



“Consideraciones del efecto de sitio en las cartografías de microzonación sísmica realizadas por el IGME. Una metodología cambiante”

Panel Científico: Últimos avances en respuesta del suelo y microzonación sísmica

20 de enero 2009

Escuela Nacional de Protección Civil

JOAQUÍN MULAS DE LA PEÑA
Instituto Geológico y Minero de España (IGME)
Departamento de Investigación y Prospectiva Geocientífica
Área de Investigación en Peligrosidad y Riesgos Geológicos
C/Ríos Rosas 23-Alenza 1.
28003 Madrid
TEL. 913495811
FAX. 913495834
Correo electrónico: j.mulas@igme.es

INTRODUCCION

EFECTOS DE SITIO

M.ZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Contenido de la ponencia:

- ❖ Introducción/efectos de sitio (EF)/Microzonación sísmica
- ❖ Revisión de las metodologías que se utilizan y sus limitaciones prácticas en el caso de su aplicación a la microzonación sísmica (en adelante **Microzs**).
- ❖ Repaso del tratamiento de los **EF** en las cartografías de (**Microzs**) a distintas escalas y fines que ha venido realizando el IGME desde 1989 en distintas zonas de España.
- ❖ Perspectivas de futuro más razonables en la consideración de estos aspectos en las metodologías a utilizar, en las nuevas microzonaciones; para su aplicación (OT, OU y PC).

INTRODUCCION

EFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

La influencia de la geología y las condiciones locales en la intensidad de la sacudida del suelo y en el daño provocado por los terremotos se conoce desde hace muchos años. **Existen referencias históricas desde hace más de 200 años.**

MacMurdo (1824); *Mallet (1862); Milne (1898); Wood (1908) y Reid (1910); Gutenberg (1927); Humboldt (EQ Riobamba 1797); Larramendi (EQ Torre Vieja) 1810; Orueta (EQ Andalucía 1882); etc.*

A pesar de las numerosas evidencias , la existencia de efectos locales fue un asunto que generó muchos debates en los pasados años. **En las normas de construcción sismorresistentes no se tiene en cuenta los efectos de sitio hasta principios de los 70;** las normas españolas no recogen una clasificación de suelos hasta la PDS-1.

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

La respuesta sísmica del terreno en un lugar determinado es función de la conjunción de tres grupos de factores relacionados con: la fuente generadora del terremoto, con el modelo de la trayectoria y con las condiciones del lugar.

$$SR_j(f) = SC_j(f) \cdot P_j(f) \cdot FT(f) \cdot I(f)$$

El objetivo de los diferentes métodos es aislar dicha FT (función de transferencia), con lo cual se caracteriza el efecto de sitio.

Términos de la señal

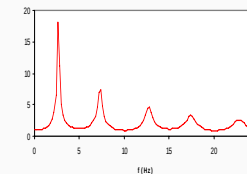
SC(f) : Fuente sísmica

P_j(f) : Trayectoria

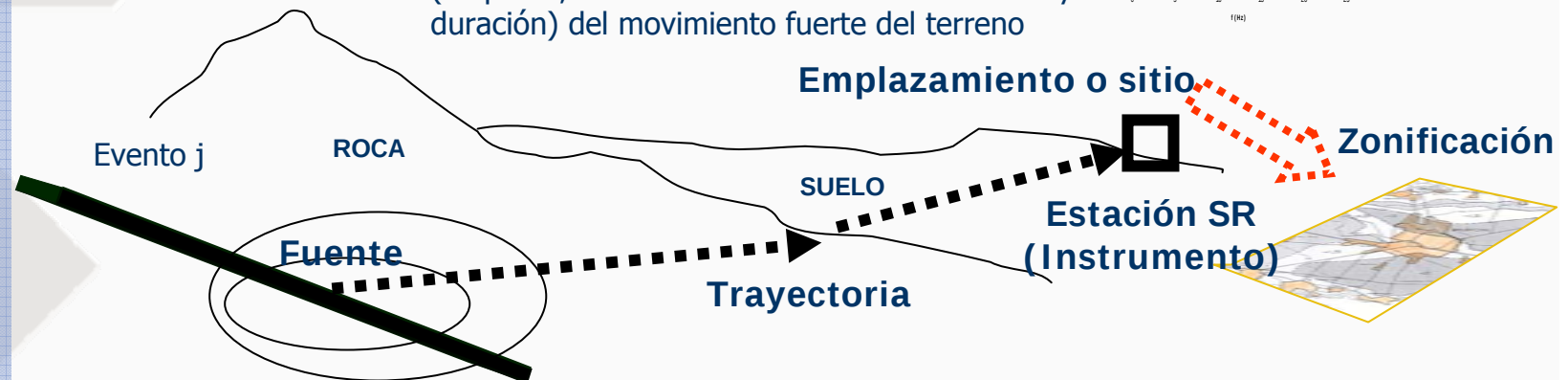
FT(f) : Función de transferencia

I(f) : Instrumento

Espectro de Fourier (**FT**) del registro de la estación **SR**



Las condiciones de sitio local pueden influenciar todas las características importantes (amplitud, contenido de frecuencias y duración) del movimiento fuerte del terreno



INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

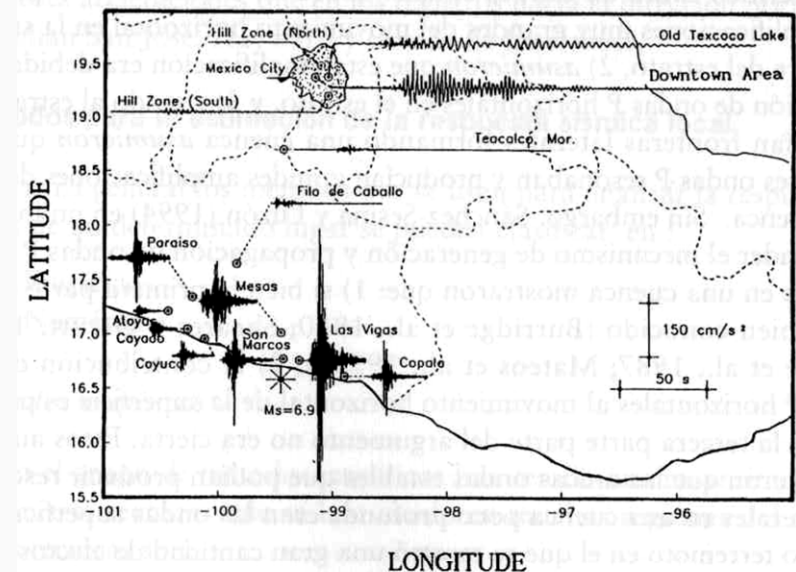
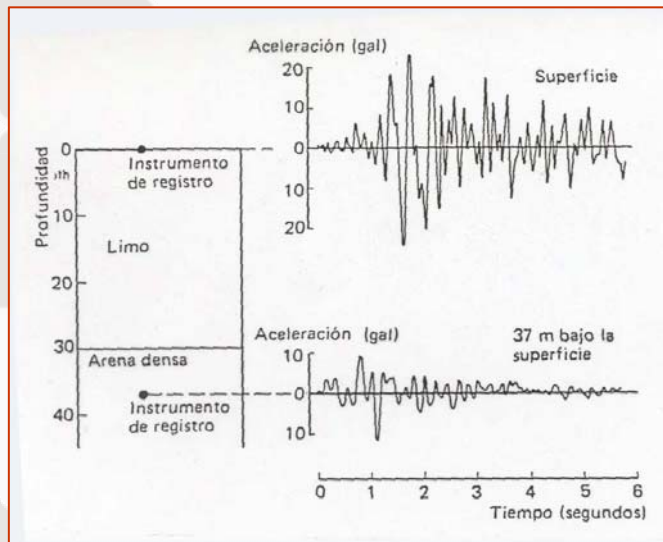
MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Efecto de sitio : Fuerte influencia de las condiciones locales del sitio en la intensidad de sacudida del terreno como en los daños producidos por un terremoto.

El término Efecto de sitio se refiere a los efectos de la respuesta sísmica local. **Efectos de las capas blandas superficiales en cuencas sedimentarias y a la influencia de la superficie topográfica en el movimiento.**



INTRODUCCION

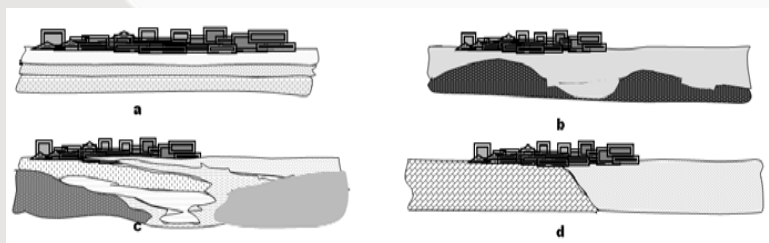
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

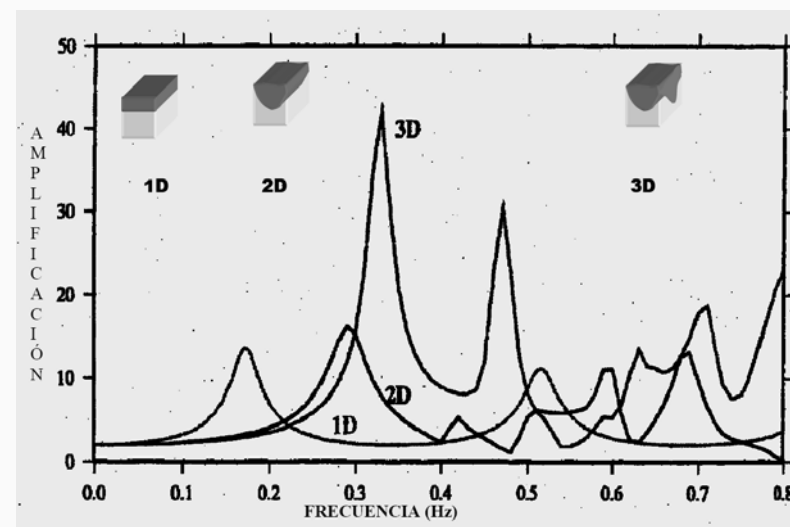
EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

El término **Efectos de cuenca** se refiere a la influencia de las estructuras de las cuencas sedimentarias 1D, 2D y 3D en el movimiento del terreno, incluidas las reflexiones de las ondas de cuerpo (P y S) y las de superficie generadas en los márgenes de cuenca.



Algunos modelos geológicos en sedimentos blandos: a) Capas horizontales infinitas, b) Variación de la profundidad del substrato, c) Cambio de facies, d) Fuertes discontinuidades laterales (márgenes de cuenca).



Respuestas espectrales teóricas y experimentales en modelos multidimensionales ,1D, 2D y 3D. (Bard 1999,EUROSEISTEST)

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Efectos topográficos

Amplifican la sacudida del terreno que podría esperarse sobre el nivel del terreno a lo largo de las crestas o cerca de las partes altas de las laderas. La superficie topográfica también puede de manera similar deamplificar la sacudida del terreno en cañones o cerca de la base del los taludes.

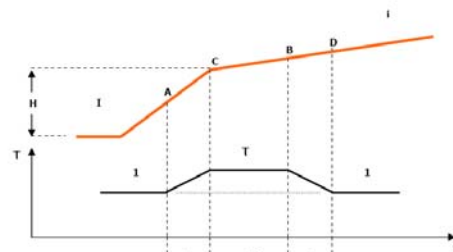
Benito B. et al., 2005.

EC 8.

CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS		ST
Pendientes menores de 15°		No se tiene en cuenta el efecto topográfico
Pendientes mayores de 15°	a) Escarpes y pendientes aisladas	$\geq 1,2$
	b) Cimas de cordilleras con anchura significativamente menor que la anchura de la base	$\geq 1,4$ en zonas altas con pendientes medias mayores de 30° $\geq 1,2$ para pendientes menores
	c) En capas superficiales poco cohesivas. El valor más pequeño dado en a) y b) se incrementan en al menos 20%.	

Inclinación de la ladera	AT
0°-5°	1,00
6°-10°	1,50
11°-20°	2,00
21°-35°	2,50
35°-90°	3,00

AFPS 90 (1995)



$$\tau = 1 + 0,8(I - i - 0,4), \text{ con } 1 < \tau < 1,4,$$

METODOS DE ESTIMACIÓN DE LOS EFECTOS DE SITIO

❖ **Empíricos (ó experimentales):**

• ***Cualitativos (ó indirectos)*** (*Exploración de datos macrosismicos (geología-I), correlaciones parámetros geotécnicos estandar-Vs, interpretación en términos de respuesta sísmica de la cartografía geotécnica).*

• ***Cuantitativos (instrumentales)*** (*Observación de movimientos fuertes. Redes sísmicas densas; Leyes de atenuación empíricas Observación de movimientos débiles ó moderados SSR (Estándar spectral ratio- método clásico de las razones espectrales; método de inversión generalizada de las razones espectrales; método de función del receptor RF; no dependiente de estaciones de referencia(razones espectrales H/V; ondas coda); Microtemblores (ruidos ambientales) (amplitudes espectrales, razones espectrales y Nakamura)– Ondas Coda.*

❖ **Semi-empíricos** (*Técnicas de Funciones Empíricas de Green (EGF)*)

❖ **Teóricos:**

• ***Analíticos***

• ***Numéricos(simulación):*** *Respuesta de 1D (columna de suelo); Métodos avanzados.*

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Clasificación del terreno. En las distintas normativas sismorresistentes españolas.

- Terreno tipo I: Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $V_s > 750$ m/s.
- Terreno tipo II: Terrenos granulares o cohesivos de compactación media a dura. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $750 \text{ m/s} \geq V_s > 400$ m/s.
- Terreno tipo III: Suelo granular suelto a medio, o suelo cohesivo medio a blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla $V_s \leq 400$ m/s.

COEFICIENTE DE SUELO

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
Tipo I	1,0
Tipo II	1,4
Tipo III	1,8

Valores del factor de cimentación					
Tipo de cimentación	CLASES DE TERRENO				
	Fund. en	Gravas y arenas sueltas	Gravas y arenas consolidadas	Rocas compactas	Rocas muy compactas
	$c < 500$	$500 < c < 1.000$	$1.000 < c < 2.000$	$2.000 < c < 4.000$	$c > 4.000$
Pilotes:					
Resistentes por el fuste.	(2,0)	1,0	0,7	—	—
Resistentes por la punta	(1,8)	0,9	0,6	—	—
Zapatas:					
Aisladas	(1,6)	1,1	0,8	0,5	0,5
Corridas	(1,5)	1,0	0,7	0,4	0,3
Losas	(1,4)	0,7	0,5	0,3	(0,2)

c = velocidad de propagación de las ondas elásticas de compresión, en metros/segundo.

P.D.S.-1(1974)

Terreno tipo I: Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $V_s > 750$ m/s.

Terreno tipo II: Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $750 \text{ m/s} \geq V_s > 400$ m/s.

Terreno tipo III: Suelo granular de compactación media, o suelo cohesivo de consistencia firme a muy firme. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $400 \text{ m/s} \geq V_s > 200$ m/s.

Terreno tipo IV: Suelo granular suelto, o suelo cohesivo blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $V_s \leq 200$ m/s.

COEFICIENTES DEL TERRENO

TIPO DE TERRENO	COEFICIENTE C
I	1,0
II	1,3
III	1,6
IV	2,0

NCSE-02

NCSE-94

EUROCODE 8. 2002.

CLASE DE SUELO	DESCRIPCIÓN	PARÁMETROS		
		V_{s30} (m/s)	N (SPT) medio	Resistencia al corte no drenada kPa
A	Roca u otra formación geológica rocosa similar, incluyendo al menos 5 m de material superficial alterado.	> 800		
B	Depósitos de arenas o gravas muy densas, arcillas muy duras, por lo menos con varias decenas de metros de espesor, caracterizadas por un incremento de las propiedades mecánicas con la profundidad.	360-800	> 50	> 250
C	Depósitos potentes de arenas o gravas densas o medianamente densas, o arcillas duras con espesor de varias decenas a cientos de metros.	180-360	15-50	70-250
D	Depósitos de suelos poco cohesivos flojos a medianamente densos (con o sin algunas capas cohesivas) o suelos predominantemente cohesivos blandos a firmes.	< 180	< 15	< 70
E	Perfil de suelo con una capa de aluvial superficial con valor de V_s de la Clase C o D y espesor que varía entre unos 5 m y 20 m situado sobre una capa con $V_s > 800$ m/s.	-	-	-
S1	Depósitos que constan o contienen una capa con al menos 10 m de espesor de arcillas o limos blandos con alto índice de plasticidad ($IP > 40$) y alto contenido en humedad.	< 100	-	10-20
S2	Depósitos de suelos licuables o arcillas sensitivas u otro perfil de suelo no incluido en las clases A-E o S1.	-	-	-

EC 8.

Características usuales de los diferentes tipos de terreno

Tipo de terreno	Descripción	V_s [m/s]	V_p [m/s]	Terrenos granulares		Terrenos cohesivos q_u [kPa]
				N_{60}	q_c [MPa]	
I	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso	> 750	> 2.000	> 50	> 20	
II	Roca muy fracturada, suelo granular denso o cohesivo muy duro	> 400	> 1.000	> 40	> 15	> 500
III	Suelo granular de compactación media o suelo cohesivo de consistencia firme a dura	> 200	> 350	> 15	> 6	> 200
IV	Suelo granular suelto o suelo cohesivo blando	No se alcanzan los valores del terreno tipo III				

NCSP-07

JORNADA TÉCNICA

"LAS ULTIMAS NOVEDADES SOBRE LOS RIESGOS SÍSMICOS, VOLCÁNICOS Y TSUNAMIS,
Y PROTECCIÓN CIVIL EN ESPAÑA

INTRODUCCION

EFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

❖ **Microzonar** consiste en cartografiar recintos de la superficie del terreno que contienen puntos donde se espera una respuesta sísmica homogénea considerando las condiciones locales.

❖ La literatura científica sobre estos temas muestra una falta de consenso en la aplicación del término **microzonación sísmica**, pudiendo encontrarse distintas definiciones desde las más técnicas a las más administrativas.

❖ La microzonación se viene haciendo según distintos factores : Geológicos; Topográficos; Geotécnicos; Estadísticos; Variaciones espaciales de parámetros (PGA, d, contenido espectral,etc), licuefacción e Inestabilidades del terreno.

❖ El contenido depende de los fines del mismo (OU, OT,PC, Obras Civiles, etc). Los fines suelen imponer la escala del mapa, la escala establece que puede ser mostrado y por tanto los datos que son necesarios obtener.

❖ El IGME el primer mapa de Microzs lo realizó en 1989.

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Nombre del Mapa	Escala	Ámbito Geográfico	Año	Nº de hojas	S. (km ²)	Metodología	Parámetros	Peligrosidad en roca (parámetros)	Observaciones
Mapa de Peligrosidad Sísmica de la Ciudad de Alcoy	1:5000	Alcoy	1989-1990	1	~2,7	Emp-cualitativa	I	(Síntesis de estudios)	AV
Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca	1:5000	Lorca	1992	1	~2,5	Emp-cualitativa	I	(Síntesis de estudios)	AV
Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica del Termino Municipal de Lorca	1:100.000	Lorca (TM)	1992	1	1675	Emp-cualitativa	I	(Síntesis de estudios)	AV (no zonal)
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:25000	Pirineo Central (Huesca)	1994	9	579	Emp-cualitativa	I	Norma(Síntesis de estudios)	AV (no zonal)
Mapa Integrado de Peligrosidad Sísmica	1:500.000 ^{†*}	Murcia (Atlas)	1995	1	~10.000	Emp-cualitativa	I	Propio	
Mapa de Peligrosidad del Termino Municipal	1:100.000	Murcia (TM)	1997	1	886	Emp-cualitativa	I	Propio	
Mapa de Peligrosidad Sísmica de la Ciudad de Murcia	1:5000	Murcia	1997	1	~5	IFA; Vs; Geotec T Emp-cualitativa	I ó a	Propio	AL. y AV
Mapa de Zonación Sísmico-Geotécnica de la Ciudad de Cartagena	1:15.000	Cartagena	2000	1	~3.5	IFA; Vs; Gotec Emp-cualitativa/Shake 91	I	Tearact	
Mapa de Respuesta Sísmica de la Ciudad de Cartagena	1:15.000	Cartagena	2000	1	~3.5	IFA; Vs; Gotec Emp-cualitativa/Shake 91	I	Tearact	AV
Mapa de amplificación sísmica (Peligrosidad Sísmica de la Provincia de Granada)	1:200.000	Granada	2004	1	~ 17.000	Emp-cualitativa	I	Norma	
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:50000 ^{†*}	Comarca de NO (CARM)	2004	4	2380	Emp-cualitativa	PGA	PGA roca/I-a	
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:50000 ^{†*}	Comarcas Altiplano	2005	2	1574	Emp-cualitativa	PGA	Tearact	
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:25000	Albuñol	2005	1	63	Emp-cualitativa			
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:50000 ^{†*}	Comarcas Centro	2007	4	2171	Emp-cualitativa	PGA	RISMUR	
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:50000 ^{†*}	Comarcas Guadalentín	2007	4	2395	Emp-cualitativa	PGA	Tearact	
Mapa de microzonación Sísmica de Movimientos de ladera	1:25.000	Alto Tena (Huesca)	2007	5	~100	Comparativa de metodologías diversas	a		
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:50.000	PRIGEO (boceto piloto)	2007	1	~500	Emp-cualitativa	PGA		
Mapa de Peligrosidad Sísmica	1:50000 ^{†*}	Área Metrop.	2009	2	882	Emp-cualitativa	PGA	RISMUR	AL

CUADRO. CARTOGRAFÍA DE MICROZONACIÓN SÍSMICA (Peligrosidad) DEL IGME.

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS



ESCALAS MZS

- | | | |
|---|----------------------|-------------------------------------|
|  | 1:5.000-1:15.000 | Alcoy, Lorca, Murcia y Cartagena |
|  | 1:25.000-1:50.000 | Pirineos, CARM (Comarcas); Albuñol |
|  | 1:100.000- 1:200.000 | Lorca, Murcia, Granada. |

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Alcoy (1990)

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES Y CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO. (APTITUD).

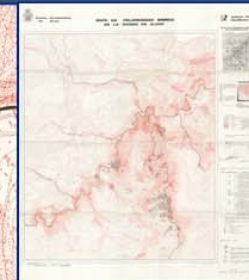
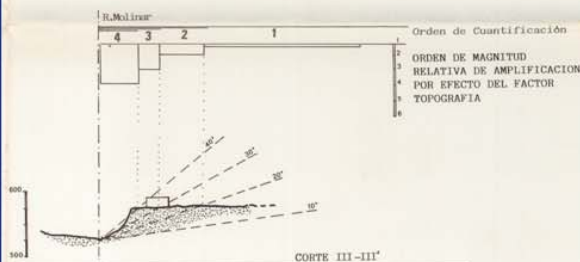
APTITUD	FORMACIONES (*)	EDAD	DESCRIPCION (**)
I	III _{1a} III _{1b}	PILOCENO	Restricciones geológicas a la construcción bajas. Cimentación más probable: superficial. Localmente puede haber paleocauces enmarcados por rellenos flojos. Carga admisible estimada: $\sigma_a = 2,5-3 \text{ kgf/cm}^2$
II	II _{2a} II _{2b} II _{2c}	MIOCENO	Restricciones geológicas a la construcción median-bajas. Cimentación más probable superficial, también pilotes. Posible expansividad local, deslizamientos fósiles profundos y reptaciones superficiales. Carga admisible estimada: $\sigma_a = 1,5-3,5 \text{ kgf/cm}^2$
III	III _{3a} III _{3b} III _{3c} III _{3d} III _{3e} III _{3f} III _{3g}	PLEISTOCENO-HOLOCENO	Restricciones geológicas a la construcción altas. Materiales muy variables. Cimentaciones más probables: superficial y por pilotes en áreas próximas a barrancos. Problemas por alternancia frecuente de capas de distinta consistencia, anisotropías diferenciales y problemas de inundaciones en algunos puntos
IV	III _{2a} III _{2b} III _{2c}	PILOCENO-PLEISTOCENO	Características muy heterogéneas. En áreas puntuales fuertes restricciones geotécnicas a la construcción. Riesgo de deslizamientos profundos. Niveles frecuentes de arcillas blandas de baja capacidad portante. Presencia de agua en horizontes colgados. Cimentación más probable superficial o semiprofunda. Carga admisible: $1,5 < \sigma_a < 2 \text{ kgf/cm}^2$
V	III _{6a} III _{6b}	ACTUAL	Espesores muy importantes de rellenos artificiales; en algunas áreas aparecen arcillas de alta plasticidad. Cimentación más probable por pilotes. Cargas admisibles: $0,5 < \sigma_a < 0,8 \text{ kgf/cm}^2$

(*) Corresponde a las formaciones diferenciadas en el MAPA GEOTECNICO Y DE RIESGOS GEOLOGICOS PARA LA ORDENACION URBANA DE ALCOY. (I.G.M.E. 1.985).

(**) Información obtenida a partir de la recopilación de todos los datos de sondeo disponibles.

PUNTOS DE SONDEO.

INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFIA EN LA AMPLIFICACION DE LAS ONDAS SISMICAS. (Corte explicativo).



PELIGROSIDAD SISMICA

Alta-muy alta amplificación esperada. Zonas elevadas o cercanas a grandes cantiles y barrancos.

(Deducido como combinación de los principales factores de amplificación analizados).

5	5-0	5-I	5-II	5-III	5-IV	5-V
4	4-0	4-I	4-II	4-III	4-IV	4-V
3	3-0	3-I	3-II	3-III	3-IV	3-V
2	2-0	2-I	2-II	2-III	2-IV	2-V
1	1-0	1-I	1-II	1-III	1-IV	1-V
0	0-0	0-I	0-II	0-III	0-IV	0-V

Muy baja-nula amplificación esperada. Zona situada en depresión y/o alejada de cantiles y barrancos.

Material firme. Restricciones bajas. Material suelto. Altas restricciones.

INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES Y CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO. (APTITUD).

PELIGROSIDAD SISMICA	INTENSIDAD (M.S.K.) ESPERADA
NULA O MUY BAJA	VII
BAJA	VIII
MEDIA	VIII
ALTA	IX
MUY ALTA	IX

INTRODUCCION

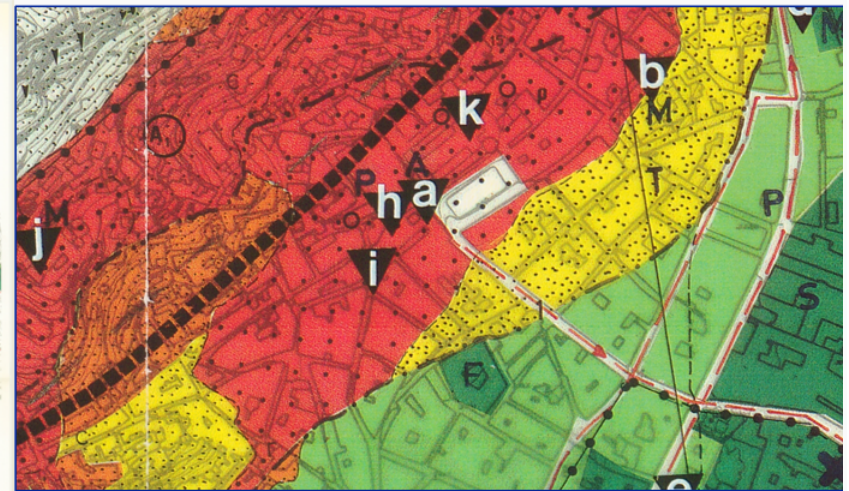
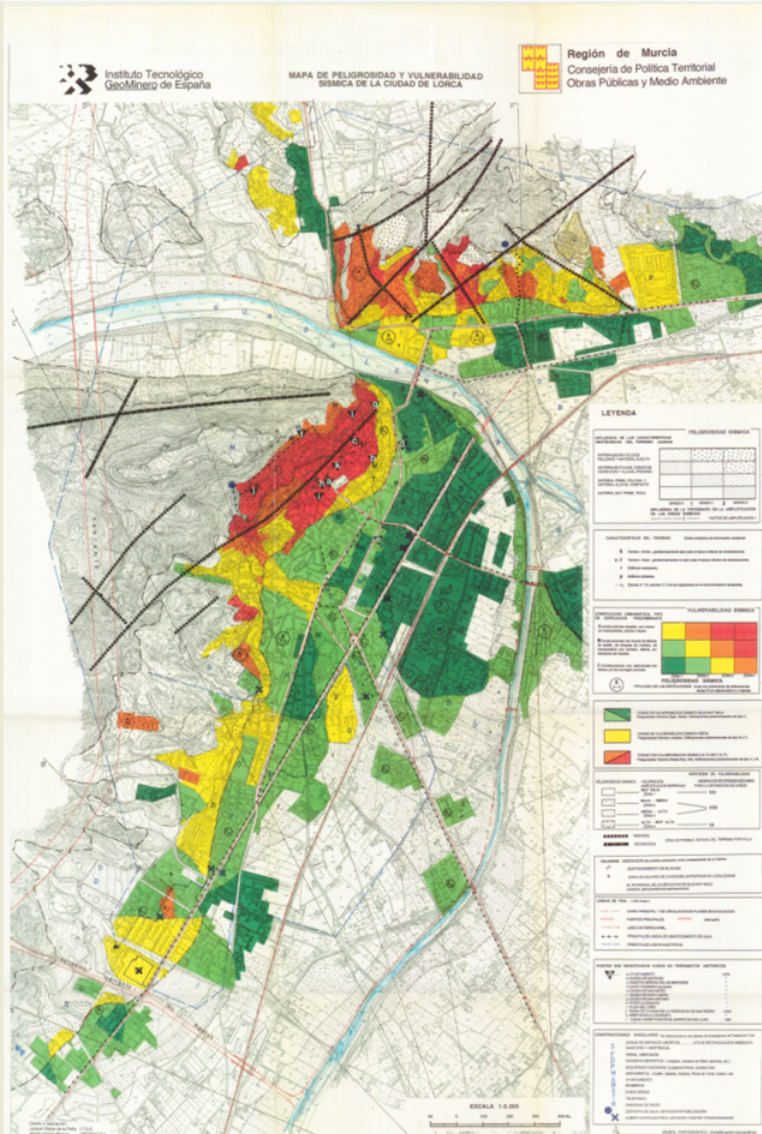
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

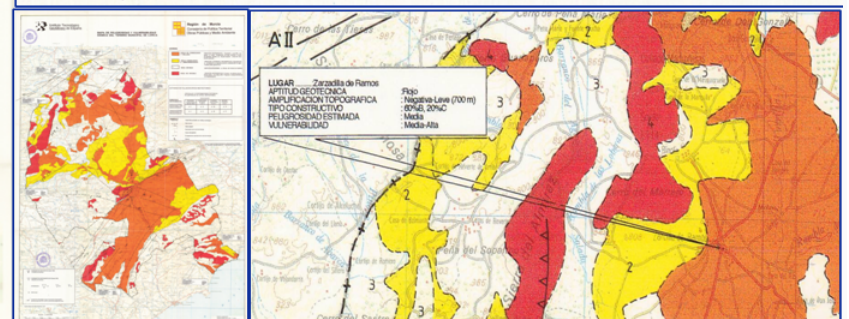
Lorca y TM (1992)



CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO

(Datos extraídos de información existente)

- b** Terreno «firme», geotécnicamente apto para el apoyo directo de cimentaciones.
- v-f** Terreno «flojo», geotécnicamente no apto para el apoyo directo de cimentaciones.
- r** Edificios recalzados.
- p** Edificios pilotados.
- 13₂ Estudio nº 13; sondeo nº 2 de los registrados en la documentación recopilada.



INTRODUCCION

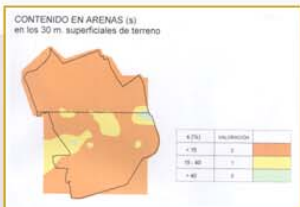
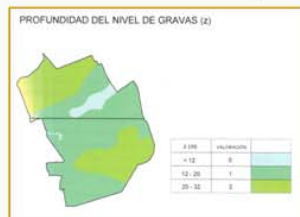
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Ciudad de Murcia y TM (1997)



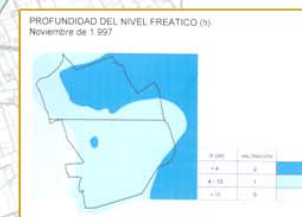
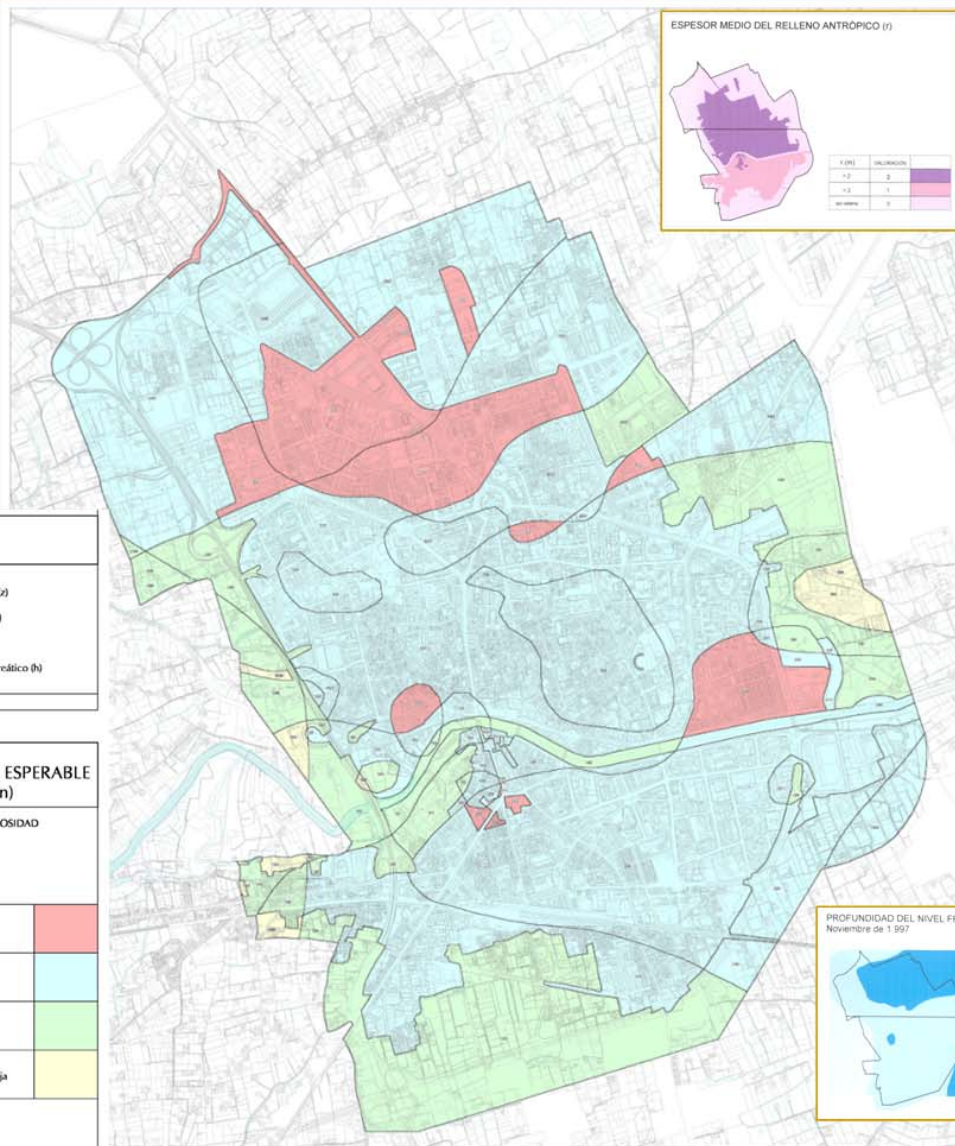
DEFINICIÓN CARTIOGRÁFICA ZONAL

0112

1ª cifra: Valoración del factor profundidad de gravas (z)
2ª cifra: Valoración del factor porcentaje de arenas (s)
3ª cifra: Valoración del factor espesor de relleno (r)
4ª cifra: Valoración del factor profundidad del nivel freático (n)

PELIGROSIDAD SÍSMICA. AMPLIFICACIÓN RELATIVA ESPERABLE (Por integración de los factores zonales de amplificación)

MATRIZ DE INTEGRACIÓN										PELIGROSIDAD	
z\A	0r0s	0r1s	1r0s	0r2s	1r1s	2r0s	1r2s	2r1s	2r2s		
0r0h	0	1	1	2	2	2	3	3	4	Alta	
0r1h	1	2	2	3	3	3	4	4	5		
1r0h	1	2	2	3	3	3	4	4	5		
0r2h	2	3	3	4	4	4	5	5	6	Media	
1r1h	2	3	3	4	4	4	5	5	6		
2r0h	2	3	3	4	4	4	5	5	6		
1r2h	3	4	4	5	5	5	6	6	7	Baja	
2r1h	3	4	4	5	5	5	6	6	7		
2r2h	4	5	5	6	6	6	7	7	8		



INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

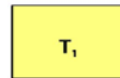
MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

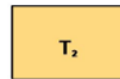
Ciudad de Murcia y TM (1997)

PERIODOS PREDOMINANTES (S)



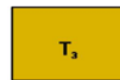
T_1

0,29 - 0,30



T_2

0,30 - 0,35



T_3

0,35 - 0,48

$$T_o = 4 H (\rho^*/G^*)^{1/4} =$$

$$= 4 H (\sum \rho_i H_i / \sum \rho_i H_i V_{si}^2)^{1/4}$$

$$G^* \cdot H = \sum_i^n G_i H_i$$

H_i : espesor de cada tipo de capa de suelo

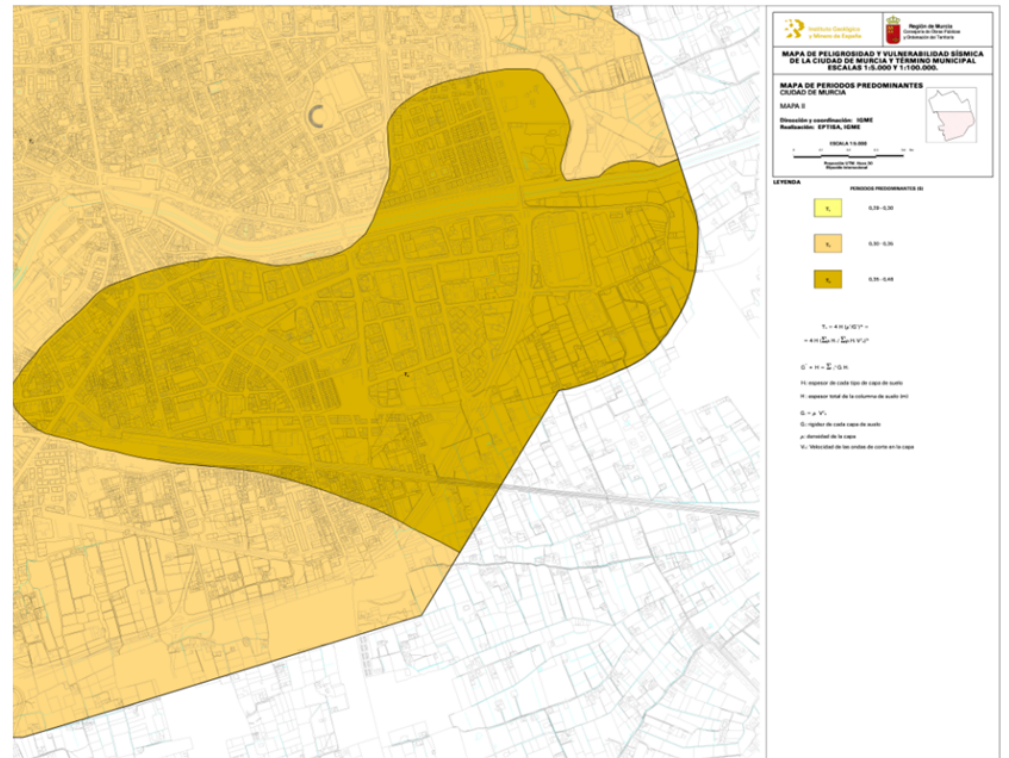
H : espesor total de la columna de suelo (m)

$$G_i = \rho_i V_{si}^2$$

G_i : rigidez de cada capa de suelo

ρ_i : densidad de la capa

V_{si} : Velocidad de las ondas de corte en la capa



INTRODUCCION

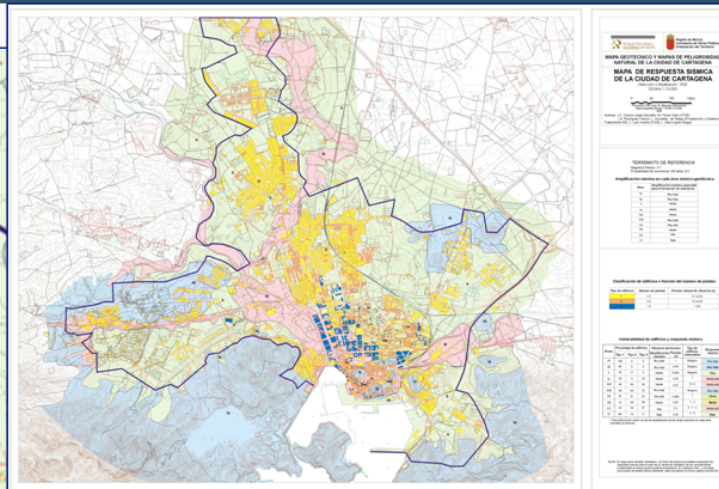
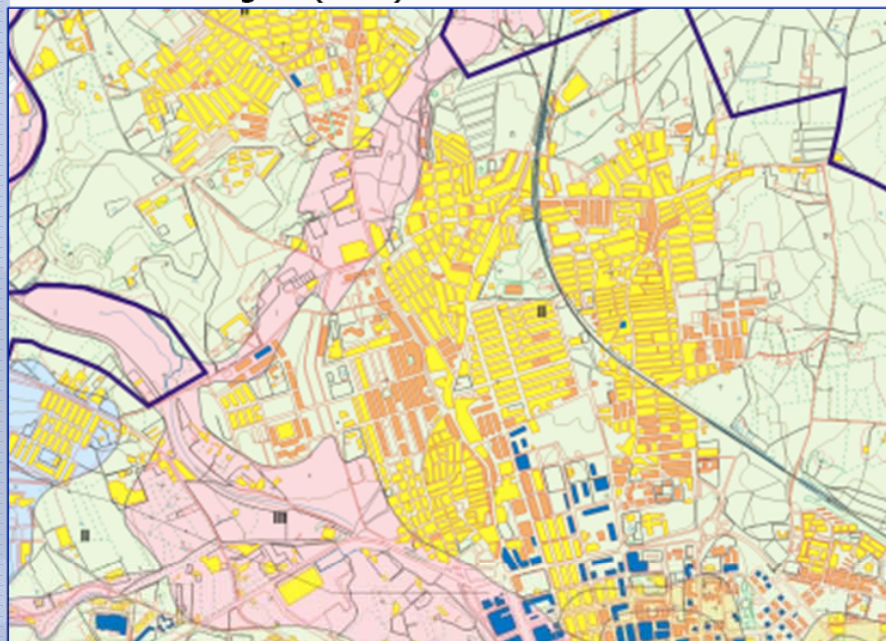
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Ciudad de Cartagena (2000)



TERREMOTO DE REFERENCIA
Magnitud Richter: 4.7
Probabilidad de ocurrencia 100 años: 9.5

UNIDADES SISMO-GEOTECNICAS	RESPUESTA ANTE TERREMOTOS
1 Sustrato rocoso aflorante. Filitas, cuarcitas y calcosquistos (Pérmico) Calizas y dolomías (Triásico) Margas, areniscas micáceas, margas arcillosas y areniscas calcáreas (Plioceno) Formación carbonatada con niveles de calizas, costras, cantos arenosos y conglomerados (abánico aluvial del pleistoceno inferior) Intrusiones volcánicas	Terrenos estables
2 Depósitos cuaternarios (suelos duros) Depósitos de terraza, abanico aluvial y glacis. Limos arcillosos, arenas, gravas y encostramientos de 5 a 25 m de espesor.	Terrenos estables. Ligera amplificación en las zonas de mayor espesor de suelos y con niveles freáticos próximos a la superficie.
3 Depósitos aluviales (alternancia de suelos duros y blandos). Fondos de rambla, llanuras de inundación temporalmente activas y zonas de acumulación de aguas de escorrentía. Arenas, limos y gravas de hasta 5m de espesor.	Terrenos en los que se produce una amplificación moderada de ondas. Riesgo bajo de licuefacción ante terremotos máximos.
4 Rellenos antrópicos de hasta 8m de espesor con restos arqueológicos enterrados sobre sustrato rocoso y depósitos cuaternarios. Nivel freático próximo a la superficie.	Terrenos en los que se produciría una amplificación media de ondas. Riesgo medio de licuefacción ante terremotos máximos.

Vulnerabilidad de edificios y respuesta sísmica

Áreas	Porcentaje de edificios			Vibración del terreno		Tipo de edificios vulnerables	Respuesta sísmica
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3	Amplificación máxima	Periodo (s)		
IA	100	0	0	Muy baja	—	Ninguno	Muy baja
IB	95	5	0	Muy baja	0.04	Ninguno	Muy baja
II	78	17	5	Media	0.043	Ninguno	Baja
III	79	3	18	Media	0.25	1	Media-alta
IVA	20	50	30	Media	0.37	2-1-3	Media-alta
IVB	40	50	10	Muy baja	—	Ninguno	Muy baja
VA	27	51	22	Muy alta	0.095	1	Media
VB	13	48	39	Media	0.07	1 - 2	Media
VC	19	34	47	Alta	0.3	2 - 1 - 3	Media-alta
VI	90	10	0	Baja	0.45	2 - 3	Baja

Provincia de Granada (2004)

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

LEYENDA

AMPLIFICACIÓN		PELIGROSIDAD SÍSMICA	
Muy baja o nula	0	ACELERACIÓN SÍSMICA BÁSICA	Valores de la aceleración sísmica básica por municipios según la Norma NCSR-02 (IGN). (Ver mapa adjunto)
Baja	1		
Media	2		
Alta	3	INTENSIDAD M.S.K.	Intensidades esperadas para periodos de retorno, T, de 100 ó 500 años, según el Mapa de Peligrisidad Sísmica del I.G.N. (1991). (Ver mapas de isosistas adjuntos para T = 100 años y T = 500 años)
	4		
	5		

FACTORES DE AMPLIFICACIÓN

LITOLOGÍA	VALORACIÓN RELATIVA
Rocas duras, con resistencia a compresión simple en estado inalterado generalmente mayor de 200 Kg/cm ² . Incluye formaciones compuestas por micaesquistos, neises, mármoles, calizas, dolomías, areniscas, conglomerados y margas.	0
Formaciones compuestas por rocas duras y blandas; incluye unidades geológicas con arcillas, areniscas, evaporitas y ofitas y margas con arcillas, limos, evaporitas y conglomerados.	1
Formaciones compuestas por suelos (en sentido geotécnico), con grado de consolidación medio. Litológicamente comprenden arcillas, gravas, limos, arenas. Su edad está comprendida entre el Plioceno y el Pleistoceno.	2
Formaciones compuestas por suelos (en sentido geotécnico) poco consolidados. Incluyen aluviales, conos de deyección y derrubios de ladera.	3
Formaciones con muy bajo grado de consolidación: turbas con arenas, arcillas y yesos	4

TOPOGRAFÍA	VALORACIÓN RELATIVA	PROFUNDIDAD DEL NIVEL FREÁTICO	VALORACIÓN RELATIVA
Áreas con pendientes < 15°	0	Sin nivel freático detectado o situado a más de 20 m (formaciones de suelo)	0
Áreas con pendientes de 15° a 30°	1	Nivel freático entre 10 y 20 m	1
Áreas con pendientes > 30°	2	Nivel freático generalmente a menos de 10 m de profundidad	2

ELEMENTOS TECTÓNICOS MÁS IMPORTANTES

- Alineaciones sismogénicas preferentes y fallas de actuación neotectónica
- Accidentes supuestamente neotectónicos deducidos por estructuras magnéticas o geofísicas
- Accidentes principales
- Lineamiento del borde occidental de Sierra Nevada
- Áreas con fallas de actuación neotectónica

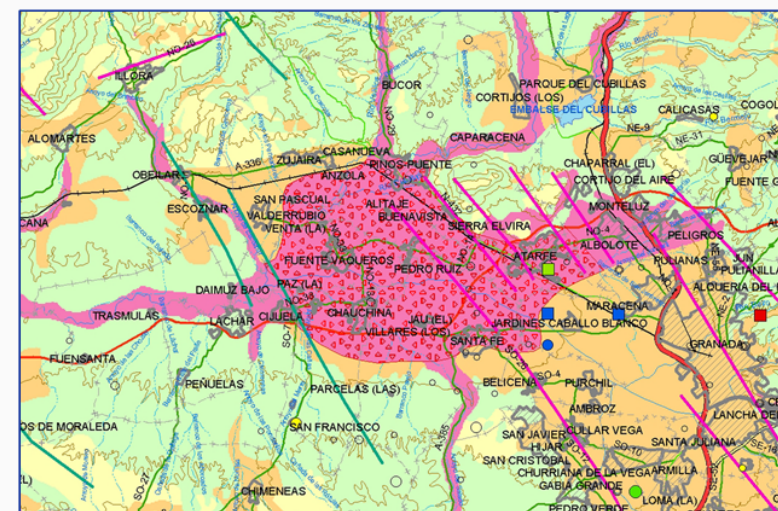
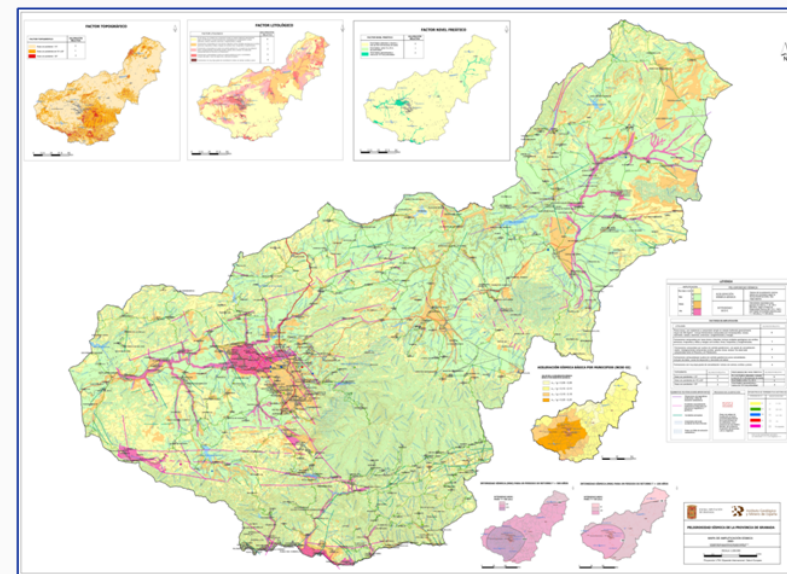
PROCESOS DE LICUEFACCIÓN

- Áreas con peligro de licuefacción en zonas puntuales (dependiendo de la granulometría de los sedimentos, de la presencia de nivel freático elevado, de la distancia al epicentro del terremoto y de su magnitud)

EPICENTROS DE TERREMOTOS HISTÓRICOS

INTENSIDAD M.S.K.	MAGNITUD RICHTER
VI	3 - 3,5
VII	3,6 - 4,0
VIII	4,1 - 5,0
IX	> 5
X	No asignada

Sólo se han representado epicentros con intensidad $\geq$ VI o con magnitud $\geq$ 3



INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

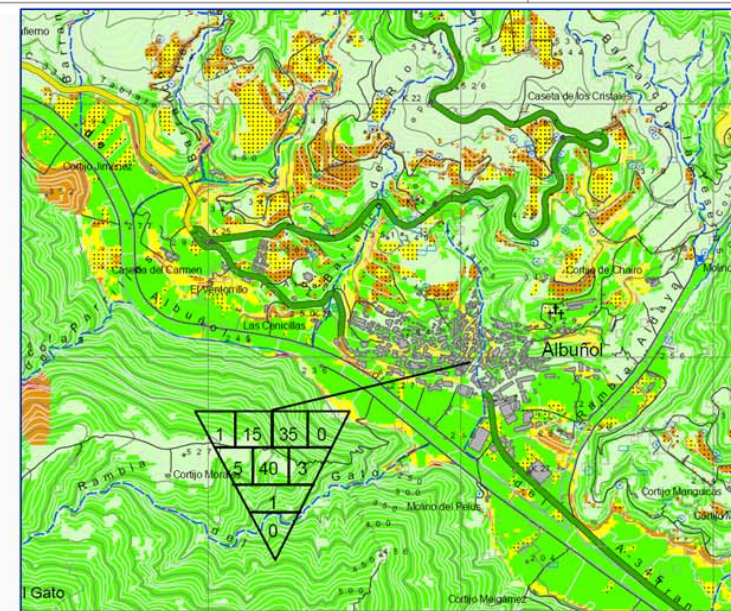
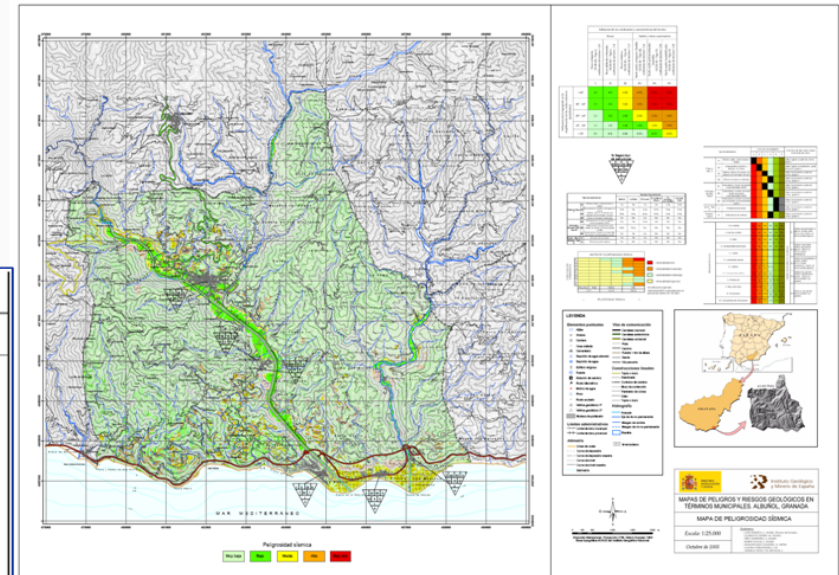
EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Albuñol (2005)

		Influencia de las condiciones y características del terreno					
		Rocas			Suelos y otros cuaternarios		
		Roca compacta. NCSE-02 = Tipo I, coeficiente de terreno = 1,0.	Roca tableada o fisurada. NCSE-02 = Tipo I, coeficiente de terreno = 1,0	Roca evolutiva. NCSE-02 = Tipo II, coeficiente de terreno = 1,3	Suelo suelto compacto. Estable. NCSE-02 = Tipo III, coeficiente de terreno = 1,6	Suelo suelto potencialmente inestable. NCSE-02 = Tipo IV, coeficiente de terreno = 2,0	Suelo suelto inestabilizado. NCSE-02 = Tipo IV, coeficiente de terreno = 2,0
		I	II	III	IV _a	IV _b	IV _c
Influencia de la topografía en la amplificación de las ondas sísmicas (pendientes)	> 60°	4-I	4-II	4-III	4-IV _a	4-IV _b	4-IV _c
	40° – 60°	3-I	3-II	3-III	3-IV _a	3-IV _b	3-IV _c
	20° – 40°	2-I	2-II	2-III	2-IV _a	2-IV _b	2-IV _c
	10° – 20°	1-I	1-II	1-III	1-IV _a	1-IV _b	1-IV _c
	< 10°	0-I	0-II	0-III	0-IV _a	0-IV _b	0-IV _c

Peligrosidad sísmica





INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

DATOS DE PARTIDA

MAPA DE PELIGROSIDAD
MACROSÍSMICA
REPRESENTADA POR LA
PGA(R) (para T=475 años,
periodo elegido)

DATOS DE PARTIDA

Reconocimiento de campo:
clasificación de las Unidades
Litológicas según el criterio
de Borchardt (1994)

DATOS DE PARTIDA

Modelo Digital del Terreno

ANÁLISIS DE LOS
EFECTOS DE SITIO:
EVALUACIÓN DE LA
AMPLIFICACIÓN POR
LITOLOGÍA

Definición de los
factores de
amplificación por efecto
litológico:

A

ANÁLISIS DE LOS
EFECTOS DE SITIO:
EVALUACIÓN DE LA
AMPLIFICACIÓN POR
TOPOGRAFÍA

Definición de los
factores de
amplificación por efecto
topográfico; mapa de
pendientes:

P

OBTENCIÓN DEL
MAPA DE
PELIGROSIDAD
SÍSMICA PARA UN
PERIODO DE
RETORNO DE 475
AÑOS:

Zonificación de la
PGA definida según
la expresión

$PGA = PGA(R) \cdot A \cdot P$

**Metodología
Utilizada en las
cartografías de
Microzs de las
Comarcas de la
CARM**

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

NO CARM (2004)



FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA LOS GRUPOS LITOLÓGICOS CONSIDERADOS EN EL ANÁLISIS

CLASE (NCSE-02)	AMPLIFICACIÓN Borcherdt, R.D (1994)
I. Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $V_s > 750$ m/s	$A = 1,00$
II. Roca muy fracturada, suelos granulares densos o cohesivos duros. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $750 \text{ m/s} \geq V_s > 400$ m/s	$A = 0,66Acc + 1,33$
III. Suelo granular de compactidad media, suelo cohesivo de consistencia firme. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla, $400 \text{ m/s} \geq V_s > 200$ m/s	$A = 0,24Acc + 1,62$

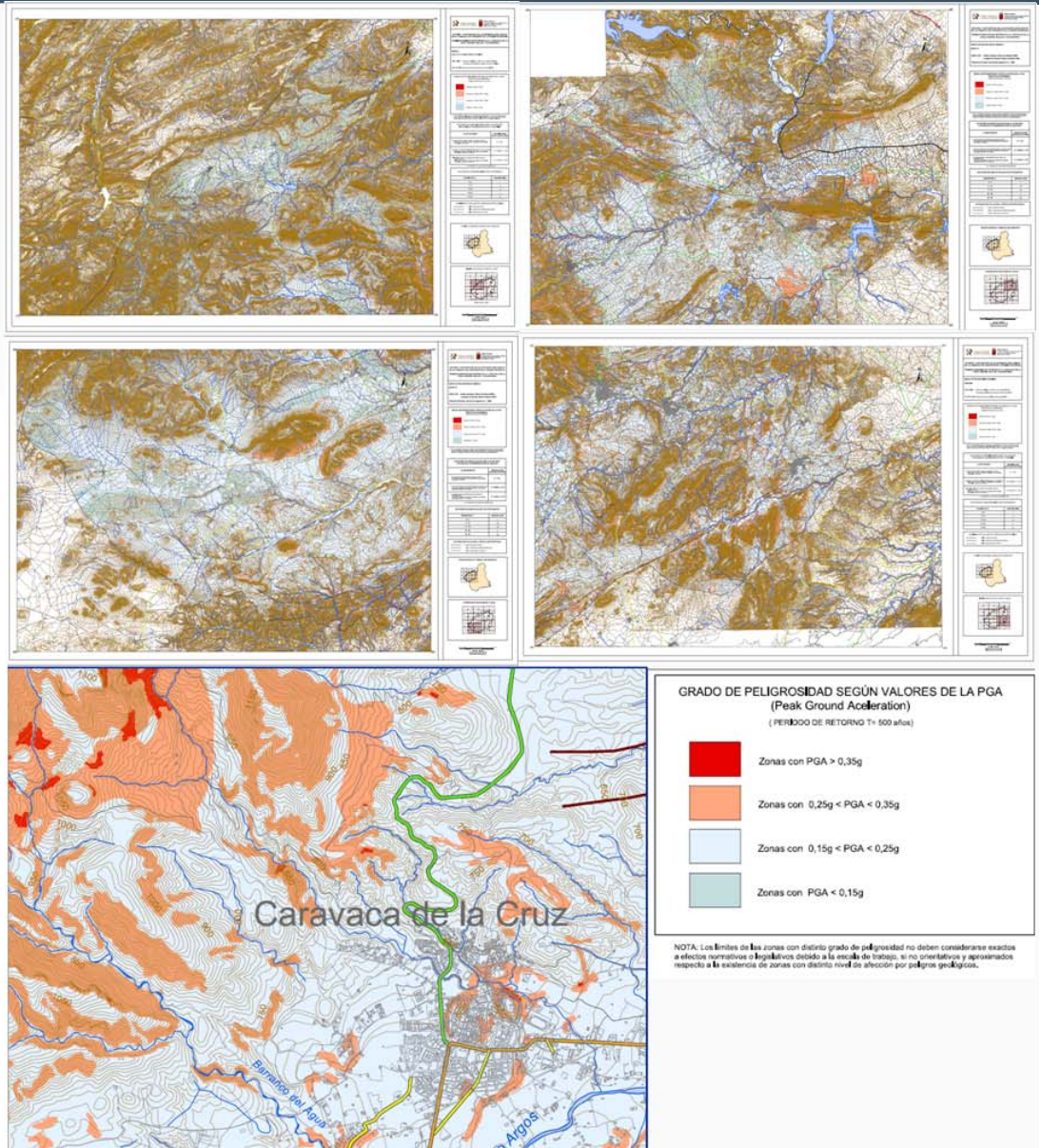
Acc: Aceleración en roca (mapa de isoaceleraciones)

FACTORES DE AMPLIFICACIÓN POR TOPOGRAFÍA

PENDIENTES (°)	AMPLIFICACIÓN
0 - 5	1
5 - 15	1,3
15 - 25	1,6
25 - 45	2
45 - 90	2,5

ACTIVIDAD DE FALLAS EN LA ÉPOCA NEOTECTÓNICA

- Falla o estructura activa
- Falla o estructura medianamente activa
- Falla o estructura poco activa



INTRODUCCION

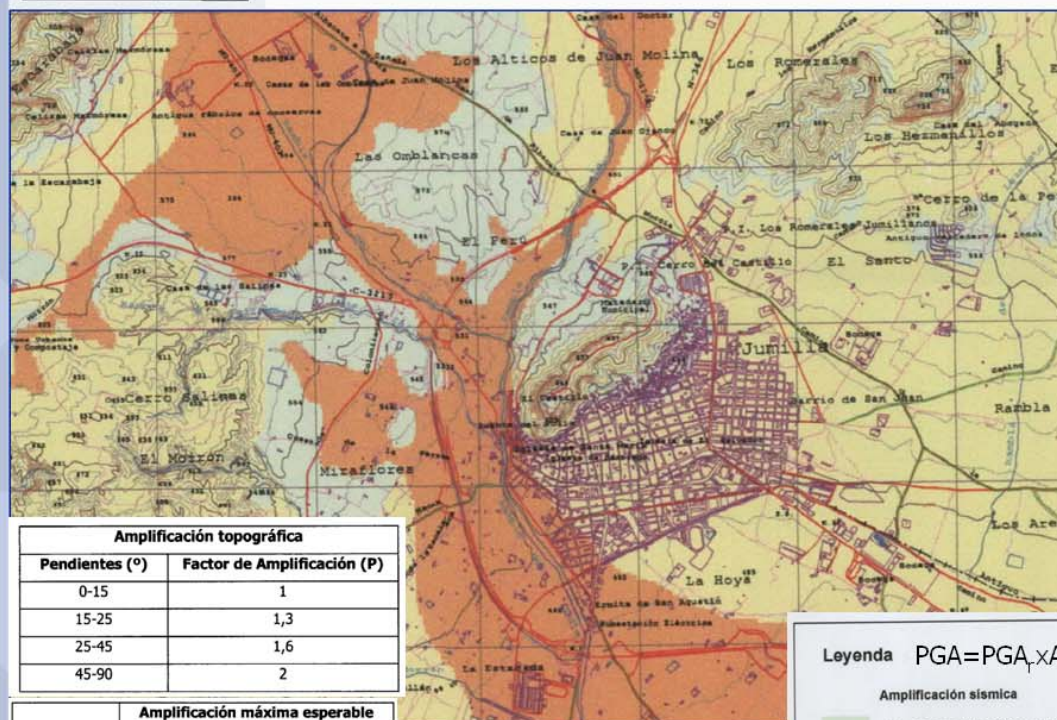
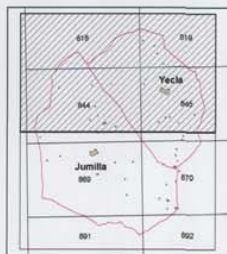
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Altiplano CARM (2005)



Amplificación topográfica	
Pendientes (°)	Factor de Amplificación (P)
0-15	1
15-25	1,3
25-45	1,6
45-90	2

Área	Amplificación máxima esperable para el terremoto característico	
	Factor de amplificación (A)	Clase
Área I	1,00	Muy Baja-Nula
Área II	1,22	Baja
Área III	1,80	Media

Legenda $PGA = PGA_1 \times A \times P$

Amplificación sísmica



Parámetros del terremoto característico

Intensidad MSK = VII
Magnitud $M_0 = 4,7$
Aceleración Máxima $PGA = 0,10 \text{ g}$ ($0,98 \text{ m/s}^2$)
Periodo de retorno = 500 años
Probabilidad de ocurrencia:
en 100 años 18,1 %
en 50 años 9,5 %

INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Centro CARM 2007



Fig. 1.1 Zona de estudio



Fig. 1.2 Distribución de los tipos de terreno en el Centro CARM 2007

FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA LOS TIPOS DE TERRENO (BORCHERT, 1994 y BORCHERT y WENTWORTH, 1995)

CLASE	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN (A)
SC-Ia	A = 0,9
SC-Ib	A = 1,0
SC-II	A = 1,3
SC-III	A = 1,6

AMPLIFICACIÓN POR TOPOGRAFÍA

PENDIENTES (°)	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN (P)
0-15	1
15-25	1,3
25-45	1,6
45-90	2

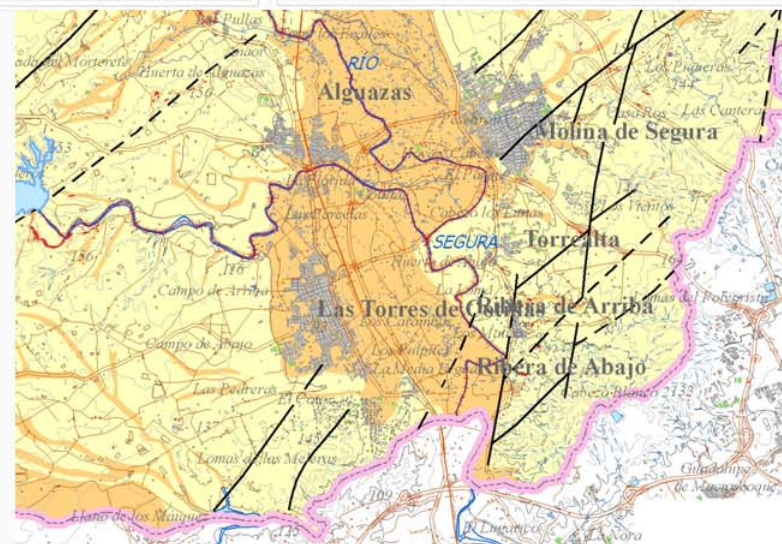
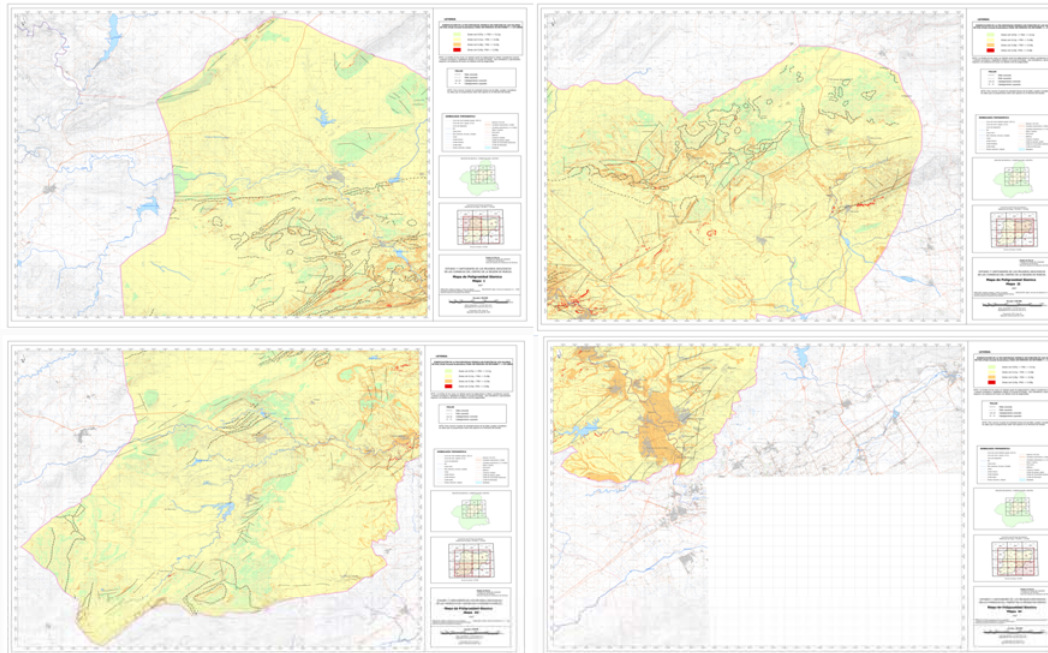
$$PGA = (PGA)_R \cdot A \cdot P$$

LEYENDA

ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE PGA (Peak Ground Acceleration) PARA UN PERIODO DE RETORNO T = 475 AÑOS

- Zonas con $0,07g \leq PGA \leq 0,11g$
- Zonas con $0,11g < PGA \leq 0,18g$
- Zonas con $0,18g < PGA \leq 0,24g$
- Zonas con $0,24g < PGA \leq 0,38g$

NOTA: Los límites de las zonas con distinto grado de peligrosidad no deben considerarse exactos a efectos normativos o legislativos debido a la escala de trabajo, sino orientativos y aproximados respecto a la existencia de zonas con distinto nivel de peligrosidad.



INTRODUCCION

EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

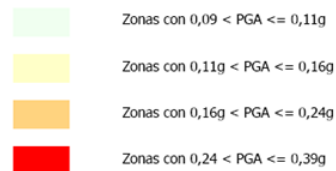
Guadalentín CARM (2007)

Amplificación topográfica	
Pendientes (°)	Factor de Amplificación (P)
0-15	1
15-25	1.3
25-45	1.6
45-90	2

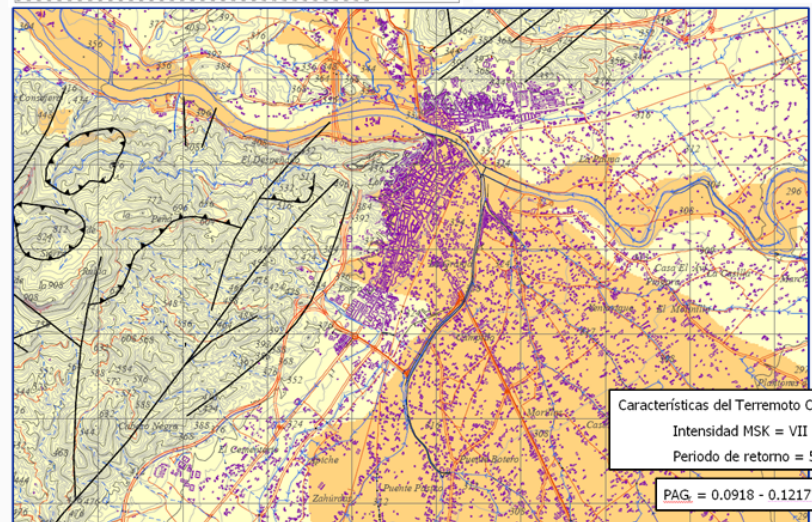
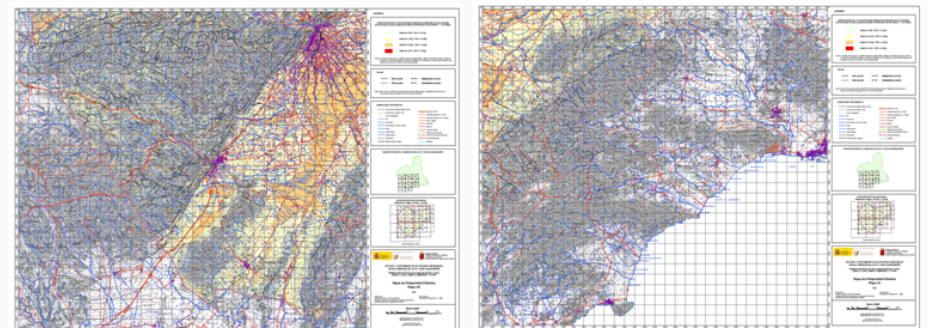
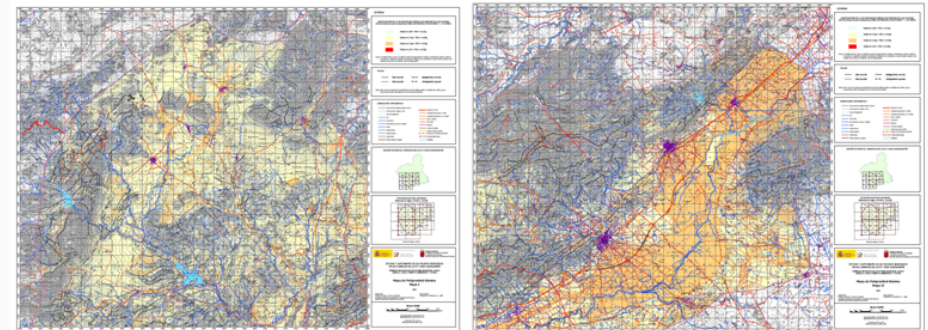
Área	Amplificación máxima esperable para el terremoto característico	
	Factor de amplificación (A)	Clase
Área I	1.00	Muy Baja-Nula
Área II	1.39 - 1.41	Baja
Área III	1.64 - 1.65	Media

$$PGA = PGA_p \times A \times P$$

ZONIFICACIÓN DE LA PELIGROSIDAD SÍSMICA EN FUNCIÓN DE LOS VALORES DE PGA (Peak Ground Acceleration) PARA UN PERIODO DE RETORNO T = 475 AÑOS



Nota: Los límites de las zonas con distinto grado de peligrosidad no deben considerarse exactos a efectos normativos o legislativos debido a la escala de trabajo, sino orientativos y aproximados respecto a la existencia de zonas con distinto nivel de peligrosidad.



Características del Terremoto Característico:
Intensidad MSK = VII
Periodo de retorno = 500 años

PGA = 0.0918 - 0.1217 g

INTRODUCCION

EFEITOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Área Metropolitana Murcia (2009)

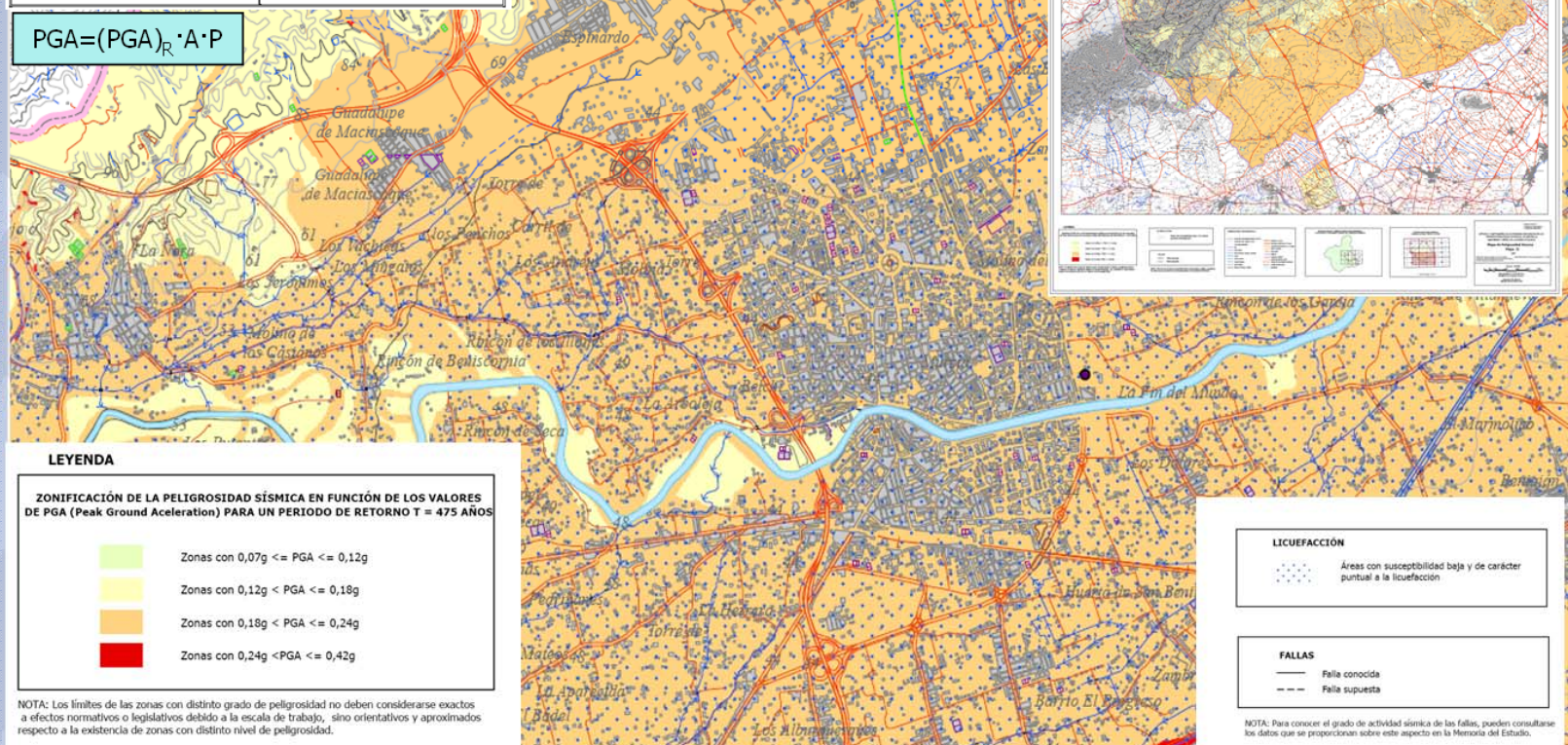
FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA LOS TIPOS DE TERRENO (BORCHERDT, 1994 y BORCHERDT y WENTWORTH, 1995)

CLASE	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN (A)
SC-Ia	A = 0,9
SC-Ib	A = 1,0
SC-II	A = 1,3
SC-III	A = 1,6
SC-IV	A = 2,444

AMPLIFICACIÓN POR TOPOGRAFÍA

PENDIENTES (°)	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN (P)
0-15	1
15-25	1,3
25-45	1,6
45-90	2

$$PGA = (PGA)_R \cdot A \cdot P$$



INTRODUCCION

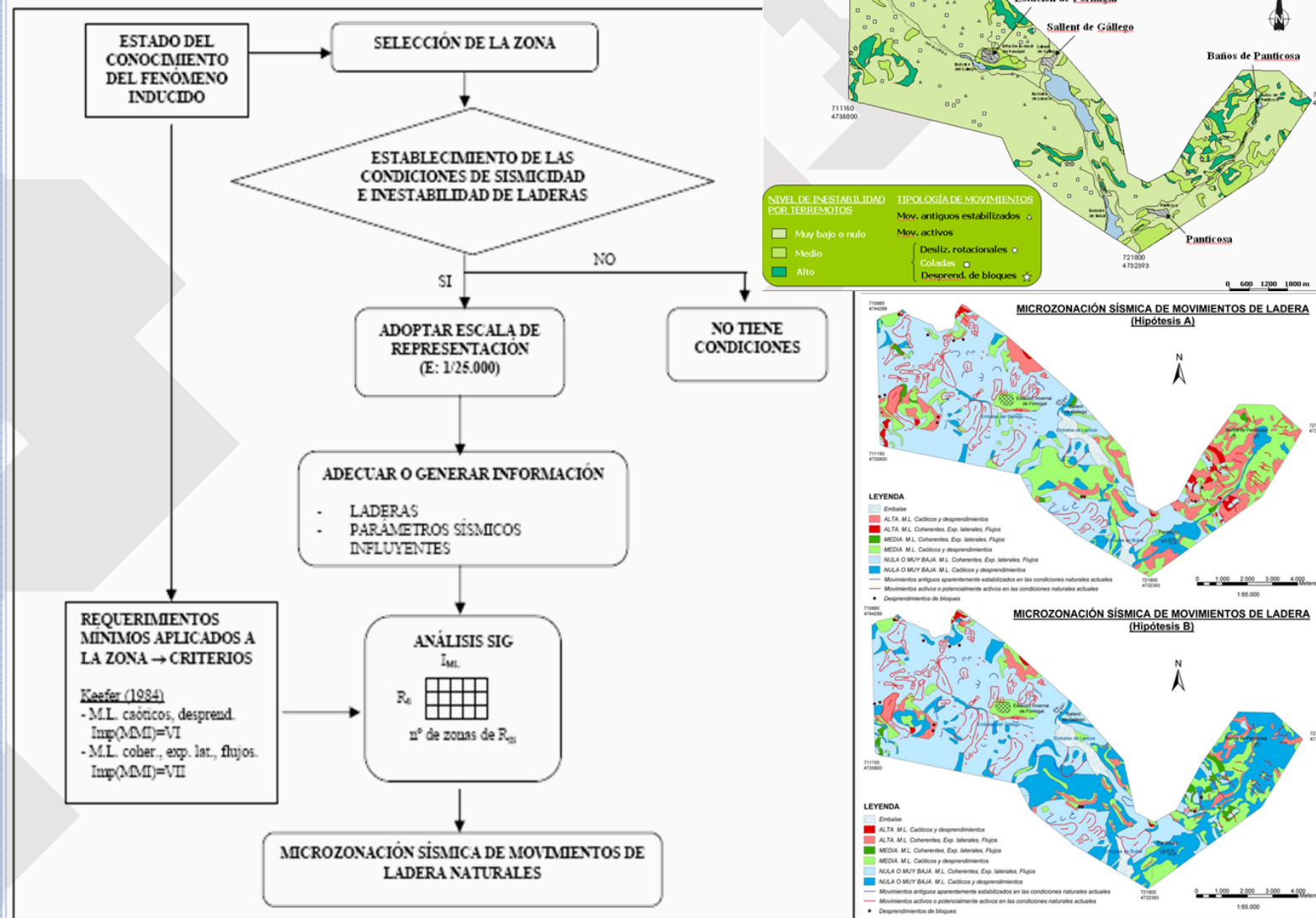
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

**Alto Tena. Microzonación sísmica de movimientos de ladera.
(1999, 2003)**



INTRODUCCION

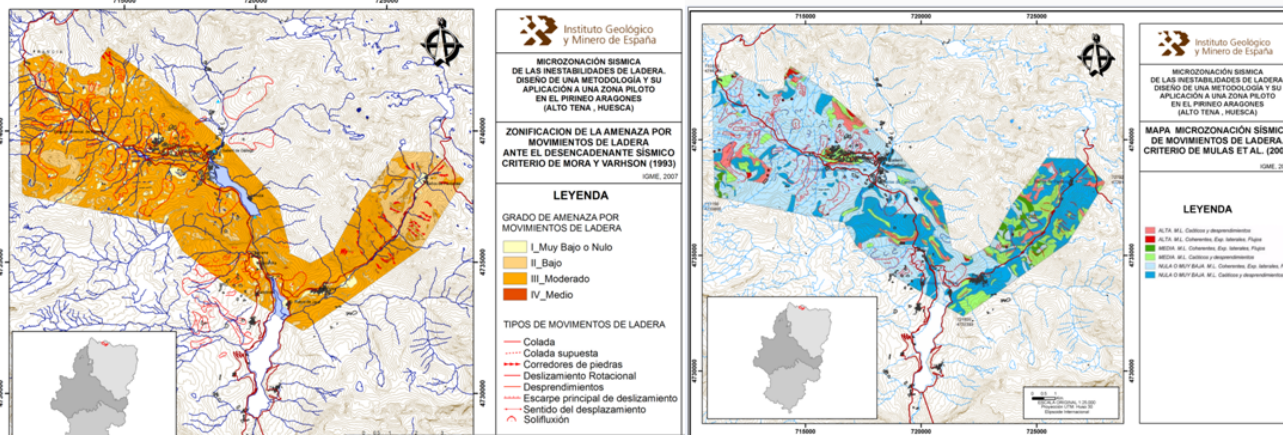
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

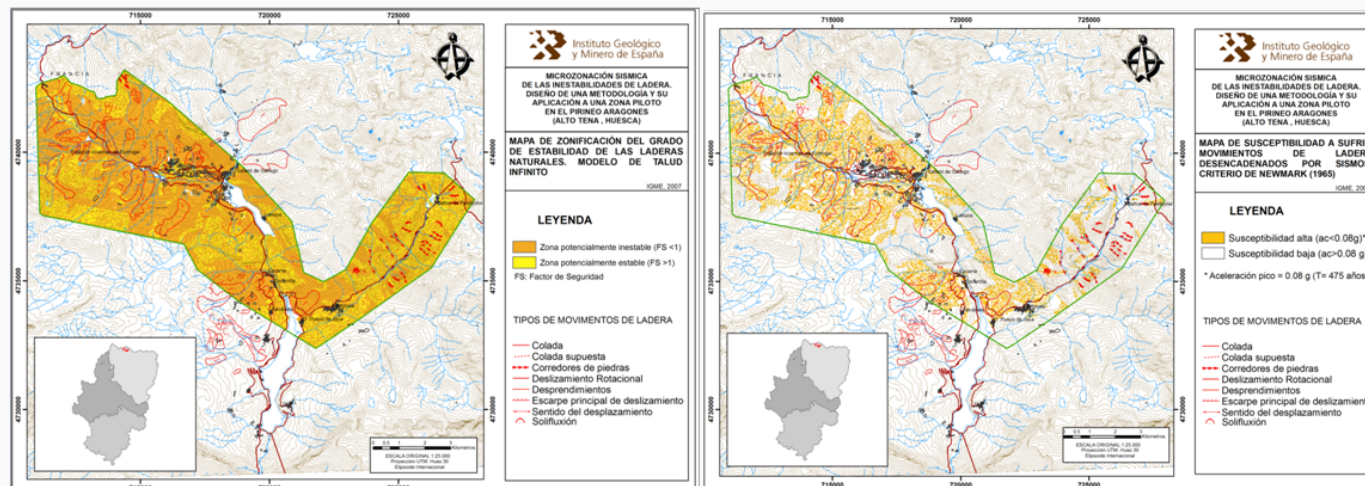
Alto Tena (2007)



MÉTODOS DE ANÁLISIS CARTOGRAFICO

En la literatura técnica y científica se pueden encontrar diversas técnicas para evaluar la estabilidad dinámica de laderas, aplicables tanto al análisis de problemas puntuales como regionales. En este último caso, la clasificación de los métodos existentes es muy variable en función de autores considerados, repitiéndose conceptos similares, pero organizados de distinta forma.

Por esta razón, uno de los objetivos principales del presente estudio ha consistido en la revisión y organización de la información referente a las distintas metodologías de análisis cartográfico presentes en la literatura técnica y científica. En este sentido, se ha realizado una síntesis de las clasificaciones metodológicas realizadas por distintos autores



JORNADA TÉCNICA

"LAS ÚLTIMAS NOVEDADES SOBRE LOS RIESGOS SÍSMICOS, VOLCÁNICOS Y TSUNAMIS,
Y PROTECCIÓN CIVIL EN ESPAÑA

INTRODUCCION

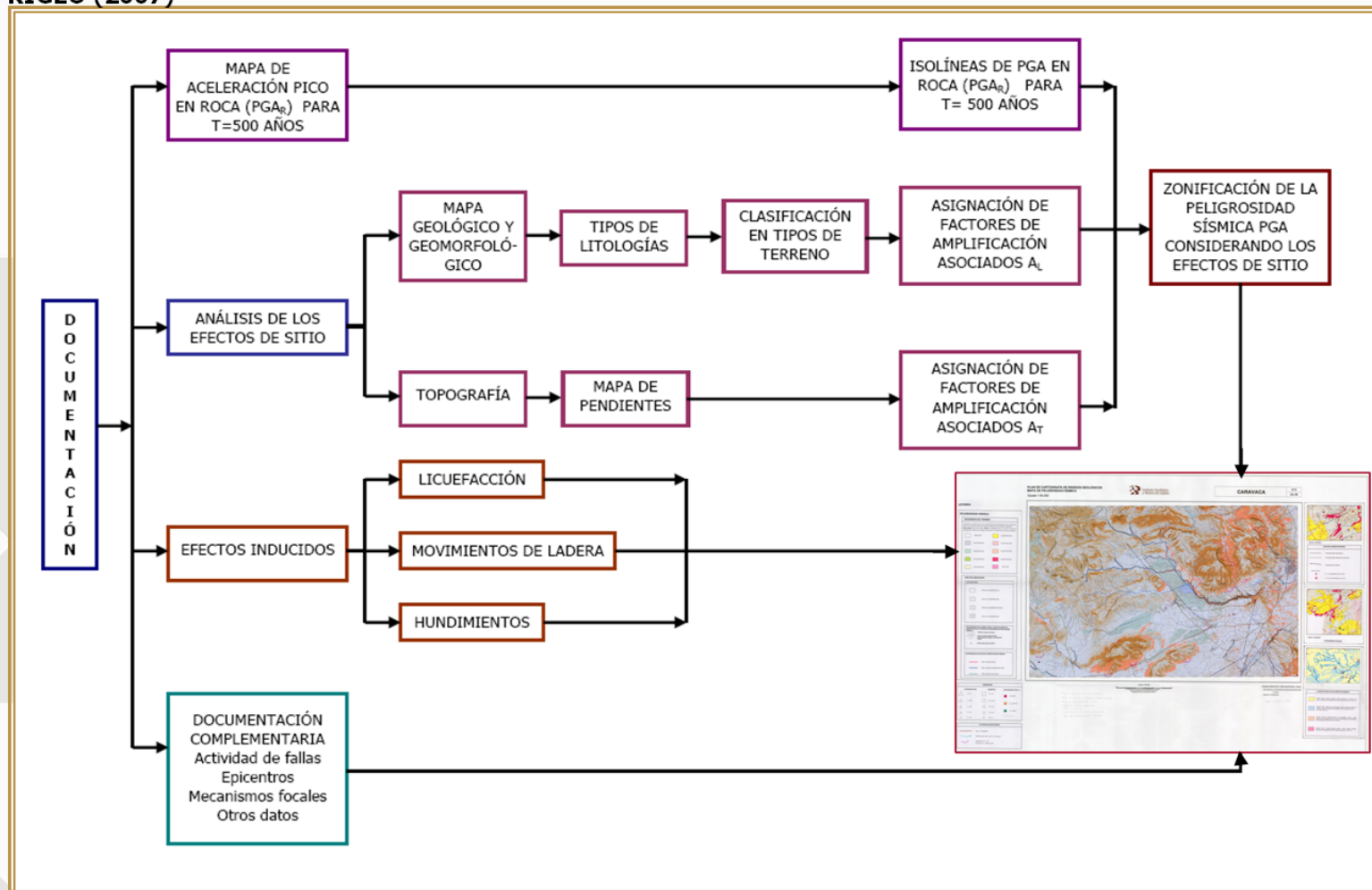
EFFECTOS DE SITIO

MZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

PRIGEO (2007)



PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PRIGEO (2007). Trabajos de apoyo para la definición de una Guía Metodológica para la elaboración del Mapa de Peligrosidad Sísmica en el marco del PRIGEO.

OBJETIVO

Estos trabajos de apoyo tienen por objeto recopilar, unificar y analizar el gran volumen de información disponible sobre cartografía de los aspectos relacionados con los terremotos, especialmente los aplicables a España.

INTRODUCCION

EFECTOS DE SITIO

M.Z.S.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

❖ Investigar y desarrollar la aplicación de datos y criterios geológico-geotécnicos en la comprensión y evaluación de los efectos producidos en el terreno por el paso de las ondas sísmicas identificación de áreas propensas a la amplificación del movimiento del terreno y a la ocurrencia de fenómenos inducidos en España.

❖ Desarrollo de investigaciones sobre clasificaciones de sitio, factores de amplificación específicos para localidades españolas en riesgo y comportamientos no lineales.

❖ Análisis del comportamiento sísmico del terreno con deformación permanente (licuefacción, densificación, inestabilidades de ladera, subsidencia, colapsos y rotura de falla en superficie).

❖ Estudios de variabilidad de la respuesta sísmica, mediante criterios geológico-geotécnico en cuencas sedimentarias españolas.

Las metodologías propuestas

o Métodos clásicos (cartografía de formaciones superficiales, procesos activos y geotécnica).

o Implementación en un SIG.

o Ensayos geotécnicos y geofísicos de laboratorio e in situ.

o Técnicas de control remoto y GPS (análisis de deformaciones)

o Análisis de la amplificación sísmica (modelización geotécnica/métodos empíricos, analíticos y numéricos).

INTRODUCCION

EFECTOS DE SITIO

M.ZS.

EJEMPLOS IGME

PERSPECTIVAS

Transferencia de conocimiento a través de la generación de productos tales como:

❖ **Bases de datos**

❖ **Monografías, manuales y guías de cartografía** sobre el comportamiento sísmico del terreno a escalas regional y/o municipal para diferentes escenarios sísmicos. Definición de normativas y especificaciones cartográficas.

❖ **Estudios y cartografías** (microzonación sísmica) piloto en zonas de interés

❖ **Recomendaciones para el diseño** (clasificación de sitio, evaluación del factor de amplificación, licuefacción y estabilidad de taludes.)

❖ **Diseño de un simulador de escenarios sísmicos** con consideración de los **efectos de sitio y parametros focales del terremoto** para su utilización en sistemas de apoyo a la alerta y vigilancia sísmica.



Instituto Geológico
y Minero de España