. 4.2**) figuran en el mapa geotécnico general del municipio de Alcoy (1/25.000) clasificadas geotécnicamente (**anexo II**).

Hay que mencionar que en el caso de las margas miocenas Tap si bien en profundidad pueden ser consideradas rocas, presentan un espesor de meteorización suficiente para ser agrupadas como tipo B.

6.2.- Estimación de la respuesta del suelo

Para obtener las aceleraciones en terreno a partir de las dos hipótesis de riesgo definidas en el capítulo anterior se ha empleado el espectro de respuesta del EUROCODIGO-8 para un amortiguamiento del 5% (**fig. 2.4**).

En la **tabla 6.1a, b y c** se muestran los valores de aceleración deducidos del espectro para los periodos $T=0.5$ sg y $T=1$ sg.

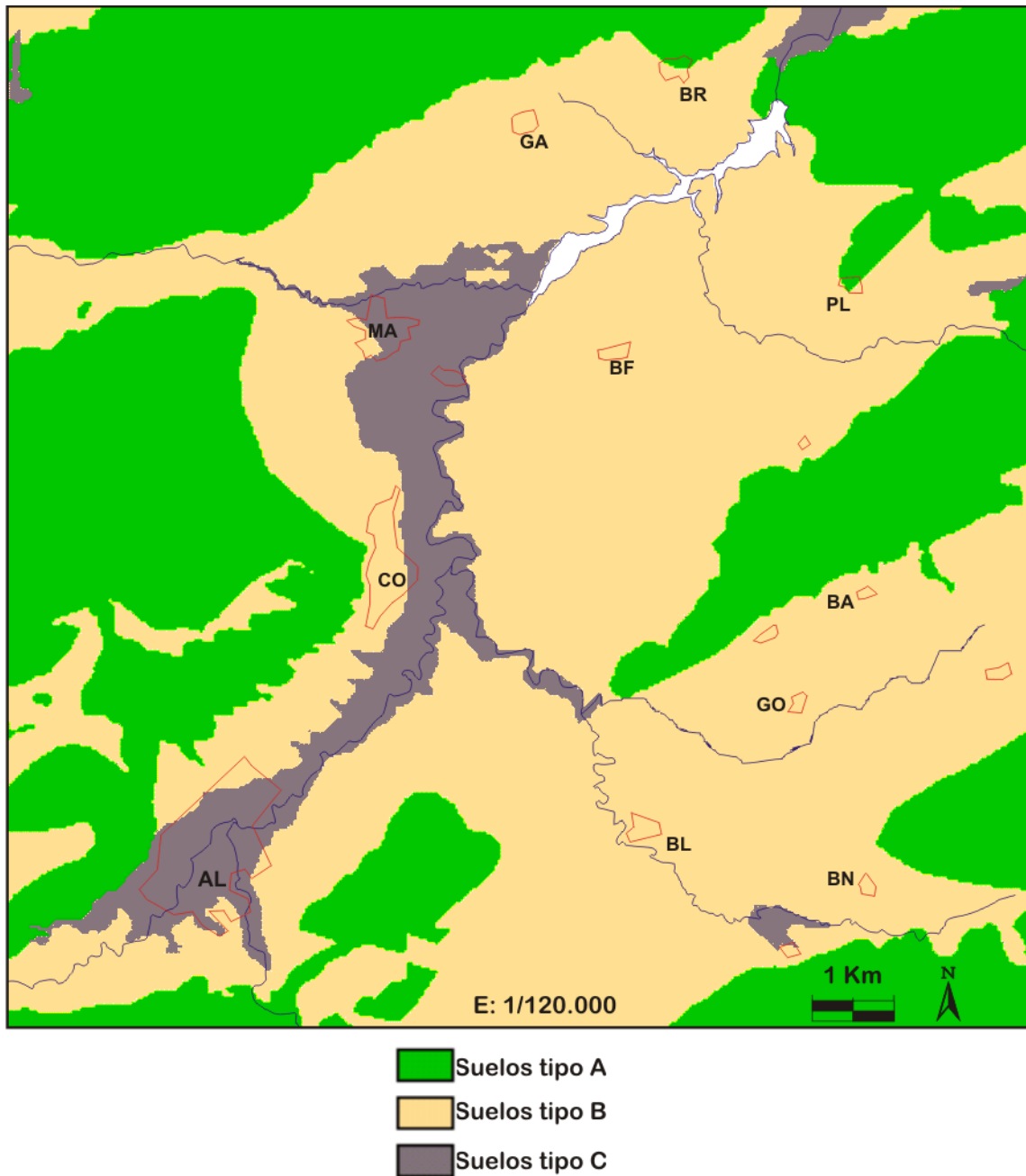


Figura 6.1.- Mapa de tipos de suelos de la Cuenca de Alcoy, según los criterios especificados en el EUROCODIGO-8. Las abreviaturas de las poblaciones son las mismas que en la figura 1.1.

(a)	SUELO TIPO C	
	$a_c = 0.12$	$a_c = 0.27$
T=0.5	0.24	0.54
T=1	0.19	0.43

(b)	SUELO TIPO B	
	$a_c = 0.12$	$a_c = 0.27$
T=0.5	0.30	0.68
T=1	0.18	0.41

(c)	SUELO TIPO A	
	$a_c = 0.12$	$a_c = 0.27$
T=0.5	0.30	0.68
T=1	0.12	0.27

Tabla 6.1 (a) Valores de la aceleración máxima horizontal esperable en suelos tipo A para los periodos 0.5 y 1, en función de las aceleraciones de cálculo de las hipótesis de riesgo. (b) Idem para suelos tipo B. (c) Idem para suelos tipo C.

CAPITULO 7: Estimación del Riesgo de Licuefacción

7.1.- Materiales susceptibles.

Durante los trabajos de campo efectuados en la Cuenca de Alcoy se pudo comprobar que los materiales cuaternarios aluviales (terrazas y llanuras de inundación, ver **fig. 7.1**) presentaban, en diversos puntos, características de materiales potencialmente licuefactables. En general se trata de materiales areno-arcillosos con bastante contenido en finos. Una descripción mas detallada se puede encontrar en el **anexo II**.

Es común que este tipo de materiales se encuentre con un grado de consolidación bajo. De hecho en el estudio geotécnico municipal de Alcoy (IGME, 1985), en un ensayo SPT realizado sobre gravas de terraza, se cita la penetración de 10-12 cm iniciales antes de alcanzar el rechazo, a pesar del contenido en gruesos. En el mismo sondeo se cita un valor de $N=20$ para "materiales finos".

Estos datos de SPT no son suficientes para caracterizar adecuadamente el potencial de licuefacción. Sería necesario, por tanto, realizar una campaña de campo más extensa y concreta.

7.2.- Posición del nivel freático

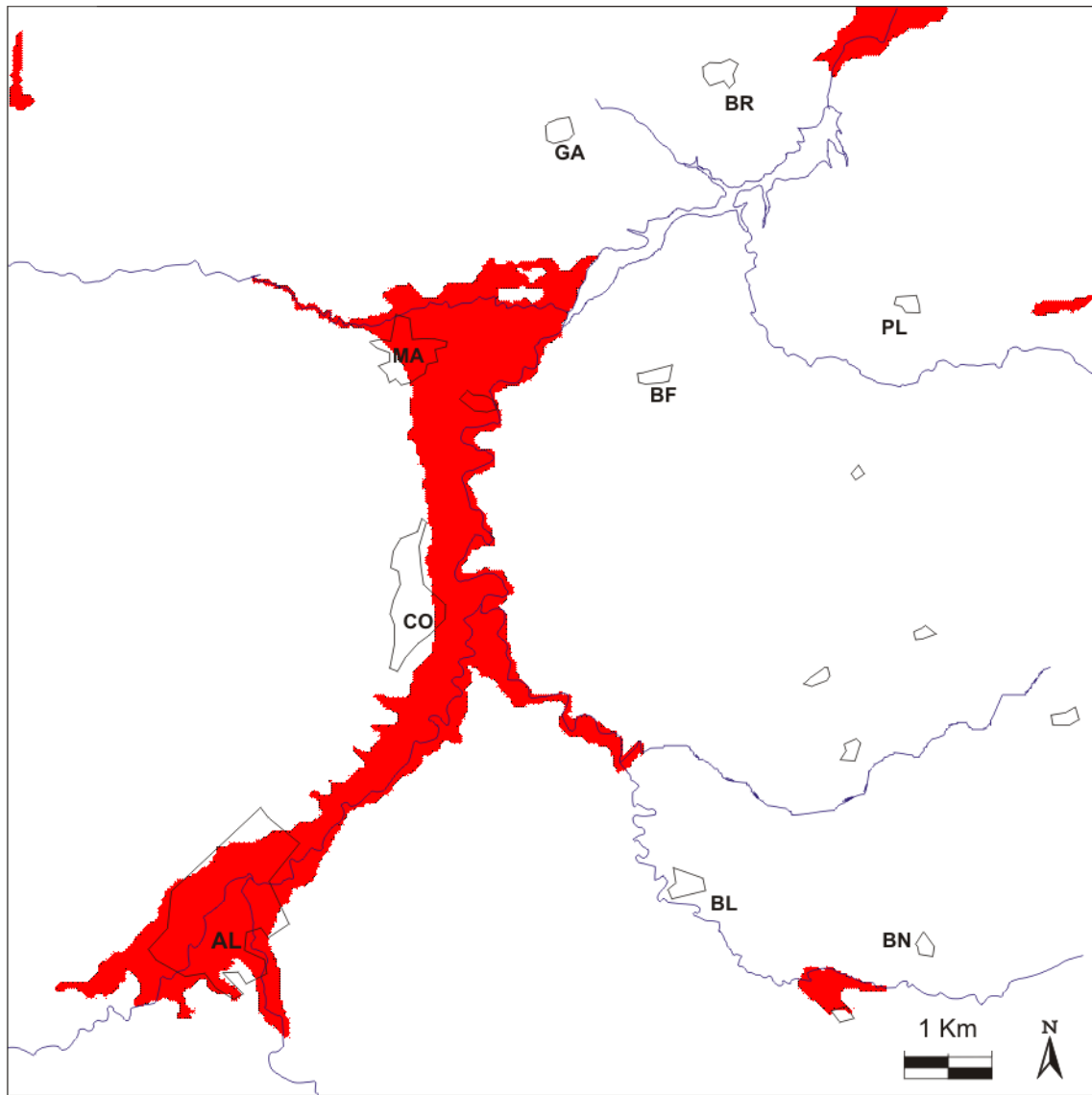
Las características geológicas de la Cuenca de Alcoy determinan que sólo existan acuíferos importantes en los materiales calizos preneógenos, tratándose de acuíferos por fisuración y carstificación. En los materiales que rellenan la cuenca solo se cita la presencia de un acuífero en los depósitos de pie de monte que se desarrollan al pie de la terminación oriental de S^a Mariola, con un nivel freático entre 20-50 metros de profundidad (IGME, 1978) (**fig. 3.2**). Respecto a los materiales aluviales, es posible encontrar en los depósitos de terraza pequeños acuíferos colgados. Estos se localizan a diferentes profundidades, principalmente someras, en capas arenosas.

7.3.- Hipótesis de partida

El trabajo de microzonación sísmica de la ciudad de Alcoy estima que el riesgo de licuefacción es improbable. Sin embargo, a falta de tener mayor número de datos disponibles, esta afirmación no puede ser extensible a todos los materiales aluviales de la cuenca.

En este trabajo se determinará el riesgo de licuefacción asumiendo una situación típica en materiales aluviales de terraza. El estudio geotécnico municipal de Alcoy (IGME, 1985) cita que la composición de los depósitos de terraza es muy variable. En este contexto y por la propia naturaleza de estos depósitos es probable la existencia de capas arenosas. Por otra parte, estudios hidrogeológicos desarrollados en la Cuenca de Alcoy (IGME, 1978), consideran la existencia de acuíferos colgados en los depósitos de terraza. Partiendo de estas consideraciones podemos asumir la existencia de un suelo susceptible de licuefactar, por ejemplo una capa arenosa saturada poco consolidada, a una profundidad de 5 metros y con un valor medio de SPT de $N=15$.

7.4.- Estimación del riesgo de licuefacción



ESCALA 1/120.000

Fig. 7.1 Distribución espacial de los materiales susceptibles de licuefacción. Las abreviaturas de las poblaciones son las mismas que en la figura 1.1.

El método consiste en calcular la tensión tangencial crítica a partir de la cual el suelo licuaría y compararla con la que producirían los sismos de la hipótesis de riesgo medio y riesgo máximo definidos en el capítulo 5. Posteriormente se establece un factor de seguridad con el cociente de ambas (**tabla 7.1**).

Este método (Finn & Atkinson, 1985) se basa en la determinación de la tensión tangencial crítica para diferentes valores del índice N corregido (N_1) y de la magnitud del sismo (M) mediante la relación:

$$CSR_{crít} = N_1 / (12.9M - 15.7)$$

Esta ecuación resulta del análisis de las curvas de Seed & Idriss (1971) (**fig. 2.8**).

Es necesario corregir el valor de partida de N a través del coeficiente C_n .

$$C_n = 1/\sqrt{\sigma'_{v0} (\text{tn}/\text{pie}^2)} \quad (\text{Liao \& Whitman, 1985})$$

$$\Rightarrow C_n = 1.46$$

$$N_1 = N \times C_n \Rightarrow N_1 = 15 \times 1.46 = 22$$

El valor de la magnitud de los sismos de hipótesis se ha obtenido a partir de la relación $M = 0.552I + 1.34$ (IGN, 1982).

En la **figura 7.2** se representan las dos rectas resultantes de aplicar la ecuación de Finn & Atkinson (1985).

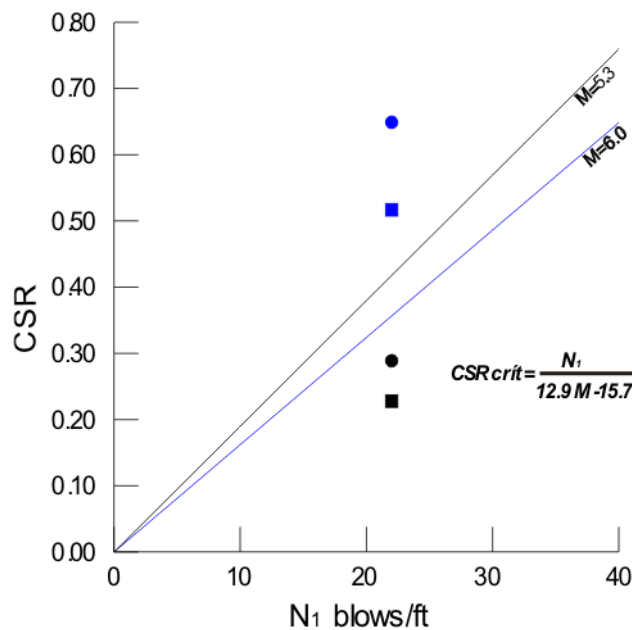
La tensión tangencial desarrollada por el suelo se ha calculado mediante la ecuación propuesta por Seed et al (1983), descrita en el apartado 2.5.1:

$$CSR = [\tau_{cm}/\sigma'_{v0}] = 0.65 [\sigma_v/\sigma'_{v0}] a_{máx}/g r_d$$

$$(r_d = 1 - 0.015 h)$$

Los valores de tensión total y efectiva se han calculado para una profundidad de 5 metros saturada y con una γ_{sat} de 2 gr/cm³. Los valores de $a_{máx}$ empleados son los que resultan de aplicar el espectro del EUROCODIGO-8 para los periodos de 1 sg. y 0.5

sg. en suelos tipo C y con la a_c correspondiente a cada sismo de las dos hipótesis (**tabla 7.1**). Teniendo en cuenta que el periodo fundamental de un paquete de suelo es $T_0 = 4H/V_s$, implícitamente estamos considerando, para un valor medio de V_s de 150m/s, espesores de 38 y 19 metros, respectivamente.



En la **figura 7.2** se pueden observar los valores de **CSR** obtenidos en relación con las curvas de licuefacción para cada tipo de sismo.

Fig. 7.2 Criterio de licuefacción para el sismo de riesgo medio en negro ($M=5.3$) y riesgo máximo en azul ($M=6.0$). Los círculos indican valores de CSR para aceleraciones máximas del terreno obtenidas para periodos de 0.5 sg, los cuadrados para periodos de 1 sg.

PERIODOS	$a_{\text{cálculo}}$	$a_{\text{máxterreno}}$	MAGNITUD	CSR _{suelo}	CSR _{crítico}	F.S licuefacción
T=1 sg.	0.12	0.19	M=5.3	0.228	0.418	1.8
T=0.5 sg.		0.24		0.289	0.418	1.4
T=1 sg.	0.27	0.43	M=6.0	0.517	0.357	0.7
T=0.5 sg.		0.54		0.649	0.357	0.5

Tabla 7.1 Datos de partida (T, a_c , $a_{\text{máx}}$ y M) y resultados obtenidos de aplicar el método de potencial de licuefacción descrito en el texto.

Finalmente se puede concluir que con el sismo de riesgo medio no sería de esperar licuefacción para las condiciones definidas anteriormente. Se obtiene un factor de seguridad de 1.8 y 1.4 para aceleraciones de 0.19 y 0.24, respectivamente (**tabla 7.1**).

Para la hipótesis de riesgo máximo es muy probable la ocurrencia de licuefacción, dentro de las condiciones impuestas inicialmente. Se obtienen factores de seguridad de 0.7 y 0.5 para aceleraciones de 0.43 y 0.54, respectivamente (**tabla 7.1**).

El carácter discontinuo de los depósitos aluviales de terraza determinará que la ocurrencia de licuefacción sea localizada.

CAPITULO 8: Estimación del Riesgo de Deslizamientos

8.1.- Antecedentes en la Cuenca de Alcoy

La ocurrencia de deslizamientos es bastante frecuente en la Cuenca de Alcoy, especialmente en las áreas cubiertas por los materiales margosos Tap (**fig. 4.2**).

El estudio geotécnico y de riesgos geológicos del término municipal de Alcoy (IGME, 1985) hace mención específica de la importancia de este riesgo. Concretamente se considera que los taludes son potencialmente inestables a partir de 15°.

Si bien los factores que controlan en general la ocurrencia de deslizamientos son muy variados, en una región como la Cuenca de Alcoy, los fenómenos de inestabilidad de laderas son susceptibles de ser relacionados con la actividad sísmica. El mismo estudio citado anteriormente cita al sismo de Onteniente del 1 de Julio de 1945 de I=VII como responsable de la activación catastrófica de por lo menos dos deslizamientos. La reactivación de deslizamientos inducidos por la acción sísmica se reconoce desde antiguo, concretamente la crónica de la época del sismo de I=VIII en Alcoy en 1620 textualmente dice:

“Al anochecer del día dos de diciembre se sintió un terremoto tan violento, que haciendo bambolear por algunos minutos todo el recinto de la población, frustró y destruyó, de un solo golpe, el fruto de sacrificios hechos en muchos siglos... la montaña Cantagallet se abrió legua y media... el monasterio de San Francisco sufrió notabilísimos desperfectos abriéndose como una granada...” (Historia de Alcoy por J. Berenguer, 1977 en I.T.G.E. 1990).

Actualmente el monte Cantagallet se encuentra incorporado al núcleo urbano de Alcoy y allí continúa teniendo lugar un deslizamiento de carácter profundo que ha motivado diversas actuaciones.

8.2.- Caracterización de los terrenos susceptibles

Los unidades geológicas que actualmente presentan deslizamientos en la Cuenca de Alcoy son (**fig. 4.2**):

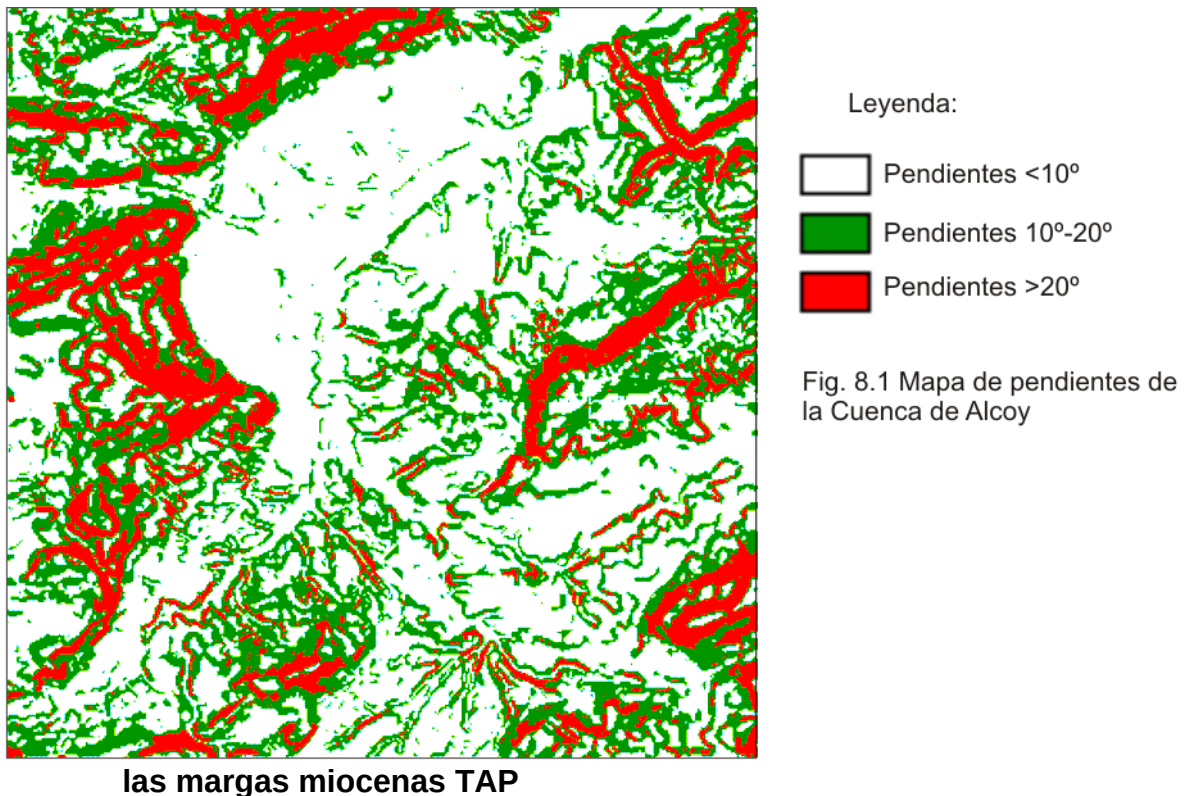
- Arcillas del Keuper: Deslizamientos superficiales y de poco volumen. La estabilidad de los taludes está fuertemente controlada por el contenido en yesos de los materiales cohesivos y por la presencia de capas duras areniscosas y dolomíticas.
- Plio-pleistoceno: En las partes más arcillosas pueden tener lugar deslizamientos profundos de rotura circular a partir de 15°. En Alcoy se cita el caso del deslizamiento de Beniata (IGME, 1985).
- Cuaternario aluvial: En general solo presentan inestabilidades tipo desplome en áreas de fuertes pendientes.
- Margas miocenas TAP: En este material se citan reptaciones del terreno en laderas con 10-20° de pendiente y deslizamientos profundos circulares a partir de 15°. En Alcoy se cita el caso del deslizamiento del Molinar (IGME, 1985). Los fenómenos de inestabilidad están controlados por la existencia de un espesor de meteorización.

8.3.- Estimación de las áreas con riesgo de deslizamientos profundos

Los materiales con mayor riesgo de presentar deslizamientos de carácter profundo ocurren en materiales del plioleistoceno y en las margas miocenas Tap. Uno de los factores que más importancia tienen en la determinación de áreas potencialmente inestables es la pendiente. Para determinar las áreas con riesgo potencial se ha elaborado un mapa de pendientes de la Cuenca de Alcoy (**fig. 8.1**). Posteriormente se han determinado las áreas donde concurren los dos tipos de material con dos rangos de pendientes diferentes: 10° - 20° y $\geq 20^{\circ}$ (**fig. 8.2**). Este proceso se ha llevado a cabo mediante un sistema de información geográfico. Primero se asignó a todas las unidades del mapa geológico un nuevo valor con el fin de obtener un mapa donde sólo las unidades plioleistocenas y margosas miocenas figurasen con valor mayor a cero. De igual manera se operó con el mapa de pendientes para los rangos 10 - 20° y $\geq 20^{\circ}$. Posteriormente se multiplicó el nuevo mapa geológico con el nuevo mapa pendientes y se obtuvo un nuevo mapa. Conociendo los valores iniciales asignados en ambos mapas es posible reconocer en el mapa multiplicación los valores de interés.

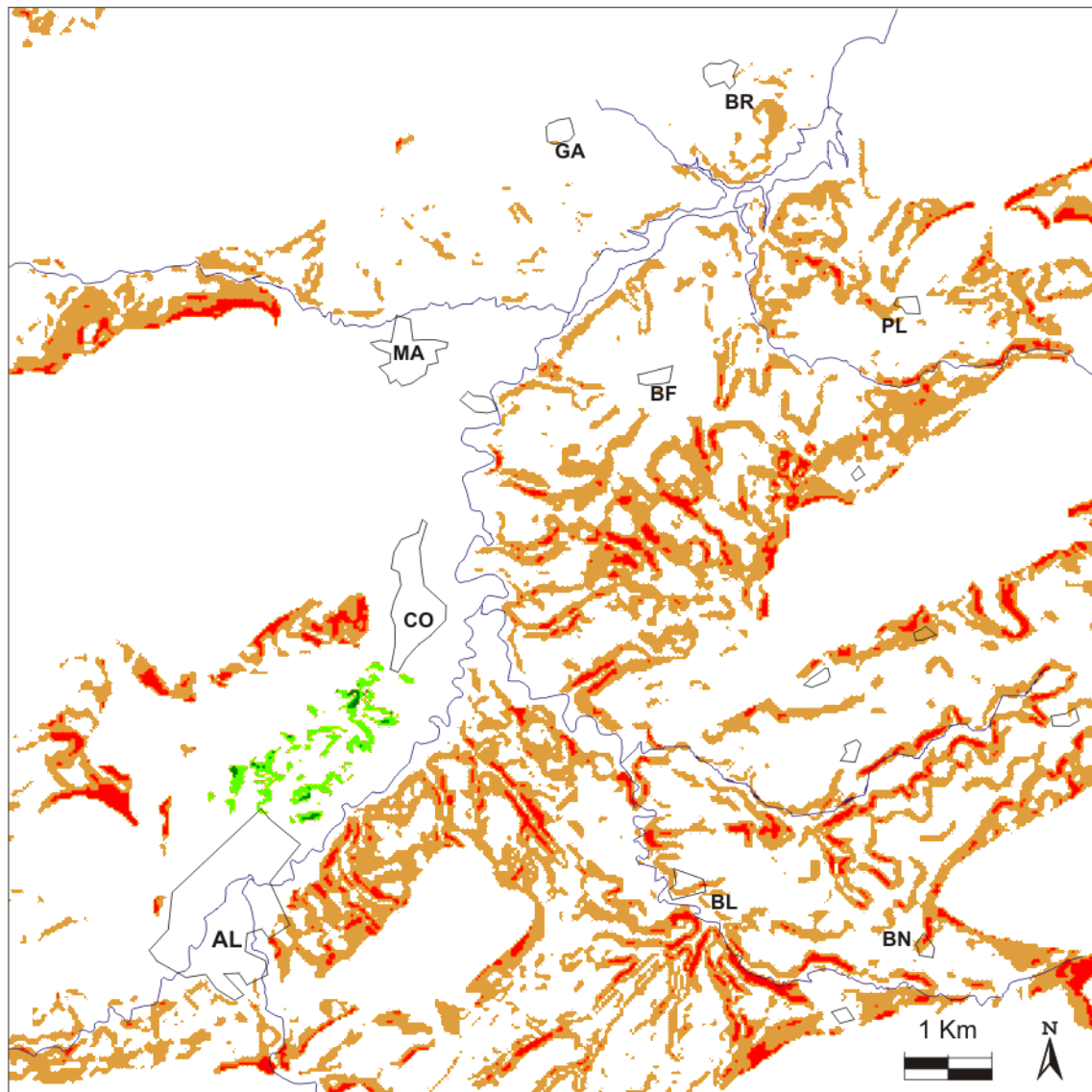
A falta de disponer de otros datos más específicos y detallados se puede considerar que el riesgo de deslizamiento será moderado en las áreas de 10 - 20° y alto en las áreas de $\geq 20^{\circ}$.

8.4.- Estimación del riesgo de deslizamiento inducido por sismos en



Conocido el riesgo de deslizamientos profundos en estos materiales, y dada su gran extensión, se han seleccionado para realizar un estudio concreto de riesgo. El método empleado constó de varias etapas.

Primeramente se configuraron dos modelos geométricos de ladera que pudieran ser considerados frecuentes en la Cuenca de Alcoy. Esta fase se realizó comparando el



ESCALA 1/120.000

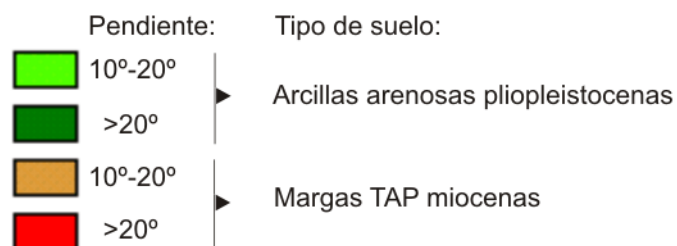


Fig. 8.2 Áreas de potencial riesgo de deslizamientos profundos en la Cuenca de Alcoy. Las áreas con pendientes entre 10-20° presentan un riesgo moderado frente a las áreas de más de 20° que presentan un riesgo alto.

mapa topográfico 1/50.000 con las áreas de pendientes 10-20° y $\geq 20^\circ$, y estimando las alturas significativas más frecuentes. Además, y con el fin de no establecer un modelo irreal se ajustaron los valores estimados a dimensiones reales de deslizamientos actualmente activos.

El primer modelo se corresponde con un talud de 10° de pendiente y una altura de 100 metros. Este modelo es de dimensiones parecidas al deslizamiento del Molinar ($h=107\text{m}$. y pendiente entre 10-20°). El segundo modelo tiene una pendiente de 20° y 50 metros de alto, y es un caso frecuente en áreas abarrancadas.

En ambos modelos se han definido dos tipos de suelo: margas alteradas removilizadas con valores de resistencia residuales y margas sanas con valores de resistencia de pico. Estos valores han sido extraídos del estudio geotécnico municipal de Alcoy (IGME, 1985) (tabla 8.1).

VALORES PICO		VALORES RESIDUALES	
c' (tn/m ²)	ϕ'	c' (tn/m ²)	ϕ'
5	20°	0	16°

Tabla 8.1 Valores pico y residuales supuestos para caracterizar el comportamiento durante un sismo de los materiales que constituyen los dos modelos geométricos.

A continuación se ha construido el perfil de cada modelo a partir de los datos de profundidad de la capa alterada en zonas llanas y zonas de ladera (IGME, 1985).

Para el estudio de la estabilidad ante la acción sísmica de los modelos definidos es necesario asumir una serie de hipótesis:

1. Se parte de deslizamientos preexistentes que se encuentran en situación metaestable, con factores de seguridad reducidos comprendidos entre 1.1-1.2. Por tanto estamos analizando el caso de reactivación de deslizamientos, que es la situación más frecuente en la que tienen lugar deslizamientos inducidos por sismos.
2. La superficie de deslizamiento es curva y abarca al talud desde la cabecera al pie. Además solo desliza la capa alterada, ajustándose al máximo al contacto con la capa sana. Estas condiciones están tomadas del deslizamiento del Molinar (IGME, 1985).
3. Se considera que existe un nivel de saturación desde el contacto con la formación sana (impermeable) hasta el contacto con el pie del talud.
4. No se consideran otros tipos de efectos sísmicos sobre el suelo (subpresiones, subsidencias,...).
5. Se considera que la resistencia estática y dinámica del suelo es similar.

Admitiendo las dos últimas hipótesis se puede emplear el método pseudoestático de Newmark (1965) para calcular la aceleración de rotura o crítica que determina el comienzo de la inestabilidad. Este método es el empleado por Higgings & Rockaway (1986) en un trabajo similar. La aceleración crítica viene dada por la siguiente expresión:

$$N=(FS-1)\text{sen}\beta$$

Donde:

N: Aceleración horizontal sísmica crítica en unidades g para la cual tiene lugar el deslizamiento.

FS: Factor de seguridad estático.

β : Angulo entre la línea que une el centro de gravedad de la masa involucrada con el centro del círculo de rotura y la vertical.

El análisis de estabilidad de los dos modelos geométricos definidos anteriormente ha sido realizado mediante el programa PCSTABLE versión MS-DOS, usando el método simplificado de Bishop para roturas circulares. Se ha iterado varias veces hasta conseguir cumplir las hipótesis geométricas de ruptura y obtener factores de seguridad entre 1.1-1.2. Los ficheros de entrada (.inp) y de salida (.out) se pueden ver en el **anexo III**. En la **tabla 8.2** se presenta un resumen de los resultados y en las **figuras 8.3 y 8.4** la forma del deslizamiento para cada modelo. El centro de gravedad y el ángulo β se calculó mediante un programa de diseño asistido por ordenador (AutoCAD).

MODELO	FS calculado	β	N
1 $\alpha=10^\circ$; H=100 m	1.239	9.70°	0.04
2 $\alpha=20^\circ$; H=50 m	1.102	18.50°	0.03

Tabla 8.2 Factores de seguridad, ángulos β y valores de la aceleración de rotura calculados para los dos modelos descritos.

Posteriormente se ha procedido a calcular el factor de seguridad que sería necesario para garantizar la estabilidad de los dos modelos para las aceleraciones de cálculo del sismo de hipótesis de riesgo media y máxima (**tabla 8.3**):

MODELO	a_c	β	FS'
1 $\alpha=10^\circ$; H=100 m	0.12	9.70°	1.712
	0.27		2.602
2 $\alpha=20^\circ$; H=50 m	0.12	18.50°	1.378
	0.27		1.851

Tabla 8.3 Valores del factor de seguridad (FS') para las aceleraciones de cálculo del sismo de hipótesis de riesgo media (0.12) y del sismo de hipótesis riesgo máxima (0.27)

MODELO	a_c	FS/FS'
1 $\alpha=10^\circ$; H=100 m	0.12	0.7

2 $\alpha=20^\circ$; H=50 m		0.8
1 $\alpha=10^\circ$; H=100 m	0.27	0.5
2 $\alpha=20^\circ$; H=50 m		0.6

Tabla 8.4 Relación entre el factor de seguridad obtenido del análisis de estabilidad (FS) y el factor de seguridad necesario para garantizar la estabilidad del talud ante las dos situaciones de riesgo (FS').

El cociente entre el factor de seguridad (FS) calculado en el análisis de estabilidad y el factor de seguridad (FS') para las hipótesis de riesgo, puede dar una idea aproximada de la estabilidad de los modelos ante una situación sísmica de riesgo medio y/o máxima (**tabla 8.4**).

Finalmente se puede concluir que el sismo de hipótesis media ($a_c=0.12$) es suficiente para reactivar deslizamientos que cumplieran todas las hipótesis definidas anteriormente y se ajustaran a los datos geomecánicos y geométricos de partida.

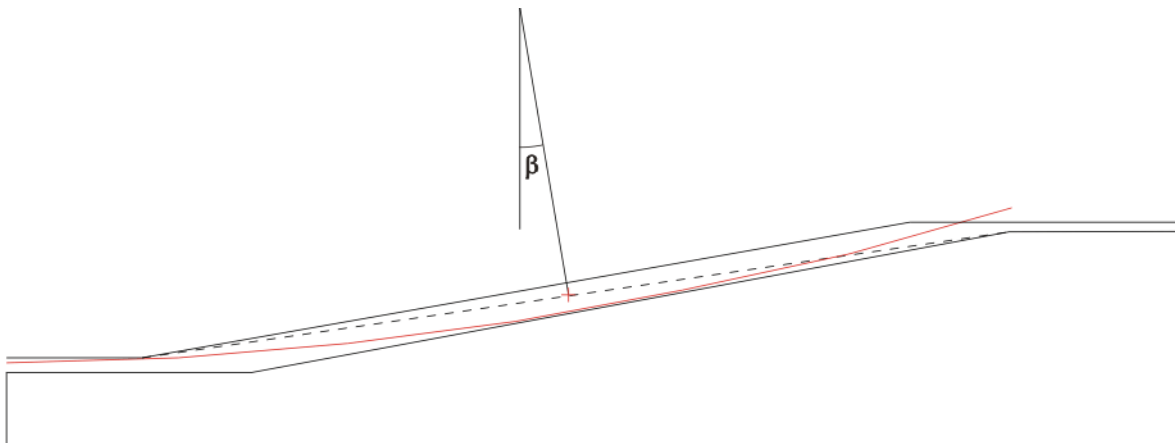


Fig. 8.3 Modelo 1 Talud de 100 m y 10°
El área con trama indica roca sana. La línea a trazos representa el nivel de saturación de la capa alterada. La línea roja es la superficie de deslizamiento, y la cruz roja es el centro de gravedad.

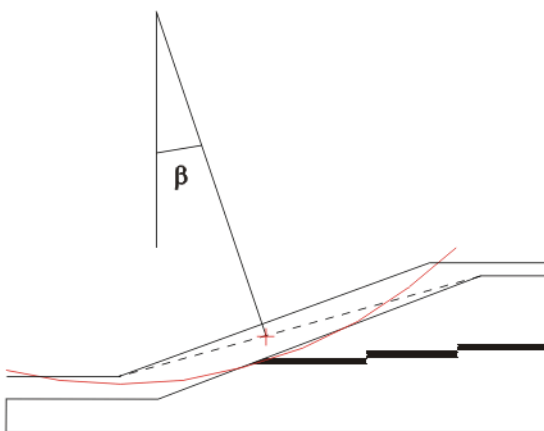


Fig. 8.4 Modelo 2. Talud de 50 m y 20°
El área con trama indica roca sana. La línea a trazos representa el nivel de saturación de la capa alterada. La línea roja es la superficie de deslizamiento, y la cruz roja es el centro de gravedad.

CAPITULO: 9 Zonificación del Riesgo Sísmico

9.1.- Zonificación del efecto sitio

En la **fig. 9.1** se representa la distribución de los tipos de suelos definidos en el EUROCODIGO-8 para la Cuenca de Alcoy. Para cada hipótesis de riesgo se indican los valores de la máxima aceleración horizontal calculados. Dentro de un mismo tipo de suelo los valores de aceleración se corresponden con los periodos 0.5 sg y 1 sg.

9.2.- Zonificación de riesgos inducidos

En este apartado se integran los resultados obtenidos de la estimación del riesgo de licuefacción y deslizamientos. Para ello se han elaborado dos mapas de riesgo, definidos en función de las hipótesis de riesgo consideradas en este trabajo (**figs. 9.2 y 9.3**). También se han incluido las trazas superficiales de las fallas activas detectadas en el área.

9.2.1.- Zonas con riesgo de deslizamientos

El riesgo de reactivación de deslizamientos por efectos sísmicos sólo se ha analizado en las margas miocenas Tap, y para los dos modelos de deslizamiento definidos en el capítulo 8 (tipo 1 y tipo 2). En el mapa se localizan las áreas susceptibles de presentar este riesgo para ambos modelos. Éstas se determinaron mediante un sistema de información geográfico. El proceso consistió en reclasificar los valores del mapa de pendientes para obtener un nuevo mapa con valores ajustados al problema. Concretamente, los intervalos de reclasificación fueron 9.5°-10.5° para el modelo 1, y 19.5°-20.5° para el modelo 2.

Este riesgo tiene lugar para cualquiera de las dos hipótesis analizadas, si bien se puede considerar que con la hipótesis de riesgo máximo la probabilidad de ocurrencia será mayor.

9.2.2.- Zonas con riesgo de licuefacción

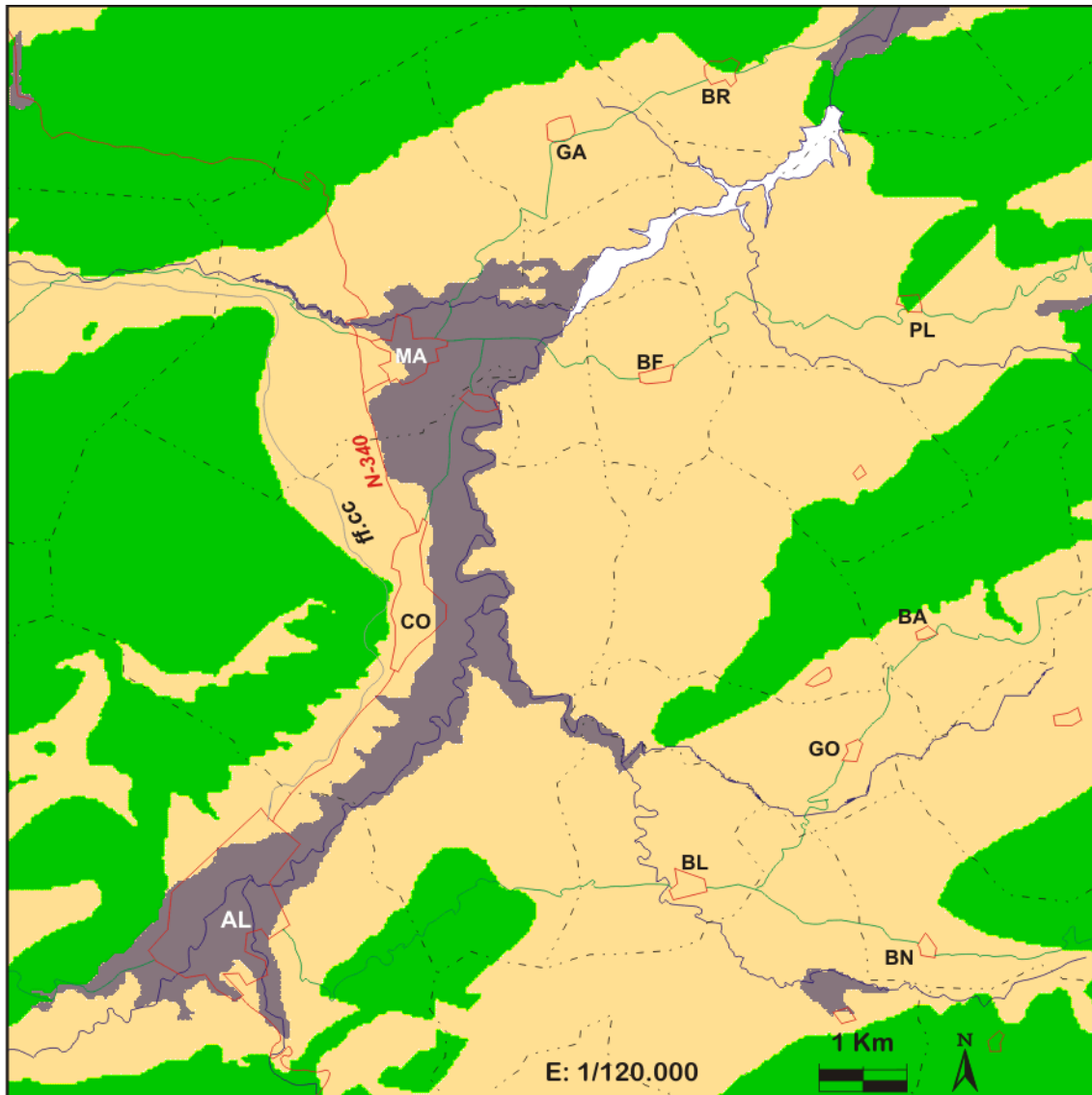
El riesgo de licuefacción sólo se presenta para la hipótesis de riesgo máxima. El mapa señala las áreas donde es probable que ocurra este fenómeno.

La ocurrencia de licuefacción se verá limitada a aquellos sitios donde se cumplan las condiciones impuestas en el capítulo 7, concretamente: capas arenosas saturadas poco consolidadas, a una profundidad de 5 metros y con un valor medio de SPT de N=15.

9.2.3.- Zonas con riesgo de rotura del terreno

Es importante señalar la importancia que podría tener la rotura en superficie de las fallas activas detectadas, en relación con las infraestructuras lineales de la Cuenca de Alcoy.

La rotura de la Falla de Alcoy-Cocentaina podría determinar daños graves tanto en la carretera N-340 como en la línea de ferrocarril Alcoy-Valencia. La Falla de Mariola también podría dañar a la línea de ferrocarril. Además, el segmento sur podría afectar al núcleo urbano de Cocentaina. Finalmente, la Falla de Benasau podría afectar a la carretera comarcal 3313.

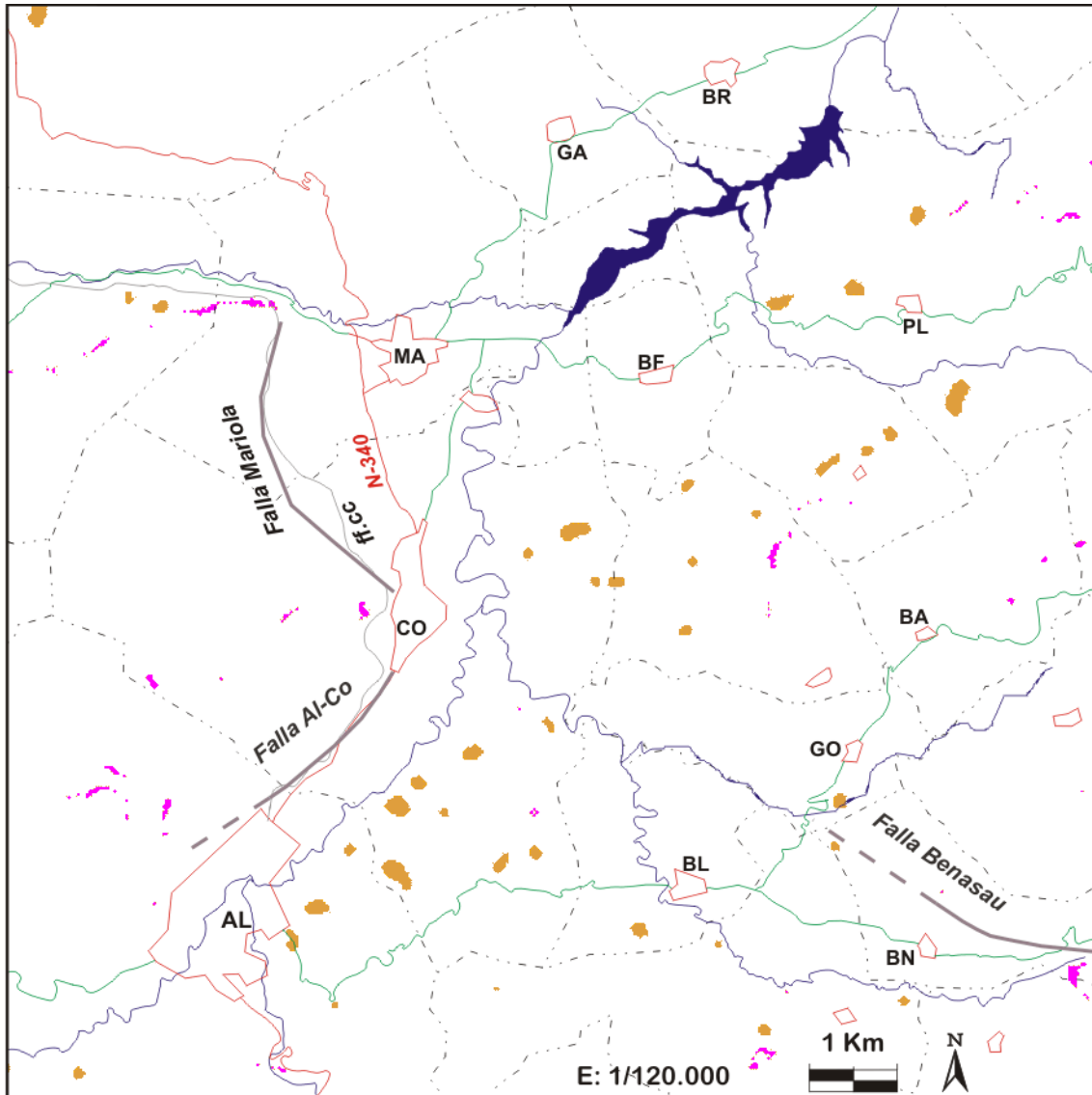


ZONIFICACION DEL EFECTO SITIO

HIPOTESIS MEDIA			HIPOTESIS MAXIMA		
Sismo de I=VII, T=1.000 años, ac=0.12g			Sismo de I=VIII-IX, T=10.000 años, ac=0.27g		
Tipo de Suelo	Aceleración máxima*		Tipo de Suelo	Aceleración máxima*	
A	0.30	0.12	A	0.68	0.27
B	0.30	0.18	B	0.68	0.41
C	0.24	0.19	C	0.54	0.43

*Los valores se corresponden con los periodos 0.5 y 1 sg respectivamente.

Figura 9.1. Zonificación del efecto sitio para las hipótesis de riesgo medio y máximo (figura adaptada de la versión póster).



RIESGOS ANALIZADOS:

ZONIFICACION DE RIESGOS INDUCIDOS

HIPOTESIS MEDIA:
Sismo de $I=VII$, $T=1.000$ años
y $ac=0.12g$

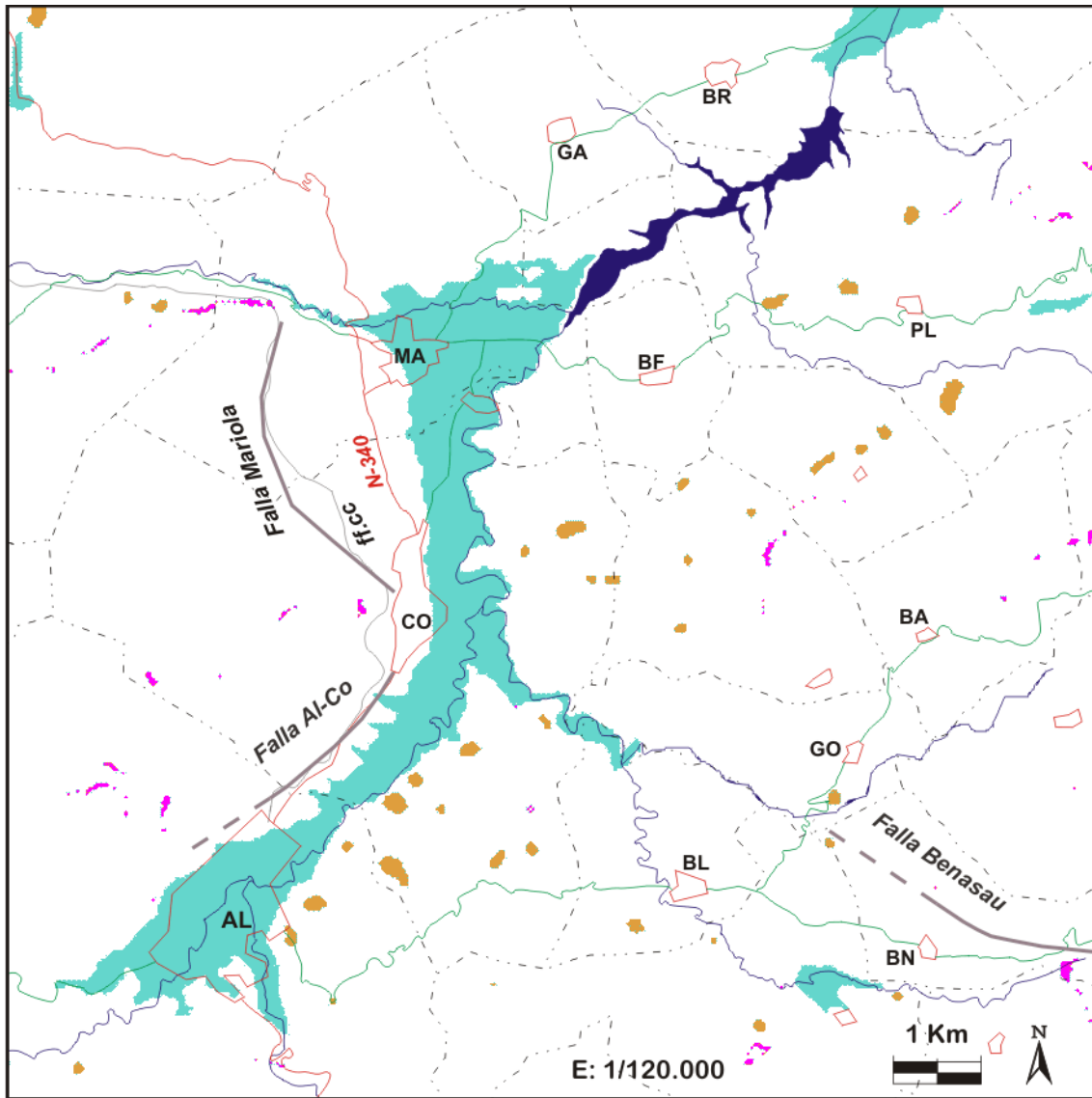
Reactivación de deslizamientos en
margas miocenas Tap:

- Deslizamiento Tipo 1: $\alpha=10^\circ$, $H=100$ m.
- Deslizamiento Tipo 2: $\alpha=20^\circ$, $H=50$ m.

Licuefacción en materiales aluviales de terraza:

NO HAY RIESGO DE LICUEFACCION

Figura 9.2. Mapa de riesgos inducidos para la hipótesis de riesgo medio (figura adaptada de la versión póster).



ZONIFICACION DE RIESGOS INDUCIDOS

HIPOTESIS MAXIMA:
Sismo de $I=VIII-IX$,
 $T=10.000$ años y $ac=0.27g$

RIESGOS ANALIZADOS:

Reactivación de deslizamientos en margas miocenas Tap:

- Deslizamiento Tipo 1: $\alpha=10^\circ$, $H=100$ m.
- Deslizamiento Tipo 2: $\alpha=20^\circ$, $H=50$ m.

Licuefacción en materiales aluviales de terraza:

- Licuefacción muy probable en capas arenosas saturadas ($N=15$, $h=5$ m).

Figura 9.3. Mapa de riesgos inducidos para la hipótesis de riesgo máximo (figura adaptada de la versión póster).

CAPITULO 10: Conclusiones y Recomendaciones

10.1.- Conclusiones

En la elaboración de este trabajo se han realizado estudios multidisciplinarios. A continuación se establecen las conclusiones específicas de cada uno de ellos.

10.1.1.- Sismicidad regional

En el capítulo tres se puso de manifiesto el contraste que existía entre la información sísmica procedente de los datos históricos y la procedente de los datos instrumentales. Los datos históricos indicaban un nivel de sismicidad más alto en relación a los del periodo instrumental. El ajuste exponencial de Gutenberg-Richter para el periodo histórico proveía un parámetro b de -0.316 y determinaba un sismo máximo de XII (**fig. 3.3**). Mientras que en el periodo instrumental b valía -0.814 y determinaba un sismo máximo de VII-VIII (**fig. 3.8**).

Este hecho puede ser debido a dos causas principales: la sismicidad histórica en la región está sobrestimada, o el periodo instrumental aun no ha registrado eventos sísmicos similares a los del pasado reciente. Asumiendo que los datos sísmicos históricos están correctamente estimados, podemos considerar que actualmente la región se encuentra en un periodo de tranquilidad sísmica relativa.

Por otra parte la distribución epicentral, salvando los errores comentados en el capítulo 3, parece asociarse fundamentalmente con accidentes regionales de dirección ENE-WSW y NNW-SSE (**fig. 3.12**). Ambos accidentes han tenido actividad desde principios del periodo neógeno con cinemáticas diferentes.

En el capítulo 4 se evidenció la existencia de áreas exentas de sismicidad, o con escasa representación, tanto en el periodo histórico como en el instrumental. Éstas eran la parte oriental de la Plataforma de Albacete y la zona del Cabo de la Nao. En esta última se reconocen accidentes importantes (Fallas del Finestrat y Altea) que han tenido actividad durante el periodo neógeno. Estas fallas deberían presentar mayor actividad sísmica, ya que su orientación es favorable respecto a la dirección de máximo acortamiento, como se constata en otras fallas cercanas de similar dirección (Falla de Jijona). Por otra parte, tanto la prolongación oriental de la Falla de Crevillente como la prolongación meridional del Arco Extensional Valenciano, no presentan epicentros en este área.

En base a estas evidencias, es muy probable que esta zona se encuentre, actualmente, en un periodo de concentración tensional asísmico.

Por otra parte se constata la existencia de aglomeraciones de sismos en zonas de intensa fracturación, que generalmente coinciden con la intersección de grandes accidentes. Concretamente hay que destacar la zona norte de la depresión del Vinalopó, donde coinciden la Falla del Vinalopó con la Falla de S^a Grossa-Gorda y la Flexura Sur Valenciana. También, al sur de la depresión del Vinalopó, la intersección entre la Falla del Vinalopó y la Falla de Crevillente.

10.1.2.- Tectónica activa en la Cuenca de Alcoy

La Cuenca de Alcoy presenta evidencias claras de actividad tectónica actual. En este trabajo se ha evidenciado la existencia de varias fallas activas en la zona, así como de otras con actividad no demostrada, pero con similitudes próximas a falla activa. Se pone de manifiesto la posibilidad de que existan más fallas activas en el área.

Concretamente, en la zona cercana a la cerrada del embalse de Beniarrés (**fig. 4.3**), se sitúan dos epicentros instrumentales. Uno de ellos de magnitud 4 y con un error horizontal de localización de tan solo 4 Km. En el mapa geológico de la Cuenca de Alcoy (**fig. 4.1**) se sitúa una falla ENE supuesta, coincidente con el límite norte de la S^a de la Albureca. Por otra parte, en el modelo digital del terreno de la Cuenca de Alcoy, puede observarse una fuerte linealidad en esta zona, exactamente en la parte sur de la cola del embalse. Esta zona debe ser objeto de nuevos trabajos de campo y de gabinete, ya que la interacción entre una posible falla activa y el embalse de Beniarrés supondría un factor de riesgo potencial.

10.1.3.- Determinación de la peligrosidad

Es importante destacar las fuertes discrepancias existentes entre los diversos estudios de peligrosidad que abarcan el área de estudio, aún cuando usan métodos similares. En este trabajo se ha determinado la peligrosidad de la zona mediante la actual norma sismorresistente NCSE-94 de obligado cumplimiento. Este documento estima un periodo de retorno de 27.000 años para el sismo de I=IX cuando otros autores señalan un periodo de retorno de tan solo 150 años. Salvando estas discrepancias, por otra parte inevitables, la norma NCSE-94 ofrece una manera sencilla de obtener parámetros sísmicos significativos (intensidad, aceleración, periodo de retorno) para cualquier área del territorio español. Estos datos, a parte de su aplicación directa sobre el diseño estructural sismorresistente, abren la posibilidad de realizar estudios con carácter cuantitativo sobre otros temas relacionados con el riesgo sísmico. De esta manera se han definido dos hipótesis de riesgo para estimar la ocurrencia de licuefacción y de deslizamientos en la Cuenca de Alcoy:

Hipótesis de riesgo medio (probabilidad de excedencia del 10%):

Correspondiente a un sismo de T=1000 años, de I=VII y con una $a_c=0.12g$.

Hipótesis de riesgo máximo (probabilidad de excedencia del 1%):

Correspondiente a un sismo de T=10.000 años, de I=VIII-IX y con una $a_c=0.27g$.

10.1.4.- Caracterización de los suelos ante la acción sísmica

En el capítulo dos, sobre metodología general en los estudios de zonificación sísmica, se estableció una comparativa entre los tipos de suelos definidos en diferentes normativas (NCSE-94, EUROCODIGO-8 y Recommandatios de la AFPS) y se comprobó que existían diferencias entre ellos. A su vez, los valores máximos del espectro de respuesta de cada norma también se compararon y se constató que la norma española ofrecía valores más bajos para suelos intermedios y blandos.

En este trabajo se ha utilizado la clasificación de suelos propuesta por el EUROCODIGO-8, ya que presenta una descripción de las tipologías de suelos muy adecuada en relación a la información que ofrecía el estudio geotécnico municipal de Alcoy (IGME, 1985). Por tanto, la respuesta del suelo ante la acción sísmica ha sido determinada a través del espectro de respuesta definido en el EUROCODIGO-8 (**tabla 6.1**).

Se ha cartografiado la extensión de cada uno de los tipos de suelos en la Cuenca de Alcoy (**fig. 61**). Los suelos tipo C (blandos) son los de menor representación espacial y se localizan siguiendo los cursos fluviales más importantes, situándose a su vez, cerca de las poblaciones principales (Alcoy, Cocentaina y Muro de Alcoy). Los suelos tipo A

(roca) son muy abundantes y se sitúan en los relieves. Los tipo B (intermedios) también son muy abundantes y se localizan en las depresiones.

10.1.5.- Estimación del riesgo de licuefacción y de deslizamientos

En los capítulos 7 y 8 se cartografiaron las áreas que son susceptibles de experimentar estos riesgos y se comprobó, tras definir unas hipótesis de partida, que ambos son probables de ocurrir en la Cuenca de Alcoy.

Concretamente, fenómenos de licuefacción del terreno son muy poco probables de presentarse con la hipótesis de riesgo medio ($mb=5.3$) y muy probables con la de riesgo máximo ($mb=6.0$). Por otra parte se prevé que las áreas de ocurrencia serán localizadas.

Los fenómenos de inestabilidad de laderas son frecuentes en la Cuenca de Alcoy, en especial en los materiales margosos miocenos (**fig. 8.2**). En este trabajo se han definido dos modelos de deslizamiento en estos materiales a partir de datos reales de campo (**figs. 8.3 y 8.4**). El modelo tipo 1 se corresponde con una ladera de altura 100 m. y pendiente 10° , y el modelo tipo 2 presenta una altura de 50 m. y una pendiente de 20° . Se ha demostrado que cualquiera de las dos hipótesis de riesgo es suficiente para reactivar deslizamientos preexistentes en ambos modelos.

La metodología empleada en este trabajo para estimar ambos riesgos se ha mostrado eficaz para aplicarse en áreas extensas. Sin embargo es necesario resaltar que para realizar una estimación más ajustada del potencial de licuefacción sería necesario contar mayor número y distribución espacial de datos de campo, fundamentalmente SPT. A su vez, el riesgo de deslizamiento estaría mejor caracterizado si se contara con un inventario de inestabilidades de la zona con objeto de definir un mayor número de modelos a tratar.

10.2.- Recomendaciones

La consecuencia más directa de un trabajo de estas características es proveer una base para la adecuada ordenación territorial de la Cuenca de Alcoy. Para alcanzar este objetivo hubiera sido necesario contar con estudios más detallados de campo, como se explicó en diferentes apartados. Por lo tanto, el presente estudio debe considerarse como una aproximación a la determinación de áreas que presentan riesgos derivados de la actividad sísmica en la Cuenca de Alcoy.

Las aplicaciones generales derivadas de este estudio de zonificación sísmica pueden ser clasificadas a nivel de núcleo urbano y a nivel de territorio. En el primer nivel podríamos destacar las siguientes:

- Planes de ordenación urbana.
- Planes de emergencia sísmica.
- Concienciación de la sociedad.

A nivel territorial se puede destacar su uso en:

- Planes de Ordenación territorial.
- Estudios de anteproyecto para el emplazamiento de estructuras de potencial riesgo para el medioambiente y sociedad: (centrales energéticas, reservorios, embalses,...)
- Aplicación a la mejora de normas de construcción locales.

La Cuenca de Alcoy actualmente experimenta crecimiento demográfico e industrial y por tanto, obtendría un beneficio inmediato de aplicar estos criterios en su ordenación territorial.

Por otra parte, la Cuenca de Alcoy debe ser objeto de nuevos estudios neotectónicos encaminados a detectar la presencia de fallas activas. Estos estudios son fundamentales para determinar las áreas donde es posible la ruptura superficial del terreno y por tanto evitar la construcción de estructuras de importancia cerca de ellas.

También deberían desarrollarse en el área estudios de paleosismicidad. Este tipo de estudios permiten aumentar la información sísmica, especialmente en sismos intensos. Con datos renovados información la peligrosidad sísmica del área podría ser nuevamente evaluada.

Los estudios geotécnicos de los diferentes municipios de la Cuenca de Alcoy deben de tener en cuenta la existencia de los riesgos analizados en este trabajo, y obligar a realizar campañas de campo que los evalúen adecuadamente, en especial cuando se trate de construcciones de importancia (hospitales, centros escolares,...).

CAPITULO 11: Bibliografía

AFPS (1990). *Recommandations pour la redaction de regles relatives aux ouvrages et installations a realiser dans las regions sujettes aux seismes*. Presses de l'école Nationale des Ponts et Chaussées. París.

Aki, K. and Richards, P.G. (1980). *Quantitative Sismology*. Theory and Methods. W.H. Freeman and Company. San Francisco.

Almela, A., Quintero, I., Gómez, E. y Mansilla, H. (1975). Mapa Geológico de España, nº 821 (ALCOY). 1:50.000. IGME, Madrid.

Bolt, B.A. and Bullen, K.E. (1985). *An Introduction to the Theory of Sismology*. Cuarta edición. Cambridge University Press. Cambridge.

Bolt, B.A. (1993): *Earthquakes*. University of California, Berkeley. Edit. W.H. Freeman and Company, 3ª edición revisada y expandida. New York.

Borcherdt, R.D. (1994). Estimates of Site-Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification). *Eartquake Spectra*, vol. 10, No. 4, pp.: 617-653.

Bousquet, J.C., Montenat, C. y Philip, H. (1976). La Evolución Tectónica Reciente de las Cordilleras Béticas Orientales, en: *Reunión Sobre la Geodinámica de la Cordillera Bética y Mar de Alborán*. Universidad de Granada, publicación 1978, pp:59-78.

Cater, J.M.L. (1987). Sedimentary evidence of the Neogene evolution of SE Spain. *Journal of the Geological Society*, 144:915-932.

Colodrón, I., Ruiz, V. y Núñez, A. (1981). Mapa Geológico de España, nº 847 (VILLAJO-YOSA). 1:50.000. ITGE, Madrid.

De Ruig, M.J. (1990). Fold trends and stress deviation in the Alicante fold-belt, southeastern Spain. *Tectonophysics*, 184:393-403.

De Ruig, M.J. (1992). *Tectono-sedimentary evolution of the prebetic fold belt of Alicante (SE Spain): a study of stress fluctuations and foreland basin deformation*. Vrije Universiteit, Amsterdam. Tesis. 207 pp..

Dowrick, D.J. (1977). *Earthquake Resistant Design. A Manual for Engineers and Architects*. John Willey & Sons. Great Britain.

EUROCODIGO-8. (1997): Proyecto para Resistencia al Sismo de las Estructuras. Pre-norma europea.

Finn, W.D.L & Atkinson, G.M. (1985). Probability of Seismically induced liquefaction in British sector of North Sea. *Earthquake Engineering in Britain*. Thomas Telford Ltd., London.

Ferrieux, H. & Solulas, J.P. (1991), Introduction, discussion and concluding remarks on theme 2B (Seismotectonic Analysis and Characterization of Source Zones: Research aspect). En: *Proc. of the Int. Conf. on Seismic Hazard Determination in Areas with Moderate Seismicity*, pp.:131-140. Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, France. Ouest Editions.

Fontserè, E. y Iglésies, J. (1971). *Recopilació de Dades Sísmiques de les Terres Catalanes Entre 1100 i 1906*. Fundació Salvador Vives Casajuana, 546 pp. Barcelona.

Galbis Rodríguez, J. (1932). *Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W y paralelos 45° y 25°N*. IGN, tomo I, 807 pp.

Galbis Rodríguez, J. (1940). *Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5°E y 20°W y paralelos 45° y 25°N*. IGN, tomo II, 277 pp.

Geli, L., Bard, P. and Jullien, B (1988). The effect of topography on earthquake ground motion: a review and a new results. *Bulletin of the Sismological Society of America*, vol. 78, nº 1, pp 42-63.

González de Vallejo, L.I., Capote, R., Carbó, A. (1980). Metodología para la Ordenación Territorial en función del Riesgo Sismotectónico. Aplicación a la España Peninsular. 1ª *Reunión Nacional de Geología Ambiental y Ordenación del Territorio*. Santander. Tomo I, págs: 1-16.

Goy, J.L., Zazo, C., Silva, P. y Bardají, T. (1989). Actividad Neotectónica Cuaternaria en la Cuenca Neógena de Alcoy (España). Aplicación de Criterios Geomorfológicos. *Actas de la 2ª Reunión sobre el Cuaternario Ibérico*. Madrid. Vol.: 2, pp: 691-696.

Griffiths, D.W., Bollinger, G.A. (1979). The effect of Appalachian Mountain on seismic waves. *Bull. Seism. Soc. Am.* 69, 1081-1105.

Higgins, J.D. & Rockaway, J.D. (1986). A graphics system for seismic response mapping. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*. Vol. XXIII, No. 1, pp:77-91.

I.G.N. (1982). *Catálogo General de Isosistas de la Península Ibérica*. Publicación 202. Madrid.

I.G.M.E. (1973). Mapa Geotécnico General de Alcoy. E: 1/200.000. Madrid.

I.G.M.E. (1975). Mapa Geológico de Alcoy. E: 1/50.000. Madrid.

I.G.M.E. (1978). Mapa de Orientación al Vertido de Residuos Urbanos. Madrid.

I.G.M.E. (1985). Mapa Geotécnico y de Riesgos Geológicos para la Ordenación Urbana de Alcoy. Mapa de Riesgos Geológicos. E: 1/25.000, 1/2.500 y 1/1000. Madrid.

I.G.M.E. (1987). *Impacto Socioeconómico de los Riesgos Geológicos en España*. Serie: Geología Ambiental. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

I.T.G.E. (1990): *Estudio de Riesgos Naturales en la Ciudad de Alcoy*. Serie Ingeniería Geoambiental. 214 pp. Ministerio de Industria y Energía. Madrid.

Liao, S.C. and Whitman, R.V. (1985). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. *Journal of Geotechnical Engineering Div.*, ASCE, Vol.112, nº 3, pp:373-377.

López Casado, C., Estévez, A., Pina, J.A., Sanz de Galdeano, C. (1987). Alineaciones sismotectónicas en el sudeste de España. Ensayo de delimitación de fuentes sísmicas. Univ. de Alicante. *Mediterránea*, nº6, pp.:5-38.

López Marinas, J.M. (1976). Ensayo de compartimentación en bloques sismotectónicos del Sureste español. *Com. II Asamblea de Geodesia y Geofísica*, I, 507-514. Madrid.

- Mallard, D.J. (1991). Learning to cope with faults. En: *Proc. of the Int. Conf. on Seismic Hazard Determination in Areas with Moderate Seismicity*, theme 2B pp.:111-121. Saint-Rémy-Lès-Chevreuse, France. Ouest Editions.
- Martín Martín, A.J. (1984). *Riesgo Sísmico en la Península Ibérica*. Tesis doctoral. 2 tomos. I.G.N. Madrid.
- Martín Martín, A.J. (1989). Problemas relacionados con la evaluación de la peligrosidad sísmica en España. *Física de la tierra*, nº 1, pp.:267-286. Ed. Universidad Complutense. Madrid.
- Martínez del Olmo, W. y Benzaquen, M. (1975). Mapa Geológico de España, nº 820 (ONTENIENTE), 1:50.000. ITGE, Madrid.
- Martínez del Olmo, W. y Benzaquen, M. (1976). Mapa Geológico de España, nº 794 (CANALS), 1:50.000. ITGE, Madrid.
- Martínez del Olmo, W., Colodrón, I. y Núñez, A. (1978). Mapa Geológico de España, nº 846 (CASTALLA), 1:50.000. ITGE, Madrid.
- Medvedev, S.V. (1965). *Engineering Seismology*. Cap.VI.5. Israel program for scientific translations, Jerusalem. 260pp.
- Megías, A.G., Leret, G., Martínez del Olmo, W. y Soler, R. (1983). La sedimentación Neógena en las Béticas: Análisis Tectonosedimentario. *Mediterránea Ser. Geológicos*, 1:83-103.
- Mézcua, J. y Martínez Solares, J.M. (1983). *Sismicidad del área Ibero Magrebí*. IGN publicación nº 262, Madrid, 322 pp.
- Mézcua, J. (1985). Esquema sismotectónico del sureste de España. En: *Mecanismo de los Terremotos y Tectónica*. Ed. Univ. Complutense. cap.11, pp.:225-232. Madrid.
- Montenat, C.H., Ott D´Estevou, P., y Masse, P. (1987). Tectonic-sedimentary characters of the Betic Neogene basins evolving in a crustal transcurrent shear zone. *Bull.Cent. Rech. Explor. Prod. El-Aquitane*, 11(1):1-22.
- Montenat, C.H., Ott D´Estevou, P. y Pierson D´Autrey, L. (1996). Miocene basins of the eastern Prebetic Zone: Some tectonosedimentary aspects. En: *Tertiary Basins of Spain: the stratigraphic record of crustal kinematics*. Cap.S5. pp.:346-351. Editores: Friend, P.F. y Dabrio, C.J. Cambridge University Press.
- Mulas de la Peña, J. (1992). Estudios de microzonificación de la peligrosidad y vulnerabilidad sísmica en Alcoy y Lorca. En: *Reducción de Riesgos Geológicos*. I.T.G.E. y Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Serie Ingeniería Geoambiental. pp. 25-72.
- Munuera, J.M. (1969). *Mapa de Zonas Sísmicas Generalizadas de la Península Ibérica*. Inst. Geográf. y Catas. Madrid.
- NCSE-94. (1994). Real Decreto 2543/1994, de 29 de diciembre por el que se aprueba la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte General y Edificación (NCSE-94). Boletín Oficial del Estado, miércoles 8 de febrero de 1995.
- Newmark, N.M. (1965). Effects of earthquakes on dams and embankments. *Geotechnique*, Vol.XV, No.2, pp:139-160.

- PDS-1 (1974). Decreto 3209/1974 de 30 de Agosto. Comisión Permanente de Normas Sismorresistentes. Norma Sismorresistente P.D.S. B.O.E nº 279.
- Pierson d'Autrey, L. (1987). *Sedimentation et structuration synsedimentaire dans le bassin Neogene d'Alcoy (Cordillères Bétiques Externes Orientales- Espagne)*. Ph.D. thesis, Universidad de Paris XI-Orsay, París, 314pp.
- Reiter, L (1990). *Earthquake Hazard Analysis*. Columbia University Press. New York. 253pp.
- Rey Pastor, A. (1951). *Estudio Sismotectónico de la Región Sureste de España*. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid. 52 pp..
- Rey Pastor, A. (1956). *Mapa Sismotectónico de la Península Ibérica (1:200.000)*. Instituto Geográfico y Catastral. Madrid.
- Rodríguez Estrella, T. (1977a). Síntesis geológica del prebético de la provincia de Alicante. I)Estratigrafía. *Boletín Geológico y Minero*. 88-3:183-214.
- Rodríguez Estrella, T. (1977b). Síntesis geológica del prebético de la provincia de Alicante. II)Tectónica. *Boletín Geológico y Minero*. 88-4:273-299.
- Rogers, A.M., Katz, L.J., Benett, T.J. (1984). Topographic effect on ground motion for incident P waves: a model study. *Bull. Seism. Soc. Am.* 64, 437-456.
- Sanz de Galdeano, C. (1983): La Neotectónica de las Cordilleras Béticas. En: *Libro Jubilar J.M. Ríos*. Geología de España. IGME, Madrid. II:469-483.
- Sanz de Galdeano, C. y López Casado, C. (1988). Fuentes sísmicas en el ámbito Bético-Rifeño. *Revista de Geofísica* Vol.44, nº2, pp:175-198.
- Seed, H.B. & Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol.97, Nº SM9, pp:1249-1273.
- Seed, H.B., Idriss, I.M. and Arango, I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data. *Journal of Geotechnical Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol.109, Nº GT3, pp:458-482.
- Siro, L (1982). Emergency microzonations by Italian Geodynamics Project after November 23, 1980 earthquake: a short technical report. *Third International Earthquake Microzonation Conference Proceedings*, pp 1417-1427.
- Soriano, A.P. (1980). Efectos Sísmicos. Licuefacción. En: *Geotécnia y Cimientos*, vol.III, 1ª parte, Cap.7.2. Ed. Rueda, Madrid.
- Wang, J.G.Z.Q. &Tim Law, K. (1994). *Sitting in Earthquake Zones*. Ed. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Zhao, C & Valliopan,S. (1992). Effects of canyon topographic conditions on ground motion due to harmonic P and S wave incidences. *Proceedings of 10th World Conference of Earthquake Engineering*. Madrid, Spain. Vol.II, 923-928.

ANEXOS

ANEXO I: Clasificación de Suelos Propuesta por el EUROCODIGO-8

TIPO	Subtipo	N SPT	Dr %	qu Mpa	Vs m/s	DESCRIPCION DEL SUELO
A	A ₁	-	-	-	-	Roca dura o formaciones rocosas blandas de extensión considerable tanto en área como en profundidad, siempre que no muestren señales de fragmentación intensa.
	A ₂	>60	>90	-	>700	Capas extensas de material granular de grano grueso particularmente densas con pequeños porcentajes de arcilla o limo
	A ₃	>35	-	0.40	-	Capas extensas de arcilla muy rígida, resistente y sobreconsolidada con valores altos de la resistencia a compresión simple.
B	B ₁	-	-	-	-	Formaciones de roca intensamente erosionadas o suelos que pueden ser asimilados a ellas desde el punto de vista de sus características mecánicas.
	B ₂	25-60	60-80	-	300-600	Materiales granulares de grano grueso de densidad relativa media.
	B ₃	15-35	-	0.15-0.3	-	Arcilla de rigidez media, ligeramente sobreconsolidada.
C	C ₁	8-20	30-50	-	100-200	Materiales granulares de grano grueso suelto con valores de densidad relativa baja.
	C ₂	5-10	-	0.15-0.1	100-200	Suelos arcillosos/limosos de rigidez reducida.

**ANEXO II: Clasificación Geotécnica de los
Tipos de Suelos de la Cuenca de Alcoy**

EDAD	CLASE GEOTECNICA*	Descripción de los materiales	Datos Geotécnicos	N SPT	Q _u (kg/cm ²)	Potencia de la formación	Tipo suelo Eurocodigo
TRIASICO (Keuper)	II₁	Arcillas versicolores con yesos. (En afloramientos grandes de tipo extrusivo aparecen también dolomías y areniscas.)	CL, arcillas duras. ♦ _{ad} [†] =2.40-4.80	Rechazo (a 1.5 m en estado seco)	> 4	gran potencia localizada a lo largo de fallas o en masas diapíricas	A ₃
JURASICO CRETACICO	I₁	Calizas, dolomías y margas. Aspecto masivo y tableado. Tectonizadas y con fuertes buzamientos.	ROCA DURA ♦ _{ad} =7.5-15 ⁽¹⁾	R	560<qu<2250	>1000 mtrs constituyen los relieves principales	A ₁
PALEOGENO	I₁	Materiales margosos y calizos con predominio de los últimos.	ROCA DURA ♦ _{ad} =7.5-15 ⁽¹⁾	R	560<qu<2250	>1000 mtrs constituyendo relieves principales.	A ₁
	I₂	Materiales margosos y calizos con predominio de los primeros.	ROCA BLANDA ♦ _{ad} =2.40-4.80 ⁽²⁾	R	280<qu<1125 Niveles arcillosos con qu= 2-4		A ₁
MIOCENO INFERIOR (aquitaniense-burdigaliense)	I₁	Calizas parrarrecifales y calcirruditas con cemento arcilloso rojo	ROCA DURA ♦ _{ad} =7.5-15 ⁽¹⁾	R	560<qu<2250	50 metros aprox.	A ₁

Comentario [L1]:

* La clase geotécnica hace referencia a la nomenclatura usada en el estudio geotécnico municipal de Alcoy (IGME, 1985)

† Carga admisible para zapata aislada de 1.5 x 1.5 m y asientos máximos de 2.5 cm en suelos granulares y 5 cm en suelos cohesivos. Si no se indica profundidad se refiere a 1.5 m.

MIOCENO medio (Langhiniense-Serravaliense)	I₁	Calizas biodetríticas, conglomerados calizos, areniscas calcáreas y margas.	ROCA DURA $\diamond_{ad}=7.5-15^{(1)}$	R	560<qu<2250	10-20 mtrs.	A ₁
MIOCENO medio-sup	II₃	Margas grises (Tap 2) y margas blancas (Tap 1). Se presentan en estratos (<1m), a veces laminadas con frecuentes niveles arenosos. Puede haber presencia de capa meteorizada (4-5 mtrs.).	ROCA BLANDA CL, CH, eventualmente SC y CL-ML $\diamond_{ad(1.5)}=0.5-6$ $\diamond_{ad(3)}=2-8$ $\diamond_{ad(8)}=4.8-8$ $\gamma_{oap}=1.47-2.20$ $e=0.551-0.803$	$N_{(1.5-3.5)}=22-R$ $N_{(4.5)}=32-R$ $N_{(7.5)}=48-R$ (valores extremos)	qu= 0.71-3.6 (en capa meteorizada)	Potencia: más de 1000 mtrs en el centro de las depresiones disminuyendo hacia los bordes montañosos. Afloran extensamente por toda la cuenca.	B ₁
	II₂	Margas blancas (TAP 1 y 2 indiferenciados) de aspecto masivo y compactas con nódulos calizos. Presencia ocasional de bancos decimétricos calizos y arcillas marrones. Capa meteorizada de 5-6 mtrs..	ROCA BLANDA CL, ocasionalmente CH $\diamond_a=1.5-2$ (en materiales alterados -5-6 mtrs.-) $\diamond_a=2.5-3.5$ (en formación sana) $\gamma_{od}=1.7 \text{ gr/cm}^3^{(3)}$ (en capa meteorizada).	$N_{medio}=27.5$ (en capa meteorizada -5-6 mtrs.-) A mayor profundidad presencia de roca sana con $N \odot R$	-----		B ₁
MIOCENO superior (Tortonense)	I₃	Areniscas calcáreas y conglomerados con niveles areniscosos.	ROCA DURA $\diamond_{ad}=7.5-15^{(1)}$	R	280<qu<1125	Muy variable: 5-50 mtrs.	A ₁

PLIOCENO	III₁	Bancos conglomeráticos de matriz arcillo-limosa cementados, con interestratos arenosos y/o margo-limosos, de tonos rojizos y cementados.	GM, GC, SM, SC, CL, CH y CL-ML. ♦ _{ad(1.5)} y ♦ _{ad(3)} = 4-6 (en gravas) ♦ _{ad(1.5)} y ♦ _{ad(3)} = 1.5-4.8 (en niveles cohesivos) ♦ _{ad(8)} = 4.8-6.5 (en niveles cohesivos)	Gravas: N ≈ 80-R Arenas: N ≈ 80-R Margas: N ≈ 80 ó 25-38	qu = 1.72-1.77 (en margas alteradas)	>10 mtrs.	A ₂
PLIOCENO PLEISTOCENO	III₇	Arcillas margosas y margoarenosas con lentejones de grava caliza intercalados de potencia y distribución muy variable.	GM, GC, SM, SC, CL, CH y CL-ML. ♦ _{ad} = 1.5-2 γ _{sd} = 1.61-1.97 ⁽³⁾ (en finos)	N _(>2) (alto, rara vez <20)	arcillas: >1.8-2 (en profundidad: 5-15)	>30 mtrs.	B ₃
CUATERNARIO Depósitos de pie de monte, ladera y conos antiguos de deyección	III₂	Gravas y cantos en matriz arcillosa más o menos cementada, y niveles areno-arcillosos y limosos.	♦ _{ad(1.5)} y ♦ _{ad(3)} = 4-6 (en niveles granulares) ♦ _{ad(1.5)} = 0.4-4.8 (en niveles cohesivos) ♦ _{ad(8)} = 2.4-4.8 (en niveles cohesivos)	N _(1.74) = 47	-----	0.5-7 mtrs.	B ₃
CUATERNARIO Travertinos	III₃	Formaciones travertínicas (tobas) con presencia ocasional de gravas.	♦ _{ad} = 0.5-0.8, en ausencia de cavidades, puede tomarse ♦ _{ad} ●1.5	(flojos)	●1-2	6-8 mtrs. localmente: 15-20 mtrs. Afloramientos localizados	C ₁
CUATERNARIO Canchales	III₄	Acumulación de fragmentos heterométricos y angulosos de calizas	Dada la potencia de la formación no se realizarán cimentaciones sobre ella.	-----	-----	●10 Afloramientos muy localizados en frentes montañosos	-----

	Litologías muy variables.				
--	---------------------------	--	--	--	--

CUATERNARIO terrazas	III₅	Margas arcillo-arenosas con cantos dispersos, presencia variable de lentejones de gravas. En general las terrazas bajas son mas arcillosas	♦ _{ad} = 1-2.5	Gravas: N=R, (penetrando a veces 10-12 cm iniciales) Finos: N=20	-----	Muy variable: 2-3 mtrs. 4-8 mtrs. > 30 mtrs.	C ₁
CUATERNARIO aluvial moderno de ríos		0.6-1.8 m. de gravas calizas (X ¹ :2-5 cm) en matriz areno-limosa. Arcillas margosas o areno-limosas con gravilla dispersa.		-----	-----	●3 mtrs.	C ₂
CUATERNARIO fondo de valles en artesa		depósitos finos arcillo-limosos con grava dispersa.	-----	-----	-----	0.5-1.5 mtrs.	C ₂

⁽¹⁾ El valor 7.5 corresponde con zonas de fuerte diaclasado. Son muy probables presiones admisibles mucho mayores.

⁽²⁾ Si no existen niveles blandos son probables presiones admisibles del orden de las dadas para la zona I₁.

⁽³⁾ Tomado del Estudio de Riesgos Naturales en la ciudad de Alcoy (ITGE, 1990)

ANEXO III: Resultados del Análisis de Estabilidad de Taludes.

FICHERO DE ENTRADA DE DATOS DEL MODELO 1 H=100, $\alpha=10^\circ$

PROFIL

MODELO1

6 3

0. 50. 100. 50. 1

100. 50. 667. 150. 1

667. 150. 867. 150. 1

0. 40. 180. 40. 2

180. 40. 740. 144. 2

740. 144. 867. 144. 2

SOIL

2

1.8 2.1 0. 16. 0. 0. 1

2.2 2.2 5. 20. 0. 0. 0

WATER

1 1.

5

0. 50.

100. 50.

420. 97.

710. 144.

867. 144.

CIRCL2

5 5

50. 100. 700. 800.

0. 10. 0. 0.

FICHERO DE ENTRADA DE DATOS DEL MODELO 2 H=50, $\alpha=20^\circ$

PROFIL

MODELO2

6 3

0. 50. 50. 50. 1

50. 50. 187. 100. 1

187. 100. 240. 100. 1

0. 40. 67. 40. 2

67. 40. 210. 94. 2

210. 94. 240. 94. 2

SOIL

2

1.8 2.1 0. 16. 0. 0. 1

2.2 2.2 5. 20. 0. 0. 0

WATER

1 1.

5

0. 50.

50. 50.

130. 72.

210. 94.

240. 94.

CIRCL2

5 5

10. 50. 187. 200.

0. 5. 0. 0.

FICHERO DE SALIDA DEL MODELO 1

** PCSTABL5M **

by
Purdue University

1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: ABRIL'98
Time of Run:
Run By: JULIAN GARCIA MAYORDOMO
Input Data Filename: proyect2.inp
Output Filename: proyect2.out

PROBLEM DESCRIPTION MODELO 1 H=100 Y 10°

BOUNDARY COORDINATES

3 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right (ft)	Soil Type Below Bnd
1	.00	50.00	100.00	50.00	1
2	100.00	50.00	667.00	150.00	1
3	667.00	150.00	867.00	150.00	1
4	.00	40.00	180.00	40.00	2
5	180.00	40.00	740.00	144.00	2
6	740.00	144.00	867.00	144.00	2

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion Intercept (psf)	Friction Angle (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Piez. Pressure Constant Surface No.
1	1.8	2.1	.0	16.0	.00	1
2	2.2	2.2	5.0	20.0	.00	0

1

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 1.00

Piezometric Surface No. 1 Specified by 5 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	.00	50.00
2	100.00	50.00
3	420.00	97.00
4	710.00	144.00
5	867.00	144.00

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

25 Trial Surfaces Have Been Generated.

5 Surfaces Initiate From Each Of 5 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 50.00 ft. and X = 100.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 700.00 ft. and X = 800.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

10.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

1

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First. **(Solo se adjunta el primero)**

* * Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method * *
Failure Surface Specified By 63 Coordinate Points

Point No.	X-Surf (ft)	Y-Surf (ft)
-----------	-------------	-------------

1	100.00	50.00
2	109.99	50.51
3	119.97	51.06
4	129.95	51.65
5	139.94	52.28
6	149.91	52.94
7	159.89	53.64
8	169.86	54.38
9	179.83	55.16
10	189.80	55.97
11	199.76	56.82
12	209.72	57.71
13	219.68	58.64
14	229.63	59.60
15	239.58	60.60
16	249.53	61.64
17	259.47	62.71
18	269.41	63.83
19	279.34	64.98
20	289.27	66.16
21	299.20	67.39
22	309.12	68.65
23	319.03	69.95
24	328.94	71.29
25	338.85	72.66
26	348.75	74.07
27	358.64	75.52
28	368.53	77.01
29	378.41	78.53
30	388.29	80.09
31	398.16	81.69
32	408.03	83.32
33	417.89	84.99
34	427.74	86.70
35	437.59	88.45
36	447.43	90.23
37	457.26	92.05
38	467.09	93.91
39	476.90	95.80
40	486.72	97.73
41	496.52	99.70
42	506.32	101.70
43	516.11	103.74
44	525.89	105.82
45	535.66	107.93
46	545.43	110.09
47	555.19	112.27
48	564.94	114.50
49	574.68	116.76
50	584.41	119.06
51	594.13	121.39
52	603.85	123.76
53	613.55	126.17
54	623.25	128.61
55	632.94	131.09
56	642.62	133.61

57	652.29	136.16
58	661.94	138.75
59	671.59	141.38
60	681.23	144.04
61	690.86	146.74
62	700.48	149.47
63	702.31	150.00

Circle Center At X = -31.5 ; Y = 2706.1 and Radius, 2659.4

*** 1.239 ***

NOTA:
Centro de gravedad en:
X=114.65
Y=67.01

FICHERO DE SALIDA DEL MODELO 2

** PCSTABL5M **

by
Purdue University

1

--Slope Stability Analysis--
Simplified Janbu, Simplified Bishop
or Spencer's Method of Slices

Run Date: ABRIL'98
Time of Run:
Run By: JULIAN GARCIA MAYORDOMO
Input Data Filename: proyecto.inp
Output Filename: proyecto.out

PROBLEM DESCRIPTION : MODELO 2 H=50 Y 20°

BOUNDARY COORDINATES

3 Top Boundaries
6 Total Boundaries

Boundary No.	X-Left (ft)	Y-Left (ft)	X-Right (ft)	Y-Right Below Bnd	Soil Type
1	.00	50.00	50.00	50.00	1
2	50.00	50.00	187.00	100.00	1
3	187.00	100.00	240.00	100.00	1
4	.00	40.00	67.00	40.00	2
5	67.00	40.00	210.00	94.00	2
6	210.00	94.00	240.00	94.00	2

1

ISOTROPIC SOIL PARAMETERS

2 Type(s) of Soil

Soil Type No.	Total Unit Wt. (pcf)	Saturated Unit Wt. (pcf)	Cohesion (psf)	Friction Intercept (deg)	Pore Pressure Param. (psf)	Piez. Constant Surface No.
1	1.8	2.1	.0	16.0	.00	.0 1
2	2.2	2.2	5.0	20.0	.00	.0 0

1 PIEZOMETRIC SURFACE(S) HAVE BEEN SPECIFIED

Unit Weight of Water = 1.00

Piezometric Surface No. 1 Specified by 5 Coordinate Points

Point No.	X-Water (ft)	Y-Water (ft)
1	.00	50.00
2	50.00	50.00
3	130.00	72.00
4	210.00	94.00
5	240.00	94.00

1

A Critical Failure Surface Searching Method, Using A Random Technique For Generating Circular Surfaces, Has Been Specified.

25 Trial Surfaces Have Been Generated.

5 Surfaces Initiate From Each Of 5 Points Equally Spaced Along The Ground Surface Between X = 10.00 ft.
and X = 50.00 ft.

Each Surface Terminates Between X = 187.00 ft.
and X = 200.00 ft.

Unless Further Limitations Were Imposed, The Minimum Elevation At Which A Surface Extends Is Y = .00 ft.

5.00 ft. Line Segments Define Each Trial Failure Surface.

1

Following Are Displayed The Ten Most Critical Of The Trial Failure Surfaces Examined. They Are Ordered - Most Critical First. **(solo se adjunta el primero)**

** Safety Factors Are Calculated By The Modified Bishop Method **

Failure Surface Specified By 40 Coordinate Points

Point	X-Surf	Y-Surf
-------	--------	--------

No.	(ft)	(ft)
1	10.00	50.00
2	14.93	49.15
3	19.87	48.42
4	24.84	47.80
5	29.81	47.30
6	34.80	46.91
7	39.79	46.63
8	44.79	46.48
9	49.78	46.43
10	54.78	46.51
11	59.78	46.69
12	64.77	47.00
13	69.75	47.42
14	74.73	47.95
15	79.68	48.60
16	84.62	49.36
17	89.55	50.24
18	94.45	51.23
19	99.33	52.33
20	104.18	53.54
21	109.00	54.87
22	113.78	56.31
23	118.54	57.86
24	123.26	59.52
25	127.93	61.28
26	132.57	63.16
27	137.16	65.14
28	141.70	67.22
29	146.20	69.41
30	150.64	71.71
31	155.03	74.10
32	159.36	76.60
33	163.64	79.19
34	167.85	81.89
35	172.00	84.68
36	176.08	87.56
37	180.10	90.54
38	184.04	93.61
39	187.92	96.77
40	191.69	100.00

Circle Center At X = 49.1 ; Y = 262.9 and Radius, 216.4

*** 1.102 ***

NOTA:
Centro de gravedad en:
X= 414.78
Y= 96.58