



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España



Región de Murcia
Consejería de Política Territorial
Obras Públicas y Medio Ambiente

ESTUDIO DE PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD SISMICA EN LORCA Y SU TERMINO MUNICIPAL

Ingeniería GeoAmbiental



Madrid 1992

R
01145

**ESTUDIO DEL RIESGO SISMICO DE LA
CIUDAD DE LORCA Y SU TERMINO
MUNICIPAL**



Instituto Tecnológico
GeoMinero de España

Area de Ingeniería GeoAmbiental

© INSTITUTO TECNOLÓGICO GEOMINERO DE ESPAÑA
CONSEJERÍA DE POLÍTICA TERRITORIAL OBRAS PÚBLICAS Y MEDIO AMBIENTE
DE LA REGIÓN DE MURCIA.

Ríos Rosas, 23 - 28003 MADRID.
Tel. (91) 4416500- Télex 48054 - Fax 4426216.
Puede reproducirse el contenido, citando la
procedencia y los autores.

Foto Portada: Vista parcial del Castillo de Lorca (Murcia) y parte de su casco urbano (Paisajes Españoles).

Agradecimientos :

El Instituto Tecnológico y Geominero de España, agradece la colaboración y las facilidades dadas para la realización de este Estudio a las siguientes personas e instituciones:

Guerra, C. ,Fernández Romero, J.L., García Pedrero, J.B., Martín, J., Ancosta, A., Alameda, J., Pallarés, P., Ros, S.; al Exmo. Ayuntamiento de Lorca, en particular a D. Alfonso Provencio por su cordial y eficaz asistencia en la obtención de datos y a D. Ramón Aragón Rueda y D. José Ramón Cobos, de la oficina del I.T.G.E. en Murcia.

Este Estudio ha sido realizado por el Area de Ingeniería Geoambiental del Instituto Tecnológico y Geominero de España (I.T.G.E.) en régimen de colaboración con la Empresa GEONOC, S.A. (Estudios Geológicos-Geotécnicos) y en él ha intervenido el siguiente Equipo Técnico:

D. Francisco López Santiago * <i>Ingeniero Técnico de Minas</i> * <i>Director del Estudio</i>	I.T.G.E
D. Joaquín Mulas de la Peña * <i>Ingeniero de Minas</i> * <i>Planificación y Coordinación del Estudio</i>	I.T.G.E.
D. Luis Miguel Barranco Sanz * <i>Licenciado en Ciencias Geológicas</i>	
D. Alberto Gracia Bernal * <i>Licenciado en Ciencias Geológicas</i>	GEONOC,S.A.
D. Miguel Angel Pérez Picallo * <i>Licenciado en Ciencias Geológicas</i>	GEONOC,S.A.
D. Jesús Miguel Rico Romero * <i>Licenciado en Ciencias Geológicas</i>	GEONOC, S.A.

GEOFISICA :

D. Angel Granda Sanz * <i>Ingeniero de Minas</i> * <i>Prospección Sísmica</i>	I.G.T.
D. Reinerio Hevia-Muñiz * <i>Ingeniero de Minas</i> * <i>Prospeccion Sísmica</i>	I.G.T.
D. Juan Ignacio Sell Cantalapiedra * <i>Prospección Eléctrica</i>	HIDROCON

INDICE

PROLOGO

1. INTRODUCCION.....	8
1.1. Antecedentes.....	9
1.2. Justificación.....	10
1.3. Objetivos.....	11
1.4. Método.....	11
2. HISTORIA SISMICA DE LORCA.....	14
2.1. Introducción.....	14
2.2. Sismicidad histórica en Lorca.....	15
2.3. El terremoto de 1.674.....	21
3. ENCUADRE NEOTECTONICO Y SISMOTECTONICO.....	24
3.1. Introducción.....	24
3.2. Marco Geodinámico.....	24
3.3. Definición del periodo Neotectónico.....	26
3.4. Estructura geológica de la Comarca de Lorca.....	26
3.5. Neotectónica.....	27
3.5.1. Principales fallas neotectónicas.....	27
3.5.2. Dominios.....	34
3.6. Sismicidad.....	36
3.7. Sismotectónica.....	41
3.8. Situación Geodinámica actual: mecanismos focales.....	45
4. EVALUACION DE LA PELIGROSIDAD.....	46
4.1. Introducción.....	46
4.2. Atenuación.....	47
4.3. Macrozonación sísmica.....	51
4.3.1. Situación del área de estudio. Término Municipal.....	51
4.3.2. Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica del Término Municipal de Lorca E 1:100.000.....	56
4.4. Microzonación sísmica.....	58
4.4.1. Marco conceptual, metodología y limitaciones.....	58
4.4.2. Investigación de apoyo.....	60
4.4.2.1. Introducción y objetivos.....	60
4.4.2.2. Metodología de trabajo.....	61
4.4.2.3. Resultados obtenidos.....	63
4.4.3. Factores de amplificación local.....	65
4.4.3.1. Composición, estructura y distribución de suelos.....	65
4.4.3.1.1. Delimitación del área estudiada.....	65
4.4.3.1.2. Caracterización geológica.....	66
4.4.3.1.3. Caracterización geotécnica.....	71

4.4.3.1.4. Clasificación de las diferentes zonas.....	79
4.4.3.2. Elementos neotectónicos con incidencia local.....	81
4.4.3.3. Efectos de la topografía.....	83
4.4.3.3.1. Cuantificación relativa del efecto de amplificación.....	84
4.4.3.3.2. Subdivisión del territorio en zonas.....	85
4.4.3.4. Condiciones hidrogeológicas locales (Nivel Freático).....	87
4.4.3.5. Ruptura de la superficie del terreno por falla.....	93
4.4.3.6. Fenómenos inducidos.....	94
4.4.3.6.1. Desprendimientos.....	95
4.4.3.6.2. Peligro de licuefacción.....	96
4.4.3.6.3. Otros riesgos asociados.....	100
 5. EXPOSICION SISMICA.....	 101
5.1. Introducción. Elementos expuestos.....	101
5.2. Exposición estructural y poblacional en Lorca.....	103
5.2.1. Introducción.....	103
5.2.2. Aspectos de la exposición poblacional en Lorca.....	105
 6. VULNERABILIDAD SISMICA.....	 107
6.1. Concepto y limitaciones.....	107
6.2. Escala de vulnerabilidad (M.S.K.). Normas Sismorresistentes.....	108
6.3. Distribución de los tipos de construcción, líneas de vida y , edificios singulares.....	110
6.3.1. Clasificación tipológica.....	110
6.3.2. Distribución de las diferentes zonas.....	111
6.3.3. Líneas de vida y edificios singulares.....	112
6.3.4. Aspectos urbanísticos.....	113
6.3.4.1. Introducción.....	113
6.3.4.2. Infraestructura.....	114
6.4. Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca (E: 1/5.000). Metodología.....	116
 7. ESTIMACION DE LOS DAÑOS QUE UN TERREMOTO CATASTROFICO PRODUCIRIA EN LORCA.....	 119
 8. CONCLUSIONES.....	 127
 9. RECOMENDACIONES.....	 129
 10. BIBLIOGRAFIA.....	 144

ANEXOS.

- I. Cortes Topográficos de la Ciudad de Lorca y su entorno próximo. Valoración del orden de magnitud relativa de amplificación del factor topográfico.
- II. Plano de situación de los perfiles de investigación geofísica.
- III. Perfiles sísmicos.
- IV. Perfiles realizados en base a sondeos eléctricos verticales (S.E.V.). Columnas estratoresistivas.
- V. Sismicidad total en el área suroriental de la Península Ibérica. Mapas de isosistas de terremotos en la Región de Murcia. (Fuente: Banco de Datos Sísmicos, Servicio Nacional de Sismología, Instituto Geográfico Nacional, M.O.P.T.).
- VI. Fotografías.
- VII. Relación de estudios recopilados para la caracterización de los materiales en Lorca

PROLOGO

Durante los últimos años y con especial intensidad en las zonas sísmicamente más activas y tecnológicamente mejor equipadas, se vienen efectuando, con gran profusión, estudios de microzonación sísmica con diferentes objetivos, que afectan tanto a ciudades como a regiones específicas.

Cabe citar al respecto las cuatro Conferencias Mundiales que hasta la fecha se han celebrado sobre Microzonación Sísmica, todas ellas en Estados Unidos (Seattle, 1.972; San Francisco, 1.978; Seattle, 1.982 y California 1.991).

En España se han realizado también algunas propuestas en este sentido, y se han ido incorporando metodologías más o menos actuales. Sin embargo se puede afirmar que todavía no han prosperado definitivamente este tipo de estudios, a pesar del enorme interés que el tema despierta desde el punto de vista de su aplicación a campos tan diversos como la Ingeniería Civil, Ordenación del Territorio o Protección Civil.

La realización del «Estudio de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca y su Término Municipal» viene a resultar por ello un trabajo en cierta medida pionero en el campo de los estudios de microzonación sísmica en España. Cabe únicamente señalar que este estudio viene precedido por el «Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Alcoy» en el que se establecieron ya las bases para la realización de éste tipo de trabajos. En el caso de Lorca, además, se hace una evaluación también del Término Municipal (Escala 1:100.000). Con todo ello, se viene a llenar un hueco, al menos en lo referente a la caracterización de la vulnerabilidad sísmica potencial de un área geológicamente tan restringida como es la de un Término Municipal, y más aún, el casco urbano de una ciudad.

Atendiendo a los condicionantes locales (suelo y topografía fundamentalmente) e incorporando factores propios del entorno urbano (tipologías constructivas, riesgos inducidos, etc.), se han utilizado métodos innovadores que con carácter cualitativo y con las limitaciones propias de un estudio de estas características, han servido para alcanzar los objetivos perseguidos.

Los autores del estudio, confiamos en que en el futuro, la aplicación de modelos más desarrollados y potentes vengán a confirmar de forma cuantitativa los resultados aquí obtenidos.

1. INTRODUCCION

Los terremotos son uno de los fenómenos geológicos más espectaculares y que de manera más clara patentizan el "dinamismo" del planeta.

Se trata de fenómenos originados por la liberación de energía en determinadas zonas de la litosfera, en general fallas, aunque los muy profundos (más de 400 km.) puedan tener otra explicación (ARENILLAS PARRA, M. 1.985).

El enorme número de personas que han perdido la vida como consecuencia de los terremotos y los inmensos daños producidos sobre los bienes y construcciones a lo largo de la historia de la humanidad, unido a su carácter súbito e impredecible, explican el interés y el esfuerzo que en las últimas décadas se ha prestado al estudio de sus causas y fenomenología (CAPOTE DEL VILLAR, R. 1.987).

El impacto en la opinión pública de los daños ocasionados por los terremotos es muy traumatizante y la sociedad, exige actualmente una reducción paulatina y rápida del nivel general de riesgo. Las causas de esta demanda social son, en parte, las siguientes (CASTELLANO MALDONADO, M., 1.986):

a). La sociedad sobrevalora a menudo la capacidad tecnológica para dominar la naturaleza, exigiendo el control de accidentes y catástrofes naturales que hoy en día aún no son controlables ni predecibles.

b). El paulatino aumento del bienestar social implica una cada vez menor aceptación de riesgos exteriores no controlados. El «riesgo ambiental» actualmente tolerado por las sociedades de países occidentales es aproximadamente 10^{-6} muertes por persona y año. Este riesgo aceptable puede ser tres o cuatro órdenes de magnitud mayor, si es voluntario, (INGLES, O.G., 1.979).

c). El desarrollo cultural e intelectual ha llevado anexo en los últimos años profundos cambios en las ideas religiosas y sociales y una progresiva desaparición de las éticas fatalistas. Las catástrofes naturales ya no son más «un deseo de Dios», sino que se contemplan como fenómenos físicos regulados por leyes naturales estrictas, que han de conocerse y que, en último extremo, podrían manipularse. En consecuencia, se exigen responsabilidades a los poderes públicos, y estos han de aceptar la existencia de dichas responsabilidades para con el cuerpo social.

Acontecimientos sísmicos muy importantes como los de Méjico (1.985), Armenia (1.988), y los más recientes de San Francisco (1.989), Argelia (1.989), Filipinas (1.990) e Irán (1.990) han llamado poderosamente la atención de la opinión pública hacia el fenómeno sísmico y han puesto de manifiesto cómo en países de avanzada tecnología y con una gran "cultura" sísmica, se puede pensar razonablemente en reducir, a veces de forma muy notable, el número de víctimas y las cuantiosas pérdidas en edificación e infraestructuras.

Como todos los riesgos naturales, la posibilidad de predicción o prevención, depende del conocimiento que se tenga del fenómeno y del grado de refinamiento y cuantificación de los modelos teóricos desarrollados, (CAPOTE DEL VILLAR, R. 1.987).

Actualmente se puede afirmar que se dispone de conocimientos y medios para tener una idea aproximada de los máximos terremotos que pueden sentirse en una zona y se pueden prever los efectos dinámicos en las construcciones y su comportamiento; sin embargo, son muchos los problemas concretos, aún no resueltos, que se intentan dominar con coeficientes de seguridad introducidos directa o indirectamente (GARCIA YAGUE, A. 1.987).

En el momento actual, es evidente que no se puede atacar el origen del fenómeno a fin de eliminar el riesgo de ocurrencia: la sociedad se encuentra expuesta a ese riesgo independientemente de su actuación. Sin embargo, en su mano está únicamente la posibilidad de atenuar los daños propiciando la realización de estudios y exigiendo, en su caso, la aplicación responsable de las normas y recomendaciones vigentes.

La minimización de los daños originados por las catástrofes naturales y en concreto por los terremotos, constituye una política común de todas las naciones, en especial de aquellas que han alcanzado un mayor nivel de desarrollo. Para lograrlo, los países situados en zonas sísmicas, realizan fuertes inversiones económicas en investigaciones y estudios en los campos de la Sismología, Ingeniería Sísmica y ciencias conexas, cuyos resultados se plasman fundamentalmente en una serie de medidas de ordenación territorial, tales como la planificación del uso del suelo, la ordenación urbanística y arquitectónica de las ciudades y el cálculo sismoresistente de las estructuras (MARTIN MARTIN, J.A., 1.989).

1.1. Antecedentes.

Los estudios a gran escala de aspectos involucrados en el riesgo sísmico (sismicidad, peligrosidad, vulnerabilidad, etc.) tienen una importante función a la hora de todo tipo de actuaciones a nivel comarcal y urbano. El Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de Lorca a escala 1: 5.000, se encuadra en este tipo de estudios en los cuales, se reflejan los factores locales a tener en cuenta en la evaluación del riesgo sísmico. Para la realización de este tipo de estudios, se precisa una considerable cantidad de datos y conocimientos locales que necesariamente se obtienen en áreas que como Lorca presentan ya una información básica (geológica, geotécnica y estructural) importante.

Si se exceptúan el Mapa de Microzonación Sísmica de la Huerta de Murcia (IBARGUREN, 1.986) y el Estudio de Daños en la ciudad de Málaga (MUÑOZ y UDIAS, 1.988, LOPEZ CASADO et al., 1.992), todos ellos de características metodológicas diferentes y el ya mencionado de la ciudad de Alcoy, (ITGE, 1990) no se han realizado hasta la fecha, otros estudios de microzonación sísmica en España, estando en vías de realización actualmente en algunas ciudades del Levante y Andalucía Oriental, trabajos a escala de municipio sobre aspectos del riesgo sísmico.

1.3. Objetivos.

El objetivo final que se pretende alcanzar con este estudio es la elaboración del *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica* del Término Municipal (a escala 1:100.000) y de detalle, (a escala 1:5.000) de la Ciudad de Lorca.

En estos mapas, se plasmarán todos los datos obtenidos y se reflejarán las zonas del Término y del casco urbano de la ciudad, con mayor o menor vulnerabilidad sísmica.

En base a lo anterior, se redactarán una serie de recomendaciones y podrán adoptarse medidas eficaces de Protección Civil y Ordenación Urbana.

1.4. Método.

Para la elaboración de los *Mapas de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca y de su Término Municipal*, se ha seguido un proceso metodológico relativamente complejo que integra los numerosos factores que intervienen en el problema planteado.

Se han establecido cinco fases para la aproximación progresiva del problema. Estas incluyen en primer lugar la recopilación bibliográfica tanto de carácter general (sobre el fenómeno sísmico y su influencia sobre áreas habitadas) como de carácter local (problemática específica de la Ciudad de Lorca y de su Término Municipal). Se han recopilado así mismo cuantos antecedentes pudieran existir acerca de este tipo de trabajos.

Posteriormente, se ha procedido al estudio minucioso de la historia sísmica de la Ciudad de Lorca recopilando información de fuentes muy diversas a partir de la cuál se ha obtenido un «Catálogo Sísmico» de la ciudad y se ha podido obtener un mapa de distribución de epicentros para una zona que se corresponde aproximadamente con un círculo de centro en Lorca y unos 200 km. de radio. Dentro de esta primera fase, se incluye también un análisis pormenorizado del marco neotectónico y sismotectónico del área investigada, estableciéndose la situación de posibles «fuentes sísmicas».

En una segunda fase, se ha procedido a realizar una campaña de investigación geofísica basada en la realización de perfiles sísmicos (prospección sísmica) y eléctricos (prospección eléctrica) en el casco urbano de Lorca, a fin de determinar y corroborar, en su caso, la precisión de los datos que acerca del subsuelo de la ciudad se obtuvieron en la fase anterior (recopilación y análisis de la información geotécnica existente).

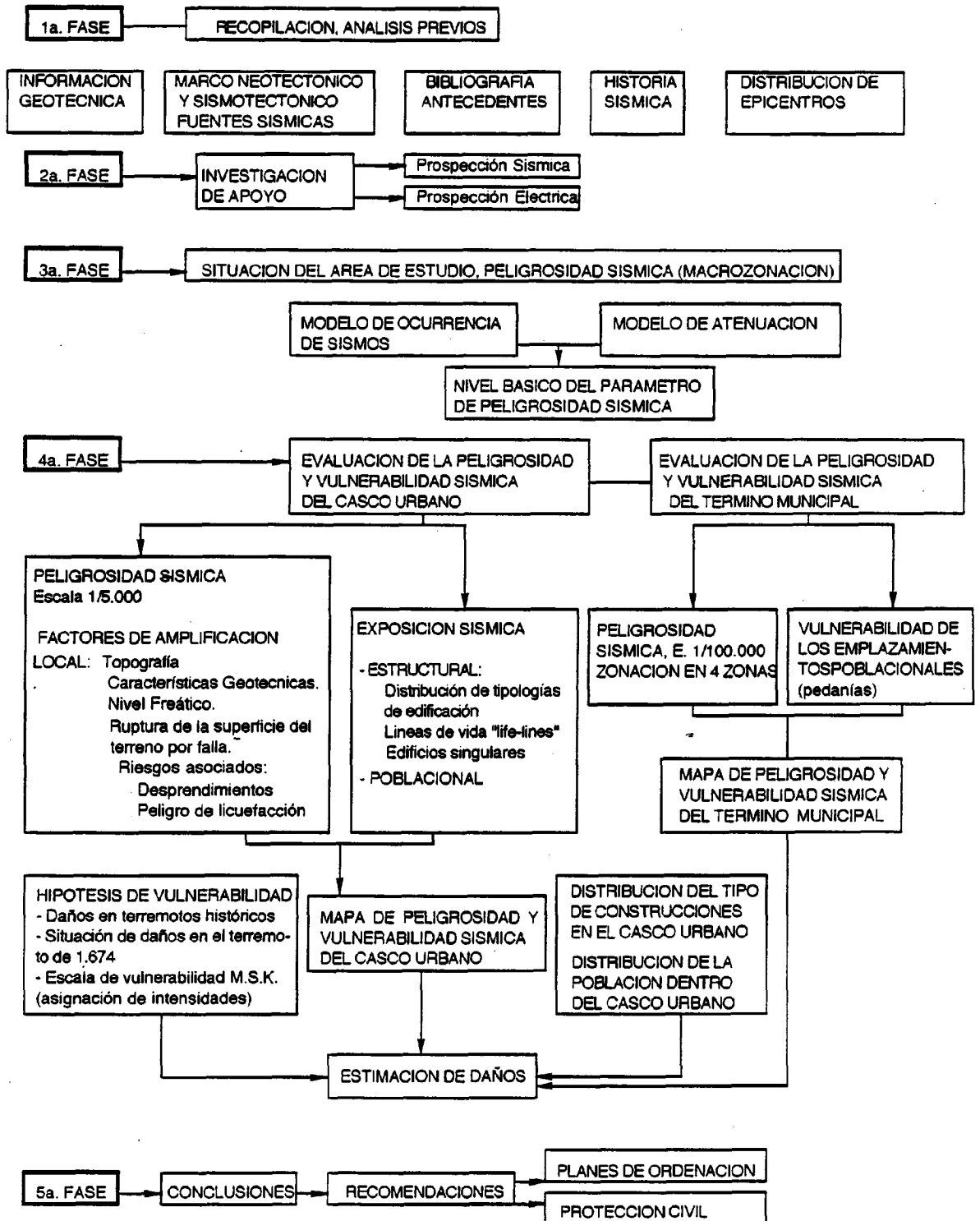
La tercera fase ha consistido en situar el área de estudio a nivel de macrozonación sísmica. Para ello, se ha recopilado toda la información existente en los trabajos de investigación llevados a cabo por numerosos autores que incluyen el área aquí estudiada; en particular, en cuanto a los modelos de ocurrencia de sismos y modelos de atenuación. Con toda esta información, se ha podido determinar el nivel básico del parámetro en el que se va a medir la peligrosidad sísmica (fundamentalmente la Intensidad), tanto para el casco urbano como para el Término Municipal

En la cuarta fase, se procede a evaluar la peligrosidad y vulnerabilidad sísmica del Término Municipal de Lorca y del casco urbano de la ciudad. Es la fase más compleja y su objetivo final es el obtener los mapas de peligrosidad y vulnerabilidad sísmica tanto del casco urbano de Lorca (escala 1:5.000) como del Término Municipal (escala 1:100.000). El proceso seguido y los numerosos factores que integran esta fase del estudio se recogen en el Cuadro 1.

A partir de estos mapas, se realiza, únicamente para el casco urbano de Lorca, una estimación de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría a la ciudad. Para ello se hace previamente una hipótesis de vulnerabilidad basada en la situación e importancia de los daños producidos en terremotos históricos, y en la escala de vulnerabilidad M.S.K.. Con esta hipótesis, se procede a la asignación de intensidades a cada una de las diferentes zonas (a grandes rasgos homogéneas) en las que se ha podido dividir el casco urbano según su peligrosidad y vulnerabilidad sísmica potencial (véase Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca).

Finalmente, con todo lo anterior, se establecen las conclusiones finales del estudio y se hacen las recomendaciones oportunas, de cara a su aplicación en Planes de Ordenación Territorial y en Protección Civil.

CUADRO 1



2. HISTORIA SISMICA DE LORCA

2.1. Introducción.

El conocimiento de los terremotos históricos, constituye un elemento fundamental dentro del conjunto de datos que pueden caracterizar con cierta aproximación la sismicidad de una zona (RUIZ PEREZ, R. y VIDAL, F., 1.987).

Además, se debe añadir que la evaluación del riesgo sísmico en una zona determinada, requiere del conocimiento de la ocurrencia de terremotos en dicha zona para un periodo de tiempo lo más largo posible. Dado que los registros instrumentales se remontan únicamente a unos 60-80 años, se hace necesario acudir a la información histórica para extender hacia el pasado el conocimiento de la sismicidad (MUÑOZ y UDIAS, 1.987).

Puesto que los terremotos han sido y son la catástrofe natural más temida por la humanidad, su registro histórico es muy amplio en muchos países, como el nuestro, de larga historia escrita. Ello permite, en ocasiones, analizar con bastante detalle un parámetro: la intensidad, que es una medida de los efectos de los terremotos sobre el medio circundante y muy especialmente sobre las estructuras y sobre las personas.

La metodología empleada y la experiencia adquirida en el análisis de la sismicidad histórica, su problemática y alternativas han sido puestas de manifiesto en numerosos trabajos, por un buen número de autores (LOPEZ MARINAS y BISBAL ARENILLAS, 1.987; GARCIA YAGUE, 1.975; ARENILLAS, BISBAL y MARTIN MARTIN, 1.986, etc...).

La gran complejidad que conlleva el seguimiento del fenómeno sísmico a lo largo del tiempo para una región dada y en particular el análisis (evaluación sísmica) de la información obtenida, al objeto de estimar la fiabilidad de las fuentes consultadas, es tarea de un equipo interdisciplinar que requiere del concurso de numerosos especialistas y desborda ampliamente los objetivos que se persiguen en el presente estudio.

Por todo ello, en este capítulo, se pasará únicamente revista al catálogo de sismos habidos (sentidos) en la ciudad de Lorca, atendiendo a los ya referenciados en los trabajos de algunos investigadores así como a los que aparecen en el *Banco de Datos Sísmicos del I.G.N.*, sin llevar a cabo una exhaustiva «tarea de archivo» que nos remontara a las fuentes primarias.

El objetivo de este capítulo es el poder disponer de una visión amplia de cual ha sido la historia sísmica de la Ciudad de Lorca y evaluar, en lo posible, las consecuencias que para la misma tuvieron los terremotos en el pasado.

2.2. Sismicidad histórica en Lorca.

Para conocer con precisión «suficiente» la historia sísmica de la ciudad de Lorca, se ha recurrido a la recopilación de datos, que en esencia proceden del Archivo Histórico Municipal de la propia ciudad, del I.G.N., así como de la consulta de los trabajos realizados en esta misma zona o en áreas próximas por numerosos autores.

La Tabla 2.1. muestra el Catálogo de Sismicidad Histórica de la Ciudad de Lorca, atendiendo a las fuentes mencionadas. En ella, se consigna el mayor número de datos conocidos acerca de los terremotos que han tenido su epicentro en esta ciudad o en sus inmediaciones.

Como suele ser frecuente al analizar los datos obtenidos, se observa una cierta disparidad en los mismos, en particular, en los señalados en el periodo histórico (preinstrumental). De cara a los objetivos de este estudio en la mayoría de los casos las diferencias observadas no revisten mayor interés, dado que hacen hincapié, por lo general, en la datación de eventos sísmicos que no suponen mayor transcendencia (réplicas o premonitorios que no produjeron daños y que, en general, no están cuantificados al no poseer intensidad y/o magnitud asignadas).

Sin embargo, como más adelante se verá, sí existe alguna discrepancia cuando se analizan los terremotos habidos en la segunda mitad del siglo XVII.

De la observación de la Tabla 2.1. se desprende que el primer terremoto con epicentro en la Ciudad de Lorca dataría del año 1.579 y tiene una intensidad asignada de VIII según el Servicio de Sismología e Ingeniería Sísmica (S.S.I.S. en lo sucesivo) del I.G.N. ó VI-VII según otras fuentes. Después de un periodo de 93 años sin que se tenga noticia de acontecimiento sísmico alguno, aparece citado un terremoto el 28 de julio de 1.672.

Dos años más tarde, en 1.674, se producen los terremotos más célebres que ha padecido la ciudad de Lorca, tanto por la abundante documentación que existe acerca de los mismos, como por los muy graves daños que acarrearón a la misma.

Pese a tratarse de acontecimientos sísmicos importantes, existe, sin embargo, alguna controversia en la bibliografía consultada y así mientras que algunos autores marcan el primer movimiento el día 10 de agosto de 1.674, otros citan un primer terremoto el día 9 de ese mismo mes, sin consignar la intensidad con que se produjo.

LISTADO DE TERREMOTOS EN LA CIUDAD DE LORCA (MURCIA)

<u>FECHA</u>	<u>HORA</u>	<u>LONG.</u>	<u>LAT.</u>	<u>AGENCIA/ FUENTE</u>	<u>MAG.</u>	<u>INT.</u>
1.579/01/30	00-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	JBMG	-	VI-VII
1.579/01/30	00-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	-	VIII
1.672/07/28	00-00-00.0	-	-	FCC	-	VIII ?
1.672/07/28	00-00-00.0	-	-	ARP	-	VIII
1.672/07/28	00-00-00.0	1,7W	37,7N	JMLM	-	VI
1.674/08/09	23-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	JBMG	-	-
1.674/08/10	00-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	-	VII
1.674/08/10	00-00-00.0	-	-	ARP	-	V-IX
1.674/08/10	00-00-00.0	1,7W	37,7N	JMLM	-	VII
1.674/08/28	00-00-00.0	-	-	JGR	-	VIII
1.674/08/28	00-00-00.0	-	-	ARP	-	V-IX
1.674/08/28	10-00-00.0	1,7W	37,7N	JMLM	-	VIII
1.674/08/28	10-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	-	VIII
1.674/08/29	00-00-00.0	1,7W	37,7N	JLML	-	VII-VIII
1.674/08/29	00-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	-	VII (R)
1.674/09/04	00-00-00.0	-	-	AML	-	-
1.674/09/09	00-00-00.0	-	-	JBMG	-	-
1.674/09/19	00-00-00.0	-	-	ARP	-	VII
1.674/10/05	00-00-00.0	-	-	JBMG	-	-
1.713/10/03	00-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	-	V
1.713/10/03	00-00-00.0	01-42.0W	37-42.0N	JBMG	-	V
1.818/12/20	09-45-00.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	-	VII
1.818/12/20	09-45-00.0	01-42.0W	37-42.0N	JBMG	-	VII
1.819/12/20	09-45-00.0	01-43.0W	37-42.0N	JBMG	-	VII
1.862/01/22	09-00-00.0	01-43.0W	37-42.0N	SISS	-	-
1.907/04/21	21-00-00.0	01-43.0W	37-42.0N	JBMG	-	-
1.907/04/21	21-00-00.0	01-43.0W	37-42.0N	SISS	-	IV
1.932/04/04	09-53-00.0	01-43.0W	37-42.0N	SISS	-	V
1.932/08/31	07-34-47.0	01-43.0W	37-42.0N	SISS	3,5	IV
1.977/06/06	10-49-12.3	01-43.7W	37-38.7N	SISS	4,2	VI
1.977/06/06	16-01-00.6	01-48.1W	37-39.4N	SISS	3,9	IV (R)
1.977/06/07	04-32-57.4	01-53.8W	37-39.4N	SISS	3,6	(R)
1.977/06/07	07-54-41.7	01-49.4W	37-39.7N	SISS	3,2	III (R)
1.977/06/09	08-17-22.3	01-48.2W	37-39.4N	SISS	3,5	(R)
1.977/06/09	11-10-47.7	01-47.49W	37-39.4N	SISS	3,1	(R)
1.977/06/21	08-00-14.5	01-41.2W	37-42.5N	SISS	3,3	(R)
1.977/07/05	13-40-43.0	01-42.0W	37-42.0N	SISS	3,0	(R)
1.978/03/24	13-01-24.2	01-42.3W	37-37.9N	SISS	4,3	-
1.979/02/16	05-04-15.2	01-52.0W	37.40.0N	SISS	2,9	I
1.982/02/26	08-24-14.8	01-37.0W	37.42.0N	SISS	3,6	II

Tabla 2.1.

Dada la trascendencia que tienen estos movimientos para la caracterización del parámetro de cálculo de peligrosidad sísmica en la ciudad, siquiera con un criterio determinista estricto, a continuación se resumen las diferencias encontradas entre las distintas fuentes consultadas.

<u>FUENTE</u>	<u>FECHA</u>	<u>INTENSIDAD</u>
Vidal Sanchez, F. y Ruiz Pérez, R.	1.674/08/09	VI-VII
"Nuevos datos documentales para el estudio de los terremotos de 1.531, 1.674, 1.778 y 1.804 de la zona de las Béticas".	1.674/08/10	-
	1.674/08/28	IX
	1.674/09/19	VII
	1.674/10/05	

<u>FUENTE</u>	<u>FECHA</u>	<u>INTENSIDAD</u>
Archivo Municipal de Lorca.	1.674/08/10	-
Documento donación de D. Juan Guirau García al Archivo en abril de 1.983. Se citan diversas fuentes: Actas Capitulares, Biblioteca Nacional, un trabajo de Bartolomé J. Gallardo, etc.	1.674/08/28	-
	1.674/09/04	-
	1.674/09/09	-
	1.674/10/05	-

<u>FUENTE</u>	<u>FECHA</u>	<u>INTENSIDAD</u>
Martínez Guevara, J.B.	1.674/08/09	-
"Sismicidad histórica en la región de Murcia". IX Coloquio de Geógrafos Españoles. Murcia Dic. 1.985.	1.674/09/09	Réplica
	1.674/10/05	V

<u>FUENTE</u>	<u>FECHA</u>	<u>INTENSIDAD</u>
SISS	1.674/08/10	VII
	1.674/08/28	VIII
	1.674/08/29	VII (R)

La caracterización de los terremotos del año 1.674 queda, como puede verse, sujeta a una cierta controversia histórica y los hechos, asumiendo todas las fuentes consultadas, quedarían resumidos como sigue:

SISMOS CITADOSINTENSIDAD ASIGNADA

1.674/08/09	VI-VII
1.674/08/10	VII
1.674/08/28	VIII-IX
1.674/08/29	VII (R)
1.674/09/04	-
1.674/09/09	-
1.674/09/19	VII
1.674/10/05	-

Observando la relación anterior, se pueden extraer algunos hechos que pueden ser relevantes. Por una parte, sorprende el que se produjeran en la ciudad de Lorca tan elevado número de eventos sísmicos en tan corto periodo de tiempo, más aún si anteriormente se cita (con sólo dos años de diferencia, en 1.672,) un terremoto al que algunos autores asignan Intensidad VIII (destrutivo). Parece más probable, dada la gran cantidad de acontecimientos sísmicos registrados, que existiera un único sismo de intensidad VIII-IX que podría haber estado precedido de algún movimiento de menor Intensidad, de carácter premonitorio, y seguido de numerosas réplicas. Lógicamente, esta hipótesis está sujeta a una más intensa investigación histórica que la realizada aquí.

En el supuesto anterior, parece ser que no existe ninguna duda razonable acerca de que el evento de mayor intensidad ,tuvo lugar el 28 de agosto de 1.674, fecha en la que parecen estar de acuerdo todas las fuentes consultadas. No sucede lo mismo en cuanto a la intensidad epicentral de dicho terremoto, y resulta aquí difícil, discernir cual sería la asignable de entre las dos propuestas.

Dado que en un estudio de este tipo interesa situar con la mayor precisión el máximo terremoto histórico, se podrá considerar, adoptando la hipótesis más conservadora, que el terremoto de mayor Intensidad sufrido por la ciudad ,fue de grado IX y sucedió el 28 de agosto de 1674.

Si se tienen en cuenta ahora todos los terremotos consignados, la historia sísmica resumida de la Ciudad de Lorca quedaría como sigue:

<u>SIGLO</u>	<u>Nº DE EVENTOS</u>	<u>INTENSIDAD MAX. EN ESTE PERIODO</u>
XVI	1	VI-VII (1.579)
XVII	9?	VIII-IX (1.674)
XVIII	1	V (1.713)
XIX	2?	VII (1.818-1.919?)
XX	6 (*)- 14 (**)	VI (1.977)

(*) sin consignar réplicas.

(**) con réplicas.

Si se tienen en cuenta todos los acontecimientos sísmicos catalogados, resultarían un total de 28 movimientos registrados en la ciudad en los últimos 412 años, con intensidades que han variado entre II y VIII-IX?

En este periodo, destaca por su importancia (tanto en número como en intensidad máxima registrada) la gran sismicidad que se produjo durante la segunda mitad del siglo XVII. Así mismo destaca la baja sismicidad registrada a lo largo de los siglos XVIII y XIX, sobre todo el primero, con un pequeño número de eventos sísmicos registrados, en general, de baja intensidad.

Si se observa el listado anterior, puede notarse como entre el primer sismo catalogado en 1.579 y el siguiente, de intensidad un grado superior en 1.674, transcurre un periodo de 95 años.

Entre éste último y el siguiente evento, de intensidad un grado inferior en 1.818 transcurre un periodo de 144 años. Entre éste y el siguiente registrado con un grado inferior en 1.977, transcurren 159 años.

En la siguiente Tabla, se recogen los 15 terremotos catalogados, que han sido «cuantificados» por el S.I.S.S. (sin atender a otras fuentes), es decir, que tienen intensidad y localización epicentral asignada.

INTENSIDAD	S.XVI	S.XVII	S.XVIII	S.XIX	S.XX	TOTAL
II	-	-	-	-	1	1
III	-	-	-	-	2	2
IV	-	-	-	-	4	4
V	-	-	1	-	1	2
VI	-	-	-	-	1	1
VII	-	2	-	1	-	3
VIII	1	1	-	-	-	2
TOTAL	1	3	1	1	7	15

Tabla 2.2.

Este cuadro, pone en evidencia la escasez de datos en cuanto a terremotos cuantificados en la ciudad durante el periodo histórico y explica la creciente preponderancia de los datos instrumentales a lo largo del siglo XX. Llama también poderosamente la atención la escasez de datos de terremotos de intensidades bajas a lo largo del periodo «histórico» lo cual también se explicaría, en parte por lo anterior.

En cuanto a la magnitud de los terremotos en la ciudad, se dispone, como es natural, de un menor número de datos, por lo que se sabe únicamente que varía entre un máximo de 4.3 (en 1.978) y un mínimo de 2.9 (en 1.979).

Se destaca también el elevado número de réplicas (siete) de intensidad decreciente en el tiempo, del terremoto que afectó a la ciudad en 1.977.

Como se ha podido apreciar, a lo largo de este apartado, únicamente se ha hecho referencia a aquellos movimientos sísmicos que han tenido su epicentro en la Ciudad de Lorca o sus proximidades más inmediatas. Se ha omitido por tanto, cualquier comentario acerca de aquellos otros sismos que habiendo tenido su epicentro en localidades más o menos cercanas, sí pudieron ser «sentidos» en la ciudad. Estos terremotos, procedentes de fuentes sísmicas próximas, produjeron trenes de ondas que incidieron sobre la misma con intensidades que varían entre II y V.

En la siguiente Tabla, aparecen resumidos todos los que han sido catalogados y su localización epicentral, según datos del S.I.S.S.

<u>FECHA</u>	<u>INT. EPICENTRAL</u>	<u>LOCALIZACION</u>	<u>INT. EN LORCA</u>
21-03-1911	VIII	Cotillas (Murcia)	V
26-10-1941	VI	Caravaca(Murcia)	II
24-11-1941	V-VI	Calasparra (Murcia)	II
23-06-1948	VIII	Cehegín (Murcia)	II

Tabla 2.3.

En todos los casos se trata, como puede verse, de fenómenos sísmicos de la época instrumental (recientes) y los mapas de isosistas que se realizaron para ellos se encuentran en los anexos que acompañan a este estudio. En ningún caso, los sismos reseñados en la Tabla anterior, produjeron daños en la ciudad.

Se han citado sin embargo, algunos otros movimientos sísmicos que sí produjeron daños. Entre estos, se señala en primer lugar el que aparece recogido en el Catálogo de Galbis, de 12 de diciembre de 1.819. Según este autor, «...en Lorca este sismo dejó señales en La Colegiata y otros edificios públicos...».

En este mismo Catálogo, se citan únicamente «...destrozos en Lorca...» sin precisar más, a causa del terremoto de Torrevieja de 15 de septiembre de 1.828.

Un acontecimiento sísmico más reciente (posiblemente el terremoto de Zarzadilla de Totana, de 6 de enero de 1.981, de magnitud 3,9) produjo numerosas roturas en edificaciones y canalizaciones; como por ejemplo, los agrietamientos de casas en el barrio de San Juan en Lorca y la rotura del canal del Tránsito Tajo-Segura unos 3 Km. al NW de la ciudad.

Únicamente quedarían por destacar aquí dos hechos de cierta relevancia. El primero la constatación de la existencia de un grado de sismicidad alto para la Ciudad de Lorca a lo largo de los últimos 412 años. El segundo, sería la certeza histórica de que dicha sismicidad ha tenido, en ocasiones, efectos catastróficos para la misma.

De todos los terremotos de los que hay constancia en el periodo citado, se sabe que produjeron daños de importancia los de 1.674, concretamente el del 28 de agosto, que fue de intensidad VIII-IX ? y el de 20 de diciembre de 1.818. De ambos sucesos, se entresaca una breve crónica histórica, por ser los únicos, junto con el terremoto de 1.981, que pueden aportar algún dato de interés, a la hora de situar los daños por causas sísmicas en el pasado, en el casco urbano de Lorca.

2.3. El terremoto de 1.674.

El terremoto de Lorca de 28 de agosto de 1.674, ha sido tratado por numerosos autores, y la documentación que sobre el tema existe es abundante.

Al tratarse de un movimiento del que se conocen daños ocasionados, con ubicación de los lugares más afectados y número aproximado de víctimas que produjo, así como una estimación de la época, de las pérdidas económicas que supuso para la ciudad, es de enorme interés, a la hora de poder situar en el Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica, los puntos que resultaron más afectados.

Las sacudidas sísmicas parece ser que duraron 57 días, comenzando el 10 de agosto de 1.674, con un fortísimo temblor de tierra que sacudió la ciudad, ocasionando la ruina de numerosos edificios. A continuación, se hará una descripción de los daños ocasionados en la que coinciden, en líneas generales ,todos los autores consultados.

Según Domingo Munuera, el día 10 de agosto se produjo el primer movimiento, causando ya la ruina de numerosos edificios, entre ellos parte de la Iglesia de S. Pedro y por completo, la ermita de S. Indalecio, situada muy cerca de la de S. Juan, al oeste. De este movimiento se desconoce el número exacto de víctimas pero al parecer fue elevado. En los días siguientes siguieron las ondas sísmicas, pero con menor intensidad.

El día 28 de este mismo mes, a las nueve y media de la noche, se produjo otro terremoto muy superior a los anteriores, sembrando la destrucción y el pánico entre la población.

En un informe del Concejo Lorquino que transcribimos textualmente del trabajo del citado autor , se hace constar que: se han «destruido totalmente mucha parte de las casas de esta ciudad y las demás muy destruidas sin haber reservado iglesias, torres, y otros edificios (como la cárcel) y todavía se han continuado dichos terremotos y con el primero está la gente tan escandalizada de ver la compasión de los muertos y heridos, ruinas de casas y haciendas y por continuarse dichos terremotos va despoblándose la ciudad y hacen barracas para su habitación». Sigue afirmando que «se han hundido tantas casas que no se puede andar por las calles por la mucha cantidad de piedras y tierras que hay en ellas».

Se manda así mismo revisar el Caño de la Plaza, también dañado (ya que el abastecimiento de agua de casi toda la ciudad dependía de la tal fuente. Se rectifica por otro lado ,la decisión de hacer procesión y rogativas en la ermita de S. Lázaro ya que «...al estar la ermita entre peñas y al haberse caído muchas de ellas, de continuarse los temblores podrían suceder algunas desgracias...».

De todos los terremotos de los que hay constancia en el periodo citado, se sabe que produjeron daños de importancia los de 1.674, concretamente el del 28 de agosto, que fue de intensidad VIII-IX ? y el de 20 de diciembre de 1.818. De ambos sucesos, se entresaca una breve crónica histórica, por ser los únicos, junto con el terremoto de 1.981, que pueden aportar algún dato de interés, a la hora de situar los daños por causas sísmicas en el pasado, en el casco urbano de Lorca.

2.3. El terremoto de 1.674.

El terremoto de Lorca de 28 de agosto de 1.674, ha sido tratado por numerosos autores, y la documentación que sobre el tema existe es abundante.

Al tratarse de un movimiento del que se conocen daños ocasionados, con ubicación de los lugares más afectados y número aproximado de víctimas que produjo, así como una estimación de la época, de las pérdidas económicas que supuso para la ciudad, es de enorme interés, a la hora de poder situar en el Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica, los puntos que resultaron más afectados.

Las sacudidas sísmicas parece ser que duraron 57 días, comenzando el 10 de agosto de 1.674, con un fortísimo temblor de tierra que sacudió la ciudad, ocasionando la ruina de numerosos edificios. A continuación, se hará una descripción de los daños ocasionados en la que coinciden, en líneas generales ,todos los autores consultados.

Según Domingo Munuera, el día 10 de agosto se produjo el primer movimiento, causando ya la ruina de numerosos edificios, entre ellos parte de la Iglesia de S. Pedro y por completo, la ermita de S. Indalecio, situada muy cerca de la de S. Juan, al oeste. De este movimiento se desconoce el número exacto de víctimas pero al parecer fue elevado. En los días siguientes siguieron las ondas sísmicas, pero con menor intensidad.

El día 28 de este mismo mes, a las nueve y media de la noche, se produjo otro terremoto muy superior a los anteriores, sembrando la destrucción y el pánico entre la población.

En un informe del Concejo Lorquino que transcribimos textualmente del trabajo del citado autor , se hace constar que: se han «destruido totalmente mucha parte de las casas de esta ciudad y las demás muy destruidas sin haber reservado iglesias, torres, y otros edificios (como la cárcel) y todavía se han continuado dichos terremotos y con el primero está la gente tan escandalizada de ver la compasión de los muertos y heridos, ruinas de casas y haciendas y por continuarse dichos terremotos va despoblándose la ciudad y hacen barracas para su habitación». Sigue afirmando que «se han hundido tantas casas que no se puede andar por las calles por la mucha cantidad de piedras y tierras que hay en ellas».

Se manda así mismo revisar el Caño de la Plaza, también dañado (ya que el abastecimiento de agua de casi toda la ciudad dependía de la tal fuente. Se rectifica por otro lado la decisión de hacer procesión y rogativas en la ermita de S. Lázaro ya que «...al estar la ermita entre peñas y al haberse caído muchas de ellas, de continuarse los temblores podrían suceder algunas desgracias...».

También tuvieron daños muy importantes la Cámara del Cabildo, Carnicería, El Pósito y Reloj. Las murallas desde la puerta de San Antonio hasta la Puerta Nueva tuvieron daños por valor de 12.000 ducados.

-Parroquia de S. Cristobal: situada fuera de las murallas, con 384 casas inspeccionadas, 83 de estas asoladas y 265 con daños de 1000 reales o menos (una de ellas sin daños). La tasación de daños de esta parroquia fue de 345.000 reales (en la tasación de este barrio no han entrado conventos, casas oficiales, murallas, etc.).

Esta tasación, hecha por mandato oficial y realizada por maestros de cantera y de albañilería, fue recogida en el documento citado en los primeros días de noviembre, siendo de gran valor para cuantificar según estos autores, la Intensidad del terremoto en Lorca, a pesar de los criterios desiguales que se pudieron aplicar por los distintos grupos formados.

Los daños fueron tan graves, que toda la población se salió de la ciudad y habitó en barracas.

Resumiendo, los daños causados según tasación de la época serían:

Nº DE MUERTOS	30-40.
Nº DE HERIDOS	Se desconoce.
EDIFICIOS RECONOCIDOS	1.530
CASAS ASOLADAS	220
CASAS CON DAÑOS >1.000 reales	838
CASAS CON DAÑOS < 1.000 reales	428
CASAS SIN DAÑOS	23
EDIFICACIONES SINGULARES SERIAMENTE DAÑADAS	21
TASACION ECONOMICA DE LOS DAÑOS EN CASAS	6.920.990 reales
TASACION EC. PARC. DE LOS DAÑOS EN EDIF. SINGULARES	21.600 ducados.

Del resumen anterior, se desprende la magnitud de las pérdidas sufridas por la ciudad a causa del terremoto. Los edificios singulares afectados, algunos de los cuales aún pueden reconocerse en el entramado urbano de Lorca se han señalado en el Mapa.

No fue este el único terremoto que a lo largo de la historia de la ciudad produjo daños en la misma, aunque sí el más documentado. Otro seísmo que provocó daños, aunque de mucha menor cuantía, se recoge en el trabajo de Domingo Munuera. Este terremoto de intensidad VII se produjo el 20 de diciembre de 1.818.

En el trabajo de este autor, se habla de que «..se resintieron varios edificios y causado algunas desgracias, y quebrantado varios templos y otros edificios, arruinando diferentes casas..». El número de heridos por traumatismos fue de diez a doce. Parece ser que una segunda sacudida arruinó tres casas en la Parroquia de S. Pedro aunque sin producir daños personales.

3. ENCUADRE NEOTECTONICO Y SISMOTECTONICO

3.1.Introducción.

El correcto análisis del riesgo sísmico de una zona exige el conocimiento lo más preciso posible de las fuentes sísmicas que pueden afectarla, con vistas a estimar el potencial generador de sismos destructores de las mismas. Dichas fuentes, pueden estar bastante alejadas de la zona de estudio; cabe recordar que el terremoto de Méjico de 1.985 tuvo su epicentro en la costa del Pacífico, a unos 400 km. de distancia.

La mayoría de las fuentes sísmicas son las fallas activas y se localizan, en general, en las zonas de contacto entre las placas tectónicas en que está fragmentada la litosfera terrestre (sin olvidar que algunos terremotos se han generado en zonas relacionadas con reajustes tectónicos de intraplaca). Consecuentemente, la sismicidad es una consecuencia de los campos de esfuerzos derivados de la dinámica de la Tierra (geodinámica).

La sismicidad, la tectónica reciente (neotectónica) y la relación entre ambas (la sismotectónica) son la base para la comprensión del régimen geodinámico actual, facilitando la predicción y la estimación de la peligrosidad asociada.

3.2. Marco Geodinámico.

El municipio de Lorca esta encuadrado en el área de deformación y sismicidad Ibero-Magrebí (fig. 3.1). Este área, tiene una dirección aproximada E-W y comprende el S y SE de la Península Ibérica, el Mar de Alborán y el N de Africa (Magreb).

Toda esta zona, es consecuencia de la cinemática del contacto entre las placas litosféricas de Africa y de Ibéria, ésta última como subplaca de la Euroasiática. Su gran anchura, es debida a que las placas interaccionan con sus partes continentales, con lo cual los movimientos entre ambas se producen de manera distribuida y jerarquizada (VEGAS et al., 1.987), en oposición a la deformación simple y lineal típica de límites entre placas oceánicas (por ejemplo la falla de Azores-Gibraltar).

El movimiento relativo actual entre ambas placas, esta marcado de manera aproximada por un acortamiento máximo en la dirección NNW-SSE y una extensión máxima en la dirección ENE-WSW (fig.3.2). Además, hay una componente de movimiento horizontal, dextral de Ibéria con respecto a Africa.

Si bien el esquema geodinámico general es sencillo, no lo es el modo de deformación dentro de ese área Ibero-Mogrebí debido a que las características locales introducen modelos cinemáticos variados.

Otro aspecto que añade más complicación, es la existencia de una banda de sismicidad y de rasgos neotectónicos diferenciados que va con dirección NE-SW desde el Levante español al Atlas (fig.3.1), intersectando con la banda de dirección E-W, límite entre placas. El origen de esa banda NE-SW es todavía objeto de debate.

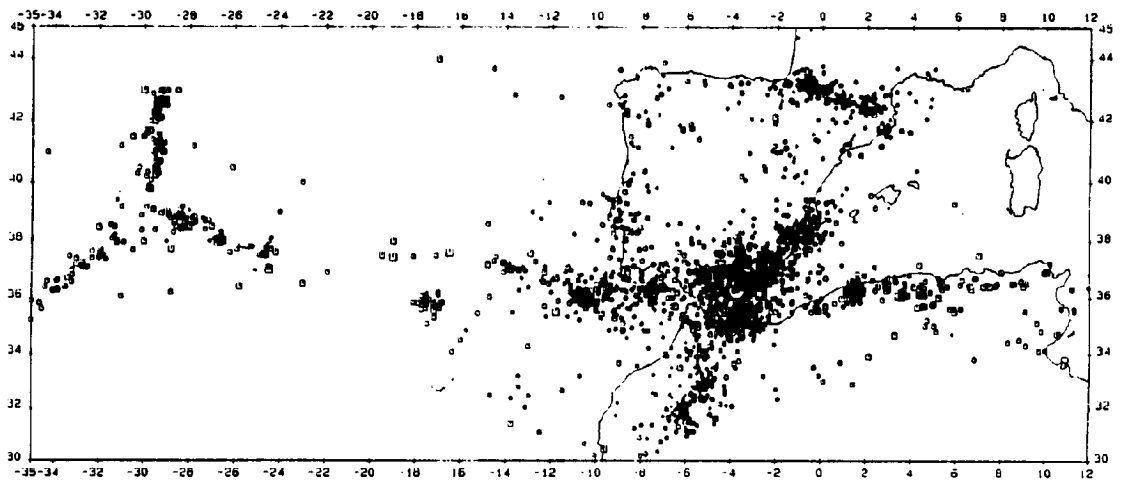


Figura 3.1 Sismicidad durante el periodo 1.920-1.980 (Mezcua et al, 1.991)

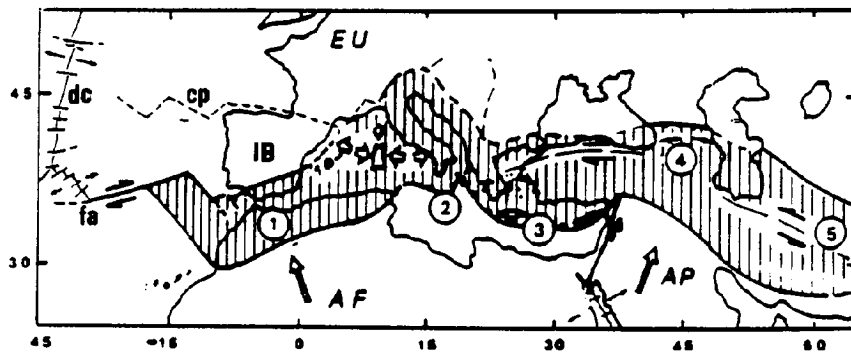


Figura 3.2. Esquema geodinámico del límite de placas Africa-Eurasia y sus zonas de deformación. 1: área Ibero-Magrebí; 2: Arco de Calabria; 3: Arco Egeo; 4: área del Cáucaso; 5: área del Iran; AF: Placa Africana; EU: Placa Euroasiática; IB: subplaca de Iberia; dc: dorsal Centro-Atlántica; cp: Límite de placas abandonado; fa: Falla de Azores-Gibraltar. Las Flechas indican movimientos relativos (Vegas, 1.991).

3.3. Definición del periodo neotectónico.

El periodo de tiempo abarcado por la neotectónica es diferente en cada zona de la Tierra debido a que el régimen geodinámico durante dicho periodo debe de ser homogéneo y contínuo hasta la actualidad.

En el SE de España ,ocurrió un importante cambio de régimen geodinámico en el Mioceno Superior, pasándose de un periodo compresivo a uno principalmente distensivo que parece continuar a grandes rasgos hasta la actualidad. Este ha sido el criterio utilizado para definir el periodo neotectónico en los últimos y más completos estudios realizados en la zona (I.T.G.E., en prensa-a; I.T.G.E, en prensa-b). Por tanto, el periodo neotectónico abarcaría los últimos 11 m.a., desde el Mioceno Superior inclusive.

Sin embargo, hay cierta controversia acerca de la homogeneidad del régimen en ese periodo, ya que los datos que continuamente están siendo publicados, aparecen interpretados como indicadores de variaciones geodinámicas de diversa índole. Quizá el cambio más patente tuvo lugar al comienzo del Cuaternario, cuando ocurrió una aceleración de los procesos dinámicos producida por un incremento de la actividad compresiva (Groupe de la Recherche Neotectonique de l'Arc de Gibraltar, 1.977).

Por todo lo anterior, en este estudio, se consideran las estructuras tectónicas producidas desde el Mioceno Superior, dando una especial importancia a las cuaternarias. Además, también se hace una breve referencia a las estructuras creadas en la evolución alpina anterior al Mioceno Superior, ya que ellas van a configurar las pautas posteriores de deformación.

3.4. Estructura geológica de la Comarca de Lorca.

En la Comarca de Lorca hay dos estilos tectónicos superpuestos. Uno lo dan los cabalgamientos que afectan a los materiales paleozoicos-triásicos del Dominio de Alborán (representado en el Municipio de Lorca por las sierras de la Torrecilla, de Enmedio, de la Tercia, de Almenara, de la Carrasquilla) o a los mesozoicos y terciarios anteneotectónicos (sierras de Almiraz, del Gigante, del Madroño, del Cambrón). Estos cabalgamientos estructuraron las Cordilleras Béticas durante el ciclo alpino (principalmente durante el Mioceno Inferior y Medio) respondiendo a un régimen fuertemente compresivo cuyos últimos movimientos ocurrieron en los comienzos del Mioceno Superior (Tortonense Inferior).

El otro estilo tectónico, que singulariza al SE de España, lo marcan las fallas más o menos rectas y verticales que rompen ese edificio cabalgante y marcan los valles y cuencas neógeno-cuaternarias (Valle del Guadalentín, Cuenca de Lorca). La mayoría de las fallas de este estilo son normales y muchas , con una fuerte componente direccional. Todo ello, indica un régimen de distensivo a transcurrente que comenzó en el Mioceno Superior y continúa hasta la actualidad de manera más o menos irregular: por tanto, corresponde a la dinámica imperante en el periodo neotectónico. Otro dato que apunta hacia ese régimen tectónico lo da el vulcanismo que afectó al SE de España desde finales del Mioceno Medio hasta el Cuaternario Inferior (basaltos alcalinos cuaternarios del Campo de Cartagena:(I.T.G.E., en prensa-a).

3.5. Neotectónica.

Los elementos neotectónicos más destacables del SE de España en general y del Municipio de Lorca en particular, los constituyen las grandes zonas de fracturación de trazado rectilíneo, que compartimentan la región (fig.3.3 y 3.4.). Son largas zonas de fallas subverticales, visibles desde satélite, sobre las que se producen movimientos que suponen la liberación de la mayor parte de la energía acumulada.

Esas zonas de falla separan dominios o bloques donde la deformación neotectónica es menor, y de carácter continuo (grandes pliegues) o producida por el juego de fallas secundarias de menos actividad.

3.5.1.Principales fallas neotectónicas.

Las principales fallas que afectan al Municipio de Lorca son:

1. Falla de Alhama de Murcia.

Es una zona de fracturación que con dirección NE-SW se sigue en superficie durante 100 km. desde Huerca Overa hasta Alcantarilla. Estudios geofísicos permiten observar su prolongación en profundidad hacia el NE, hasta Alicante (GAUYAU et al. 1.977).

Es la falla responsable del borde N del Valle del Guadalentín. Básicamente es una falla subvertical; en el tramo del Municipio de Lorca, es vertical en profundidad y hacia la superficie se inclina buzando al NW (OLIVEROS,1.986).

Es una falla activa durante todo el periodo neotectónico ya que afecta a todos los materiales geológicos, condicionando su sedimentación y deformándolos. La actividad actual de la falla viene además atestiguada por el alto número de manantiales y sondeos geotérmicos asociados a su traza. También se han citado efectos sísmicos sobre construcciones, como las grietas del Barrio de S. Juan, en Lorca, o las grietas del Canal del Tránsito Tajo-Segura, ambas supuestamente inducidas por el sismo de Totana de 1.981 (RODRIGUEZ ESTRELLA y ALMOGUERA, 1.986).

El mecanismo de movimiento asociado a la falla durante la época neotectónica depende del régimen geodinámico imperante, siendo ambas cosas hoy día objeto de debate. Ha funcionado de manera vertical levantando las Sierras de la Torrecilla y de la Tercia con respecto al Valle del Guadalentín. Dicha elevación fué importante durante el Mioceno Superior (saltos de hasta 500 m.) así como durante el Pleistoceno Inferior y Medio (abanicos aluviales en superposición) y moderada durante el Pleistoceno Superior y Holoceno (abanicos aluviales encajados) (I.T.G.E.,en prensa-a). Sin embargo, el movimiento principal de la falla de Alhama durante el periodo neotectónico ha sido de desgarre sinistral, tal como indican los métodos de análisis estructural o geomorfológicos (lomas de obturación y deflaciones de la red de drenaje).

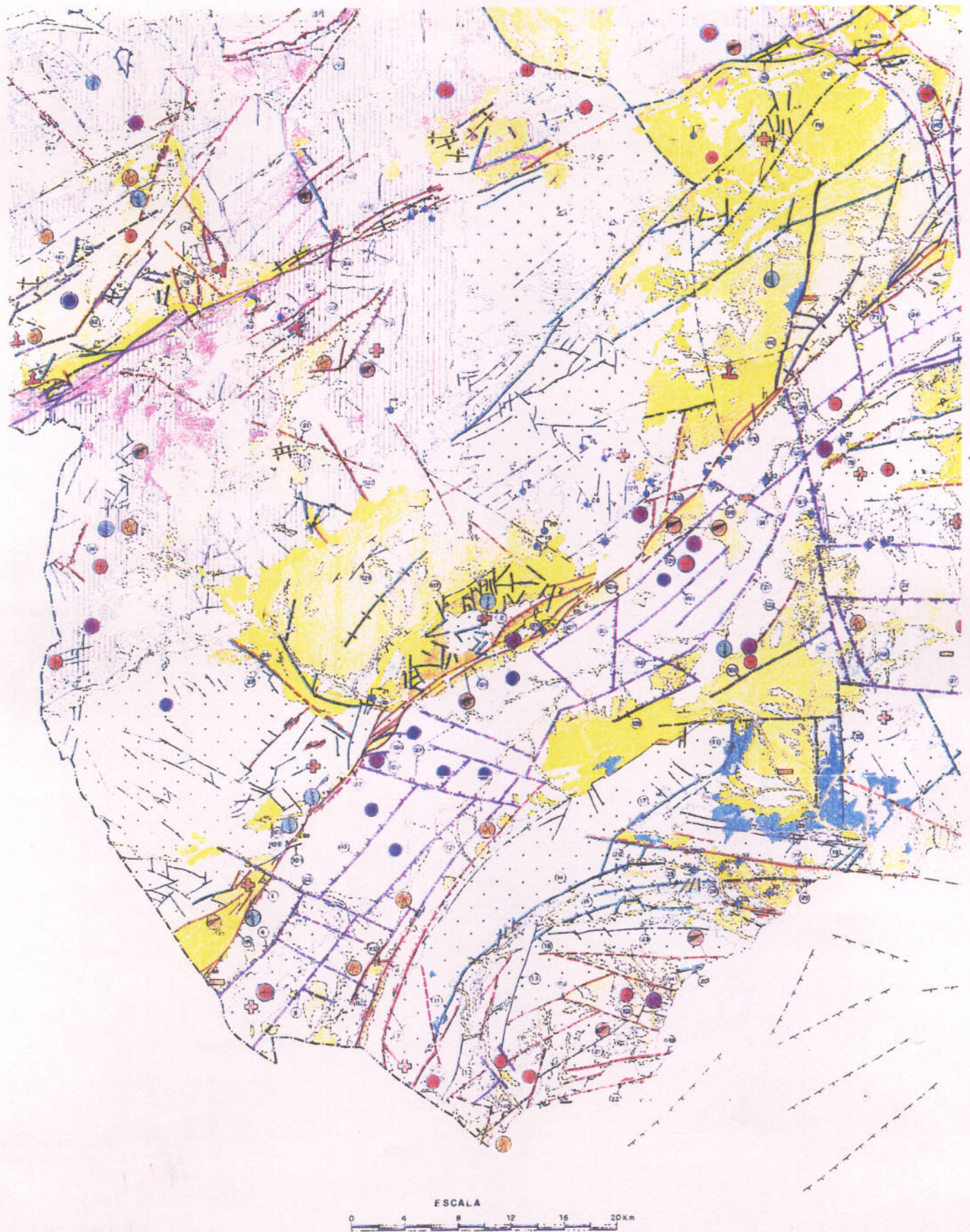







Figura 3.3. Extracto del mapa neotectónico de la región de Murcia (ITGE, en prensa-a).

Figura 3.3. LEYENDA

MATERIALES

Anteriores a la época neotectónica





























-  Zona Bética.
 -  Zona Circumbética.
 -  Prebético.
 -  Subbético.
 -  Triásico en facies arcillo-yesífero (diapirismo y despegues mecánicos)
- } Zonas Internas y Terciario Anteneotectónico.
- } Zonas Externas y Terciario Ante-neotectónico.

SÍMBOLOS E INDICADORES NEOTECTONICOS

Edad (según color)

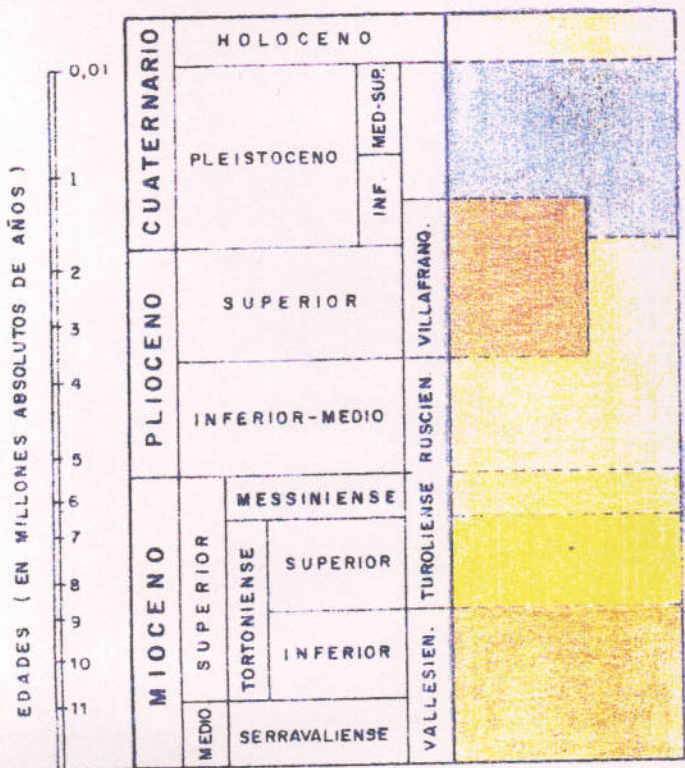
- VIOLETA** Accidentes que afectan a materiales del Holoceno
- ROJO** " " " " " " " " Pleistoceno.
- AZUL** " " " " " " " " Plioceno
- VERDE** " " " " " " " " Mioceno Sup
- NEGRO** Accidente ante-neotectónico o cuya edad desconocemos.
- *** Cualquier color a trazos indica que es probable que sea activo en esa época.

Tipología

-  Falta probable o supuesto.
-  Falta.
-  Falta con indicación de bloque hundido
-  Falta inversa o cabalgamiento.
-  Falta de desgarre sinetral.
-  Falta de desgarre dextral.
-  Anticlinal.
-  Sinclinal.
-  Basculamiento.
-  Estratificación horizontal.
-  Buzamiento.
-  Diapirismo.
-  Diapirismo subflorante.
-  Elevación local.
-  Subsistencia local
-  Elevación regional
-  Subsistencia regional
-  Fuente geotérmica con indicación de temperatura.
-  Sondeo con indicación de temperatura.
-  Grupo de sondeos con indicación de temperatura media.
-  Máximo en las anomalías gravimétricas de Bouguer.
-  Mínimo en las anomalías gravimétricas de Bouguer.
-  Falta deducida por métodos geofísicos.
-  Anomalías geomorfológicas ligadas a escarpes y líneas de fall
-  " " " " " " " " a la red de drenaje.
-  " " " " " " " " a formas de depósito
-  " " " " " " " " a la geometría de las formaciones superficiales.
-  Número de la ficha de la falla.

Neotectónicos

TABLA CRONOESTRATIGRAFICA



Muestra variaciones geométricas y funcionales a lo largo de su trazado, pudiéndose definir diferentes segmentos con comportamiento específico. El segmento de mayor dinamismo durante el Cuaternario es el comprendido entre Puerto Lumbreras y Totana, zona donde se produce además un giro en la traza de la falla, pasando de dirección NE a ENE.

2. Falla de Palomares.

Es una zona de falla de dirección aproximada NNE-SSO que se sigue desde Palomares (Almería) hasta la aldea de Purias (Murcia). Al S de Palomares continúa aproximadamente por la costa hasta Carboneras (al menos), mientras que hacia el N, más allá de Purias, gira hacia el NE hasta El Puntarrón, lugar donde se pierde.

En la provincia de Murcia determina el borde oriental de la Depresión del Guadalentín, separando ésta de las sierras de la Carrasquilla y de la Almenara. Es una zona de falla subvertical y de trazado lineal marcada como un destacable lineamiento en las imágenes de satélite.

La zona de falla de Palomares está formada por fallas N-S a NE-SW cortadas por otras con direcciones diversas, especialmente la familia WNW-ESE.

Ha sido activa durante todo el periodo neotectónico (BOUSQUET, 1.979; LAROUZIERE et al, 1.987). Generó la profunda cuenca de Hinojar (entre la Sierra de Almenara y la Loma de Baraunda) rellena por 2.000 m. de sedimentos neotectónicos, que fueron posteriormente plegados y rotos. No obstante, hay escasez de rasgos neotectónicos cuaternarios así como de puntos geotérmicos (I.T.G.E., en prensa-a); quizá debido a un amortiguamiento de la actividad tectónica durante dicha época, en relación con otras más activas, como el Plioceno Inferior (SIBSON, 1.980; WEIJERMANS, 1.987).

Atraviesa toda la corteza y causa, junto a la falla de Alhama de Murcia, anomalías en la estructura de la corteza terrestre (BANDA y ANSORGE, 1.980; BANDA et al, en prensa). El fuerte gradiente gravimétrico coincide con la zona de falla e indica un adelgazamiento cortical hacia el E, que causa lógicamente una gran inestabilidad en la zona. Este carácter profundo está además indicado por el volcanismo calcoalcalino asociado a la falla que tuvo lugar durante el Mioceno Superior.

Esta falla ha funcionado básicamente como un desgarre sinistral durante el periodo neotectónico. Se ha calculado una tasa de movimiento sinistral de 2cm./año (WEIJERMANS, 1.987), bastante inferior a la tasa de 5,5 cm./año dada para la falla de San Andrés (TURCOTTE y SCHUBERT, 1.982). También hay signos de movimientos verticales, normales durante el Mioceno Superior e inversos durante el Cuaternario (LAROUZIERE et al, 1.987; I.T.G.E., en prensa-a).

3. Accidente Nordbético.

Corresponde a una zona de fracturación compleja de dirección ENE-WSW y buzamiento N, que separa materiales del dominio de Alborán (paleozoicos y triásicos) y de las zonas externas (Jurásicos Subbéticos).

En la región de Murcia va con dirección NE-SW desde Archena a Vélez-Rubio marcando los límites noroccidentales de la Sierra de la Torrecilla, de la Cuenca de Lorca y de Sierra Espuña y atravesando la Cuenca de Mula donde genera en superficie una zona con fracturas secundarias.

Hay pocos rasgos neotectónicos lo que indica una menor actividad en relación a la falla de Alhama. De todos modos, se ha mantenido activa durante todo el periodo neotectónico, actividad relacionada con las fuentes termales de Baños de Mula y Zarzadilla de Totana y con los desprendimientos de ladera de la Sierra del Gigante (NAVARRO y RODRIGUEZ ESTRELLA, 1.986).

Poco se sabe acerca de su mecanismo de funcionamiento durante el periodo neotectónico. Debió funcionar como una falla distensiva durante el Mioceno Superior y Plioceno y como una falla mixta de desgarre-inversa durante el Cuaternario.

4. Falla de Crevillente.

También llamada falla Cádiz-Alicante o falla Bullas-Archena.

Es una de las fallas más largas de la Península Ibérica; se observa desde satélite como un gran lineamiento que va con dirección ENE-WSW desde Alicante a Cádiz. En la provincia de Murcia pasa por Archena, Bullas y por el S de las sierras del Burete y de la Pinosa, coincidiendo en este último tramo con el límite septentrional del Municipio de Lorca

Es una zona de fracturación subvertical compuesta por fallas individuales o anastomosadas con dirección mayoritaria ENE-WSW.

Presenta numerosos rasgos neotectónicos, estando además asociada a las fuentes geotérmicas de El Calvario y Bullas.

No hay consenso acerca de su funcionamiento a lo largo del tiempo debido a que los numerosos datos existentes indican movimientos a veces contradictorios. Básicamente ha venido funcionando como una zona límite de deformación con características de desgarre dextral (BARRANCO, L., 1.986), con componente inversa o normal según sea el régimen compresivo o distensivo.

5. Falla de las Moreras.

Con dirección ESE-WNW, limita el S de la Sierra de las Moreras y continúa hacia el E debajo del mar condicionando la morfología del Cabo Tiñoso.

Es activa durante toda la época neotectónica, afectando a la morfología de los depósitos cuaternarios. Está asociada a sondeos geotérmicos. Funcionó como falla normal durante el Mioceno Superior y como desgarre dextral en el Cuaternario (I.T.G.E., en prensa-a).

6. Fallas de Los Cautivos y Aledo.

Tienen dirección ESE-WNW y son las fallas responsables de la apertura de la Cuenca de Lorca, limitándola por el SW y por el NE respectivamente.

Han venido funcionando como fallas normales a lo largo de casi todo el periodo neotectónico.

Hay otras muchas fallas algo más alejadas cuya actividad puede provocar temblores sísmicos en el Municipio de Lorca. Entre ellas destacan las siguientes (fig 3.4):

- Falla del Segura: Es una zona de fracturación que va por el Segura Medio (aguas arriba de Alcantarilla) y cuya actividad controla la sedimentación cuaternaria de la Vega.

- Falla de la Sierra de la Puerta: Es una antigua fractura de dirección NE-SW que va desde Calasparra a Caravaca, prolongándose posiblemente hacia el SW por la Sierra de los Mojantes. Está relacionada con movimientos diapíricos que deforman los sedimentos cuaternarios.

- Falla de Socovos: Es una falla dextral de dirección WNW-ESE que pasa por Cieza y Socovos y que muestra actividad cuaternaria.

- Falla del Almanzora: Es un límite de deformación que corresponde a una zona de fracturación de dirección E-W que sigue el curso del río Almanzora. Es muy activa durante el Cuaternario.

- Escarpe de Mazarrón: La plataforma continental al S de Murcia es muy estrecha pasándose rápidamente a zonas profundas a partir del escarpe de Mazarrón, de dirección aproximada E-W a WNW-ESE. El escarpe lo determina una falla activa que hunde el bloque meridional causando frecuentes deslizamientos de sedimentos cuaternarios.

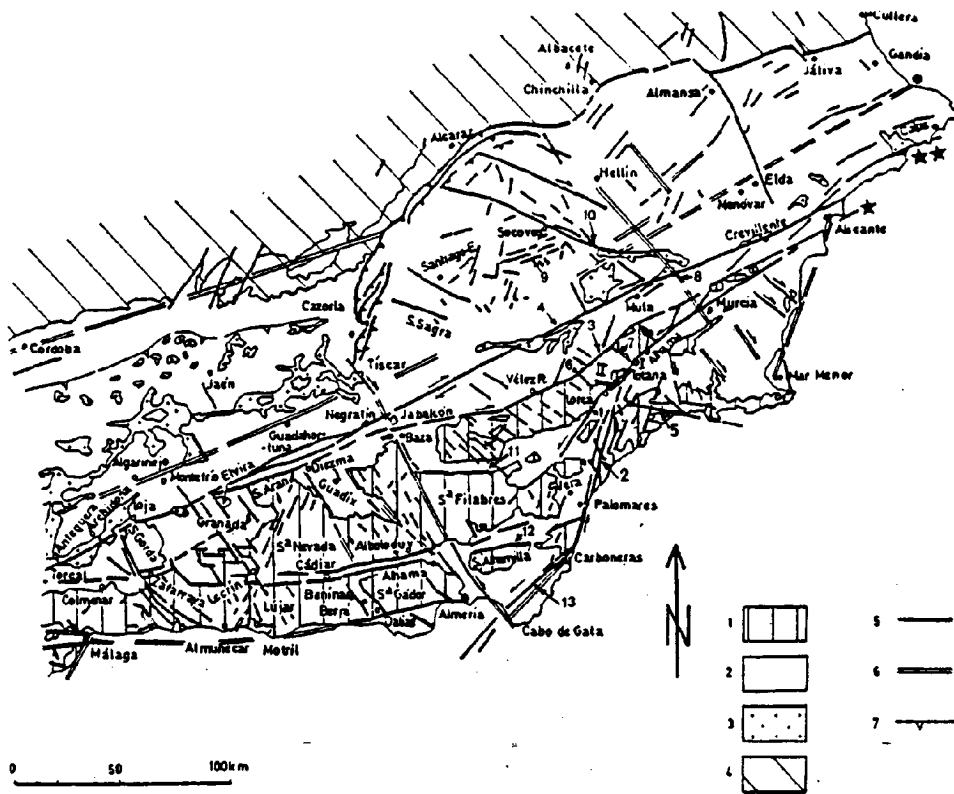


Figura 3.4. Esquema de las principales fracturas neotectónicas del sureste de España. 1:Zonas Internas; 2: Zonas Externas y Cenozoico "postorogénico"; 3: Triás del Subbético o deslizado hacia la Depresión del Guadalquivir; 4: Materiales de la Meseta y de la Cordillera Ibérica; 5: Fallas con indicación del sentido de movimiento; 6: Fracturas probables; 7: Límite de los deslizamientos gravitatorios en la depresión del Guadalquivir; 1: Falla de Alhama de Murcia; 2: Falla de Palomares; 3: Accidente Nordbético; 4: Falla de Crevillente; 5: Falla de Las Moreras; 6: Falla de Los Cautivos; 7: Falla de Aledo; 8: Falla del Segura; 9: Falla de la Sierra de la Puerta; 10: Falla de Socovos; 11: Falla del Almanzora; 12: Falla de Alhambilla; 13: Falla de la Serrata; I: Corredor del Guadalentín; II: Cuenca de Lorca (modificado de Sanz de Galdeano, 1.983).

3.5.2. Dominios.

1. El corredor del Guadalentín.

Corresponde a una fosa tectónica limitada por las fallas de Alhama de Murcia y la de Palomares-Carrascoy, que generaron y controlaron todos los procesos dinámicos del valle.

Está rellena por sedimentos del Mioceno Superior al Cuaternario, cuyo espesor varía mucho de unos puntos a otros, llegando a sobrepasar los 2.000 m.

El sustrato está estructurado en surcos y umbrales debido al juego de un sistema de fallas subverticales de direcciones NE-SW (longitudinales al valle y paralelas a la falla de Alhama y a la de Palomares) y WNW-ESE (paralelas a la falla de las Moreras o a las de Aledo y los Cautivos). Los casos más destacables son el umbral de la Sierra de Enmedio (que se continúa hacia el NE hasta la altura de Lorca), el depocentro pliocuaternario localizado al SSO de Lorca (I.T.G.E., en prensa-a) y el profundo surco de Hinojar (LAROUZIERE et al, 1.987).

Ambas familias de fallas han sido activas durante todo el periodo neotectónico, aunque presentan muchos menos rasgos que las fallas mayores antes citadas, lo que indica su carácter subsidiario.

El mecanismo de funcionamiento de las dos familias de fallas es similar al de las grandes fallas paralelas a ellas: Alhama-Palomares, Moreras-Aledo-Cautivos.

2. Sierra de la Torrecilla.

Es un bloque elevado de materiales paleozoico-triásicos, limitado al SE por la falla de Alhama, al NW por el accidente nordbético y al NE por la falla de los Cautivos, hacia el SW conecta con la Sierra de las Estancias.

Hay escasez de rasgos neotectónicos debido a la falta de marcadores sedimentarios de esa época. Dichos rasgos los dan en su mayoría las fallas que atraviesan la Sierra (OILIVEROS, 1.986), las cuales forman un sistema conjugado similar al que estructura el Corredor del Guadalentín: la familia NE-SW, paralela a la falla de Alhama y al accidente Nordbético, y la familia WNW-ESE, paralela a la falla de los Cautivos.

Esas dos familias de fallas funcionan de manera subsidiaria respecto a las grandes fallas que limitan la Sierra.

3. Cuenca de Lorca.

Cuenca rellena por sedimentos de edad neotectónica, limitada por las fallas de Aledo y los Cautivos al NE y SW respectivamente, por el accidente de Crevillente al NW y por la Sierra de la Tercia y la falla de Alhama al SE.

Los sedimentos del Mioceno Superior y Plioceno se encuentran basculados y en algún caso cortados por fracturas.

No se han descrito deformaciones en el Cuaternario, salvo algunas anomalías geomorfológicas poco significativas. En las imágenes de satélite se observa un importante lineamiento con dirección N-S que va desde Peña Rubia a las Terreras y que produce un giro en las calcarenitas y conglomerados del Mioceno terminal.

4. Sierra de la Tercia.

Es un bloque elevado de materiales paleozoico-triásicos alargado en la dirección NE-SW, limitado por el SE por la falla de Alhama y por el NW por la Cuenca de Lorca.

La escasa actividad neotectónica que se aprecia dentro de la Sierra parece estar inducida por la de la falla de Alhama. El juego de ésta debe producir la tendencia a la elevación relativa que sufre la Sierra, así como el juego escaso que se observa en las pequeñas fallas que allí se hallan. De entre éstas destaca, por su número y mayor actividad, la familia NE-SW, paralela a la falla de Alhama.

5. Sierra de la Carrasquilla, de la Almenara y Lomo de Bas.

La parte meridional del Municipio de Lorca la forman una serie de sierras compuestas por materiales paleozoico-triásicos, compartimentados debido al juego de múltiples fracturas.

En la zona litoral se produce una alta subsidencia debido al funcionamiento de fracturas ENE-WSW (paralelas a la costa). Durante el Cuaternario funciona el sistema de fallas de desgarre NE-SW y WNW-ESE (RODRIGUEZ ESTRELLA y LILO, 1.989), así como la morfología de la costa. En general, la zona litoral se ha estado levantando durante el Cuaternario con valores que van de 0,15 m./1.000 años en el Pleistoceno Inferior a 0,05-0,09 m./1.000 años en el Pleistoceno Superior (I.T.G.E., en prensa-a).

En las sierras más interiores no hay apenas marcadores neotectónicos. Se observan fallas como la que condiciona el trazado de la rambla de Los Chuecos, que actuó al menos en el Mioceno Superior, o la que limita por el S la Sierra de La Almenara.

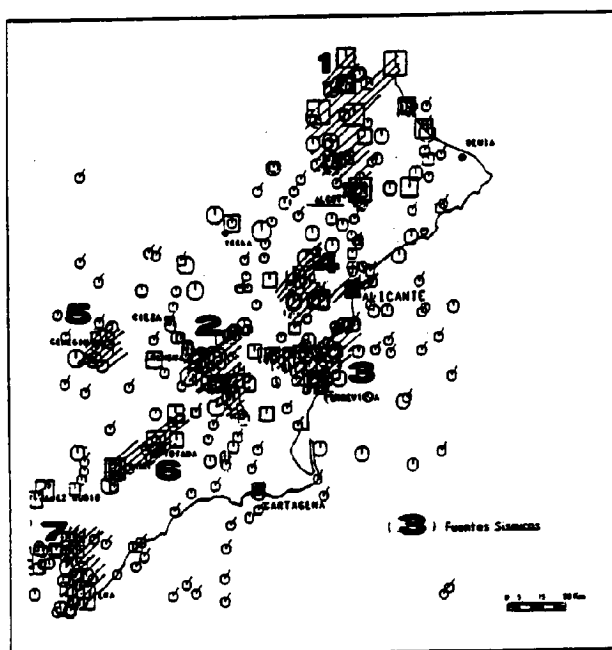
6. Dominio septentrional.

La parte septentrional del Municipio de Lorca está formada por materiales mesozoicos del Subbético que forman las sierras del Gigante, Almirez, Madroño, etc., sobre los que se apoya un tapiz de sedimentos de edad neotectónica. Este dominio está limitado por los accidentes Nordbético y de Crevillente.

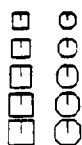
Los rasgos neotectónicos más reseñables se deben a la elevación de la Sierra del Gigante que produce numerosos desprendimientos de ladera (HERVAS y RODRIGUEZ ESTRELLA, 1.986). Otros movimientos cuaternarios se han detectado en la falla de las Terreras, de dirección NO-SE a NNW-SSE, y en la falla que limita por el NW la Sierra del Cambrón.

3.6. Sismicidad.

El Municipio de Lorca está encuadrado dentro de la zona de sismicidad del SE de España, siendo ésta una subzona del amplio área Bético-Magrebí (fig.3.1.). La sismicidad se puede considerar como moderada, atendiendo al resto del globo terrestre. Se caracteriza por una continua actividad de pequeña magnitud interrumpida, muy de vez en cuando por algún terremoto catastrófico que llega incluso a tener una intensidad X en la escala M.S.K. y que se siente en mayor o menor grado a grandes distancias del epicentro. Entre ellos, se pueden citar los sismos de Torrevieja de 21 de Marzo de 1.829, de Arenas del Rey de 25 de Diciembre de 1.884 o el último ocurrido en El Asnam (Argelia) el 10 de Octubre de 1.980.



LEYENDA



VI / INTENSIDAD MAX. SIN ASIGNAR
 VII □ EPOCA HISTORICA
 VIII ○ EPOCA INSTRUMENTAL
 IX // AREA APROXIMADA DONDE SE SITUA LA FUENTE SISMICA
 X

1. FUENTE DE ENQUERA
2. FUENTE DE MURCIA
3. FUENTE DE TORREVIEJA
4. FUENTE DE EL-CHE-ALICANTE
5. FUENTE DE CEHEGIN
6. FUENTE DE LORCA
7. FUENTE DEL ALMANZORA

Figura 3.5 Fuentes sísmicas más importantes en la región (adaptado de López Casado et. al., 1.989).

El SE de España es una de las zonas con mayor sismicidad del área Bético-Mogrebí, con sismos de intensidad IX ó X, como el ya citado de Torrevieja o el de Vera del año 1.518, y numerosos de intensidades VI a VIII (fig.3.5 y Tabla 3.5). De estos últimos y en lo referente al Municipio de Lorca (fig.3.6), hay referencias históricas de sismos (H-38) ocurridos el 30-1-1.579, el 28-8-1.674 y el 20-12-1.818. Próximos a Lorca hay también registrados sismos en Alhama de Murcia el 12-1-1.984 (H-48) y en Totana el 14-4-1.907. Ya dentro de la etapa instrumental hay que destacar los sismos de Lorca del 6-6-1.977 (I-167), con 4,2 de magnitud (Mb) y una intensidad de VI, y el de 24-3-1.978 (I-168) con 4,3 de magnitud registrada.

Los sismos del SE de España son mayoritariamente «superficiales» (<10 km.). Los «intermedios» y «profundos» (hasta 120 km.) se dan fundamentalmente en las áreas de plataforma continental (p.ej.: en el escarpe de Mazarrón) y son más infrecuentes en relación a otras zonas del área Bético-Magrebí, tal como en las proximidades de Málaga. Finalmente, no existen sismos «muy profundos» como los de Granada producidos a unos 600 km.

En cuanto al Municipio de Lorca, todos los sismos registrados se produjeron a escasa profundidad, no superando en ningún caso los 10 km.

La distribución de epicentros en el espacio no es aleatoria sino que se observan agrupamientos en torno a ciertos lugares geográficos. Este hecho unido a que en dichos lugares también se concentran los sismos mayores (con intensidad $>0 = a VI$) es lo que ha llevado a LOPEZ CASADO et al (1.989) a la consideración de fuentes sísmicas de carácter descriptivo (fig 3.5).

Del trabajo de LOPEZ CASADO et al (op. cit.), se extraen las siguientes conclusiones:

1. Cada 25 años se suele producir en el SE de España un sismo con $I_{max} = VI$, causado generalmente en alguna de las fuentes sísmicas citadas anteriormente (fig 3.5).
2. La aplicación de la teoría de valores extremos (Gumbel I) para un intervalo de tiempo desde el año 1.700 hasta nuestros días, da periodos de retorno de 60 y 150 años para las intensidades máximas VIII y IX respectivamente.
3. La comparación de la distribución de la sismicidad en el pasado con la de la reciente indica que la liberación de energía sísmica en estos últimos 25 años es de 8 a 40 veces menor, lo que significa que puede producirse en breve una importante activación sísmica, si partimos de la hipótesis de carácter predictivo que supone valores de liberación de energía del mismo orden en determinados intervalos de tiempo (25, 50, 100 años).

Por otra parte, las campañas de microsismicidad realizadas en el SE de España (Lorca, 1.977; Torrevieja, 1.982 y Palomares 1.984) mostraron que existe una microsismicidad importante en la zona que sigue las pautas generales de la macrosismicidad.

1) FUENTE DE ENGUERA

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1258		Onteniente
1396		Tabernes
1544	VII	Guadalest
1598	VII	Oliva
1599	VII	Gandía
1620	VIII	Alcoy
1645	IX	Alcoy
1748	IX	Enguera
1883	VII	V. Castellón (2 sismos)
1896	VII	Yecla
1910	VI	Oliva
1914	VI	V. Castellón
1916	VII	Salinas
1932	VI	Yecla
1945	VII	Onteniente
1976	VI	Vallada

3) FUENTE DE TORREVIEJA

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1048		Orihuela
1475		Orihuela
1482		Orihuela
1523	VIII	Guardamar de Segura
1746	VII	Rojales
1802	VII	Torre vieja
1828	VII	Torre vieja
1829	X	Torre vieja
1833	VI	Torre vieja
1837	VII	Torre vieja
1860	VI	Torre vieja
1867	VII	Torre vieja
1909	VII	Torre vieja
1910	VI	Torre vieja
1918	VI	Algorfa
1919	VIII	Jacarilla
1958	VI	Guardamar de Segura
1960	VI	Orihuela

6) FUENTE DE LORCA

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1664	VII	Lorca
1674	VIII	Lorca
1818	VII	Lorca
1864	VI	Alhama de Murcia
1907	VII	Totana
1977	VII	Lorca

2) FUENTE DE MURCIA

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1237		
1743	VII	Murcia
1787	VI	Mula
1823	VI	Murcia
1883	VII	Ceuti
1902	VI	Murcia
1905	VI	Nora
1908	VI	Mula
1908	VII	Ojos
1911	VIII	Cotillas
1911	VIII	Lorquí
1914	VI	C. del Río
1917	VII	T. Cotillas
1930	VII	Lorquí
1944	VII	Fortuna
1945	VI	Jumilla
1946	VI	Sangonera
1958	VI	Fortuna
1963	VI	Abanilla
1967	VI	Cieza

4) FUENTE DE ELCHE-ALICANTE

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1694	VI	Alicante
1730	VII	Elche
1866	VI	Elche
1884	VI	Alicante
1909	VI	Crevillente (2 sismos)
1920	VI	Santa Pola
1958	VI	Elda

5) FUENTE DE CEHEGIN

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1941	VI	Caravaca
1941	VI	Caravaca
1948	VIII	Cehegin

7) FUENTE DEL ALMANZORA

Año	Intensidad	Epicentro Aprox.
1406	VIII	Vera
1518	IX	Vera
1531	VIII	Baza
1751	VII	Vélez Rubio
1863	VI	Huerca Overa
1863	VI	Huerca Overa
1863	VII	Serón
1883	VI	Baza
1903	VI	Vélez Rubio
1930	VI	Albox
1932	VIII	Lúcar
1940	VI	Vera
1955	VI	Tijola
1972	VII	Portalao

Tabla 3.1. Relación de los sismos documentados más importantes del sureste de España (I.T.G.E., 1.990).

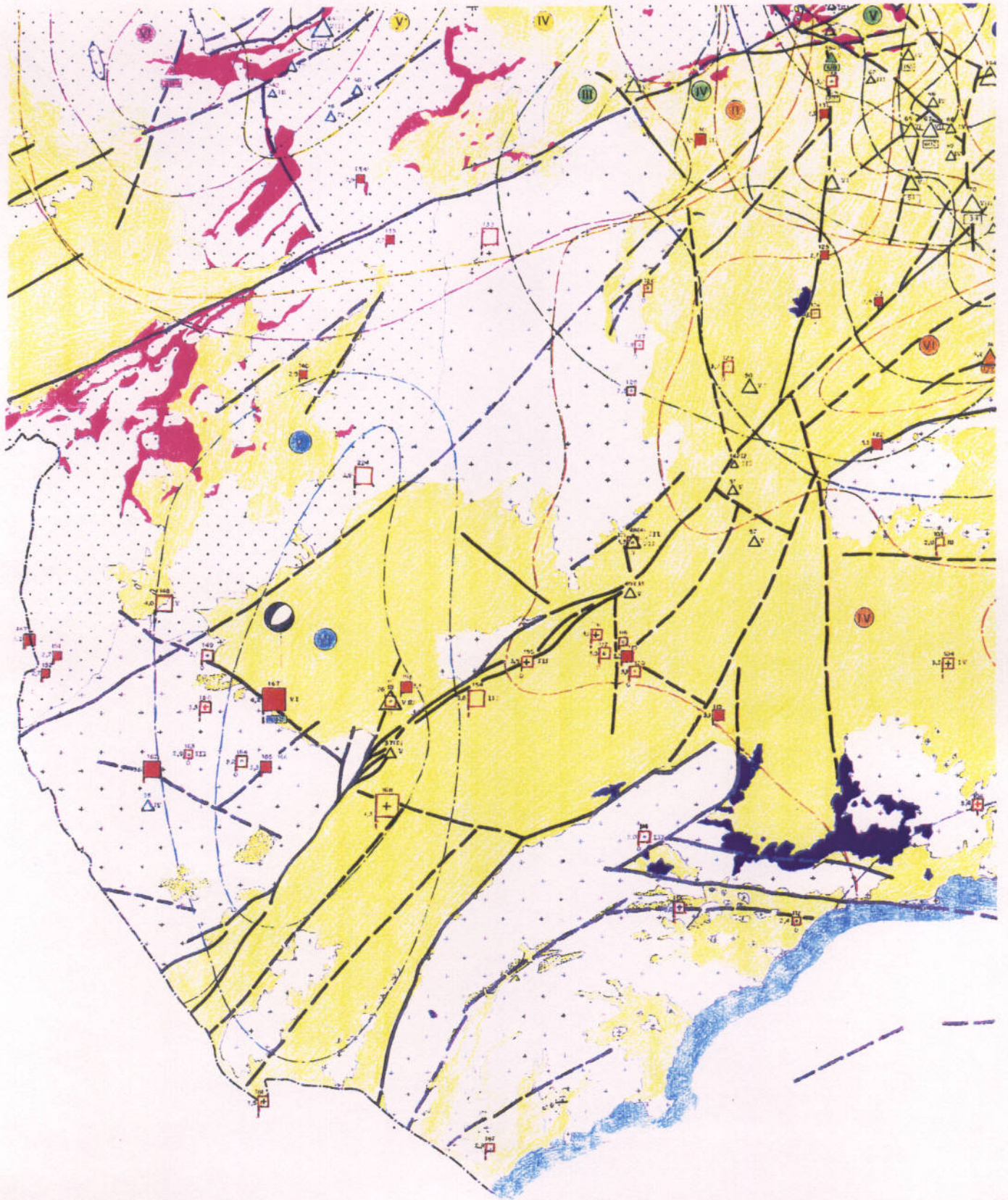


Figura 3.6. Extracto del mapa sismotectónico de la Región de Murcia (ITGE, en prensa-a).

Figura 3.6. Leyenda

Principales fallas neotectónicas.

Principales fallas neotectónicas deducidas.

Cobalamientos antiguos.

Mecanismo foco.

Parcialmente neotectónico ?

Relleno de cuencas y facies litales

Volcanismo

Prebético

Subbético.

Triás facies keuper (diapirico).

MATERIALES NEOTECTONICOS

ZONAS EXTERNAS

ZONAS INTERNAS

ISOSISTAS CORRESPONDIENTES A EVENTOS SISMICOS LOCALES

ISOSISTAS	FECHA	Nº DE MAPA (Catálogo)	Nº del SIGILO (Fichas)	LOCALIDAD	INTENSIDAD MAXIMA
	21 - Marzo - 1929	12	H-102	Guardamar del Segura	X
	25 - Agosto - 1940	108	H-155	Ulea	V
	24 - Julio - 1941	111	H-143	Larriba	VI
	11 - Noviembre - 1944	112	H-145	Calasparra	VI
	23 - Febrero - 1944	121	H-75	Fortuna	VII
	14 - Mayo - 1946	127	H-74	Saragonera la Verde	VI
	2 - Dic. 1958	143	H-76	Fortuna	VI
	1 - Noviembre - 1960	133	?	La Unión	V
	6 - Junio - 1977	242	1-167	Lorca	VI

HISTORICA

Eventos sísmicos anteriores a 1960

1- Número de la ficha en la base de datos, que irá precedida por una H.

2- Intensidad

3- Magnitud (algunos).

4- Existe mapa de isosistas y el número del mapa en el catálogo nacional.

5- Número de fichas para esta misma localidad, en el mismo año o en diferentes.

INSTRUMENTAL

Eventos sísmicos posteriores a 1959

1- Número de la ficha en la base de datos, que irá precedida de una I.

2- Magnitud

3- Intensidad (en algunos)

4- Existe mapa de isosistas y el número del mapa en el catálogo nacional.

MAGNITUD (Richter)	ERROR EPICENTRAL Significa en km desde epicentro De 5 a 10 Kms De 10 a 20 Kms De 20 a 40 Kms De 40 a 60 Kms De 60 a 100 Kms	PROFUNDIDAD FOCAL De 0 a 10 Kms De 10 a 20 Kms De 20 a 40 Kms De 40 a 60 Kms De 60 a 100 Kms	ERROR PROF. Sign. sin decir ≤ 5 Kms > 5 Kms
< 3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 3 a 3.5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 3.5 a 4	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
De 4 a 4.5 o mayor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3.7. Sismotectónica.

Un detallado análisis de las fuentes sísmicas y su relación con las estructuras neotectónicas conduce a una mejor caracterización de dichas fuentes al contemplar no sólo el efecto sino también la causa.

La adjudicación de un sismo a una falla se basa fundamentalmente en criterios de proximidad; sin embargo, las imprecisiones en la localización e intensidad de un sismo (especialmente en los sismos históricos, los cuales se sitúan siempre en ciudades) y en la prolongación en profundidad de las estructuras tectónicas (fallas) dificulta esa adjudicación.

Esta dificultad fue puesta ya de manifiesto en los trabajos de REY PASTOR (1.951), LOPEZ MARINAS (1.976), MARTIN (1.983), MEZCUA (1.985), etc.

La sismicidad se puede asociar bien a una falla perfectamente delimitada, bien a un dominio con fallas menores y más penetrativas. Los sismos mayores se dan en las grandes fallas y especialmente en los cruces de éstas o donde cambia su geometría.

La delimitación de fuentes sismogénicas depende de la escala. Así la zona Bético-Magrebí es una fuente generada por el movimiento entre las placas de Iberia y Africana.

Dentro de esta zona se puede diferenciar la fuente del SE de España dada por el Corredor transcurrente NE-SW (de las que las fallas de Palomares y de Alhama son sus máximos representantes).

Dentro del SE de España se han realizado diferenciaciones de fuentes sísmicas más precisas (RODRIGUEZ ESTRELLA, 1.986); LOPEZ CASADO et al, 1.989). Así, en la Figura 3.5 se aprecian agrupaciones sísmicas generadas por fallas neotectónicas importantes. La agrupación nº7, está causada por la falla del Almanzora, con dirección E-W, siendo muy activa en su extremo oriental, en su cruce con la falla de Palomares. La agrupación nº6, corresponde a la falla de Alhama de Murcia. La nº5, es la falla de la Sierra de la Puerta, de dirección ENE-WSW. La nº2, es la falla del Segura, importante discontinuidad orientada NW-SE quizá magnificada, debido a que allí se asientan las poblaciones con la consiguiente concentración de sismos históricos. Además la vega del río es propicia para aumentar la peligrosidad por el tipo de sedimentos, materiales muy sueltos y, en ocasiones, embebidos en agua. En esta falla, es notorio el aumento de sismicidad en los cruces con otras fallas de dirección NE-SW y ENE-WSW (fig.3.6). La agrupación nº3, está dada por el cruce de fallas ENE (Crevillente, Nordbética) y NW (San Miguel de Salinas) y allí fue donde se produjo el terremoto de Torre Vieja de 1.829.

Dentro del Municipio de Lorca se ha realizado un ensayo de zonación en bandas de carácter cualitativo (fig.3.7). Esa zonación se basa en la hipótesis de que la deformación sísmica y tectónica se produce fundamentalmente en las grandes fallas que compartimentan la zona y que fueron descritas anteriormente, mientras que la deformación es escasa en los dominios delimitados por ellas y en muchos casos producida a consecuencia de reajustes menores inducidos por movimientos sísmicos en las fallas mayores.

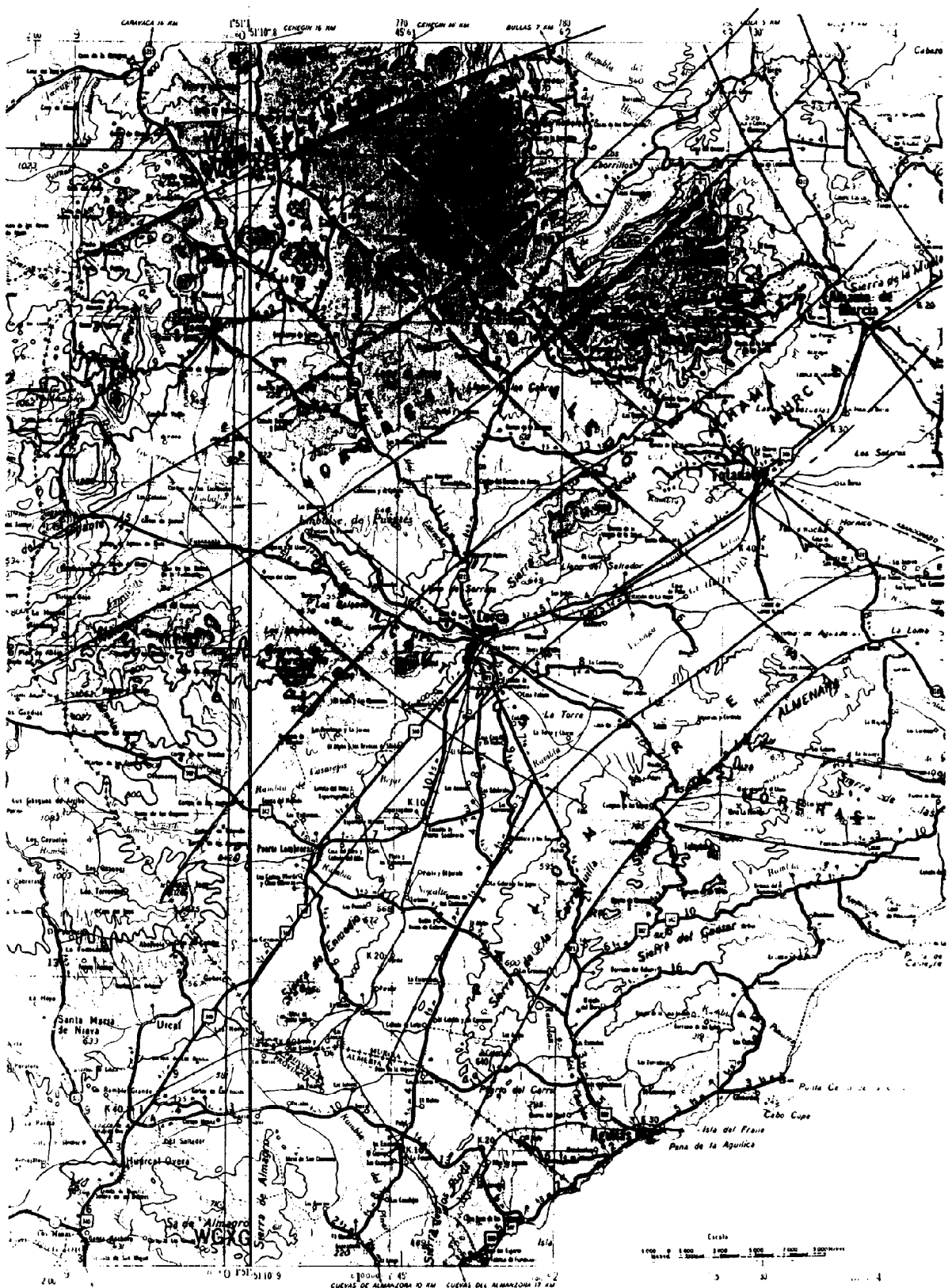


Figura 3.7. Ensayo de zonificación en bandas de las

El conocimiento del comportamiento sísmico de la zona experimentó un auge debido a los resultados de la campaña de microsismicidad de Lorca que se desarrolló en 1.977 y que registró el terremoto del 6 de Junio de 1.977, sus premonitorios y sus réplicas (Mezcua et al, 1.984). Para dichos autores, la distribución de los hipocentros (fig.9) parece ajustarse a una banda que buza 45° al NO, lo que fue asimilado a la geometría de la falla de Alhama de Murcia. Además, el mecanismo focal del sismo principal (fig.6) y los de buena parte de las réplicas daba un plano con dirección NE-SO, buzando al NO en concordancia con la geometría de dicha falla. Por otra parte, el mecanismo de movimiento asociado a dicho plano fue mixto extensivo-sinextral, lo que esta de acuerdo con el modelo de Howard aplicado a la falla de Alhama (Oliberos, 1.986). El estudio de las réplicas sirvió además para estimar el momento sísmico en $5,71 \times 10^{22}$ y el área fallada en 56 km^2 que corresponde a una rotura circular de 3,2 km. de radio. También se evaluó el factor de calidad Q, que se relaciona con el grado de actividad tectónica de una región; el valor hallado de $Q=320$ supone una actividad moderada.

Otra falla actualmente sísmica importante es la de Los Cautivos, con sismos de $m = VI$. La zona más peligrosa es el cruce con la falla de Alhama.

La falla de Palomares sólo ha generado sismos al sur, ya dentro de la provincia de Almería, en el cruce con la falla de Almanzora. Esta clara segmentación de la falla hace sospechar que el tramo norte, más cercano a Lorca, sea de creep tectónico (movimientos lentos y pequeños) (ITGE, en prensa-a).

Las demás fallas o zonas falladas dan sismos, pero de pequeña magnitud y con una intensidad registrada en los tramos cercanos a Lorca, nunca superior a VI.

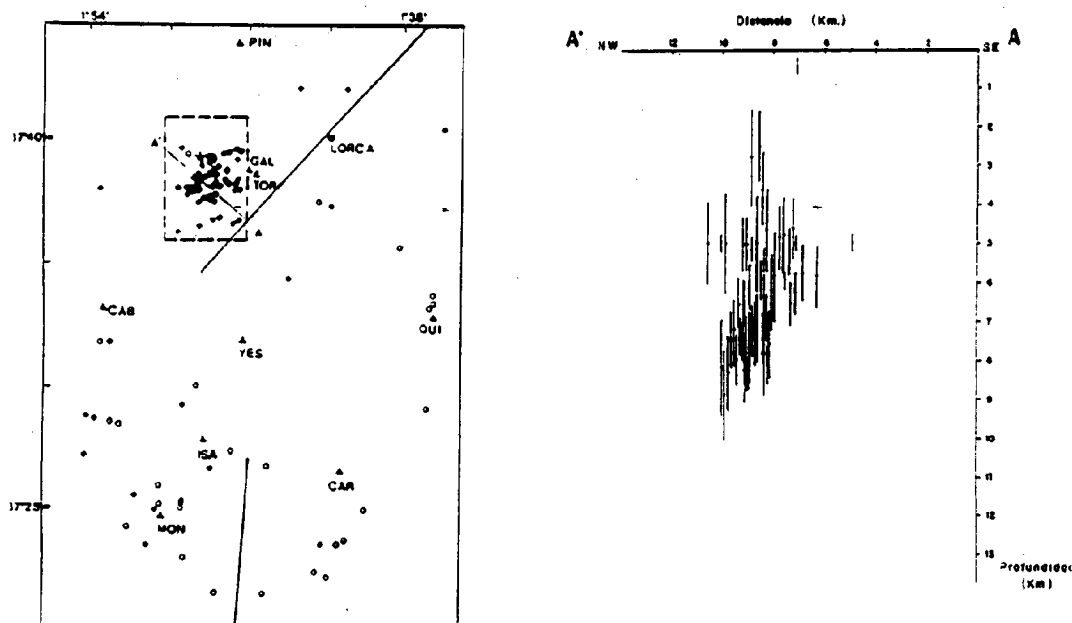


Figura 3.9. Distribución de epicentros (a) y de profundidades focales de las réplicas mejor localizadas (b) del terremoto de Lorca (6-VI-1.977). En la figura A aparecen representadas las fallas de Alhama de Murcia y de Palomares, así como el perfil de proyección de la figura B (Mezcua et al, 1.984; Herraiz, 1.983).

3.8. Situación geodinámica actual: mecanismos focales.

La situación geodinámica actual del área Bético-Mogrebí en general y del SE de España en particular es la responsable de las formaciones tectónicas y de la sismicidad que conllevan.

Como ya se indicó anteriormente, los datos neotectónicos indican la existencia de un régimen fundamentalmente distensivo durante el Mioceno y Plioceno, el cuál parece ser que cambió durante el Cuaternario debido al aumento de la presión en la dirección NNW-SSE, causada por el acercamiento entre Africa e Ibéria. Dicho cambio se manifestó en el SE por el desarrollo de una zona de desgarre sinistral.

Los mecanismos focales de los terremotos del SE de España aportan información sobre la situación geodinámica actual de esa zona en particular. Sin embargo, dan soluciones muy diferentes, señal del alto grado de complejidad de la zona. El terremoto de Lorca del 6 de Junio de 1.977, así como el principal conjunto de réplicas, daba un mecanismo distensivo con una extensión máxima horizontal en la dirección NW-SE, de acuerdo con la presencia de una zona transcurrente sinistral en el SE de España. Los mecanismos del otro conjunto de réplicas son opuestos y se interpretaron como producidos por un proceso de rebote sísmico (MEZCUA et al, 1.984; BUFORN et al, 1.988). Por otro lado, el sismo de Alicante del 1-3-1.981, tiene un mecanismo compresivo, con la máxima compresión en la dirección NNW-SSE, de acuerdo con el campo de esfuerzos general existente entre Africa e Iberia.

4. EVALUACION DE LA PELIGROSIDAD

4.1. Introducción.

Los estudios de peligrosidad sísmica requieren generalmente, un cálculo complejo habiéndose demostrado en numerosas ocasiones, la variación que pueden experimentar los resultados ante pequeños cambios en alguno de los muchos parámetros que intervienen en la caracterización de la misma.

Esta dificultad hace que normalmente se adopten simplificaciones y que en la práctica, se caracterice la peligrosidad sísmica mediante un sólo parámetro lo más representativo posible. El más utilizado hasta ahora es la Intensidad Clásica (I) que no es, en sentido estricto, un parámetro de peligrosidad, aunque sí da una idea indirecta (y cualitativa) del movimiento del suelo, por el tipo de daño que describe para cada grado de escala que se utilice. La de uso más generalizado es la escala M.S.K. (12 grados). Este parámetro (I) es el que mayor periodo de registro tiene, pudiendo llegar en algunos lugares de España a tener datos de hace 2.000 años.

Existen diversas definiciones del término «peligrosidad sísmica». Cada una de ellas suele venir dada en función del tipo y condicionantes del estudio, sobre todo en lo que se refiere a los parámetros disponibles para su evaluación y a los métodos a utilizar en cada caso (métodos deterministas o métodos probabilistas).

Otra de las simplificaciones que suelen hacerse en la evaluación de la peligrosidad sísmica, consiste en considerar su variación espacial dependiente únicamente de la distancia epicentral, lo que se conoce con el nombre de atenuación (efecto del medio) sin tener en cuenta otros factores, como por ejemplo son: la frecuencia de la onda sísmica, la direccionalidad y magnitud de la fractura o estructura sismogénica, etc. En el punto siguiente se exponen, para el área de estudio en concreto, los criterios y conclusiones a las que se ha llegado sobre este aspecto.

La definición que en este estudio se adopta del término «peligrosidad sísmica», correspondería, con ciertas modificaciones, a la dada por MARTIN MARTIN, A. J., (1.989) y sería la siguiente: «probabilidad, en términos no siempre estrictamente matemáticos, de que en un determinado intervalo de tiempo y como consecuencia de la sismicidad y del medio de propagación de las ondas sísmicas, se supere en determinada zona una Intensidad macrosísmica dada o un determinado nivel de movimiento del terreno».

El resultado de la evaluación de alguno de los términos dados como expresión del riesgo sísmico (sismicidad, peligrosidad, o riesgo sísmico s.s.) a pequeña escala (por ejemplo 1/1.000.000) se denomina macrozonación sísmica. Los estudios de peligrosidad sísmica a pequeña escala (> 1/50.000) se caracterizan por no considerar los datos relativos a los factores locales como: características del suelo o topografía; factores fundamentales de amplificación, de cada zona en particular, aunque no es difícil imaginar la influencia, normalmente enmascarada, que estos factores tienen en los «macrovalores» de los parámetros de peligrosidad sísmica considerados

En los estudios de evaluación de la peligrosidad sísmica, se suele considerar un modelo de «atenuación» al explicar la distribución espacial de la misma para una zona determinada. El modelo usual de atenuación, consiste en una función matemática que relaciona un parámetro representativo del terremoto (en nuestro caso la Intensidad) con otros que caracterizan los parámetros focales del sismo, el medio de propagación etc.

Normalmente, no se tienen en cuenta otros factores, como son: frecuencia de la onda sísmica, direccionalidad y magnitud de la fractura, etc.

4.2. Atenuación.

De todas las posibles «fuentes sísmicas» de la región, se han considerado de interés para este trabajo, por historia sísmica y cercanía al área de estudio, las siguientes:

- Fuente de Murcia.
- Fuente de Cehegín.
- Fuente de Lorca.

Para cada una de estas fuentes, se han establecido las correspondientes «curvas de atenuación» esto es, las curvas que expresan la disminución de la Intensidad con la distancia al epicentro (fig. 4.1).

Estas curvas, se han obtenido tomando como datos los Mapas de Isosistas de Terremotos de la región de Murcia, del Centro de Información Geográfica del I.G.N.

Todos los sismos considerados para el trazado de las curvas de atenuación han tenido intensidades epicentrales entre IV y VIII.

Independientemente de la fuente de la que proceda el sismo, la curva se ha trazado uniendo, en el mapa de isosistas correspondiente, el epicentro del mismo con la Ciudad de Lorca (cuando las curvas isosistas han llegado hasta ella) o bien se ha elegido para el terremoto considerado, la dirección que represente la mínima atenuación (cuando las isosistas no han alcanzado la ciudad).

En el caso de la Fuente de Lorca, considerando el terremoto de 6 de junio de 1.977 se puede observar una clara pauta direccional en el trazado de las isosistas. Por ello, se han considerado dos direcciones que representan la atenuación máxima y mínima de la Intensidad con la distancia al epicentro. En este caso, se puede observar en el mapa de isosistas correspondiente como la mínima atenuación (elongación de las isosistas) se produce en la dirección ENE-WSW y coincide con la traza de la falla de Alhama de Murcia (véase *Mapas de Isosistas de Terremotos de la región de Murcia*, en los Anexos).

En todos los casos considerados, no se ha tenido en cuenta la diferencia de atenuación que puedan presentar los distintos sismos en función de su intensidad epicentral.

Fig. 4.1 Curvas de atenuación de terremotos en la zona de Lorca.

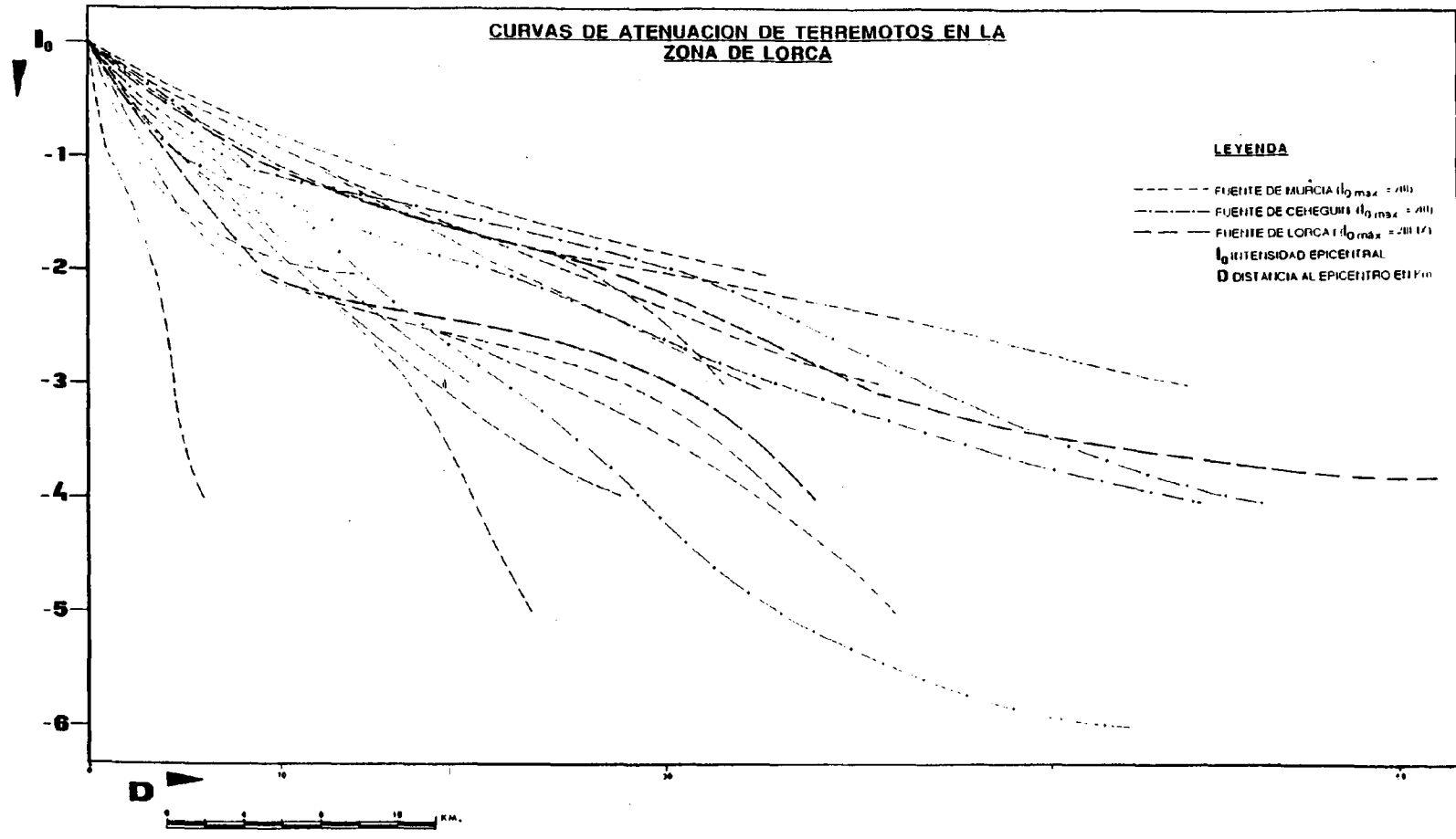


Figura 4.1. Curvas de atenuación de terremotos en la zona de lorca

A partir de las curvas obtenidas para las tres fuentes sísmicas citadas, se ha trazado una *curva de atenuación tipo* para toda la zona, que consiste en adoptar, con un criterio muy conservador, la envolvente de todas ellas.

A partir de esta curva, se obtiene que se alcanzan hasta dos grados de atenuación de la Intensidad con la distancia (considerando la distancia entre la ciudad de Lorca y la fuente sísmica) para terremotos procedentes de la Fuente de Cehegín y hasta tres grados para los de la Fuente de Murcia.

Del registro histórico, se sabe que la Intensidad epicentral máxima para ambas fuentes es de VIII por lo cual, no es previsible que incida sobre la ciudad de Lorca, un terremoto de carácter destructivo, cuyo epicentro se sitúe en las mencionadas fuentes, salvo que dicho terremoto tuviera una Intensidad epicentral de $I_0=X$ para la Fuente de Cehegín y de $I_0=XI$ para la de Murcia (considerando terremoto destructivo aquel cuya Intensidad en el emplazamiento es de $I \geq VIII$).

Esto supondría no tener en consideración la hipótesis básica del método determinista, que es el que aquí se considera, que implica que la ocurrencia de terremotos en el futuro será similar a la historia de lo ocurrido hasta hoy, es decir que en el futuro no se van a producir terremotos cuyo efecto en el emplazamiento considerado sobrepase al ya observado.

De lo antedicho, se desprende que únicamente constituyen una fuerte «amenaza sísmica» para la ciudad de Lorca, los terremotos cuya fuente es la propia Fuente de Lorca.

Si se considera que la pauta de atenuación se mantiene constante, y se admite que no es función de la Intensidad epicentral del sismo, entonces se observa que se precisan aproximadamente 9 Km. para que la Intensidad epicentral disminuya un grado.

Con esta premisa, un terremoto con epicentro en la ciudad; que tuviera una Intensidad de $I_0=VIII$ -causaría importantes daños a la misma (sin tener en cuenta todavía los posibles efectos locales de amplificación) y afectaría con igual intensidad a un radio de unos 9 Km.

Las curvas obtenidas por el método descrito, muestran una buena correlación con las curvas dadas por MUÑOZ, 1974 y MARTÍN MARTÍN, 1983 para esta zona (SE de España), que se representan en la fig. 4.2.

Estas curvas se obtuvieron también (fig 4.3.) para terremotos de Intensidades superiores o inferiores a VIII (MSK), mediante un ajuste mínimo cuadrático de los datos a ecuaciones del tipo: $I_e - I = a_1 + a_2 \log (R + R_0)$, (donde R es la distancia epicentral y R_0 una constante) obteniendo, previamente, los radios medios equivalentes de cada línea isosista (radio del círculo de igual área) y realizándose a continuación el ajuste mínimo cuadrático a la ecuación anterior.

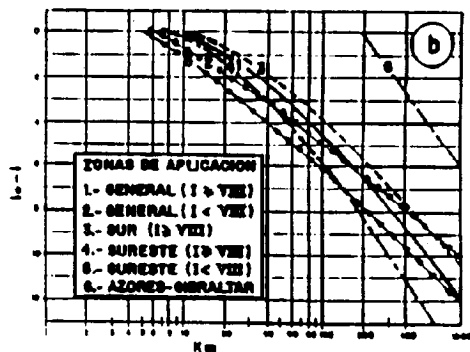
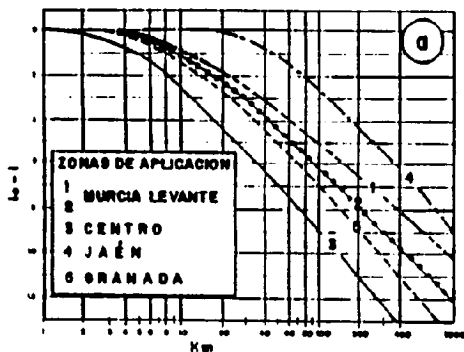


Fig. 4.2 Curvas medias de atenuación de intensidades (a: Muñoz, 1.974; b: Martín, 1.983).

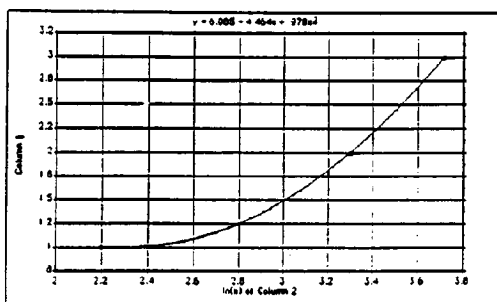
Mediante este método, los autores citados obtienen las siguientes curvas:

ZONA	TAMAÑO	CURVA DE ATENUACION	ERROR
SURESTE	$\geq VIII$	$I_0 - I = -15,51 + 4,40 \cdot \ln (R+25)$	0,029
SURESTE	$\leq VIII$	$I_0 - I = -5,92 + 2,61 \cdot \ln (R+5)$	0,045
GENERAL	$\geq VIII$	$I_0 - I = -12,55 + 3,53 \cdot \ln (R+25)$	0,060
GENERAL	$\leq VIII$	$I_0 - I = -5,23 + 2,21 \cdot \ln (R+5)$	0,022

En nuestro caso, mediante un proceso de regresión polinomial de los datos de las curvas tipo obtenidas (la más pesimista para la Fuente de Lorca y la envolvente de todas para el caso general, que incluye todas las fuentes de la región consideradas) se han obtenido curvas de tipo exponencial, que relacionan la atenuación de la intensidad ($-\Delta I$), con el logaritmo neperiano de la distancia (\ln).

Comparando ambas expresiones, se obtienen distancias muy similares para el mismo grado de atenuación, en particular para la Fuente de Lorca (considerando la curva pésima).

CURVA DE ATENUACION 1 $\ln D$ (Km.)-intensidad



CURVA DE ATENUACION 2 $\ln D$ (Km.)-intensidad

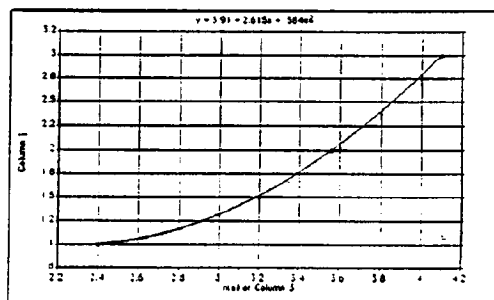


Fig 4.3. Curvas medias de atenuación de intensidades para la zona de Lorca.

4.3. Macrozonación sísmica

4.3.1. Situación del área de estudio. Término Municipal .

Si bien los objetivos del presente trabajo no están centrados en la evaluación de los parámetros que caracterizan la peligrosidad sísmica a pequeña escala; es clarificador y necesario dar una visión de los resultados obtenidos por los distintos estudios sobre peligrosidad sísmica a pequeña escala que incluyen el área de estudio.

Interesa por tanto, conocer el tipo de parámetros elegidos (Intensidad Clásica y aceleración horizontal, fundamentalmente) y cuales son los niveles básicos de los parámetros estimados por los distintos estudios para el área de Lorca.

Se ha realizado un cuadro síntesis en el que se muestran aquellos elementos más importantes a resaltar en la elaboración de los estudios a los que se ha hecho referencia, así como los datos que afectan al área de estudio (Cuadro 4.1).

No entramos aquí en análisis de mayor detalle como: metodología utilizada, criterios de selección de parámetros de cálculo, etc., aspectos estos, que son desarrollados con mayor claridad y extensión en los trabajos mencionados.

Del Cuadro 4.1, se pueden extraer una serie de conclusiones que se exponen a continuación en los siguientes puntos:

- 1) Los grados de I (M.S.K.), valores de «T» (periodo de retorno) y «a » (aceleración) son estimaciones fruto de la utilización de determinadas metodologías para la evaluación de la peligrosidad. Es decir, contribuyen a delimitar en una primera fase (macrozonación sísmica) la peligrosidad sísmica de la región.
- 2) El nivel básico de intensidad, en el mapa determinista de intensidades máximas sentidas (MARTIN MARTIN, A.J., 1983), no parece contemplar el grado IX que algunos autores (RUIZ PEREZ, R. y VIDAL, F. , 1987) asignan al terremoto de Lorca de 1.674.
- 3) En MARTIN MARTIN, A. J. (1983), los resultados en intensidades para esta zona son bastante homogéneos con independencia de la distribución estadística considerada. El valor del parámetro I es un grado menor que el considerado en el mapa de intensidades máximas sentidas, para un periodo de retorno elevado (1.000 años) considerando zonas sismogénicas, y dos grados inferior aproximadamente, para idéntico periodo de retorno, pero sin considerar zonas sismogénicas.
- 4) Para la confección del Mapa de la Norma Sismoresistente PDS-1 (1974) y por consiguiente, para la obtención del valor de «I» asignado para Lorca, se utilizó, a diferencia con los otros métodos probabilistas desarrollados en estudios posteriores, un método que no corresponde en sentido estricto a un método determinista ni tampoco probabilista. En la elaboración del mismo ,no se han tenido en cuenta Leyes de Atenuación, ni se han considerado los terremotos lejanos (falla de Azores-Gibraltar).

5) En el proyecto de futura *Norma Sismoresistente*, que vendrá a sustituir a la actualmente en vigor, el parámetro de cálculo que se considera para estimar la peligrosidad sísmica, es la aceleración horizontal sísmica básica (a) expresada en relación al valor de la gravedad (g). Para Lorca se da el valor de 0,11g.

Con carácter explicativo y como ayuda a la comprensión de algunos términos utilizados en el Cuadro 4.1, se incluye a continuación una relación de definiciones que pueden resultar de utilidad.

Métodos Deterministas: Son metodologías de evaluación de la peligrosidad sísmica de un área o región más o menos extensa. La hipótesis en que se basan es la de suponer que la sismicidad en el futuro será idéntica a la del pasado (lo que implica la estacionaridad de la sismicidad). El valor máximo de los parámetros para evaluar la peligrosidad, se determina directamente de los terremotos sucedidos en el pasado. El método es muy sensible a que los datos de partida (banco de datos sísmicos) sea completo o no.

Métodos Probabilistas: El principio en el que están basados es el de suponer que pueden establecerse leyes estadísticas sobre el fenómeno sísmico en una región. El resultado final de su aplicación es la obtención de la probabilidad o del periodo de retorno correspondiente a un valor determinado del parámetro en que se evalúa el riesgo o, inversamente, los valores de dicho parámetro que corresponden a un valor de probabilidad dado. Los mapas confeccionados por este método se expresan mediante isolíneas que representan el valor del parámetro elegido para cada nivel de riesgo considerado.

Ley de atenuación: Es la relación que describe la influencia en el parámetro de cálculo de la peligrosidad, para una región, del medio físico existente entre la región y el foco sísmico. Por simplificación esta variación viene dada en función de la distancia al epicentro. En la práctica se determinan a partir de los mapas de isosistas de algunos terremotos ocurridos en la región.

Zonificado: Método para evaluar la peligrosidad sísmica en un área, en donde se considera la influencia producida por determinadas zonas (fuentes sísmicas) en el área de estudio. En los métodos probabilistas se denominan sismogenéticas y en los deterministas se las llama sismotectónicas.

Distribución frecuencia de terremotos-intensidad: Es una distribución estadística del parámetro «I» función de la frecuencia de terremotos que se utiliza en algunos modelos probabilistas generalmente zonificados. Los datos básicos de que parte son: la geometría de las zonas sismogenéticas y sus parámetros sísmicos.

Sus hipótesis básicas son:

- 1- En cada zona la frecuencia y el tamaño de los terremotos tiene carácter equiprobable.
- 2- La tasa de frecuencia de terremotos de tamaño superior a un valor umbral es constante en el tiempo.

3- Los sismos ocurren en el tiempo de acuerdo con un modelo poissoniano. Supone que los sismos, sobre todo los de mayor tamaño, se producen de un modo aleatorio e independiente.

4- La función de distribución de la magnitud o intensidad de los sismos de cada zona es exponencial e ilimitada. Es decir se cumple la ley de Gutenberg-Richter ($\log_{10} N = a - bI$), Siendo N = número de terremotos mayor o igual a una intensidad prelijada.

Distribución de Gumbel I: Es una distribución de valores extremos (valores máximos del parámetro). Siendo una de las tres distribuciones que demostró GUMBEL, E.J. (1.9541.958).

La función de distribución de la variable γ (parámetro de cálculo) vendá dada por:

$$G_n(\gamma) = P(\gamma < y) = P(X_1 < y) \cdot P(X_2 < y) \dots P(X_n < y).$$

γ es el máximo de n variables aleatorias X_i independientes

$$G_n(\gamma) = F_{X_1}(y) \cdot F_{X_2}(y) \dots F_{X_n}(y).$$

Si X_i están igualmente distribuidas:

$$G_n(\gamma) = F_X(y)^n$$

Se cumplen las siguientes hipótesis:

- a) La distribución de las n variables X_i es ilimitada en el sentido positivo.
- b) La cola (valores grandes) de la distribución de las n variables X_i decrece de una forma exponencial.
- c) El número de variables X_i es un número grande. Entonces la distribución asintótica de los máximos de un gran número de variables aleatorias independientes X_i es de la forma:

$$G_n(y) = \exp(-e^{-\alpha(y-n)})$$

Los parámetros de α y n se estiman a partir de la muestra; por cualquiera de los tres métodos siguientes: métodos de los momentos, método de ajuste mínimo-cuadrático y método de la máxima verosimilitud (MARTIN MARTIN, J., 1.983).

Periodo de retorno (T): De una forma un tanto general se definiría como: la inversa de la probabilidad de que un determinado "valor crítico" del tamaño de un terremoto sea excedido.

Aceleración (a): En España se dispone de muy pocos registros de acelerogramas. La aceleración se estima en consecuencia a partir del parámetro disponible. En este caso la intensidad. En el Cuadro 4.1. se ha expresado de dos formas; una en porcentaje del valor de la gravedad ($g = 980 \text{ cm./s.}$) (aceleración horizontal sísmica básica) y otra en gals ($1 \text{ gal} = 10^{-2} \text{ m./s}^2$).

4.3.2. *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica del Término Municipal de Lorca (E: 1:100.000).*

El Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica del Término Municipal de Lorca, se ha elaborado siguiendo a grandes rasgos, la experiencia del estudio realizado en una gran área que incluye toda la Bahía de S. Francisco por PERKINS, J.B., et al 1.987.

En el mencionado estudio se pone de manifiesto que el riesgo sísmico es alto en toda el área pero no es igual en todas partes. El tipo de suelo o roca en cada sitio afecta a la amplitud de la vibración, poniéndose de manifiesto como los materiales más blandos (lodos, rellenos artificiales, arcillas) incrementan la vibración y por ende la peligrosidad.

En este sentido, y teniendo en cuenta lo anterior, se ha dividido, siguiendo a los mencionados autores, el Término Municipal de Lorca en tres zonas básicas:

- 1.- Roca dura : materiales duros y muy duros que básicamente corresponden a rocas paleozoicas (filitas, cuarcitas, pizarras...) y algunas rocas terciarias.
- 2.- Roca blanda: son materiales compactos y firmes que fundamentalmente son terciarios (margas, conglomerados y arcillas).
- 3.- Materiales blandos (no rocosos): se trata de depósitos sedimentarios constituidos por materiales poco cohesivos generalmente formados por los terrenos cuaternarios (coluviales, aluviales y materiales de relleno).

Esta caracterización en zonas geotécnicas se ha realizado tomando como punto de partida el Mapa de Interpretación Geotécnica (E: 1/100.000), realizado por el I.T.G.E (sin publicar, 1.987).

A este criterio exclusivamente basado en las características del terreno se le integró un cuarto criterio consistente en una zonificación complementaria en la que se determinan las zonas rocosas situadas en áreas de pendientes altas como zonas de vibración poco incrementada pero susceptibles de crear problemas de desprendimientos y/o avalanchas.

Utilizando como mapa de base las hojas topográficas a escala 1:100.000 de la Puebla de Fadrique (12-19), Lorca (13-19), Huércal-Overa (12-20) y Aguilas (13-20) editados por el Servicio Geográfico del Ejército, se han realizado la síntesis temática referente a la caracterización geotécnica a la que se ha superpuesto un mapa de pendientes de todo el Término con lo que se ha elaborado la valoración de la Peligrosidad Sísmica, a esta escala, del mismo.

Como información básica se ha incluido la del Mapa Neotectónico y Sismotectónico de Murcia (I.T.G.E., en prensa), donde se reflejan los principales accidentes tectónicos (fallas), así como otros indicios de actividad neotectónica (valles colgados, desviaciones o encajamientos anómalos de la red de drenaje, cauces decapitados, flexuras, etc). Así mismo se señalan las fallas que presentan algún tipo de actividad en Epoca Neotectónica (-12 M.A.) diferenciando los casos en los que la precisión en la determinación de la sismicidad es buena (precisión suficiente) o no lo es (precisión insuficiente o dudosa).

Se señalan en el mismo mapa los Terremotos Históricos (hasta 1.932) y los Instrumentales (desde 1.932) teniendo en cuenta el número de eventos en cada punto situado. De igual forma se recogen aquellos sismos registrados como réplicas de uno principal. Como se puede apreciar, la situación de los principales eventos sísmicos se produce en la zona de intersección del río Guadalentín con la traza de la falla de Alhama a su paso por la ciudad de Lorca.

Para valorar el grado de vulnerabilidad se han superpuesto como «elementos expuestos» las principales pedanías del Término Municipal, dejando la ciudad de Lorca como caso particular a desarrollar en exclusiva y a una escala adecuada (1:5.000). En cada una de las pedanías estudiada se valora: la aptitud geotécnica, el grado de amplificación topográfica, basado en criterios topográfico-morfológicos, y el tipo constructivo predominante (A, B y C) para establecer posteriormente mediante la peligrosidad estimada, el grado de vulnerabilidad global para todo el conjunto urbano.

4.4. Microzonación sísmica.

4.4.1. Marco conceptual, metodología y limitaciones.

Un cambio de litología, un cambio en el grado de fracturación, variaciones en las características del relieve, nivel freático, presencia de riesgos asociados (desprendimientos, deslizamientos, colapsos,...) y como consecuencia, un cambio de la respuesta dinámica de los suelos conlleva una diferente reacción de estos a las acciones sísmicas. La microzonación sísmica evalúa el riesgo sísmico a gran escala, resaltando, sobre todo, la influencia de las condiciones locales sobre el mismo. Como resultado se obtienen una serie de zonas de riesgo sísmico a grandes rasgos homogéneo (microzonas).

Si bien la microzonación es un concepto que en cierta medida hace referencia al «riesgo sísmico» en cualquiera de sus expresiones, en lo que sigue se hará referencia a esta únicamente en lo que se refiere a la peligrosidad sísmica, como uno de los aspectos parciales que componen dicho «riesgo sísmico». No se tendrá en cuenta por tanto, la evaluación de los daños potenciales para cada tipo de construcción (vulnerabilidad) que serán tratados más adelante.

No existe en la actualidad un método universalmente utilizado en microzonación sísmica. En aquellos países donde este tipo de estudios se han desarrollado con mayor intensidad, se utilizan diferentes metodologías cuyos resultados son escasamente fiables cuando se usan en zonas distintas a las que se aplicaron inicialmente.

En líneas generales, se podría hablar de dos grupos de métodos para realizar un estudio de microzonación sísmica: métodos directos y métodos indirectos.

Los métodos directos están basados en el registro de onda sísmica real en el área que se desea estudiar, realizando la medida una vez que se ha establecido previamente la red de sensores y aparatos de registro más o menos sofisticados. Cuando se produce el terremoto destructivo (>VII se registra el parámetro o parámetros en que se va a definir el riesgo sísmico (en términos de peligrosidad). El tipo de parámetros registrados suele ser: aceleración, velocidad y desplazamiento del suelo; siendo la duración del temblor y el periodo dominante, parámetros que pueden obtenerse así mismo de los distintos registros.

El resultado sería el de un conjunto de datos del parámetro elegido, tantos como puntos de medida tenga la red establecida.

Del tratamiento de estos registros, se obtiene información relativa a la manera en que ha afectado a cada punto la acción sísmica (el valor máximo, duración, amortiguamiento, espectro de respuesta, periodos fundamentales, etc.). Cada registro será diferente como consecuencia del diferente filtrado que producen las distintas condiciones (factores de amplificación) que convergen en cada uno de los puntos de medida. A partir del valor que se elija de cada registro en cada punto o del tratamiento del mismo por interpolación, quedarían delimitadas cada una de las zonas (microzonas) por isolíneas de valores del parámetro elegido (normalmente, la amplitud máxima del registro en cada punto).

Estos métodos son sin duda los más precisos a la vez que los más caros, ya que sería necesario disponer una compleja instalación que precisa además control y mantenimiento del equipo instrumental durante un largo periodo de tiempo.

El principal condicionante en la aplicación de estas técnicas, es la incertidumbre que existe en la predicción de terremotos.

Otro tipo de métodos directos son los que se basan en el registro de los llamados «microsismos» (terremotos que sólo se pueden captar mediante instrumental altamente sensible) naturales o artificiales. En la aplicación de estos, y en particular en los basados en microsismos artificiales, se suele partir de la hipótesis de que se produce una respuesta lineal del suelo, cosa que difiere bastante de la realidad ya que se ha comprobado que el comportamiento de un suelo sometido a acciones dinámicas se aleja considerablemente de la linealidad; siendo tanto más alejado su comportamiento cuanto más destructivo sea el movimiento.

El problema de los métodos directos de microzonación reside, en general, en la calidad y pulcritud con la que se haga la extrapolación de los parámetros obtenidos relativos a la influencia del suelo en caso de terremotos destructivos. Estos últimos, a diferencia de los anteriores, presentan registros con gamas de frecuencias y amplitudes más altas, no teniendo en la mayoría de las ocasiones nada que ver el comportamiento de un punto dado, con el que tendría el mismo punto bajo acciones sísmicas de tipo destructivo.

Los otros métodos ya mencionados que se pueden aplicar en estudios de microzonación sísmica son los que se denominan, en sentido amplio, métodos indirectos cuya filosofía para evaluar la peligrosidad sísmica reside, a grandes rasgos, en la modelización expresada en términos físico-matemáticos (a veces sólo parcialmente), de los factores que intervienen en la evaluación de la peligrosidad sísmica a gran escala (modelización de la onda sísmica). El cálculo o la estimación de la forma en que afectan los distintos factores, se puede obtener de los datos aportados por ensayos («in situ» o en laboratorio), de las características dinámicas del suelo, así como de la correlación con áreas de condiciones similares o de la simulación del comportamiento de los suelos.

Para conocer el grado de fiabilidad de los métodos indirectos, se necesitaría poder contrastar los resultados con los obtenidos mediante la aplicación de métodos directos (métodos instrumentales con medición de un parámetro real). Como ya se ha indicado, esto no es factible y solamente se ha podido hacer, en algunos casos, en países de alto desarrollo en estos temas.

Aplicando unos métodos u otros, los aspectos más importantes a tener en cuenta en la respuesta de un suelo son, entre otros:

-El suelo amplifica la aceleración máxima ($a_{m\acute{a}x}$), aunque para terremotos fuertes ($I > VI$) en suelo blando, la rotura del mismo puede de alguna forma limitarla. Considerando diferentes profundidades del suelo, las máximas aceleraciones se producen en superficie.

-La respuesta del terreno bajo acciones sísmicas es «no lineal».

-La amplificación es distinta para un mismo tipo de suelo según el contenido frecuencial de la onda sísmica.

-Un sismo próximo y otro lejano podrían dar la misma $a_{m\acute{a}x}$ en la roca del sustrato.

- El contenido en bajas frecuencias se acentúa a medida que las condiciones del suelo empeoran.

-Las características geotécnicas del suelo influyen más en la velocidad máxima y en el desplazamiento máximo que en la aceleración máxima producida por el sismo.

La metodología seguida en este estudio tiene más que ver con los métodos que se han denominado indirectos.

Ante la imposibilidad de aplicar métodos basados en instrumentalización o métodos cuantitativos de simulación; con utilidad para nuestros objetivos, se ha procedido a microzonar la Ciudad de Lorca en base a los factores de amplificación locales, que influyen, previsiblemente, en la respuesta de cada tipo de suelo ante una acción sísmica. Como no existe todavía método cuantitativo fiable para evaluar el grado de amplificación común, se ha obtenido la microzonación en base a la superposición de distintas zonificaciones según escalas de amplificación relativas a cada factor. El resultado es un mapa que evalúa la peligrosidad sísmica de forma cualitativa, presentando diversas zonas en cada una de las cuales existen unas condiciones de amplificación homogéneas. El mapa permite conocer de forma cualitativa qué zonas amplificarán más y qué zonas amplificarán menos, el nivel básico del parámetro elegido (en este caso la intensidad Clásica M.S.K.).

Lo riguroso y deseable sería que en el futuro, modelos más potentes y desarrollados, confirmen de forma cuantitativa, los resultados que aquí se incluyen de microzonación sísmica mediante criterios cualitativos.

4.4.2. Investigación de apoyo.

4.4.2.1. Introducción y objetivos.

La investigación de apoyo del presente estudio se ha concretado en el empleo de técnicas de prospección geofísica (sísmica y eléctrica) adecuadas a la naturaleza del mismo.

Mediante la prospección geofísica se trata, de modo general, de obtener información relativa a ciertas características de interés del subsuelo a través de medidas realizadas en superficie. El número de parámetros físicos capaces de caracterizar un medio rocoso es muy amplio. Cada uno de ellos, es de utilidad específica en determinados estudios geológicos, hidrogeológicos, de prospección minera o geotécnicos. Uno de los más significativos es la velocidad de transmisión de una onda compresional a través de los materiales que constituyen el subsuelo.

Esta velocidad depende directamente del grado de compactación o cohesión de los agregados minerales que forman las rocas en su sentido más amplio. También es significativa la influencia de otros factores tales como la presencia de agua, especialmente en formaciones no consolidadas donde el nivel freático se localiza próximo a la superficie. Otro es la resistividad aparente R_a (Ω -m.) que está ligado por complejas relaciones a las resistividades verdaderas y espesores de todas las capas influenciadas por el dispositivo (en nuestro caso un cuadripolo) de medida. La resistividad aparente (R_a) se define a veces como la resistividad verdadera de un terreno imaginario, homogéneo e isotrópico, equivalente al terreno real heterogéneo.

El objetivo concreto en el presente estudio, se orienta a la caracterización de los terrenos desde el punto de vista geotécnico y específicamente en lo relativo a la normativa sismorresistente. A los efectos de lo que será la futura Norma, los terrenos se clasifican en los tipos que a continuación se relacionan, cuyos correspondientes coeficientes de cimentación se expresan en la Tabla 4.1

-Terreno de tipo I	Roca compacta, suelo cementado o granular muy denso. Velocidad de propagación de las ondas elásticas de compresión $V > 2.500$ m/s.
-Terreno de tipo II	Suelo granular denso, o suelo cohesivo duro a muy duro. Velocidad de propagación de las ondas elásticas de compresión $2.500 \geq V \geq 1.500$ m/s.
Terreno de tipo III	Suelo granular suelto a medio, o suelo cohesivo medio a blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas de compresión $600 < V \leq 1.500$ m/s.

Tabla 4.1

- Terreno Tipo I	$C=1.0$
Terreno Tipo II	$C=1.5$
Terreno Tipo III	$C=2.0$

De cualquier modo, los trabajos geofísicos realizados, tienen el carácter de ensayo metodológico, y no el de reconocimiento general, pese a que las medidas llevadas a cabo constituyen un muestreo significativo para el conjunto de la zona de trabajo.

4.4.2.2. Metodología de trabajo.

La determinación de la velocidad de transmisión de una onda compresional a diversos rangos de profundidad así como la posición del contacto entre las capas del subsuelo con diferentes valores de velocidad, se realiza mediante el método Sísmico de Refracción.

En su aplicación, existen una serie de variables que controlan aspectos significativos tales como:

- Profundidad de investigación.
- Resolución lateral de las determinaciones.

Los parámetros fundamentales que se han valorado en el planteamiento de la investigación realizada en este caso, han sido los siguientes:

- Espacio entre geófonos.
- Tipo de fuente de energía a utilizar.
- Número y localización de los puntos de tiro en cada implantación, etc.

Teniendo en cuenta las características de las zonas de medida, tras la inspección detallada de cada una de ellas, se llevó a cabo la toma de datos con la metodología de trabajo que se describe a continuación.

Como fuente de energía se empleó el impacto de un martillo (8 Kg.) sobre una placa metálica asentada sobre el terreno. El dispositivo de medida fue de doce geófonos por implantación con el espaciado de 4 m entre geófonos, excepto los dos de cada extremo situados a 2 m.

Como mínimo se han realizado 5 tiros por línea: uno central entre los geófonos 6 y 7, dos exteriores a 2 m. y 2 exteriores a 22 m de los geófonos de los extremos. En algunos casos se midieron dos tiros adicionales a 44 m de los geófonos extremos. debido a condicionantes logísticos por el carácter urbano de la zona de trabajo, no pudieron realizarse en todos los casos los 7 tiros por línea como habría sido deseable.

A modo de resumen, el trabajo realizado incluye 10 implantaciones de 6 tiros, una de 7 tiros y cuatro de 5 tiros.

Estas quince implantaciones se distribuyen en diez emplazamientos diferentes cuya localización aparece en el plano correspondiente en los anexos.

La toma de datos propiamente dicha, se ha llevado a cabo mediante un sismógrafo digital de 12 canales, modelo 1225 ES de la casa GEOMETRICS, utilizando la técnica del stacking al objeto de incrementar la relación señal/ruido.

Puesto que todos los perfiles medidos se localizan en una zona urbana, el nivel de ruido ambiental era muy elevado, hasta el punto de hacer inviable la toma de datos durante el día. En consecuencia, el trabajo de campo se efectuó durante la noche obteniéndose de este modo registros de muy buena calidad, incluso para los tiros más alejados.

El procesado e interpretación de los registros se ha realizado por aplicación del método Recíproco Generalizado. Este método, permite una resolución detallada de la sección sísmica, con determinación de espesores y velocidades en la vertical de cada geófono. Como paso previo se determina el tiempo correspondiente a la primera llegada en cada registro.

Para ello se utilizó el programa FIRSPiX que permite la edición gráfica de una o varias trazas con ampliación de detalle si ello es preciso, para minimizar los posibles errores en la localización de los puntos de rotura.

Los resultados obtenidos se presentan en forma de secciones o perfiles sísmicos. En estos documentos se expresa numéricamente la velocidad (V_p) de cada una de las capas del subsuelo y gráficamente sus espesores. De cualquier modo el documento básico de este tipo de investigaciones lo constituye el gráfico de las dromocrónicas. Este gráfico contiene la información fundamental sin ningún tipo de interpretación o transformación y por ello incluimos el correspondiente a cada perfil sísmico (ANEXO III).

La resistividad aparente (R_a), es la resistividad de un volumen de terreno, limitado por un paralelepípedo definido desde la superficie hacia el terreno con posición del dispositivo centrado en la cara superior por : LONGITUD = $3AB/2$, ANCHURA = $AB/2$ y PROFUNDIDAD = $AB/2$. Este volumen aumenta lógicamente con la longitud AB (apertura de las alas). El método de investigación es el del sondeo eléctrico vertical (S.E.V.). El dispositivo de medida utilizado es el de Schlumberger Normal con $AB= 200$ m. , rectilíneo y simétrico. La campaña de S.E.V. consistió en la realización de 30 sondeos eléctricos verticales cuya localización se indica también en el mapa que se incluye en los anexos, ubicados con los siguientes criterios: puntos cercanos al casco urbano dentro de los depósitos cuaternarios, haciendo coincidir el mayor número con sondeos mecánicos con información de las capas atravesadas (S.E.V. 1 y 2) y distribución radial con respecto al abanico aluvial donde está emplazado el casco urbano.

La cercanía al casco urbano; condición necesaria ya que lo que se iba buscando por interpolación y extrapolación eran las condiciones del subsuelo en el mismo, es un factor que en principio puede haber modificado las estimaciones de R_a , debido a la presencia de obras subterráneas no tenidas en cuenta, infraestructura ferroviaria, etc.

Los resultados obtenidos se presentan en forma de curvas de sondeos eléctricos como dato básico y las columnas interpretadas (ANEXO IV) para cada caso según distintos números de capas (de 3 a 6 como máximo).

4.4.2.3. Resultados obtenidos.

Los perfiles sísmicos resultantes de la interpretación se recogen en los anexos y son suficientemente explícitos como para hacer innecesario realizar comentarios descriptivos de los mismos.

En ellos se definen una serie de capas con rangos semejantes en sus valores de velocidad. Así el primer nivel, presenta valores del orden de 350 a 450 m/s. y espesores medios entre 2 y 4 metros, con la excepción del perfil CRUCE DEL GATO donde se superan los 6 metros. Este primer nivel corresponde por tanto a materiales sueltos calificables como terrenos del Tipo III en lo que al coeficiente de cimentación se refiere.

Por debajo del nivel anterior, identificamos otro nivel con velocidades variables entre 600 y 750 m/s. No es un nivel claramente definido sino que parece corresponder a una zona de transición con espesor variable. Únicamente en el perfil denominado INSTITUTO se manifiesta de modo inequívoco con un considerable espesor. En todo caso, también este nivel se incluye en los Terrenos del Tipo III.

El siguiente nivel diferenciado presenta valores de 900 a 1.100 m/s. en la distribución de velocidad y es visible en la mayoría de los perfiles. Consideramos que corresponde a recubrimiento con un cierto grado de consolidación. También se incluye en la categoría de Terrenos del Tipo III.

Un nivel de 1.600 a 1.800 m/s. es apreciable en los perfiles SAN DIEGO y RIO GUADALENTIN. En este último la proximidad del citado nivel a superficie nos induce a la consideración de que tales valores de velocidades puedan asociarse a la presencia de agua en el aluvial. Por contra, en el perfil SAN DIEGO este nivel aparece a profundidades de 10 a 16 metros por lo que lo consideramos en correspondencia con el sustrato Terciario del aluvial. El orden de magnitud de los valores de velocidad citados hacen que este nivel se sitúe en el límite entre Terreno de Tipo III y de Tipo II.

Finalmente hacemos mención de un sustrato, cuya velocidad es relativamente elevada, que se detecta en los perfiles RIO GUADALENTIN y MUSEO ARQUEOLOGICO. Su velocidad es de 2.300-2.400 m/s. lo que le incluye en los Terrenos del Tipo II, muy próximo a los del Tipo I. En el perfil RIO GUADALENTIN este nivel se localiza a profundidades variables entre 8 y 12 metros mientras que en el perfil MUSEO ARQUEOLOGICO su techo se encuentra entre 10 y 18 metros de profundidad, aproximadamente.

A modo de resumen y pese a que el ensayo realizado es muy limitado en cuanto al número de puntos de medida, parece establecerse una zonación de los resultados en términos de los tipos de terreno, relativos al coeficiente de cimentación. Todas las zonas medidas excepto RIO GUADALENTIN, MUSEO ARQUEOLOGICO y SAN DIEGO pueden calificarse como Terreno de tipo III en el rango de profundidad estudiado que es de 15 metros como mínimo. Las tres zonas mencionadas en el párrafo precedente muestran la presencia de terreno Tipo III en sus niveles más superficiales y del Tipo II por debajo de 8 a 10 metros de profundidad aproximadamente.

Estos resultados, son coherentes con el modelo geológico de la zona estudiada y parecen demostrar la idoneidad de las medidas geofísicas mediante sísmica de refracción en los estudios de caracterización de terrenos desde el punto de vista geotécnico.

La campaña de investigación geoelectrica se planteó, dentro de las limitaciones que tiene el método con vistas a obtener algunos datos sobre el subsuelo del casco urbano.

Los objetivos previos eran :

-Conocer el espesor total del Cuaternario aluvial donde está emplazado más del 85% de la Ciudad de Lorca.

-Tener ciertas orientaciones sobre la distribución de espesores y facies en este tipo de depósitos de abanico aluvial.

-Determinar posibles niveles freáticos desconectados o colgados del nivel principal del Acuífero Cuaternario del Alto Guadalentín (entre 50 y 80 m. actualmente).

El análisis de las curvas de S.E.V. y de las columnas de resistividades interpretadas no solucionan más que en algunos aspectos los objetivos anteriormente reseñados.

Los resultados obtenidos se resumen en los siguientes puntos:

-La profundidad de investigación alcanzada oscila entre 65 y 70 m.

-Ninguno de los SEV detecta en profundidad niveles que por su resistividad ($> 200 \Omega\text{-m.}$) puedan ser achacados al techo del Complejo Alpujárride, en los sondeos 3 y 4 las resistividades pueden ser debidas a las formaciones margosas con niveles arcillosos del Neógeno.

-Por esta razón podemos pensar que las potencias de Cuaternario cerca de los relieves es mayor de 70 m. Mediante sondeos mecánicos y geofísica se han alcanzado potencias dentro de la cuenca del Guadalentín de 300 metros sobre las margas que anteriormente citamos.

- Es muy complicado sacar conclusiones sobre la distribución de facies y espesores, por la falta de contraste con los sondeos (normalmente de poca profundidad). En los sondeos 25, 26, y 27 para los primeros 20 metros se obtienen resistividades de 290-600 $\Omega\text{-m.}$ que pueden deberse a los tramos de gravas de pizarra de los conos aluviales del borde SE de la Sierra de Torrecilla.

-De forma aislada obtenemos valores dispares de los rellenos secos según su composición, con valores que pueden ir de 75 a 48 $\Omega\text{-m.}$ e incluso valores menores según el grado de humedad y contenido en arcilla. Los espesores no sobrepasan los 2 metros.

- En el sondeo 10 contrastándolo con la columna del SM 12 (ver mapa de posición) se puede asignar al nivel de arcillas limosas resistividades del orden de 17 $\Omega\text{-m.}$ y al de gravas secas de 84 $\Omega\text{-m.}$

-La heterogeneidad litológica de este tipo de depósitos de abanico aluvial y los cambios de espesor tan bruscos no permiten obtener más datos ni precisar más en este sentido.

-La misma heterogeneidad de los niveles hace que sea imposible poder determinar en el caso de que los hubiera, las posiciones de algunos niveles freáticos colgados, ya que muchas capas de carácter arcilloso pueden dar valores de resistividades parecidos a niveles arenosos que contengan agua.

4.4.3. Factores de amplificación local.

4.4.3.1. Composición, estructura y distribución de los suelos.

4.4.3.1.1. Delimitación del área estudiada.

Se ha comprobado en muchos lugares la gran influencia que tienen las condiciones locales del suelo en los efectos sísmicos sobre las estructuras. Por ese motivo, resulta de

gran importancia establecer cuáles son las características generales del subsuelo de Lorca para poder determinar, entre las diferentes zonas cuáles son las que mayores posibilidades tienen de sufrir fenómenos de amplificación.

Se analiza, a continuación, la distribución y composición de los materiales que constituyen los suelos sobre los que se asienta la ciudad. Se ha tomado como base de distribución geográfica y para la descripción de la composición litológica, el *Mapa Geológico de España* a escala 1/50.000, Lorca (Hoja 953, 25-38, Segunda serie primera edición; (1.981). Para su adaptación a la escala de trabajo (1/5.000), se ha hecho una revisión precisando los límites en base a un detallado estudio en campo y a la gran cantidad de información obtenida en datos de sondeos, con los que se han podido definir las características geotécnicas generales de las diferentes zonas. Comprobados los límites y reconocidas las litologías, se han introducido algunas variaciones apreciadas, fundamentalmente, en lo referente a la distribución de materiales de relleno. Se han agrupado así mismo, las formaciones descritas para posibilitar una mayor homogeneidad en cuanto a criterios de capacidad resistente del suelo y respuesta al movimiento.

Se ha considerado cómo área de estudio todo lo que hoy es casco urbano de Lorca. Por el N hasta la Cañada de Morales donde se sitúan los relieves suaves de la parte más suroccidental de la Sierra de la Tercia. Se trata de la zona del Barrio de S. Cristóbal, Cuartel de Infantería "Mallorca" XIII y Barrio de los Angeles.

El límite occidental lo marca la sierra sobre la que se sitúa el Castillo, es decir, lo que constituye la parte más oriental de la Sierra de Peña Rubia (929 m.). Toda la parte antigua de la ciudad, se desarrolló a las faldas de la peña del Castillo, al amparo de éste.

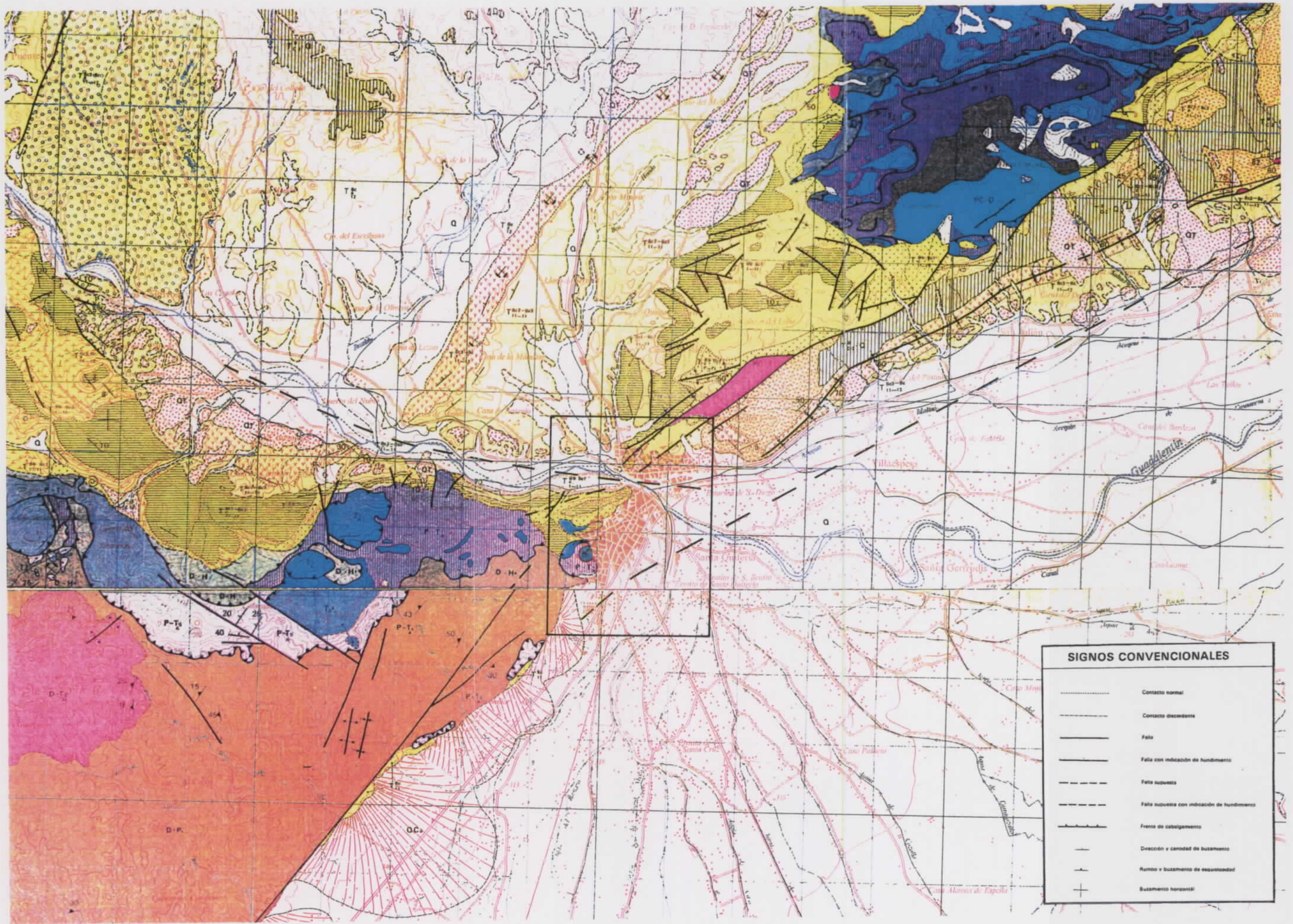
El límite S como tal no existe ya que no hay establecida una «barrera» natural, que limite la ciudad y de hecho ha sido y es, zona de expansión tanto urbana como industrial. El estudio, sin embargo, recoge todo el casco urbano, incluyendo el Barrio de S. Antón y su zona industrial próxima.

Hacia el W, la ciudad tiene un límite artificial, establecido por la línea del ferrocarril y otro natural constituido por la Rambla de Viznaga que se une, algo al N, con el Río Guadalentín. No obstante, la ciudad ha asimilado ambas barreras y se empieza a desarrollar en la vega de forma más o menos diseminada. Ocurre así de manera muy manifiesta, con la zona de la Alameda, el Quijero, Casas del Banco, etc.

4.4.3.1.2. Caracterización geológica.

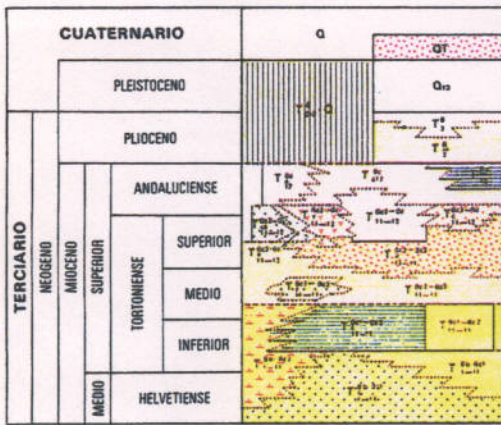
El entorno geológico de Lorca está configurado y caracterizado por la existencia de una gran variabilidad de materiales pétreos de naturaleza diferente.

La ciudad se adapta a la suave topografía que hacia la vega del río Guadalentín desciende desde los cerros de la Sierra de la Peña Rubia. Dicha topografía, responde de modo análogo a la distinta naturaleza litológica de los materiales geológicos y a su respuesta ante los agentes erosivos externos.



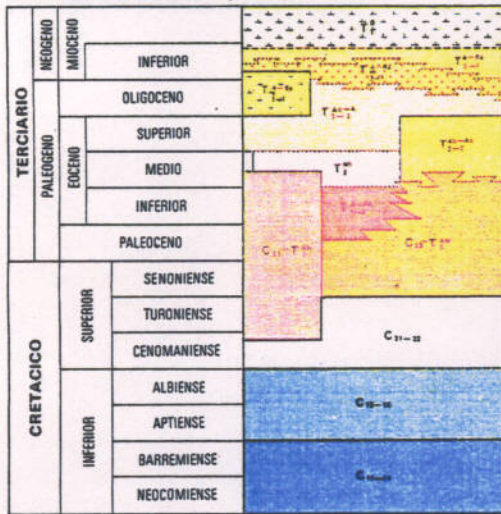
LEYENDA

SEDIMENTOS POST-MANTOS



- Q Indiferenciado
- QT Terrazas
- Q₁ Conglomerados
- T₁¹ Conglomerados, areniscas y calizas
- T₁² Arenas, arcillas y margas
- T₁³ Conglomerados, a veces encañichados
- T₁⁴ Margas, areniscas y caliza
- T₁⁵ Margas y arenas, y niveles de conglomerado
- T₁⁶ Conglomerado poligénico y margas rojizas
- T₁⁷ Calcarenitas con niveles de conglomerado
- T₁⁸ Alternancia de conglomerado, arenisca y margas
- T₁⁹ Margas arenosas, pudingas intercaladas
- T₁¹⁰ Margas yesíferas y potentes bancos de yeso
- T₁¹¹ Calcarenitas
- T₁¹² Pudingas y margas
- T₁¹³ Margas
- T₁¹⁴ Conglomerados
- T₁¹⁵ Calcarenitas, intercalaciones de conglomerados, areniscas y margas
- T₁¹⁶ Areniscas y margas
- T₁¹⁷ Margas y areniscas
- T₁¹⁸ Margas, yesos azulados, areniscas y conglomerados
- T₁¹⁹ Conglomerado poligénico

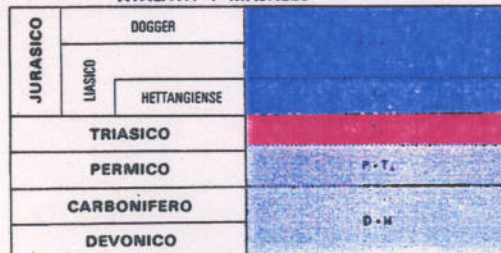
UNIDAD ALQUERIA (SUBBETICO)



- T₁¹ Margas
- T₁² Alternancia de calizas margosas y margas
- T₁³ Alternancia de margas arenosas y calizas arenosas
- T₁⁴ Margas verdes y areniscas
- T₁⁵ Calizas
- T₁⁶ Alternancia de calizas margosas y margas
- T₁⁷ Calizas margosas y margas
- T₁⁸ Alternancia de margas con yesos y calizas margosas
- C₁₁-T₁⁹ Margas y margocalizas
- C₁₂-T₁¹⁰ Margas y margocalizas
- C₁₁-12 Margocalizas con sílex
- C₁₃-14 Margas
- C₁₁-14 Margas y margocalizas

COMPLEJO MALAGUIDE

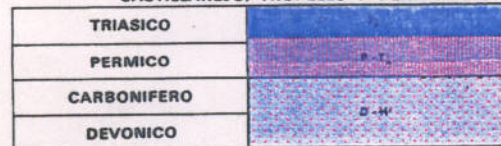
UNIDADES: MORRON DE TOTANA, JURRAMIENTA, ATALAYA Y MAJALES



- J₁₁-13 Calizas grises
- J₁₁ Dolomías
- T₁ Calizas y dolomías grises a veces con sílex en la base
- P-T₁ Argilitas rojizas, cuarcitas, conglomerados, areniscas, pizarras rojas y yesos
- D-H Grauvecas verdosas y carbonatos

UNIDADES INTERMEDIAS

UNIDADES: MORRON LARGO, SANTA-YECHAR, ARCON, CASTILLAREJO, TROPELES Y PEÑA RUBIA



- T₁ Carbonatos negruzcos, dolomíticos y grises, a veces con sílex en la base
- P-T₁ Argilitas rojas, pizarras y cuarcitas
- D-H Pizarra gris, grauvecas y cuarcitas

COMPLEJO ALPUJARRIDE

UNIDADES: GUILLERMOS, MOLINOS, CORTADA Y SALTADOR



- T₁ Dolomías y calizas dolomíticas gris oscura y azuladas
- P-T₁ Pizarras rojizas, cuarcitas, filitas gris azuladas, púrpura, violáceas y verde claro
- D-H Cuarcitas, filitas grises y micaesquistos
- PC-O Micaesquistos, cuarcitas y dolomías mármores

BETICO INDIFERENCIADO



- PC-T₁ Carbonatos, filitas y cuarcitas.

Dentro de los materiales más antiguos se encuentran, al W y SW cuarcitas y filitas devónicas correspondientes al Complejo Alpujárride. Al W, algo más alejados de la población, se encuentran argilitas rojas, pizarras y cuarcitas pérmicas correspondientes a las Unidades Intermedias.

Toda la zona NW-N y NE la constituyen materiales miocenos: calcarenitas, areniscas, margas y conglomerados poligénicos.

La competencia y dureza de todos estos materiales rocosos hace que resalten topográficamente formando todas las sierras adyacentes a la localidad de Lorca.

En los fondos de valle y pendientes poco pronunciadas, abundan los materiales recientes e inconsistentes cuaternarios.

Estos, se presentan en forma de terrazas de naturaleza conglomerática, gravas, arenas, limos, arcillas y margas, muchas veces asociadas a sistemas de glaciares o de depósitos de ladera (conos aluviales, abanicos, etc.).

La compartimentación y distribución areal de materiales antiguos y modernos está claramente condicionada por el esquema estructural regional, que afecta de forma notoria al entorno de Lorca y más concretamente a la ciudad (ver capítulo 3).

Es muy compleja la historia geológica que ha sufrido esta región, dando lugar a la presencia, en el entorno de la Ciudad de Lorca, de un variado cuadro litoestratigráfico. Están representadas unidades del Bético Interno en la Sierra de Espuña, en la Sierra de las Estancias y en la Sierra de la Tercia; donde afloran sedimentos del Subbético. El resto de la zona, está ocupado por sedimentos del Mioceno Superior (el Mioceno Medio está poco representado), y el Cuaternario, que se extiende ampliamente por el Valle del Guadalentín.

Aparecen representados también, los complejos Maláguide y Alpujárride, dos de los cuatro grandes conjuntos estructurales que se distinguen en la parte oriental de la Zona Bética, en la parte interna de las Cordilleras Béticas, de acuerdo con el trabajo de síntesis de EGELER et al., 1.969, en el que se establecen las líneas generales de esta zona del SE de la Península. En esta parte oriental de la Zona Bética se distinguen cuatro unidades tectónicas mayores que de arriba a abajo son: 1) Complejo Nevado-Filábride; 2) Complejo Ballabona-Cucharón; 3) Complejo Alpujárride, y 4) Complejo Maláguide. Desde la época del emplazamiento de los grandes complejos de mantos apilados, la zona ha sufrido una serie de movimientos tectónicos, erosión, transgresiones marinas en el Mioceno, etc., que han determinado la compleja evolución geológica regional.

Todas las formaciones Béticas que aparecen, se atribuyen a edades que van del Devónico al Triásico. Los criterios de distinción de las distintas unidades son estructurales y litológicos, y no hay una relación expresa entre las que aparecen en Sierra de Espuña, Sierra de la Tercia y Sierra de las Estancias. Describiremos aquí únicamente aquellas unidades que aparecen dentro del entorno inmediato de la ciudad, agrupadas dentro de la unidad orográfica en la que se encuentran.

Formación "Cuarcitas-Filitas" (D-Ha)

Esta formación se localiza, dentro del entorno que cubre la hoja 1/5.000, en el extremo SW de la misma. En concreto, se trata de materiales duros que dan fuertes relieves situados en un área que comprende el Club de Tenis, la Ermita de S. Lázaro y un primer tramo de la carretera de circunvalación, desde el S.

La secuencia litológica de esta formación, consiste principalmente en cuarcita, alternando con rocas filíticas. Las cuarcitas son amarillas, marrones o grises. Comúnmente son ricas en mica y ocasionalmente contienen gran cantidad de carbonatos. Las filitas son gris oscuras a negras, a veces con colores verdosos, debidos a meteorización. Aparecen venas de cuarzo, tanto en las cuarcitas como en las filitas.

El plegamiento es muy intenso. Los pliegues varían de cerrados a isoclinales y habitualmente está bien desarrollada la esquistosidad de plano axial.

El espesor máximo expuesto es de unos 300 m. y no se han encontrado fósiles.

Formación "Pizarra-Cuarcita" (P-Ti_A)

Constituyen, dentro del plano a escala 1/5000 de la Ciudad de Lorca y sus alrededores, un ligero resalte de cartografía circular en la zona W.

La secuencia está constituida por pizarras rojo-púrpura, areniscas y cuarcitas, que en su mayoría son rojas, pero ocasionalmente son blancas. Se encuentra comúnmente atravesada por numerosas venas de cuarzo. En la parte inferior de la secuencia, cerca del contacto basal, el grado de recristalización metamórfica parece ser ligeramente mayor que en el resto. La esquistosidad de las pizarras a veces está deformada, con desarrollo de crenulación.

El contacto basal es de naturaleza tectónica y el superior estratigráfico y gradual.

Formación "Carbonatos" (Ti_A)

Se encuentra representada junto a la anterior formación, aunque con desarrollo areal menor.

La secuencia consiste esencialmente en rocas carbonatadas dolomíticas, gris oscuro a casi negro, con hábito masivo y a menudo intensamente brechificadas. Algunos niveles con sílex marrón claro pueden indicar la estratificación. La parte basal finamente estratificada de la secuencia es azul, con pelitas intercaladas

El contacto superior de esta formación es de naturaleza tectónica.

Helveciense-Tortonense inferior (T_{1-11}^{Bb-Bc1} y T_{1-11}^{Bb-Bc1})

Todos los materiales terciarios se encuentran bien representados prácticamente en toda la comarca.

Dentro de los correspondientes a esta edad, se han distinguido dos tramos: uno eminentemente conglomerático (T_{1-11}^{Bb-Bc1}) constituido por conglomerados de matriz arcillo-arenosa roja, con cantos poligénicos, de cuarcita, pizarra, caliza, etc., procedentes de la demolición de las formaciones béticas, y algunos tramos margosos, muy escasos.

El otro tramo, que generalmente se encuentra encima del anterior, pero que también representa un cambio lateral, está constituido por una compleja serie detrítica (T_{1-11}^{Bb-Bc1}), con arcillas rojas y grises, niveles de arenisca y conglomerados rojos semejantes a los del tramo anterior. Lo más característico del tramo es la presencia de yesos rojos y azulados, que a veces son muy abundantes y sirven para identificar la serie.

Tortonense Inferior y Medio ($T_{11-11}^{Bc1-Bc2}$)

Se ha distinguido un tramo de calizas detríticas ($T_{11-11}^{Bc1-Bc2}$) con niveles de algas, de espesor muy variable, pero de presencia constante en todo el dominio del Mioceno de toda el área. Este tramo, aunque casi siempre se ve concordante con los anteriores, también aparece discordante sobre el conglomerado rojo basal, como se ve muy claramente en la vertiente occidental de la Sierra de la Tercia.

Tortonense Medio-Superior ($T_{11-11}^{Bc2-Bc3}$)

Es, en general, claramente discordante sobre los tramos anteriores. La formación más destacable por su extensión, continuidad y potencia consiste en margas ($T_{11-11}^{Bc2-Bc3}$) gris claro, entre las que se encuentran algunos niveles de areniscas calcáreas, especialmente en su afloramiento occidental, y en la vertiente E de la Sierra de la Tercia.

Sobre las margas y como cambio lateral de su parte superior, aparece en esta misma sierra un grueso paquete de conglomerados poligénicos que al N de la localidad de Lorca incluye una gruesa intercalación de yeso, a la altura del Cuartel Militar.

Depósitos aluviales (QA)

Están constituidos por mezclas de gravas, arenas, arcillas, limos y ocasionalmente bolos, como sucede en el tramo del aluvial del río Guadalentín entre Lorca y el pantano de Puentes.

El conjunto de depósitos desencajados de la red fluvial actual muy representados en la zona N de la comarca están formados predominantemente por una fracción fina de naturaleza variable, siendo menos corrientes las gravas.

Depósitos coluviales (Qc)

Considerando como tales también a los derrubios de ladera, estos depósitos son relativamente frecuentes, localizándose como es lógico también en las laderas de las sierras y también de otras elevaciones orográficas.

Adquieren cierto desarrollo, por su extensión, aunque con carácter aislado los de las sierras de la Tercia, Espuña, Enmedio, etc., en las vertientes y escarpes del valle del Guadalentín en las proximidades de la localidad de Lorca. En dicha localidad aparecen como retazos adosados a la Sierra de la Peña Rubia en toda la parte S y W de la ciudad.

Conos de deyección (QCd)

Están constituidos por una masa caótica de clastos de cuarcitas, pizarras, arcillitas, filitas y areniscas con tamaños desde bloques hasta limos y arcillas, a veces bien cementados. Suelen localizarse en las desembocaduras de los arroyos y torrenteras de montaña y al pie de las grandes alineaciones orográficas.

En las inmediaciones de Lorca, también quedan perfectamente representados al pie de cualquiera de los escarpes que se alinean en dirección NE-SW. Parte del asentamiento poblacional queda sobre estos materiales.

Depósitos eluviales (QE)

Son formaciones de escasa potencia, originados por la remoción del substrato de las formaciones margosas más antiguas y de naturaleza limo-arcillosa.

Terrazas (QT)

Se localizan fundamentalmente asociadas al cauce del río Guadalentín y están formadas por arenas y gravas en disposición horizontal, de potencia variable y a veces fuertemente cementadas. Las terrazas asociadas a la red actual presentan generalmente una composición de gravas y algún bolo con matriz areno-arcillosa o limo-arcillosa.

Glacis (Q_G y Q_{CG})

Son depósitos ampliamente extendidos en la zona de Lorca, principalmente en las sierras de Espuña, Carrascoy, de la Loma de Aguaderas, etc. Están constituidas por cantos de aristas vivas generalmente calcáreos, pizarrosos o cuarcíticos embebidos en una componente fina limo-arcillosa y ocupando extensas laderas de pendiente suave.

Otras veces se presentan fuertemente cementados con costras calizas ocupando grandes extensiones o formadas por elementos muy elaborados junto a pequeños lentejones de arcillas y limos.

4.4.3.1.3. Caracterización geotécnica.

Al intentar determinar las características geotécnicas del subsuelo de la Ciudad de Lorca se tropieza con una serie de problemas que fundamentalmente consisten en:

- *Escasez de datos de reconocimiento en algunas áreas; fundamentalmente al norte de la ciudad y al otro lado del río Guadalentín: Barrio de S. Cristobal y de Los Angeles
- *Distribución poco homogénea de los mismos.
- *Gran dificultad de correlacionar los sondeos en las diferentes zonas geotécnicas, tanto en la vertical como en la horizontal.
- *Existe una gran variabilidad en las profundidades alcanzadas y en las cotas de ubicación de los sondeos.

Todo esto, unido a la propia dificultad para reconocer horizontes que puedan constituirse en criterio de correlación entre sondeos, hace que sea muy aventurado el realizar correlaciones. Los distintos tipos de depósitos cuaternarios presentan características distintas. En base a su antigüedad relativa, a su densidad, compacidad y resistencia, se establecen criterios diferenciadores. No obstante, resulta ciertamente difícil establecer en ocasiones límites rigurosos. Ocurre que en las características geotécnicas de unos y otros depósitos diferenciados, los cambios no son bruscos. Normalmente, se observa que estos se producen de forma gradual.

Se han obtenido seis tipos geotécnicos distintos o diferenciables. En las fichas que aparecen a continuación, se resumen los seis tipos. En estas fichas, se recoge la información existente acerca de los materiales del subsuelo de la ciudad, en base a los estudios geotécnicos recopilados. Se incluye además, el sondeo-penetrómetro de referencia establecido en el estudio y que aparece en el Mapa a escala 1/5000 (*MAPA DE PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD SISMICA DE LA CIUDAD DE LORCA*), la profundidad en metros, y la formación geológica, en relación al tipo de materiales atravesados.

Además, se incluyen las características geotécnicas en base a los ensayos de laboratorio. Se analizan por otra parte los ensayos SPT (Standard Penetration Test), el % de humedad, la granulometría (Tamices nº4 y 200), clasificación U.S.C.S. y resistencia a compresión simple (qu).

Finalmente, se incluyen observaciones de carácter general en las que se comentan los datos obtenidos, se informa de la firmeza y resistencia del material y de la presencia de nivel freático.

ZONA GEOTECNICA I

SONDEO	PROFUNDIDAD (metros.)	FORMACION GEOLOGICA MATERIALES ATRAVESADOS
13.1	59	Arcillas y limos consolidados de color marrón. Argillitas nodulosas con algun canto, alternando con roca de yeso.
13.2-13.5	40-60.5	Arenas - areniscas, brechas y conglomerados que pasan, en torno a los 14 m. a arcillas - argillitas y limos muy consolidados y metamorfizados, con planos de esquistosidad oblicuos. En profundidad, calizas y margas yesíferas.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES

	VALORES EXTREMOS	MEDIA
SPT.....	68 - R	R
% HUMEDAD.....	3 - 10	4,5
T-4 (% PASA).....	79 - 100	100
T-200 (% PASA).....	13 - 85	69
U.S.C.L.	CL - ML	ML
Qu.	25-1.500	--

OBSERVACIONES:

Materiales muy firmes con horizontes de alteración variables entre 0 y 15 m. de material margoarcilloso firme a 1 - 2 m. de profundidad media.
No se registra nivel freático

ZONA GEOTECNICA II

SONDEO	PROFUNDIDAD (metros.)	FORMACION GEOLOGICA MATERIALES ATRAVESADOS
13.6- 13.9	12 - 26	Formación rocosa constituida por: margas arcillosas de color gris, verdosas, que incluyen niveles arenosos hacia la base de la formación y arcillas compactas, masivas, con niveles de areniscas y yesos difusos en los niveles superiores.
13.11- 13.12	15	Margas gris, verdosas con niveles de areniscas - arenas.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES

	VALORES EXTREMOS	MEDIA
SPT.....	R	R
% HUMEDAD.....	6 - 23	14
T-4 (% PASA).....	100	100
T-200 (% PASA).....	40 - 88	75
U.S.C.L.	CL - HL	CL
Qu.	37 - 83	60

OBSERVACIONES:

La humedad desciende conforme se profundiza en los sondeos desde niveles medios en torno a 23% a valores medios de 5 - 6% a partir de los 18 m. de profundidad.

El nivel freático que se localiza en este punto es local y se situa sobre la formación miocena margoarcillosa impermeable, en el cauce excavado y relleno de materiales granulares a una cota entre 3 y 4 m. en el cauce del rio Guadalentín (datos de Julio de 1980).

ZONA GEOTECNICA III

SONDEO	PROFUNDIDAD (metros.)	FORMACION GEOLOGICA MATERIALES ATRAVESADOS
3.1 - 3.9	9 - 11	Gravas de cantos angulosos de pizarra, esquisto o caliza, con bastante arena y limo. Materiales generalmente compactos y duros.
cala 4.1 - 4.2	2 - 3	Arenas limosas, arcillosas con cantos angulosos de pizarra y caliza.

Penetrómetros P-3.1 a P-3.12

Profundidad alcanzada entre 0.6 y 3.00 m.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES

	VALORES EXTREMOS	MEDIA
SPT.....	27 - R	37 - R
% HUMEDAD.....	-	4,5
T-4 (% PASA).....	40 - 80	61
T-200 (% PASA).....	0.6 - 24	12
U.S.C.L	SM - SW	GP - GM
Qu.	1.47 - 2.5	1.8
PLASTICIDAD	7 - 9	muy baja

OBSERVACIONES:

No se ha detectado agua en los sondeos realizados. No obstante se detectan niveles colgados en momentos de precipitaciones intensas.

Los penetrómetros realizados atraviesan una primera capa de alteración (capa activa) y quedan empotrados a una profundidad media de 2 m.

ZONA GEOTECNICA IV

SONDEO	PROFUNDIDAD (metros.)	FORMACION GEOLOGICA MATERIALES ATRAVESADOS
6.1 - 6.2	14 - 15	Tras una primera capa de rellenos de 1.5 m. aparecen unas arcillas limosas que pasan a gravas entre 11 y 12 m.
7.1 - 7.2	8 - 25	Tierra vegetal y limos arenosos, arcillosos, alternando en la vertical con niveñiles de gravas. Materiales compactos y duros.
12.1 - 12.7	11 - 13	Rellenos entre 2.5 y 3.0 m. con arcillas limosas que contienen cantos cerámicos. De esa profundidad hasta 14 m. aparecen gravas poligénicas con arenas que alternan lentejones de arcillas muy compactas.

Penetrómetros P-7.1 a P-7.2

Profundidad alcanzada entre 12 y 14 m.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES

	VALORES EXTREMOS	MEDIA
SPT.....	8 - 107	35 - R
% HUMEDAD.....	20 - 27	21
T-4 (% PASA).....	30 - 100	78
T-200 (% PASA).....	2 - 100	45
U.S.C.L.	CL	CL
Qu.	0.5 - 1.5	---

OBSERVACIONES:

Materiales de firmes a muy firmes, compactos, con horizontes alternantes de mayor y menor resistencia. Presentan una capa superficial (activa) variable entre 1 y 3 m.

No se registra nivel freático.

ZONA GEOTECNICA V

SONDEO	PROFUNDIDAD (metros.)	FORMACION GEOLOGICA MATERIALES ATRAVESADOS
2.1 - 2.2	8	Limos arcillosos, yesíferos, de color marron con algún canto de grava disperso, con contenidos mayorescrecientes en arena en profundidad.
10.1 - 10.3	20 - 21	Hasta 1.7 m. de profundidad, presencia de rellenos eterogéneos que pasan alternando en profundidad a arcillas limosas marrones con niveles de yesos aluviales que pasan a arenas con cantos.

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES

	VALORES EXTREMOS	MEDIA
SPT.....	11 - 43	25
% HUMEDAD.....	13 - 21	17
T-4 (% PASA).....	64 - 100	84
T-200 (% PASA).....	44 - 79	57
U.S.C.L.	CL,ML - SM,SC	CL, ML
Qu.	0.34 - 1,07	0.8

OBSERVACIONES:

Estos materiales dan generalmente positivo en los ensayos de colapso realizados. Son altamente susceptibles a las variaciones de humedad. Presentan una variación grande en los ensayos de SPT realizados dependiendo de su naturaleza +/- arcillosa o con mayor contenido en gravas.

ZONA GEOTECNICA VI

SONDEO	PROFUNDIDAD (metros.)	FORMACION GEOLOGICA MATERIALES ATRAVESADOS
11.1 a 11.4	0.10 a 3.0	Gravas sueltas con poca arena procedente del machaqueo de una antigua cantera.
14.1-2 a 15.1-15.9	0.3 a 1.6	Arcillas margosas con cantos dispersos. Contienen trozos de cerámicas y restos de mamposterías diversas. Material de relleno Muy sueltas y flojas, con restos de ladrillo.
CATAS 1.1 a 1.2	0.30 a 1.6	Rellenos de arcillas limosas con cantos dispersos

CARACTERISTICAS GEOTECNICAS DE LOS MATERIALES

	VALORES EXTREMOS	MEDIA
SPT.....	1 - 46	7-9
% HUMEDAD.....	muy variable	-
T-4 (% PASA).....	-	-
T-200 (% PASA).....	-	-
U.S.C.L.	CL - ML	ML
Qu.	0.27-0.83	---

OBSERVACIONES:

Las compresiones simples realizadas en muestras obtenidas de las calicatas son sobre materiales remoldeados.

Nivel freático localizado en sondeos 14.1, 14.5, 14.4, 14.10 a profundidades muy variables entre 2.5 y 7.5 m.

No existe un gran número de ensayos de laboratorio puesto que reconocida la naturaleza de relleno de los materiales estos se desechan, a priori, como posible terreno de cimentación y se ensayan únicamente los materiales que pertenecen al sustrato.

4.4.3.1.4. Clasificación de las diferentes zonas.

En base a los datos del subsuelo aportados por los sondeos y calicatas de los que se dispone, así como por la geología de superficie, se han diferenciado en la ciudad seis zonas cuyas características geotécnicas medias se recogen en las fichas anteriores.

Integrando todos estos datos y considerando factores muy diversos como son: restricciones geológicas a la construcción (pendientes pronunciadas, posible fluencia lateral, removilización de depósitos sueltos, etc.), espesor de los rellenos antrópicos, valores medios del SPT de cada zona, presencia de niveles alternantes de consistencia variable, etc., se ha podido asignar a cada una de las zonas un valor entre 1 y 4 según la «calidad» de cada una. El valor 1 representa la zona de mayor calidad, mientras que el 4 indica la zona de peores características en función de los factores considerados. Esta calificación, servirá para evaluar qué zonas del casco urbano son más susceptibles a la acción sísmica. A continuación se describen cada uno de los grupos:

1.- Materiales de tipo roca.

Son materiales muy firmes, altamente consistentes, que en ocasiones presentan a techo un nivel de alteración o bien un recubrimiento cuaternario de espesor variable entre 2 y 4 m.

Se incluyen aquí las formaciones cuarcítico-filiticas del NW de la ciudad, en el entorno del Club de Tenis y ermita de S. Lázaro, las formaciones de pizarras y cuarcitas al W de la ciudad y todos los materiales Terciarios (carbonatos, conglomerados, margas, areniscas y arcillas) situados fundamentalmente en la zona N de la ciudad, en la orilla izquierda del Guadalentín : Barrio de S. Cristobal, Cuarteles y Barrio de los Angeles, así como en la zona de Diputación-Río, La Serrata y Barranco Hondo.

Estos materiales integran las zonas geotécnicas I y II, siendo lo más sobresaliente de sus características geotécnicas el rechazo (N=R) en los ensayos de penetración SPT y los valores muy altos de resistencia a compresión simple.

2. Materiales detríticos firmes y compactos.

Son materiales firmes que suelen presentar una «zona activa» (suelo u horizonte superficial menos firme), menor de 2-4 m.

Se incluyen aquí los materiales coluviales directos que provienen de la denudación de los relieves próximos y los aluviales, tanto del río Guadalentín como de la rambla de Viznaya. De estos últimos , habría que hacer excepción de los materiales que aparecen en una orla de amplitud variable entorno al cauce, en donde se ha constatado la presencia de un material más flojo.

El origen de estos materiales se atribuye a un proceso de deposición en el que no se han producido posteriores modificaciones (resedimentación, lavado, etc.) ni influencia de niveles freáticos activos que hayan podido alterar su grado de compactación.

Estos materiales, se distribuyen en el entorno próximo de los relieves mencionados y en la llanura aluvial de la vega que surcan los mencionados cauces.

Constituyen estos materiales la integración de las zonas geotécnicas III y IV. Sus características geotécnicas generales vienen definidas por valores del SPT muy variables aunque en su mayoría con $N > 40$. No obstante, la media obtenida varía muy poco entre $N = 35-37$ y $N = R$.

3. Materiales detríticos blandos o poco compactos.

Se trata de terrenos flojos a muy flojos, que integran la zona activa (superficial) sin solución de continuidad.

Se incluyen aquí materiales de aluvial próximo al cauce (conocidos localmente con el término de «volaillo») y los materiales correspondiente a conos y abanicos de deyección de los barrancos que tienen su cabecera (ápice) en los relieves paleozoico-mesozoico próximos.

Estos terrenos presentan un grado de compactación bajo a muy bajo, resultando poco firmes en lo que a apoyo de cimentaciones se refiere. Estos depósitos además, sufren continuos procesos de resedimentación y de socavación-disolución. Los depósitos limo-arcillosos de la orla próxima a los principales cauces («volaillo») están fuertemente influenciados por un nivel freático local, presente con mayor actividad en periodos de fuertes precipitaciones y avenidas. De la misma forma, los depósitos de abanico aluvial y conos de deyección, se ven afectados por idéntico proceso.

Estos materiales constituyen la zona geotécnica V y en ellos la media de valores del SPT es de $N = 25$ existiendo puntualmente materiales en los que el golpeo es muy bajo ($N = 11$). Los ensayos de resistencia a compresión simple aún no siendo excesivamente representativos, también confirman un valor medio bajo entorno a $0,8 \text{ Kg./cm}^2$.

4. Materiales de relleno.

Se trata de materiales heterogéneos, normalmente muy flojos y de compactación muy baja. Cuando predomina la fracción arcillosa son materiales muy poco consistentes. En general son de origen antrópico.

Su distribución dentro del casco urbano de la ciudad es muy poco homogénea,

aunque se concentran de manera prioritaria en las zonas del casco viejo , en particular en las áreas en las que se produce el cambio de pendiente; desde las zonas altas constituidas por materiales rocosos, a las zonas de llanura con materiales coluviales o de cono de deyección. Concretamente se han localizado espesores de hasta 15 m. en algunas áreas del casco antiguo (en toda la zona árabe, barrio cristiano y judería). Otras concentraciones de este tipo de materiales se han podido detectar en toda la ciudad bien por información directa (sondeos) o bien mediante fotografía aérea.

Estos materiales, cuyas características geotécnicas son muy deficientes, no sirven como apoyo a las cimentaciones. No obstante, se aprecia que buena parte de las edificaciones de las zonas anteriormente mencionadas están apoyadas sobre estos materiales , lo que ha dado lugar a problemas relacionados con su poca consistencia y escasa capacidad portante.

La media de los valores del SPT en estos materiales es muy baja, con $N=7-5$ siendo el valor de resistencia a compresión simple también muy bajo en muestras remoldeadas ($q_u=0,27-0,83 \text{ Kg./cm}^2$).

4.4.3.2 Elementos neotectónicos con incidencia local.

La escasa precisión de los datos sismológicos para grandes escalas, sobre todo en la localización espacial y temporal de los sismos, que hubieran servido, al combinarlos con los datos neotectónicos, para obtener criterios sismotectónicos, aconsejan la utilización de consideraciones neotectónicas mucho más precisas en la evaluación de la peligrosidad sísmica.

Existe una cartografía del área de estudio a escala 1: 200.000, que incluye la práctica totalidad del término municipal de Lorca y sus inmediaciones. Se incluyen en ella aquellos elementos morfológicos y tectónicos como anomalías significativas de cara a evaluar los posibles factores de amplificación local.

Las anomalías representadas son en general de tipo geomorfológico, ligadas a la actividad de fallas. Son las que a continuación se describen:

**Anomalías ligadas a escarpes y líneas de falla.*

**Anomalías ligadas a la red de drenaje.*

**Anomalías ligadas a formas de depósito.*

**Anomalías ligadas a la disposición geomorfológico/espacial de formaciones superficiales.*

Los elementos cartografiados quedan representados mediante símbolos y su denominación, significado neotectónico, grado de certeza en la indicación de la actividad tectónica y expresión geomorfológica, se describen cuidadosamente en el cuadro-leyenda adjunto al mapa 1:200.000.

En muchos casos no existen evidencias claras de que dichos elementos cartografiados estén directamente relacionados con la actividad tectónica reciente, pero se deben de contemplar como elementos de potencialidad incierta en cuanto a su capacidad de amplificación sísmica.

Las características geológicas y geomorfológicas de Lorca y su entorno están condicionadas precisamente por algunos de esos accidentes mencionados en capítulos anteriores. La situación particular de la población, al pie de un escarpe rocoso constituido por calizas arenosas y calcarenitas que descansan sobre materiales arcillomargosos, conlleva además riesgos asociados a los que se hace referencia en apartados posteriores. El resto del entorno de la localidad de Lorca lo constituyen depósitos correspondientes a recubrimientos cuaternarios (derrubios de ladera, coluviones, abanicos, piedemontes, etc) sobre las laderas del cerro que domina la ciudad y sobre el resto de las laderas de las sierras adyacentes. En general se trata de depósitos muy caóticos y heterogéneos, constituidos por cantos y bloques muy angulosos inmersos en matriz arcillo-arenosa muy abundante.

En las zonas topográficamente deprimidas se encuentran depósitos generalmente de relleno de fondo de valle, como sistemas de abanicos distales, sistemas glacis-terrace o simplemente llanura de inundación, con predominio de materiales de naturaleza inconsistente limoarcillosos, limoarenosos o margosos.

La morfología de la depresión de Lorca se configura básicamente por los elementos estructurales existentes en la zona. El sistema de fracturas ENE-WSW y el N120E compartimentan macizos rocosos de materiales antiguos que se elevan formando las sierras vecinas, dejando hondonadas y depresiones limitadas por las citadas fracturas.

La red de drenaje principal se acomoda por esta misma razón a las discontinuidades mayores. El curso medio-alto del río Guadalentín discurre en sentido NW-SE hasta la localidad de Lorca, para adoptar a partir de ella una orientación E-W, tras una suave inflexión. El trazado, condicionado por el tipo de material atravesado es rectilíneo en un principio, con tributarios de sentido N-S procedentes de las sierras de Cambrón, Espuña, etc. Aguas abajo de Lorca y tras abrirse paso por el estrecho sitio entre la Sierra de la Tercia y la de la Torrecilla, se transforma en un curso algo meandriforme.

Desde el S (Sierra de la Umbría, Sierra de Almenara) se genera una red de drenaje y escorrentía hacia el N que queda transformada en un complejo sistema de regadío y acequias tributarias del río Guadalentín.

No se conocen grandes encajonamientos de la red de drenaje, si bien por el tipo de material o por la existencia de fracturas o sistemas activos se han detectado algunas anomalías al respecto.

Dentro del casco urbano y su entorno, la red discurre sin encajamiento y atraviesa la localidad sobre un cauce de hormigón diseñado para recibir grandes avenidas. Este confluye con el cauce proviniente de la zona S, de similares características.

Es destacable el ya mencionado haz de fracturas pleistocenas pertenecientes al desgarre general de la falla de Alhama y que presentan algunas de sus trazas en las proximidades de la localidad de Lorca. Es importante destacar que son accidentes de época neotectónica, en general con sismicidad demostrada (histórica o instrumental), que afectan de modo notorio a los materiales geológicos del entorno.

Además de las rupturas y deformaciones tectónicas en materiales recientes, se asocian anomalías ligadas a la red de drenaje y a las formas de depósito.

4.4.3.3. Efectos de la topografía.

Las ondas sísmicas transportan una energía que absorben las partículas del terreno en sus desplazamientos; esta absorción motiva el fenómeno de amortiguamiento. Si la zona de transmisión se estrecha, como podría suceder en una montaña bien delimitada, puede originarse una concentración e incremento de las oscilaciones en su cumbre, (GARCIA YAGÜE, A., 1.975).

En Canal Beagle (SAUTER F., 1.989), un barrio en los suburbios de Viña del Mar, Chile, el terremoto del 3 de marzo de 1.985 ocasionó daños severos a edificaciones situadas en la cima de los montes, siendo muy superiores comparados con daños en edificios de construcción similar localizados en el valle. Posteriormente se comprobó la influencia de la topografía en la intensidad del movimiento mediante registros simultáneos de varias réplicas, o sea la secuencia de sismos ocurridos después del evento principal; los sismogramas de velocidad obtenidos en instrumentos instalados en la cima y crestas de las colinas de Canal Beagle muestran claramente la amplificación del movimiento respecto a sismogramas del mismo evento registrados en estaciones situadas en el valle en suelo sedimentario aluvial y en Valparaíso en suelo rocoso, estación que sirvió de referencia. Comparando los registros se observa una amplificación del movimiento en la estación localizada en el valle sobre suelo aluvial respecto a la estación en roca, a su vez una amplificación aún mayor en la cima de las colinas respecto al valle. Se comprobó que en general, la amplificación en las crestas es mayor para frecuencias de 2 a 4 hertz, que corresponde a su vez al ámbito de frecuencias naturales de edificios de 4 a 5 pisos, que sufrieron mayor daño, lo cual se interpreta como un efecto de resonancia.

Este mismo fenómeno se registro durante el terremoto de Campania-Basilicata en 1.980, donde los daños fueron muy superiores en la cima de los montes. También en las réplicas del famoso terremoto de San Fernando, California 1971, se registraron diferencias en los espectros de pseudovelocidad relativa, mayores en un factor de hasta 10 veces para estaciones situadas en la cima de los montes respecto a estaciones en el valle. Se han realizado investigaciones mediante procedimientos analíticos (VOGT, 1.987) sobre la influencia de los valles en la amplitud e intensidad del movimiento sísmico. Se ha comprobado que la aceleración máxima del terreno en un punto cercano al valle se amplifica hasta en un 50% respecto a un sitio en terreno plano y en el propio borde del valle la amplificación es del doble respecto al punto de referencia; en el fondo del valle se registra más bien un efecto atenuador y una disminución de la aceleración máxima de un 65% (SAUTER, F., 1.989).

Se demuestra así teóricamente que la variación en intensidad del movimiento sísmico puede ser realmente grande debido a asperezas o irregularidades topográficas (SAUTER, F., 1.989).

Según este mismo autor, los factores que influyen en la intensidad del movimiento cerca de discontinuidades topográficas son varios. Generalmente se acepta que el ángulo de incidencia y el tipo de las ondas sísmicas, así mismo la longitud de onda y la geometría de la aspereza topográfica, son los parámetros más importantes. En valles la amplificación está relacionada con el ancho de la depresión; generalmente la amplificación en los bordes será mayor si la longitud de la onda sísmica es menor que el doble del ancho del valle. En cualquier caso, incluso con sistemas de análisis y computación complejos es difícil cuantificar el efecto de amplificación causado por condiciones e irregularidades topográficas, debido a que las condiciones reales son mucho más complicadas que las de los modelos simplificados asumidos en los estudios teóricos.

La Ciudad de Lorca se encuentra situada hacia el centro del borde noroccidental de una gran depresión de desarrollo lineal que con dirección N50E y con una altitud relativa en este punto entorno a los 330 m., une las localidades de Lorca, Totana, Alhama de Murcia y Murcia.

Hacia el W-NW, se localiza la parte más nororiental de las Béticas. En esta zona se ubican las sierras: de Las Estancias al W (1.458 m.) cuya prolongación hacia el NE la constituye la pequeña sierra de La Torrecilla, en cuya parte más oriental esta Peña Rubia (929 m.) que es el alto más inmediato que se encuentra dentro de un entorno próximo de 10 km de la Ciudad de Lorca. En su prolongación, en su extremo más oriental se sitúa el Castillo de Lorca (485 m.). Hacia el N, y en primer termino, se ubica la Sierra de la Tercia (989 m.) y con un desarrollo paralelo, también hacia el N, la Sierra de Espuña (1.585 m.).

Hacia el S-SE de la Ciudad de Lorca se abre una gran depresión con una cota variable entorno a los 350 m. que con dirección general NE-SW, se prolonga desde la Sierra de Enmedio (856 m.), en el límite con la provincia de Almería, hasta Totana, donde se abre hacia el Campo de Cartagena, aunque también se puede considerar su prolongación por Alhama de Murcia hasta Murcia capital.

El límite por el S-SE de esta depresión lo marca la Sierra de Almenara (881 m.) que, con una dirección análoga al resto de las citadas (N50E), constituye un frente abierto de amplia apertura en las proximidades de Totana y que tiene su prolongación en la Sierra de Carrascoy, hasta Murcia.

4.4.3.3.1. Cuantificación relativa del efecto de amplificación.

El nivel de base considerado lo constituye el río Guadalentín y se sitúa a una cota variable entre 320 y 330 m. La amplia llanura aluvial del río así como la Rambla de Viznaga, que desemboca en el anterior, presentan en el entorno de la ciudad una altitud semejante. En ese nivel de base se encuentra más del 70% de la población quedando el resto por encima de esa cota.

Las ondas sísmicas se propagan según trenes de ondas. Estos, al incidir sobre cualquier superficie que suponga una «cara libre» (superficie de un talud, etc.), producen el reflejo de gran parte de las mismas, habiéndose disipado muy poca energía en el proceso. De esta forma existe una posibilidad real de que entren en resonancia, sumándose ondas (efecto de amplificación) y aumentando en consecuencia el efecto perturbador.

Por todo lo expuesto, se concluye pues, que la variación en la intensidad del movimiento sísmico puede ser realmente importante debido a asperezas o irregularidades del terreno. Y en relación con ello, las condiciones geológicas tienen una influencia muy significativa; así, si los bordes de los valles están constituidos por suelos poco consolidados, el efecto amplificador puede ser aún mayor (SAUTER, F.; 1.989). Y en ese sentido, gran parte de la ciudad y en concreto, la parte más alta del casco viejo, se encuentra bajo estas deficiencias, sobre materiales coluviales recientes, rellenos de vaguadas y rellenos antrópicos de todo tipo cuyo origen está en lo dilatado de la propia historia de la ciudad.

4.4.3.3.2 Subdivisión del territorio en zonas.

A continuación se hace una primera subdivisión por zonas, estableciéndose éstas como unidades morfológicas donde los límites vienen definidos fundamentalmente por los principales cauces fluviales (río Guadalentín y rambla de Viznaga) y por los principales barrancos. Queda así dividido el territorio en áreas donde los criterios aplicados se establecen en virtud de la altitud relativa y de las pendientes; como crestas, cimas, bordes de valles o cantiles, valles y/o planicies.

El método que aquí se presenta se ha diseñado buscando una forma objetiva de valorar el efecto de amplificación producido en las ondas sísmicas por las condiciones topográficas específicas del área de estudio. Pues, como se ha visto anteriormente, existen sismos controlados mediante acelerogramas, en los que se ha comprobado que hay una relación directa entre la intensidad registrada y la situación topográfica de la zona.

Este método pretende llegar a una zonificación en la que en orden creciente desde el punto topográfico más bajo, que se sitúa en los cruces principales, y hacia puntos más altos, se consiga bajo el mismo criterio, establecer áreas de isoamplificación. De esta manera se aplican racionalmente los criterios de VOGT, R., (1.987) y de SAUTER, F., (1.989), en los que de forma medida, pero cualitativa se contemplan fenómenos de amplificación sísmica por la situación topográfica-geomorfológica particular de la zona.

El criterio aplicado es puramente geométrico puesto que el factor de amplificación que se estudia y se trata de evaluar también lo es en gran medida.

Como base del método, se utilizan cortes topográficos donde se ha modificado la escala relativa. La relación es 1H:5V. De esta forma, la aplicación del procedimiento mejora al quedar los puntos de corte entre las líneas proyectadas y los perfiles, mejor definidos.

En los anexos, se han incluido seis cortes-tipo a partir de los que se han obtenido los parámetros de apoyo para la zonificación del área de estudio.

Tomando como punto de base el cauce del río Guadalentín y rambla de Viznaga, se proyectan líneas auxiliares con ángulos a intervalos de 5° que desde ese punto intersectan a la superficie topográfica.

Al intervalo de terreno, en la horizontal, comprendido entre ángulos de 5° y 10°, se le ha asignado un valor de 1 en la escala de cuantificación (ORDEN DE CUANTIFICACION). Para cada intervalo de 5° se le han ido asignando valores crecientes.

Sobre los cortes se han establecido dos tipos de escala. La primera, en la parte superior de la figura, establece el ORDEN DE CUANTIFICACION del modo que se ha señalado: sobre el corte topográfico a escala 1/10.000 en la horizontal y aumentado cinco (5) veces en la vertical, se han trazado líneas que intersectan con los cortes, desde los puntos de base determinados, con ángulos crecientes desde la horizontal a intervalos de 5°.

Como se puede apreciar en los cortes, existen escalas del orden de cuantificación que se superponen allí donde el área de influencia de un determinado barranco o río principal obtenido por el método citado, se solapa con la de otro próximo al que se le ha aplicado idéntico criterio.

La segunda escala recoge precisamente ese solapamiento estableciéndose así la suma de los efectos de amplificación desde ambos extremos, obteniéndose el *orden de magnitud relativa de amplificación por efecto del factor topográfico*.

Ese orden de magnitud se considera relativo puesto que está establecido en base a un criterio topográfico-geométrico con el que no existe aún relación con escalas establecidas para otros posibles factores de amplificación.

Se puede, a partir de aquí, realizar una zonificación desde los puntos de máxima amplificación esperable, partiendo desde las cimas o crestas de los relieves inmediatos sobre los que se asienta en parte la ciudad, hacia la vega aluvial del río Guadalentín, donde se establece el nivel de base. Se asume así el criterio de VOGT, R. (1.987) en el que se señalan estas como áreas en las que se registra un incremento de hasta de el 100% sobre registros del mismo sismo, en puntos cercanos situados en cotas más bajas.

En el *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca*, se han señalado los cortes topográficos mencionados, que se incluyen en los anexos.

Así mismo, y en base a dichos cortes, se ha realizado una correlación de los puntos de isoamplificación por factor topográfico. Estas isolíneas quedan expresadas gráficamente en el mencionado mapa obteniéndose hasta 2 grados de amplificación.

El grado «0» ó nivel de base queda establecido en las llanuras aluviales y áreas distales de los conos de deyección, abanicos y depósitos coluviales. Se trata en general de zonas de baja pendiente.

El grado «1» corresponde a las zonas de piedemonte y cabeceras de abanicos, conos de deyección y depósitos coluviales. Son zonas con una pendiente que se puede calificar de media, generalmente uniforme, sin escarpes ni cambios bruscos de pendiente. Entra aquí gran parte del casco urbano y la mayor parte del casco antiguo de la ciudad.

El grado «2» agrupa las zonas más elevadas y escarpadas. Incluye depósitos coluviales poco potentes y rellenos antrópicos de la parte alta de la ciudad, en las faldas del Cerro del Castillo. Incluye además, la mayor parte de las formaciones rocosas. A esta zona se atribuye la mayor amplificación esperable de las ondas sísmicas por factor topográfico.

4.4.3.4. Condiciones hidrogeológicas locales.

El comportamiento de un terreno ante acciones sísmicas difiere según el contenido en agua del mismo. Para un mismo terreno se ha podido comprobar que en suelos blandos arenosos es donde se marcan más los distintos comportamientos y en aquellas zonas donde los niveles de suelo saturados en agua estaban próximos a la superficie los daños en las construcciones han sido más importantes. En este caso, el agua que satura un suelo actúa disminuyendo sus parámetros de resistencia, lo que se traduce en una respuesta de mayor debilidad de éste. De esta constatación y del análisis de los fenómenos producidos por esta causa, se han obtenido fórmulas empíricas que expresan la influencia para cierto rango de profundidades del nivel freático, normalmente entre los 0 y 10 m. de la superficie del terreno.

Algunas de estas fórmulas son:

Medveded (1.962)

ΔI : Incremento de Intensidad macrosísmica.

h: Profundidad del nivel freático.

El término de la fórmula que tiene en cuenta el nivel freático es:

$$+ \exp (-0.04 h^2)$$

Medveded. a título de ejemplo recomienda adoptar los siguientes incrementos para el caso de los suelos blandos:

<u>h</u>	<u>ΔI</u>
0-1	1
4	0.5
10	0

Ejemplo de la aplicación de esta fórmula es la figura. siguiente:

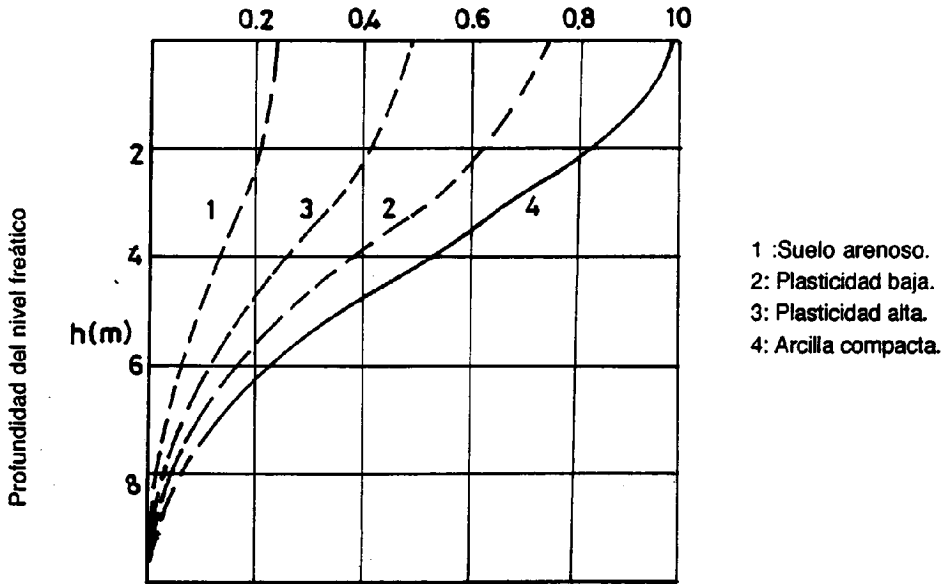


Fig. 4.3 Aplicación de la fórmula de Medvedev (microzonación) en la ciudad de Leukas Grecia,(1.974).

Munuera en las aclaraciones complementarias de la Norma Sismorresistentes PDS-1 (1974), edición IGN 1.978, presenta una fórmula parecida, que contiene un término función de la profundidad del nivel freático, para profundidades inferiores a 10 m. Este término es:

$$+ \log 10/h$$

Este tipo de fórmulas se aplican con el fin de corregir las intensidades macrosísmicas asignadas a un sitio, teniendo en cuenta la influencia por factores locales (rigidez sísmica y nivel freático fundamentalmente) que en el planteamiento formal de los estudios de Macrozonación no se hacen.

Actualmente en los sitios donde se puede aplicar (niveles freáticos altos, formaciones sueltas horizontales) se utilizan como método de contraste de otros métodos más perfeccionados.

El análisis de este factor de amplificación de carácter hidrogeológico, para la Ciudad de Lorca se ha llevado a cabo de la siguiente manera:

Se han caracterizado aquellos aspectos hidrogeológicos relevantes para el estudio de los materiales del subsuelo donde está emplazado el casco urbano de Lorca.

De la recopilación y análisis de los distintos trabajos (citados en la bibliografía) que tratan el tema, se llega a las siguientes conclusiones:

-El casco urbano de Lorca se encuentra sobre una zona de ápice dentro de un gran dominio areal formado por grandes abanicos aluviales superpuestos y coalescentes.

-Estos depósitos de facies proximales los forman alternancias de gravas, arenas, limos y arcillas, predominando como tendencia general, los elementos de granulometría mayor a medida que nos acercamos a los relieves de las Sierras del N.

-El espesor máximo de estos depósitos detríticos es de 300 m., y descansan sobre un tramo impermeable de naturaleza margosa de 1.000 m de potencia o sobre filitas y micaesquistos del Paleozoico.

-No existen sondeos profundos en el casco urbano, pero a 2 ó 3 Km hacia el SE y SW se han llegado a cortar a 190 m. de profundidad las margas, lo que da una idea de los espesores de estos materiales, tan recientes, que hay cerca de los relieves al N (Sierra de la Torrecilla y Sierra de la Tercia). La causa de esto es la continua actividad dentro del periodo neotectónico de la alineación sismotectónica que supone la falla de Alhama-Lorca, límite N del Guadalentín, causante del rejuvenecimiento del relieve N y como consecuencia posterior, de las formaciones de abanicos aluviales que los drenan.

-Estos materiales forman parte de los acuíferos del Alto Guadalentín y del Bajo Guadalentín, estos últimos en la parte NE a partir de la carretera Alhama-Lorca aproximadamente.

-El paso de uno a otro se realiza de forma gradual, siendo el Alto Guadalentín un acuífero libre formado por un tramo detrítico permeable único, de gravas, arenas y limos con elevada transmisividad. En cambio, el Bajo Guadalentín, presenta una serie de intercalaciones margosas dentro del complejo detrítico, lo que hace que sea de peores características hidráulicas que el anterior.

-Las excelentes condiciones del Sistema Acuífero del Alto Guadalentín, son conocidas desde mucho antes del siglo XIX, y de ello dan prueba los restos de los pozos ordinarios y norias de tracción animal. Esto nos indica la cercanía del nivel freático a la superficie que habría entonces, en zonas en donde ahora mismo oscila entre los 50 y 100 m según haya sido más o menos acusada la sobreexplotación.

-La profundidad de la capa de agua está por tanto en la situación actual a una profundidad ($h_{\min} > 50$ m), nada influyente para la respuesta sísmica esperada de los terrenos. La experiencia en este campo habla de que a profundidades de menos de 10 m es donde hay que empezar a considerar los efectos posibles por nivel freático.

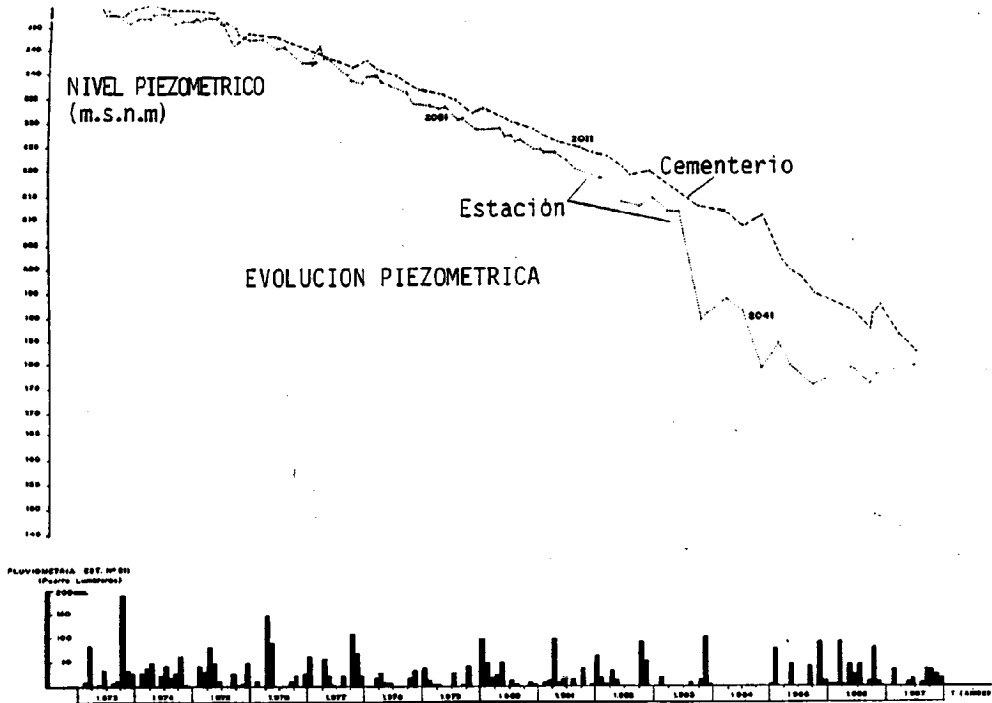


Fig. 4.4. EVOLUCION PIEZOMETRICA. (Fuente: "El Sistema Acuífero del Alto Guadalentín". Consejería de Política Territorial y Obras Públicas, Dirección General de Recursos Hídricos. Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. 1.991).

-Solamente y como hipótesis intuitiva no demostrada, podría tener alguna influencia durante un periodo de tiempo transitorio, después de una fuerte precipitación, la capa saturada de agua que por fenómenos de infiltración y retención se forma cerca de la superficie, capa que va desapareciendo a medida que desaparece el agua gravífica para ir a la zona saturada, que marca el nivel freático del acuífero a 50 ó 100 m de profundidad. Aquellos tramos del suelo formados por materiales más granulares y con menos finos, de mejor transmisividad, darían tiempos transitorios y capas saturadas de agua en superficie mínimos en comparación con el caso más desfavorable, de tramos arenosos y arcillosos que actuarían de retardo en el proceso descrito anteriormente.

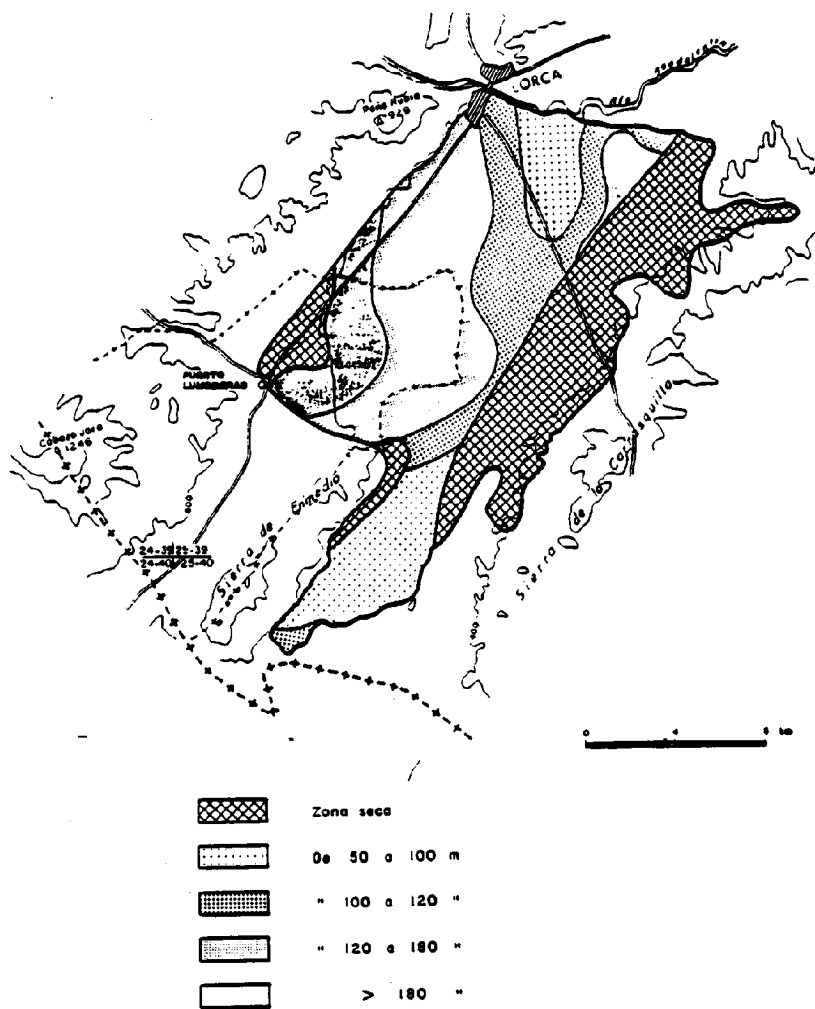


Fig.4.5. ISOPROFUNDIDADES DE AGUA (1.987).(Fuente: "El Sistema Acuífero del Alto Guadalentín". Consejería de Política Territorial y Obras Públicas, Dirección General de Recursos Hidráulicos . Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. 1.991).

-A nivel orientativo, tendríamos, dentro de la ciudad, la zona occidental hasta pasada la carretera Aguilas-Lorca que se asemejaría más al caso primero de los descritos y de esta misma carretera hasta la que va a Murcia que se correspondería más con el segundo tipo

-El plano del suelo de una ciudad actúa en gran parte de la misma, debido al asfaltado y al lugar ocupado por las construcciones, como impermeable a la infiltración, lo que sería un efecto favorable en este sentido.

-Del sistema de fallas de la alineación Alhama-Lorca cuyas trazas tocan sobre todo la parte N de la ciudad encima del Guadalentín, no se conocen bien las influencias que pueden tener en el comportamiento hidrogeológico de los materiales más meridionales de la Sierra de la Tercia y más al SW en la Sierra de la Torrecilla. Posiblemente actúen en muchos casos como barrera, al poner en contacto niveles permeables con niveles impermeables y por la propia impermeabilización que se produce en el material milonitizado, o al drenar determinados tramos permeables limitados por formaciones impermeables.

Los materiales que forman esta zona son de la siguiente litología:

*Conglomerados permeables con drenaje superficial y por infiltración, permaneciendo secos la mayor parte del tiempo hasta los periodos de lluvia.

*Margas, yesos, areniscas, calcarenitas y conglomerados de comportamiento semipermeable a impermeable, no existiendo agua en profundidad.

-Existe una zona de materiales de relleno importante en la ladera del Cerro del Castillo que da a la ciudad; rellenos que llegan a tener espesores de hasta 15 m, y que debido a sus características intrínsecas y baja compacidad suelen ser bastante permeables, lo que hace que tengan una fácil recarga por lluvias o por fugas de la red de abastecimiento de agua o de de alcantarillado. Esto unido a la barrera, bastante impermeable, que suponen los muros de contención distribuidos escalonada e irregularmente en la ladera, hace que estos niveles actúen a la manera de acuíferos libres colgados. Es posible que tras unas fuertes lluvias (*) estos niveles aislados pudieran recargarse y saturarse en gran parte, lo que afectaría aún más si cabe a la resistencia, de por sí baja, de estos rellenos.

(*) NOTA: El volumen anual de las precipitaciones medias en Lorca es de 262.5 mm. Son lluvias escasas, que se producen en forma de fuertes chaparrones en muy pocos días, con máximos en Abril (47.4 mm) y Octubre (42.7 mm) y mínimo en Julio (2.5 mm).

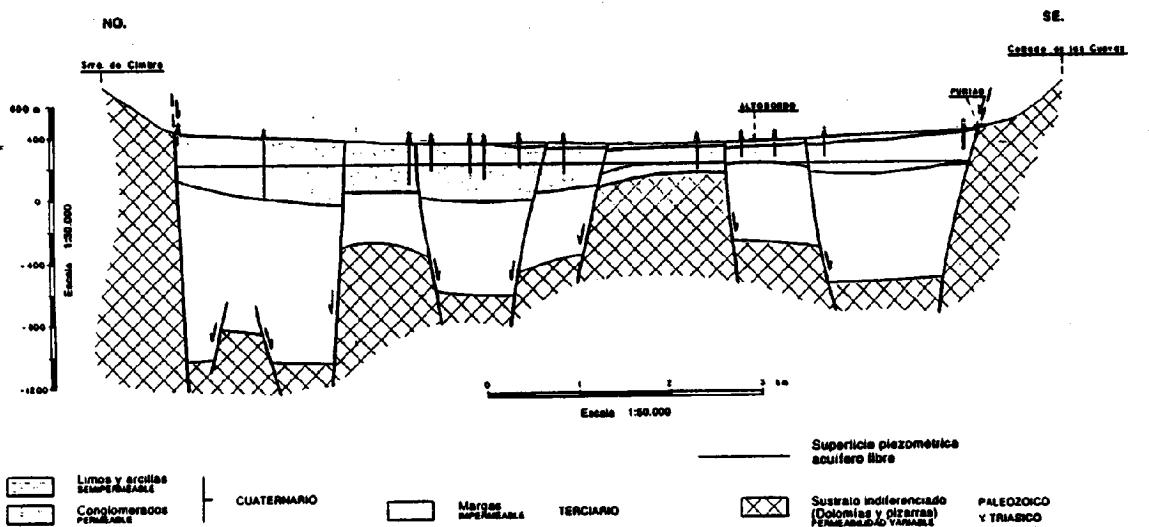


Fig. 4.6. Corte hidrogeológico del Sistema Acuífero del Alto Guadalentín. (Fuente: ITGE 1.987, MAPA HIDROGEOLOGICO 1:200.000, Lorca).

4.4.3.5. Ruptura de la superficie del terreno por falla.

En la microzonificación sísmica de una ciudad, es importante señalar aquellas zonas que pueden ser propensas a la ruptura del terreno como consecuencia directa de los movimientos de la falla; esto sólo ocurre en los dominios de las fallas activas. No se puede olvidar en cualquier caso, que algunos tramos de estas fallas no emergen a la superficie y sólo pueden ser localizadas por métodos geofísicos.

La mayoría de los trabajos consultados sobre este aspecto : MALLARD et al, (1.991), BONILLA et al, (1.984), CAMPBELL (1.984), YOUNG et al, (1.978), SKIPP, (1.992), hablan de la dificultad que entraña el estimar las posibles zonas de ruptura en la superficie del terreno, en zonas de baja a moderada sismicidad ya que en éstas no se manifiestan evidencias claras (escarpes, modificación de cursos de agua, hundimientos, etc.) de eventos pasados. Si a esto se añade el hecho de tener que marcar zonas (traza de la falla) sobre una superficie ocupada por las construcciones que habitualmente componen el casco urbano de la ciudad, el problema se hace de muy difícil resolución. El tema a resolver consistiría en diseñar un modelo para la superficie ocupada por el casco urbano de la ciudad, que diera, para cada terremoto previsible (cuyo conocimiento es bastante incierto desde el punto de vista de las leyes de ocurrencia) que afectara destructivamente a la ciudad, en qué zonas y como se produciría la ruptura de la superficie del terreno por falla. Para que ello fuera posible, habría que definir la naturaleza del proceso en el foco (mecanismo focal), cuya resolución es así mismo muy complicada por un lado por la falta de registros instrumentales y por otro por la propia complejidad del proceso que hace necesario simplificar las condiciones de partida (Tierra: medio elástico, Foco: modelo teórico) lo cual a su vez provoca el que el modelo se aleje de la realidad lo suficiente como para dudar de su utilidad práctica

Por otro lado también sería necesario conocer el modo de propagación de las ondas en el medio que rodea la falla sísmica, con vistas a entender el comportamiento del terreno; si este se rompe o no se rompe en superficie y si no se rompe hasta dónde alcanzará la fractura.

En el caso de que la fractura llegue a la superficie, cuales serían sus desplazamientos (longitudinal, apertura y vertical) su velocidad, su aceleración, el tipo de relleno, etc.

Un modelo que relacione las características de la fuente con las de propagación en el subsuelo y la posible ruptura de la superficie del terreno es por el momento inviable desde el punto de vista práctico aunque los primeros estudios en los que se intentaba relacionar los mecanismos focales son los que se hicieron en California en la década de los 50 con fallas con ruptura observable. En este estudio, hemos abordado el tema de la siguiente manera siendo conscientes de la necesidad de que en el futuro se realicen estudios específicos de los que ahora carecemos.

Hemos indicado aquellas zonas del casco urbano de Lorca que están afectados por las trazas de los distintos tramos pertenecientes a la Falla de Alhama de Murcia. Para ello se han representado cartográficamente a escala 1:5.000 las distintas trazas basándonos en las cartografías geológico-estructurales existentes: Hoja 953 MAGNA, I.T.G.E.; Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España (en prensa); Mapa Neotectónico al E de Lorca, Canal del Trasvase Tajo-Segura, (1986) E.N.A.D.I.M.S.A.-I.T.G.E.

También se han reconocido dichas trazas en foto aérea 1:30.000 y 1:18.000 con la idea de ajustar su situación lo mejor posible a la base 1:5.000.

Se estima un error de trazado no superior a 25 m., reconociéndose tanto en la fotografía aérea como en el mapa topográfico.

La zona de fallas ocuparía una banda que cubre más de la mitad del casco urbano que queda al N del Guadalentín a su paso por Lorca (los Arrabales). Siendo difícil seguir la prolongación bajo los cuaternarios y su conexión con todo el sistema de fallas que continúa por los relieves terciarios del Cerro del Castillo y los relieves paleozoicos más al S, pertenecientes al NE de la Sierra de Torrecilla.

La segunda banda se enmarcaría en el límite de los relieves anteriormente mencionados y la zona de llanura aluvial en donde está emplazado más del 80% del casco urbano de Lorca.

Esta última banda correspondería a un estrechamiento hacia el N de una especie de estructura en pluma de la Falla de Alhama de Murcia. (vertiente SE de Sierra de la Peña Rubia).

La anchura de estas bandas o zona de falla sería de aproximadamente 1 Km. como máximo (SILVA, 1.992 ;en prensa) a su paso por Lorca, no pudiéndose determinar cual es la anchura exacta de fractura) y el tipo de depósitos en la falla.

Existen antecedentes sobre fenómenos producidos como consecuencia de ciertos movimientos de la falla, provocando pequeñas deformaciones y roturas en superficie que afectaron a viviendas (Barrio de S. Juan ,1981) y al canal del trasvase Tajo-Segura, que vienen comentados en el trabajo de RODRIGUEZ ESTRELLA, 1.986. Los puntos descritos coinciden con la traza de la Falla de Alhama de Murcia y tienen unas causas relacionadas con el comportamiento del terreno cercano a esta traza : grietas en una misma dirección (N60E) en viviendas del Barrio de S. Juan y grietas de dirección N65 , y 10 y 140 E conjugadas y paralelas con la dirección principal del accidente estructural.

En estos casos, no parece haber duda de que están directamente relacionados con pequeños fenómenos de ruptura del terreno en superficie (en fallas superficiales) producida por un terremoto de $M= 3.0$ y epicentro en las proximidades de Totana.

4.4.3.6. Fenómenos inducidos.

Los daños causados por los terremotos se deben, no sólo a sacudida violenta del terreno, sino también a otros fenómenos que los acompañan o bien son inducidos (activados) por ellos.

Tal es el caso de los desprendimientos, deslizamientos, avalanchas, licuación de suelos no cohesivos, colapsos y subsidencias, que son entre otros, procesos que acompañan a los movimientos sísmicos en función de la naturaleza y de las características geomecánicas de los materiales a los que afectan, y en algunos casos, ha podido comprobarse que los daños provocados por los mismos pueden llegar a superar a los producidos por la sacudida del terreno (terremoto de Chimboté, Perú, 1.970).

Los fenómenos señalados, contribuyen de forma notoria a crear un notable incremento de la peligrosidad de aquellas áreas en las que puedan presentarse y por consiguiente, debe prestarse a los mismos una especial atención a la hora de realizar la microzonación sísmica de la ciudad.

El riesgo inducido (y actualmente existente) más importante, es el de desprendimientos de piedras y bloques del Cerro del Castillo sobre una parte de la ciudad.

Es un fenómeno relativamente reciente, y es en los últimos años cuando el problema ha ido adquiriendo mayor importancia al quedar demostrado el riesgo existente para las viviendas del barrio de Santa María.

También se considerarán en este apartado, otros riesgos inducidos que en general, tienen menores probabilidades de presentarse como son: licuación de arenas saturadas, colapso de cavidades, etc.

4.4.3.6.1. Desprendimientos.

Desde el año 1.982 se han venido realizando diversos estudios sobre la inestabilidad de rocas y taludes de las laderas del Cerro del Castillo, obteniéndose de ellos una valiosa información.

Geológicamente está constituido por arcillas margosas, areniscas y conglomerados rojizos de cantos poligénicos, afectados por varias familias de discontinuidades, sobre las cuales descansan discordantes materiales calizos y calcareníticos muy fracturados con un espesor en el Cerro (base del Castillo) de hasta 30 m.

No existe, en general, flujo importante de agua a través de las fisuras y discontinuidades del macizo rocoso por ser muy restringida el área de recarga.

La inestabilidad en el macizo se debe fundamentalmente a tres causas:

- Al elevado estado de fracturación y diaclasado que afecta al macizo rocoso.
- A la erosionabilidad y alterabilidad de algunos tramos litológicos de menor dureza y competencia.
- A la existencia de materiales inconsistentes sobre la superficie, topográficamente inadecuados e inestables.

Estos procesos, han ocasionado la individualización de numerosos bloques y cuñas, algunos de los cuales se han desprendido y caído a favor de la pendiente, si las condiciones del terreno eran favorables. La caída de estos bloques ha originado el descalce de otros bloques superiores (o de la propia muralla), aumentando el riesgo de desprendimientos en los mismos.

Los desprendimientos de rocas constituyen un gran peligro para las zonas situadas en su pie, ya que se trata de áreas habitadas o de vías de comunicación.

Es conveniente diferenciar y cuantificar dos aspectos:

- a) Inestabilidad del macizo rocoso.
- b) Riesgo de daños de esos desprendimientos, que van a estar en función de los perjuicios que ocasionarán a personas y bienes.

Las medidas a adoptar en un futuro con el fin de prevenir los desprendimientos, así como de proteger las edificaciones y vías de comunicación, deberán comenzar por las zonas de mayor riesgo.

De menor importancia, aunque sí para tenerse en cuenta, se encuentran los fenómenos de inestabilidades asociados a materiales incoherentes y en condiciones límite en cuanto a su equilibrio. Una parte de Lorca se encuentra en una ladera que rodea el Cerro del Castillo. Es destacable, por tanto, la acumulación de materiales en determinadas zonas, que en algunos casos llegan a alcanzar varios metros de espesor.

Son en su mayoría recubrimientos cuaternarios (derrubios de ladera y coluviones) sobre laderas pronunciadas. En general, son depósitos caóticos muy heterogéneos, constituidos por cantos y bloques muy angulosos de areniscas, calizas y conglomerados, inmersos en una matriz arcillo-limosa muy abundante. En áreas de menor pendiente y en zonas limítrofes al casco urbano, aparecen depósitos de rellenos heterogéneos flojos y antrópicos de espesor variable y a veces importante. Tanto un tipo como otro son materiales aptos para la acumulación de agua por infiltración. Este puede ser un elemento coadyuvante o desencadenante de la desestabilización de alguno de estos depósitos que, en general, descansan sobre materiales más impermeables creando superficies de deslizamiento óptimas.

Muchos de estos depósitos se sitúan muy próximos o encima del desgarre activo de Lorca (falla de Alhama), enmascarando su traza en la mayor parte de su longitud cuando se sitúa cerca de los escarpes de ladera. Algunos de estos depósitos se encuentran claramente deformados y en situación de equilibrio inestable, principalmente cuando están ligados a saltos de falla importantes.

4.4.3.6.2. Peligro de Licuefacción.

De manera general el Comité de Dinámica de Suelos de la American Society of Civil Engineers (1.978) ha definido la licuefacción como el proceso de transformación de una sustancia en un líquido. Para un medio pulverulento saturado esta transformación tiene lugar por aumento de la presión intersticial de la fase líquida, ya sea como consecuencia del aumento de una carga estática monótona, un impulso, o una carga dinámica alternada.

El concepto de licuefacción de suelos granulares fué primeramente empleado por TERZAGHI (1.956), MASLOV (1.957) y FLORIN e IVANOV (1.961), en relación con el colapso de la denominada «estructura metaestable del suelo» (estructura inestable con alto índice de huecos) por efecto de una carga impulsiva. En este tipo de fenómenos se produce la solifluxión del suelo bajo gradiente hidráulico crítico, perdiendo aquel su capacidad portante (arena movediza).

No obstante, hay que tener en cuenta que la estructura metaestable no siempre se requiere para producir la licuefacción bajo carga progresiva, como es el caso de los terremotos, donde el esfuerzo cortante juega un papel fundamental.

La licuefacción en depósitos de arenas saturados durante un terremoto es una de las causas más dramáticas de daños en edificaciones y obras civiles durante un terremoto.

Algunos estudios sobre licuefacción, han determinado una relación empírica entre las características e intensidad del movimiento del terreno y la resistencia en la penetración para determinar el potencial de licuefacción. Dicha relación es la siguiente:

$$N_{crit} = N' [1 + 0.125 (d_s - 3) - 0.05 (d_w - 2)]$$

donde:

N_{crit} : valor crítico de la resistencia a la penetración que separa suelos con potencial de licuefacción de suelos no propensos a la licuefacción.

d_s : profundidad del estrato de arenas en metros.

d_w : profundidad del agua freática en metros.

N' : una función de la intensidad del movimiento.

Este tipo de relaciones empíricas suelen tener un marcado efecto «localista» siendo muy difícil y problemática la extrapolación a otras áreas distintas de las que se realizó el estudio.

Otros métodos para el estudio del potencial de licuefacción consisten en la comparación de los materiales existentes en la zona, con el huso granulométrico de arenas que han sufrido licuefacción bajo cargas cíclicas y vibraciones inducidas por sismos en otras zonas

Finalmente, se puede estimar la máxima extensión de un área susceptible a licuefacción mediante la zonificación de ciertas unidades geomorfológicas especialmente sensibles, tal como se presenta en el siguiente cuadro:

CUADRO 4.2

<u>Rango</u>	<u>Unidad geomorfológica</u>	<u>Licuefacción potencial</u>
A	Sedimentos fluviales actuales y antiguos, pantanos o marismas, <u>tierras bajas o interdunas</u>	Licuefacción probable
B	Abanico aluvial, dunas arenosas, llanuras de inundación, playas y <u>otras lanuras</u>	Licuefacción posible
C	Terrazas fluviales antiguas, colinas y relieves montañosos	Licuefacción improbable

(Tomado de Iwasaki et. al., 1982).

Otra estimación del potencial de licuefacción consiste en zonificar los diferentes depósitos sedimentarios de un área según:

- a) Tipo de depósito (canal fluvial, llanura aluvial, abanico, suelo residual, etc.).
- b) Distribución general de los sedimentos incoherentes (arenas flojas) en dicho depósito (variabilidad local, poco variable, amplia, homogénea, moderada, etc.).
- c) Edad del depósito (< 500 años, Holoceno, Pleistoceno, etc).

Atendiendo a estos criterios, YOUNG y PERKINS (1.978) distinguen entre depósitos continentales y marinos. Para el caso que nos ocupa atenderemos únicamente a los siguientes tipos:

CUADRO 4.3

Tipo de depósito	Distribución general de los sedimentos incoherentes en el depósito	<u>Edad del depósito</u>		
		<500 años	Holoceno	Pleistoceno
<u>Canales fluviales</u>	<u>Localmente variable</u>	<u>Muy alta</u>	<u>Alta</u>	<u>Baja</u>
<u>Llanura aluvial</u>	<u>Localmente variable</u>	<u>Alta</u>	<u>Moderada</u>	<u>Baja</u>
<u>Cotuvial</u>	<u>Variable</u>	<u>Alta</u>	<u>Moderada</u>	<u>Baja</u>
<u>Rellenos artificiales poco compactos</u>	<u>Variable</u>	<u>MuyAlta</u>		
<u>Rellenos artificiales compactos</u>	<u>Variable</u>	<u>Baja</u>		

De acuerdo con OSHAKI, (1.970), es probable que se produzca la licuación con las siguientes condiciones de suelo:

- a) El estrato arenoso se encuentra a 15-20 m. por debajo del nivel del terreno y no está sujeto a una presión alta de la sobrecarga.
- b) El estrato está formado por partículas de arena uniforme de tamaño medio.
- c) El estrato se encuentra saturado; esto es, está por debajo del nivel del agua freática.
- d) El valor de la prueba de penetración standard (SPT) es menor de un cierto nivel.

Atendiendo a todos los criterios anteriormente señalados (granulometrías de los distintos niveles, unidades geomorfológicas presentes, tipos de depósitos y edad de los mismos, etc...), se ha estudiado la posibilidad de que debido a un movimiento sísmico pudiera producirse el fenómeno de licuefacción de arenas saturadas en el subsuelo de la Ciudad de Lorca.

Para poder realizar la estimación de la licuefacción potencial de alguna zona de la ciudad, se cuenta con un buen número de sondeos y estudios geotécnicos del subsuelo de la ciudad.

El estudio minucioso de todos los datos disponibles revela que en el subsuelo, no existen capas continuas de arenas sueltas (con valores del SPT inferiores a 16) saturadas o secas y de granulometría uniforme, que pudieran causar problemas de licuefacción a causa de un terremoto.

Por otra parte, los depósitos con susceptibilidad potencial de licuefacción más alta (áreas próximas a cauces fluviales actuales y zonas de llanura aluvial), están en Lorca constituidos (sobre todo en la zona baja del Guadalentín) por materiales granulares gruesos (gravas arenosas) o por materiales finos mayoritariamente limos arcillosos, lo suficientemente alejados de las granulometrías típicas de las arenas susceptibles.

Solamente existen con características aproximadas a las de las arenas susceptibles algunos lentejones aislados, poco representativos, particularmente en la zona del Alto Guadalentín.

Si a todo lo anterior se une el hecho de que en la Ciudad de Lorca el nivel freático se encuentra a una profundidad > 50 m. y que la probabilidad de saturación de las escasas capas puramente arenosas que hay en el subsuelo más inmediato es muy baja, se comprende que el riesgo de licuefacción en la ciudad sea también muy bajo. Algunas áreas potencialmente peligrosas las constituyen, sin embargo, los depósitos de rellenos potentes y poco compactos de la zona antigua de la ciudad. En esta zona, sin embargo, la heterogeneidad de los depósitos y su carácter en ocasiones antrópico dificulta extraordinariamente la estimación de su potencial de licuefacción según los criterios señalados anteriormente. Por ello, se puede llegar a considerar esta zona como potencialmente peligrosa en este aspecto aunque con las reservas señaladas.

4.4.3.6.3. Otros riesgos asociados.

Un riesgo asociado, aunque de probabilidad incierta, sería el que viene ligado a la rotura o deterioro del embalse de Puentes, aguas arriba del río Guadalentín. Su ubicación, fuera de un área especialmente activa, (como la falla de Alhama, p. e.), hace improbable que puedan llegar hasta ese punto terremotos con Intensidad suficiente como para producir deterioros de gravedad. Unicamente cabría pensar en la posibilidad del desembalse de una determinada cantidad de agua, en el supuesto de que este se encontrara al límite de su capacidad y que la Intensidad fuera lo suficientemente grande como para crear un oleaje capaz de rebosar la coronación de la presa. En este caso, dicho desembalse podría equipararse a una avenida con periodo de retorno de al menos quinientos años.

Finalmente se podría señalar como un riesgo asociado, el hundimiento (colapso) de algunas cavidades en la zona norte de la ciudad como consecuencia del movimiento sísmico.

En este sentido, existen algunos antecedentes de fenómenos de este tipo en algunos sectores del casco antiguo de la ciudad y en el Barrio de S. Cristobal. En este último lugar, existen antecedentes recientes de que se produjo el hundimiento del terreno, resultando atrapada una persona. Excavaciones posteriores en esa zona, demostraron la existencia de numerosas cuevas de grandes luces algunas de ellas revestidas (actuación antrópica histórica). Al no existir certeza acerca de cual sería la extensión de esas zonas aunque sí indicios puntuales, se han señalado en el *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de Lorca*, algunos de los puntos en los que sí se tienen datos, por considerar que pueden constituir zonas de debilidad de cara a la respuesta del terreno frente a las acciones sísmicas.

5. EXPOSICION SISMICA

5.1. Introducción. Elementos expuestos.

A la hora de abordar tanto «a posteriori» como «a priori» el estudio del comportamiento de una zona ante acciones sísmicas, será necesario realizar una labor de caracterización y clasificación de aquellos elementos que han sufrido daño (terremotos pasados) o que son susceptibles de sufrirlo, en futuros eventos sísmicos.

A los elementos que componen la exposición al peligro sísmico nos referimos con el calificativo de «expuestos».

En algunos trabajos que han tratado el tema, la exposición viene dada como un conjunto de probabilidades, referidas cada una de ellas a la capacidad de sufrir daño cada uno de los elementos o tipos de elementos expuestos. Estas probabilidades serán constantes y solamente tendrán sentido, en el caso de que la situación del elemento sea estacionaria en el periodo de estudio considerado. Esta premisa no se cumple normalmente cuando el elemento expuesto es la población o algún sector de la misma. La mayoría de los análisis de vulnerabilidad existentes, se refieren a aspectos estructurales (normalmente constructivos) siendo muy pocos los referidos a población y casi inexistentes los que consideran el cese de actividades económicas. Este último aspecto se suele incluir en las evaluaciones de pérdidas económicas, en la fase final de los estudios de riesgo sísmico en sentido estricto (evaluación de pérdidas potenciales anuales) por estar más relacionados con los objetivos de dicha fase.

En el siguiente cuadro, se presentan los elementos estructurales habituales que se suelen contemplar en este tipo de estudios:

CUADRO 5.1

* Tipos de construcción (A, B, C)

* Líneas de vida (Life lines)

- ** *Conducciones electricas*
- ** *Red de agua y alcantarillado*
- ** *Conducciones de gas*
- ** *Líneas de comunicación*

* Espacios abiertos

* Estructuras singulares

- ** *Hospitales*
- ** *Colegios*
- ** *Centros de comunicación*
- ** *Policia*
- ** *Parque de bomberos*
- ** *Parque de maquinaria O.P*
- ** *Edificios que contengan mat. tóxicos y peligrosos.*
- ** *Tanques y depósitos*
- ** *Presas*
- ** *Puentes y pasos elevados*
- ** *gasolineras*
- ** *Edificios de gran altura*

Los estudios de vulnerabilidad de ciudades, están referidos a tipos de construcciones, estructuras singulares y servicios básicos. La interrelación entre todos los elementos debería tenerse en cuenta en el análisis aunque no es lo normal, debido a la complejidad que ello conlleva.

Siguiendo a LAGONIO, H. J. (1984) se puede afirmar que: «el medio urbano es un complejo y denso entretejido compuesto de muchas actividades interdependientes: servicios, funciones, tipos de edificios y uso de los mismos, líneas de vida y otras actividades. El fallo, desde el más simple de los componentes hasta el de mayor complejidad, puede afectar seriamente al funcionamiento de los demás y hacer completamente inoperable el área metropolitana»

La clasificación en tipos de construcción, es el más importante de los elementos estructurales que se consideran en el análisis de vulnerabilidad a escala urbana, entre otras cosas por las implicaciones que puedan darse con el número de muertos. En cada zona y país, los criterios y el número de tipologías clasificadas es diferente.

Para catalogar y posteriormente clasificar las estructuras, se crean unos cuestionarios diseñados por comisiones multidisciplinarias de técnicos relacionados con el tema: geólogos, arquitectos, ingenieros, geógrafos, etc.

En los cuestionarios se formula un listado de preguntas sobre distintos aspectos referidos a: materiales de construcción, procedimiento constructivo, tipo de cimentación, edad, número de plantas, uso destinado, grado de mantenimiento, etc. La complejidad del cuestionario varía evidentemente según las zonas.

El objetivo, en cualquier caso, es realizar un agrupamiento de tipos homogéneos en lo que se espera sea su respuesta a un terremoto. Los criterios básicos serían: igualdad en las características marcadas por el cuestionario correspondiente, similares comportamientos en terremotos pasados, y más raramente, datos de ensayos realizados o análisis teóricos.

En España la clasificación de tipos de construcciones que adopta la Norma Sismorresistente PDS-1 (1974), actualmente vigente (si bien en fase de revisión avanzada) es muy simple pues establece tres tipos: A (muros de mampostería, de adobe o tapial), B (muros de fábrica de ladrillo, bloques de mortero, sillería, etc.) y C (estructura metálica o de hormigón armado). Como se ve, la clasificación se realiza en función de naturaleza y características de los elementos resistentes de las construcciones y se considera que estas no están proyectadas para resistir acciones sísmicas. En el presente estudio, se adopta la clasificación anteriormente señalada. En otros países, se han realizado clasificaciones obtenidas a partir de los datos de cuestionarios muy elaborados, con gran cantidad de aspectos muy precisados, lo que normalmente da lugar a un mayor número de tipos.

Además de la clasificación de las construcciones existentes en un área, se requiere de forma particular y para cada caso, dejar constancia de aquellas estructuras singulares y líneas de vida (life lines) así como de los espacios abiertos existentes en el entorno urbano.

Todos ellos cumplen una importantísima función en la operatividad de la ciudad, debiendo además continuar disponibles en caso de ocurrencia de un terremoto, por los perjudiciales efectos que un colapso puede producir, al tratarse de elementos en muchos casos imprescindibles para el funcionamiento de la comunidad.

Los espacios abiertos, serán zonas a tener en cuenta, como áreas de evacuación o de atención y recogida.

En las últimas conferencias tanto europeas como de carácter mundial sobre Ingeniería Sísmica (E.C.E.E. y W.C.E.E.) ha habido secciones especializadas en estos temas más concretos como vulnerabilidad de edificios singulares o de líneas de vida.

5.2. Exposición estructural y poblacional en Lorca.

5.2.1. Introducción.

El conocimiento detallado de la distribución espacial de los diferentes tipos de construcciones, según sus características estructurales, resulta de enorme interés a la hora de realizar una evaluación estimativa de los daños que un terremoto de determinada intensidad ocasionaría sobre las mismas.

Se comprende que de manera general, el grado de daño o deterioro que sufren cada uno de los tipos constructivos es función de la resistencia estructural de las edificaciones frente a la acción sísmica, y a igual intensidad del terremoto, y sin tener en cuenta otros factores que puedan potenciar la acción de este, sufrirán daños de mayor consideración las edificaciones de tipo «A» que las de tipo «B» y estas últimas mayor que las de tipo «C» (véase Norma Sismorresistente PDS-1, 1974).

A efectos de distribución de los diferentes tipos constructivos, se considerará como área de estudio a todo el casco urbano de la ciudad.

Por otra parte, no existe una relación clara entre el daño estructural en terremotos y el daño a la población. En España, se elaboró una estimación de los daños que un terremoto ocasionaría en Andalucía (MARTIN MARTIN, A. J. y GARCIA YAGUE, A. G. 1986), en el cual se incluyen unas fórmulas de carácter empírico basadas en los datos extraídos de distintos terremotos que afectaron a la península. En ellas, se estiman el número de muertos y heridos previsible en caso de que ocurriera un terremoto de intensidad VIII ó IX (M.K.S.). Los resultados obtenidos se basan en la experiencia de situaciones similares anteriores:

$$\text{N}^\circ \text{ de muertos: } 0.007 P_{IX} + 0.00005 P_{VIII}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de heridos: } 0.03 P_{IX} + 0.001 P_{VIII}$$

Donde P_i es la población afectada en la zona de intensidad i .

Estas fórmulas deberán utilizarse con cuidado, teniendo en cuenta que no han sido muy contrastadas y que los valores de los daños medios directos ocasionados a las personas poseen una gran dispersión y están sujetos a amplias variaciones en función de hipótesis y condiciones específicas no consideradas en el estudio.

Todavía se está muy lejos de confeccionar modelos de predicción de daños a la población. El uso de los métodos estadísticos sobre los datos de terremotos pasados es muy útil pero no es suficiente ya que los factores causales son muchos y cambiantes en el tiempo.

Adelantandonos a los aspectos sobre la vulnerabilidad para el caso de la población, GEORGESCU,S.,(1984) afirma que : «la vulnerabilidad estructural, no hace posible una estimación directa de la vulnerabilidad de los habitantes debido a que hay una relación causal no lineal muy marcada».

En el capítulo 7 se hace una estimación, siguiendo los mismos criterios utilizados para Andalucía, de los daños que sufriría la población en el caso de que ocurriera un terremoto catastrófico en la Ciudad de Lorca.

5.2.2. Aspectos de la exposición poblacional en Lorca.

En el Cuadro 5.2, se resumen los datos más significativos en cuanto a población, de entre los recogidos en el documento de Información Urbanística que acompaña a la Revisión-Adaptación del Plan General de Ordenación Urbana de Lorca (Texto Refundido), Tomo I, completándose al mismo tiempo con las cifras más recientes disponibles aportadas por el Excmo. Ayuntamiento de Lorca (Sección de Estadística).

CUADRO 5.2

(EVOLUCION DE LA POBLACION DE HECHO)

	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1986	1991
CASCO	17.135 (28%)	24.491 (35%)	20.990 (30%)	19.859 (30%)	25.208 (41%)	24.374 (40%)	35.207 (53%)	36.317 (55%)
ALMENDRICOS	1.671	1.767	1.804	1.692	1.634	1.676	1.684	-----
AVILES	675	692	797	814	749	498	50	-----
COY	707	674	782	767	683	471	514	-----
DOÑA INES	647	508	628	611	500	157	14	-----
LA HOYA	1.173	1.016	1.365	1.271	1.479	1.808	1.969	-----
LA PACA	1.067	1.057	1.915	1.858	1.464	927	1.096	-----
RAMONETE	1.332	1.359	1.266	1.215	925	978	1.116	-----
LA TOVA	1.006	1.017	1.144	1.010	733	562	617	-----
ZARCILLA	1.553	1.812	1.841	1.838	1.141	550	1.014	-----
ZARZADILLA	1.123	1.144	732	926	700	310	586	-----
NUCLEOS	10.954 (18%)	11.046 (16%)	12.274 (17%)	12.002 (18%)	10.008 (18%)	7.937 (13%)	9.240 (14%)	-----
DISEMINADO	32.216 (53%)	34.085 (49%)	37.627 (53%)	33.863 (51%)	25.393 (42%)	28.316 (46%)	22.433 (33%)	-----
TOTAL	60.305	69.222	70.891	65.724	60.609	60.627	66.880	65.919

En términos generales y tal como se afirma ya en el citado documento, la evolución del conjunto de la población municipal en el presente siglo presenta una notable tendencia recesiva.

Un elemento muy significativo de la población de Lorca-Término Municipal, es el de su peculiar distribución geográfica con unas densidades muy desiguales y con muy diferentes tipologías de asentamiento. En este sentido, se puede señalar la existencia de un núcleo urbano de importancia como es Lorca capital, junto con otras casi doscientas entidades de población, aldeas, caseríos, etc... de distintas dimensiones que oscilan entre los 10 y los 1.650 habitantes (datos de 1.986) y una parte de población diseminada en las áreas de regadío. La evolución demográfica es también heterogénea.

Como se puede ver, el conjunto del municipio presenta una tendencia clara a la estabilización de la población, mientras que el casco urbano crece moderadamente a la vez que en el resto del Término disminuye el número de habitantes.

En términos generales, en los últimos cinco años (periodo 1.986-1.991) se observa un ligero incremento de la población en el casco urbano (con una tasa de crecimiento de 222 habitantes/año) que casi queda compensada por el decrecimiento global de la población total del Término Municipal (192 habitantes/año).

En la última década (periodo 1.980-1.991) se observa la creciente preponderancia del casco urbano frente a las demás entidades de población, pasando en este periodo de representar un 40% de la población total del Término a ser ya del 55%. Este hecho, podría interpretarse como producto de un moderado flujo de la población desde los asentamientos próximos o diseminados hacia el casco urbano (crecimiento del casco urbano en torno al uno por ciento anual).

Por otra parte y refiriéndonos únicamente a la Ciudad de Lorca, se destaca también la heterogénea distribución de la población en la misma.

En este sentido, se debe destacar la gran densidad de población que se detecta en los modernos ensanches de la ciudad, en particular la zona comprendida entre la Avenida de Juan Carlos I (a ambos lados de la misma), y singularmente y de forma creciente, en algunas áreas dispersas próximas a la carretera de Aguilas (SE de la traza del ferrocarril).

6. VULNERABILIDAD SISMICA

6.1. Concepto y limitaciones.

Los comportamientos dinámicos (respuesta) de las construcciones, líneas de vida (life lines) y edificaciones singulares de una ciudad, durante un terremoto, son difíciles de predecir; esto es debido al gran número de factores de que dependen. Estos factores se podrían dividir en externos e internos (Figura 6.1.).

Factores externos:

- Peligrosidad sísmica (movimiento del suelo).
- Influencia e impacto de los edificios próximos.

Factores internos:

- Dimensiones
- Interacción suelo-estructura
- Diseño de los elementos estructurales.
- Disposición en planta y alzado.
- Número de plantas.
- Rigidez del conjunto.

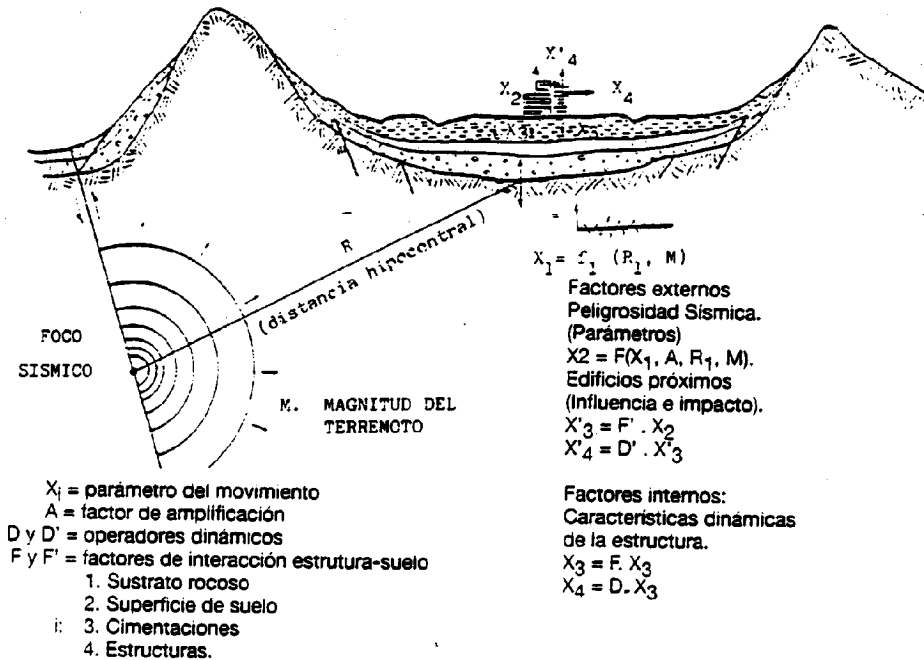


Fig. 6.1 Factores externos e internos condicionantes de la respuesta de las estructuras durante un terremoto.

Dentro de las diversas definiciones de la vulnerabilidad sísmica existentes, se tomará aquí como «respuesta, es términos de daño estructural, para cada nivel de peligrosidad sísmica en una región, ciudad, construcción o elemento constructivo».

Esta definición está inspirada y compuesta a partir de las dadas por LOPEZ ARROYO, A. y MARTIN MARTIN, A. J., en sus trabajos sobre diferentes aspectos del riesgo sísmico.

Existen varias líneas a seguir en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en función de los datos disponibles, del método de cálculo y de los objetivos que se persigan (vulnerabilidad de un elemento estructural, de una determinada estructura, ciudad, región, etc.).

En primer lugar se encuentran las que se basan en la clasificación de las construcciones según una serie de tipos estructurales, estudiándose el daño observado en cada tipo y correlacionándolo con una determinada escala de vulnerabilidad (M.S.K., M.M.I., etc.). Cada grado de la escala da la proporción del nivel de daño en cada uno de los tipos estructurales. Esta asignación es fruto de la observación y catalogación de daños en terremotos pasados.

La vulnerabilidad esperada o potencial se estimaría a partir de la correlación con la vulnerabilidad observada (daños producidos por terremotos pasados y escalas de vulnerabilidad).

Otra línea a seguir es de carácter teórico y está basada en la aplicación de modelos matemáticos o modelos numéricos (diferencias finitas, elementos finitos), que dan una estimación de los comportamientos dinámicos (respuesta) de los elementos vulnerables a las acciones sísmicas. En estos, si bien con las simplificaciones pertinentes, se ha llegado a algunos resultados para condiciones muy precisas en un tipo muy determinado de estructuras.

6.2. Escala de vulnerabilidad (MSK). Normas Sismorresistentes.

Existen varias escalas de vulnerabilidad que son utilizadas con mayor o menor éxito en distintos países, las cuales describen el daño sobre elementos vulnerables, para determinados valores del parámetro (magnitud, intensidad, aceleración, etc.) utilizado en el cálculo.

De todas ellas se podrían hacer dos grupos. Un primer grupo formado por escalas de intensidades (M.M.I., M.S.K., etc.) basadas en la experiencia y en los efectos sobre las construcciones de terremotos históricos, y un segundo grupo basadas en la instrumentalización del fenómeno sísmico (Escala de magnitudes, de intensidades espectrales, de acción espectral, etc.).

Este segundo grupo siendo de mayor precisión, tiene el inconveniente de la falta de instalaciones, dificultades de mantenimiento y poca flexibilidad en general para determinar todos los aspectos que inciden en la catástrofe.

Esto hace que por el momento, se estén utilizando mucho menos que las primeras.

Del primer grupo de escalas y de forma destacada, por el uso que se ha venido haciendo de la misma, está la escala de intensidades M.S.K. Esta escala tiene doce grados y para la clasificación de los daños tiene en cuenta el tipo de construcción, el porcentaje de daños registrados y los efectos en las personas.

A pesar del carácter subjetivo de las escalas de intensidades y de las imprecisiones cometidas por la utilización del parámetro Intensidad, por ahora, no existe otro que pueda sustituirlo ya que aunque la aceleración, velocidad o desplazamiento se midan con más precisión, en ciertos puntos de una ciudad o región, la Intensidad, como parámetro que estime el daño producido obedece no sólo a la aceleración del suelo, sino que también depende de la frecuencia de la vibración, duración, dirección, etc. Siendo por tanto la Intensidad, el resultado subjetivo y cualitativo de todos los factores que intervienen en la vulnerabilidad de una región, ciudad o estructura.

La vigente Norma Sismoresistente española, aprobada hace 18 años (P.D.S. 1-1.974) no fue sin embargo la primera; con anterioridad hubo disposiciones y normas en relación con la prevención de terremotos.

La Norma P.D.S. 1-1.974 establece como escala oficial de Intensidades sísmicas la M.S.K. y delimita el territorio nacional en 3 zonas sísmicas. Estas tres zonas son: Primera (G<VI), Segunda (VI<G<VIII) y Tercera (G>VIII). También incluye el procedimiento de cálculo para una construcción sometida a acciones sísmicas, el criterio de aplicación y las prescripciones según la ubicación, destino y características de las obras a ejecutar en cada una de ellas.

Durante los últimos años se ha venido trabajando en la revisión de la vigente Norma. En la futura Norma, se aprecia una actualización acorde con los avances que la Ingeniería Sísmica ha realizado en los últimos tiempos.

A este respecto, teniendo en cuenta la necesidad de adecuar las Normas existentes en los diferentes países de la Comunidad Europea a una normativa general básica, cabe citar aquí la versión en español del original inglés del Eurocódigo Nº 8, Parte 1, (última versión de Mayo de 1.988) publicada como borrador por el C.E.N. (Comité Europeo de Normalización) en 1.989. En este borrador, se recoge el «Proyecto de Diseño Sismoresistente de Estructuras», que por el momento, no sustituye ni es alternativa a ninguna de las normativas y reglamentos actualmente vigentes en España.

6.3 Distribución de tipos de construcción, líneas de vida y edificaciones singulares.

6.3.1. Clasificación tipológica.

Con base en los tres tipos de construcciones (A, B y C) consideradas en la Norma Sismorresistente (P.D.S. - 1, 1974) se ha realizado la zonificación del casco urbano teniendo en cuenta la distribución porcentual global en las diferentes áreas de la ciudad de las tres tipologías consideradas.

Para la delimitación de las diferentes áreas se ha realizado un intenso trabajo de campo consistente en un recorrido exhaustivo de la ciudad, complementado con la observación de la fotografía aérea de detalle (1:5000).

A partir de los datos obtenidos, se han podido delimitar una serie de zonas, a grandes rasgos homogéneas, en las que la tipología de la edificación pertenece predominantemente a uno de los tres tipos señalados.

Con la expresión «tipo de construcción predominante» para cada zona, se quiere hacer referencia, en términos de cantidad, a un porcentaje de edificios mayor del 90% de uno de los considerados en la Norma (A, B ó C), teniendo siempre presente, que en cada una de las zonas consideradas pueden ocasionalmente, aparecer edificaciones de los demás tipos pero que en ningún caso llegan a suponer un porcentaje mayoritario que justifique su segregación (edificaciones aisladas o dispersas que no constituyen núcleos cartografiables a la escala considerada).

Con esta premisa, puede afirmarse que en la ciudad de Lorca existen, en términos generales tres zonas:

Zona 1: Edificación predominantemente de tipo A.

Zona 2: Edificación predominantemente de tipo B.

Zona 3: Edificación predominantemente de tipo C.

Cabría destacar aquí que al igual que sucede en otras ciudades, la distribución «geográfica» de los distintos tipos de edificación se aproxima bastante bien a una ordenación en base a la antigüedad de cada zona de la ciudad. Esto, naturalmente obedece al cambio y renovación continuos a la que se han visto sometidos los métodos constructivos a lo largo del tiempo, cuyo reflejo se observa en los desarrollos urbanísticos sufridos por la ciudad en diferentes épocas.

La zonificación realizada, afecta únicamente a las edificaciones cuyo uso es residencial (viviendas) y en ella no se han considerado las edificaciones de tipo industrial. El no agrupar a estas construcciones junto a las primeras, se debe en primer lugar a las especiales características de construcción y uso, y en segundo lugar a la irregular distribución de las mismas, que hace muy difícil el poder agruparlas junto a las definidas para las edificaciones de tipo residencial.

6.3.2. Distribución de las diferentes zonas.

Las diferentes zonas establecidas constituyen polígonos irregulares, cuyos límites frecuentemente están constituidos por calles. La distribución geográfica de las mismas es la siguiente:

Zona 1: A grandes rasgos, esta zona la constituyen dos «subzonas» bien diferenciadas, situadas ambas al pie de relieves importantes. Por su mayor extensión areal, destaca la situada al pie del Castillo, conocida en la ciudad como zona árabe. Se sitúa, como ya se ha mencionado, en las faldas del promontorio dominado por el Castillo, en la margen derecha del Guadalentín, constituyendo en planta un polígono alargado en dirección NW-SE. Predominan en esta área las edificaciones de baja altura (entre 1 y 2 plantas) del tipo «A».

La segunda área que constituye esta zona, se sitúa en la margen izquierda del Guadalentín y su distribución en planta es algo más irregular que la anterior, producto de un crecimiento urbano «desordenado», sobre todo en zonas del borde del casco urbano situado en la zona N.

Se localiza también al pie de un relieve importante, con desarrollo aproximadamente E-W, aunque muy irregular, al N del conocido barrio de S. Cristóbal, extendiéndose actualmente algo más hacia el N, a través de Barranco Hondo, hacia la zona de La Serrata. Al igual que en la anterior, predominan en estas áreas las edificaciones de baja altura del tipo «A», existiendo también alguna edificación de tipo industrial.

Zona 2: Corresponde, en esencia, a la zona más antigua de la ciudad (casco viejo), y a una parte de los sucesivos ensanches. Los métodos constructivos en esta zona son los propios de la época, con los correspondientes avances en función de la antigüedad de la edificación. Los edificios en casi todos los casos son de tipo «B» y tienen entre 2 y 4 alturas.

Ocupa un área de distribución muy irregular, de gran extensión si se compara con la anterior, en ambas márgenes del río Guadalentín.

En la margen izquierda, esta zona básicamente se correspondería con el Barrio de S. Cristóbal y su prolongación hacia el W (incluyendo la zona del Cuartel de Infantería "Mallorca XIII") hasta el límite con el Barrio de Los Angeles que ya no pertenece a esta zona. Indentándose de forma muy irregular con esta, queda el límite de la zona 1 por el N.

En la margen derecha, la zona se correspondería con los conocidos barrios «Cristiano» y «La Judería» y su prolongación hacia el SE hasta "Casas Baratas" que ya no pertenece a esta zona. El límite aproximado lo constituye la avenida de Juan Carlos I y su prolongación hacia el S por las calles Jerónimo y Santa Fe.

Algo desconectadas de las anteriores existen dos áreas que también se incluyen en esta zona 2; una de ellas se sitúa próxima al cauce del Guadalentín a ambos lados de la avenida Juan Carlos I y la otra hacia el SE, en las proximidades del Barrio de S. Antonio.

Zona 3: Comprende una gran extensión del casco urbano (la mayor de las consideradas) y se localiza, al igual que las anteriores, en ambas márgenes del Guadalentín.

En esta zona, las edificaciones del tipo «C» son claramente predominantes, llegando a alcanzar hasta 11 alturas. En general, la estructura de la edificación es reticulada de hormigón armado y los cerramientos básicamente de ladrillo hueco.

En la margen derecha del Guadalentín, esta zona se desarrolla a partir de la Avenida de Juan Carlos I y su prolongación hacia el S, hasta aproximadamente la traza del ferrocarril. Entre ambas líneas quedaría acotada la zona, incluyendo además el área de «Casas Baratas» y «La Viña» por el S. También se incluyen en esta zona, los desarrollos (ensanches) recientes a ambos lados de la carretera comarcal 3211 (a Aguilas) como las «Casas del Banco» y las Viviendas del M.O.P.U.

En la margen izquierda del Guadalentín, esta zona se desarrolla al S del barrio de S. Cristóbal, en las áreas conocidas como «San Diego» y «X Mandamientos», así como Barrio de Los Angeles al NW.

6.3.3. Líneas de vida y edificios singulares.

Es importante destacar dos tipos de obras civiles de fundamental importancia en todos los asentamientos urbanos:

- Obras de edificaciones singulares.
- Líneas vitales (life lines).

El primer grupo corresponde a aquellas obras cuya destrucción puede o bien interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad después de ocurrido un terremoto, o bien dar lugar a efectos catastróficos. Desde este punto de vista y sin carácter limitativo se señalan en la vigente Norma P.S.S. -1-1974, aquellas obras cuyo servicio es necesario para prestar auxilio después de un terremoto o cuya destrucción puede aumentar apreciablemente los daños producidos. En el caso del casco urbano de Lorca se han representado en el mapa los siguientes:

- * Edificios sanitarios.
- * Cuarteles de policía.
- * Depósitos de agua para el abastecimiento urbano.
- * Emisoras de radio, centrales telefónicas, telégrafos, correos...
- * Subestaciones eléctricas.
- * Colegios.
- * Juzgados y Ayuntamiento.

El segundo grupo, corresponde a obras de carácter lineal, generalmente enterradas (aunque pueden no estarlo) y que son de importancia «vital» para el correcto funcionamiento de las ciudades (conducciones de gas, electricidad, agua potable, puentes y vías de acceso principales, etc.).

Los daños en las «líneas vitales» están asociados con aquellas zonas en las que las propiedades del terreno no son uniformes a lo largo de su longitud, es decir, en las áreas de transición de un tipo de suelo a otro. En el caso de Lorca se han representado en los mapas los trazados (recorridos) de las siguientes:

- Transporte y distribución de energía eléctrica.
- Red principal de abastecimiento de agua.
- Vías principales de circulación y puentes principales.

6.3.4. Aspectos urbanísticos.

6.3.4.1. Introducción.

La elaboración de este subapartado se ha basado en las memorias y documentos aportados en el Plan General de Ordenación Urbana de Lorca realizado por J.A. Torroja, Oficina Técnica S.A. Algunos de estos documentos forman parte de la «Información Previa» a la Revisión del Plan y han sido facilitados por el Excmo. Ayuntamiento de Lorca. En ellos se destaca textualmente lo siguiente:

-El desarrollo de la ciudad de Lorca está fuertemente condicionado por el medio físico: las estribaciones de las Sierras de la Tercia y Torrecilla por un lado y las zonas inundables del Guadalentín por otro, que establecen un primer cauce al crecimiento.

-A estas barreras de tipo físico-natural se suman otros condicionantes infraestructurales: la carretera nacional, N-340 y el trazado ferroviario, sensiblemente paralelos y que determinan las directrices del desarrollo urbano.

-El resultado final se ha traducido hasta ahora en un esquema lineal, fuertemente tensionado en la dirección SW-NE con sólo dos vías de escape: una en dirección a Aguilas (Sutullena), cuya fuerza ha hecho rebasar la barrera ferroviaria, y otra en la dirección de la carretera hacia Caravaca que discurre por el llano de La serrata.

-Pero de estas cuatro direcciones de desarrollo, dos han sido ocupadas por usos industriales, la primera de ellas de carácter más bien espontáneo (Llano de Serrata y salida hacia Almería), lo que supone evidentemente una limitación a la implantación de usos residenciales.

Así, de hecho, el crecimiento de Lorca Capital queda confinado de momento por el N (Llano de Serrata) y SW (Torrecilla) al existir estos asentamientos industriales, en virtud del objetivo básico de incompatibilizar los usos residencial e industrial. Por otra parte, la progresión en la dirección de Murcia tiene la ya apuntada limitación orográfica. Queda, por tanto, como único área de expansión la que se extiende hacia la margen W de la carretera de Aguilas (Sutullena) limitada por el ferrocarril y la Rambla de Tiata, parcialmente consolidada a lo largo de este eje viario.

6.3.4.2. Infraestructura.

-Red viaria.

La red de comunicaciones está constituida básicamente por las carreteras y el ferrocarril, siendo las primeras las que dan acceso al resto de los medios de transporte potencialmente utilizables: aeropuerto de S. Javier y puertos de Cartagena y Aguilas, todos exteriores al municipio.

La red de carreteras constituye, sin duda, la base del sistema de comunicación y transporte de la zona, tanto dentro de ella como en las comarcas próximas.

Los flujos que atraviesan el territorio objeto de estudio son dos y se canalizan a través de la carretera N-340, fundamentalmente el tráfico entre Murcia y Alicante con Granada y Almería, y a través de la C-3211, entre Caravaca, N de la provincia de Murcia y Albacete con Aguilas.

La estructura de la trama viaria a efectos del tráfico interno del municipio es radial, lo cual influye en el desarrollo de las pedanías, algunas de las cuales se comunican a través de otros municipios. También la costa carece de comunicación directa con la ciudad de Lorca, realizándose ésta a través del término de Aguilas, lo que aumenta la distancia de manera importante.

El tráfico interno y de tránsito confluye sobre la ciudad de Lorca, dotada de una infraestructura viaria inadecuada y necesitada de remodelación y ordenación, lo que origina demoras importantes en el tráfico y trastornos graves en la vida urbana.

El porcentaje de vehículos pesados es muy elevado lo cual agrava el problema.

Dada la extensión del Término Municipal, la red secundaria constituida por casi 2.000 Km. de caminos es básica para la comunicación de todo el Término, siendo necesario mejorar la red principal mediante el aumento de sección, constitución de arcenes y señalización horizontal, etc.

La red urbana, además de las actuaciones ya enumeradas al hablar de la red viaria principal, está necesitada de mejoras, pavimentación y encintado, tanto en la capital como en los núcleos de población.

-La infraestructura ferroviaria.

La infraestructura ferroviaria es vieja y precisa renovarse, pero no está explotada en toda su potencialidad y su grado de utilización es bajo. Aunque el trazado ferroviario que discurre por el flanco suroccidental del núcleo haya condicionado el desarrollo lineal del crecimiento de la ciudad, no puede decirse que haya supuesto la creación de problemas de discontinuidad en la trama viaria de forma tan crítica como en otras ciudades españolas, en las que la barrera impuesta por esta infraestructura ha sido desbordada originándose cortes disfuncionales serios.

Efectivamente, el borde del ferrocarril supone una ruptura estructural del tejido urbano, pero el planteamiento extensivo de las Alamedas frente al intensivo del casco no generan tráficos de envergadura a uno y otro lado.

-Abastecimiento de agua potable.

En cuanto a los depósitos de regulación y abastecimiento de agua, en la ciudad de Lorca existen tres que son:

- * El situado en la zona árabe, en las faldas del Cerro del Castillo.
- * El del Barrio de S. Cristóbal.
- * El del Barrio de los Angeles.

En las proximidades de este último está ubicada la estación potabilizadora.

Todos ellos están unidos mediante un sistema de conducciones forzadas que constituyen la red principal de abastecimiento.

Los colectores de mayor envergadura discurren por las avenidas principales del casco urbano; de ellas parten redes secundarias que alcanzan todo el suelo urbano consolidado.

-Distribución y suministro de energía eléctrica.

En el mapa aparecen representadas las líneas de alta tensión de transporte y distribución de energía eléctrica, así como el emplazamiento de la subestación eléctrica, localizada al S del casco urbano, en el Barrio de S. Antonio.

Las líneas de transporte (de 66 Kv) acceden a dicha subestación circunvalando el casco urbano por el N y W siguiendo una traza curva aproximadamente N-S.

Desde la subestación parten las principales líneas de reparto que se ramifican a través de las avenidas principales del casco urbano accediendo a los centros de transformación que también se han situado en el mapa.

6.4 Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca (E: 1/5.000). Metodología.

Para la elaboración del *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca*, se ha recurrido a una técnica, que en su forma más sencilla se utilizó ya en estudios pioneros de planificación del medio físico. De forma algo más complicada, esta técnica se ha utilizado también en el *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Alcoy* (I.T.G.E., 1.990.).

Dicha técnica (TYRWHITT, J., 1.950), se conoce como «Técnica de Integración por superposición de Información Temática». El proceso típico que se sigue es muy simple: se parte de los mapas temáticos básicos en los que aparecen los distintos tipos o clases de cada elemento; la superposición de éstos mapas, permite delimitar zonas o unidades homogéneas en las que se da una misma combinación de los distintos elementos.

Esta técnica, presenta algunos inconvenientes entre los cuales, el que mayor incidencia tiene es que para obtener resultados que puedan interpretarse sin grandes dificultades, el número de elementos que se relacionan entre sí ha de ser limitado. Por otra parte, para la elección de los elementos que van a superponerse han de realizarse necesariamente una serie de hipótesis. En este caso, se considera como hipótesis de partida que los factores locales, van a influir de forma muy notable en los fenómenos de amplificación de las ondas sísmicas y por consiguiente, la distribución espacial de los daños que se deriven de un terremoto de determinada intensidad, será función fundamentalmente de la forma en que estos factores locales se conjugan entre sí y de su propia distribución espacial. Partiendo de esta premisa, se procede a la evaluación y cuantificación relativa de los distintos factores locales que mayor peso puedan tener en los fenómenos de amplificación sísmica llegando a la conclusión de que los principales factores que intervienen son dos: condiciones del subsuelo y topografía.

Con esta hipótesis, se procede a elaborar un primer mapa de peligrosidad de la ciudad, teniendo en cuenta, además, que existen otros factores que sin intervenir directamente en la amplificación de los trenes de ondas sísmicas, sí contribuyen de forma importante a incrementar la peligrosidad de una determinada zona. Dichos factores, que también se reflejan en este mapa, no son otros que los posibles fenómenos inducidos por el terremoto: desprendimientos, licuefacción de arenas saturadas, colapso de cavidades y roturas de la superficie del terreno por falla, etc., de los que la Ciudad de Lorca cuenta, en algún caso, con abundantes antecedentes.

En la elaboración de este mapa de peligrosidad, se han considerado los diferentes tipos de suelo que se han distinguido en la ciudad a partir de datos muy diversos (geología de superficie, sondeos, calcatas, prospecciones sísmica y eléctrica,....) y se les ha asignado a cada tipo un valor de 1 a 4 (mejor y peor respectivamente) según su «aptitud geotécnica» que se tomará aquí como un concepto que hace referencia a propiedades tan diversas como: consistencia y compacidad del suelo, cargas admisibles, restricciones geológicas a la construcción, etc.

Por otra parte, se ha elaborado un método basado en un criterio puramente geométrico, para evaluar la amplificación relativa que se produce en función de la situación topográfica de cada zona dentro de la ciudad. La aplicación de este método, que se describe en el capítulo 4, ha permitido establecer 3 zonas de peligrosidad creciente de 0 a 2.

La superposición de los factores :suelo,topografía y fenómenos inducidos, da lugar a la aparición de 12 zonas (microzonas)

Tan elevado número de zonas es intratable a la hora de establecer su peligrosidad sísmica potencial. Por ello se ha procedido a simplificar su número y dado que no es factible actualmente ponderar cuál de los factores considerados tiene mayor peso en cada una de las zonas, se ha procedido, con criterio más bien conservador, a asignarles a todos el mismo. De esta forma se han obtenido 4 zonas de peligrosidad sísmica para la ciudad,basando el criterio de división de las mismas, en la amplificación que se producirá en cada una de ellas debido a la influencia de los factores locales considerados: suelo, topografía y posibles fenómenos inducidos.

Una vez establecidas las zonas de peligrosidad sísmica, se superpone al mapa de peligrosidad, el mapa en el que se han representado los elementos vulnerables de la ciudad, es decir, el mapa de distribución de los diferentes tipos de edificación, líneas vitales y edificios singulares.

La superposición de ambos mapas da como resultado la aparición de 12 zonas distintas de vulnerabilidad sísmica potencial. Estas 12 zonas se han agrupado finalmente en 3 grupos:

-Zona de vulnerabilidad alta-muy alta.

-Zona de vulnerabilidad media.

-Zona de vulnerabilidad baja-muy baja.

que son las que aparecen en el mapa.

Una vez que se dispone del Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Lorca (superposición y síntesis de los dos mapas anteriormente elaborados), se asigna a cada zona de las expresadas en el punto anterior un valor del parámetro I (Intensidad M.S.K.).

Esto se hace en base a lo que se ha denominado «Hipótesis de Vulnerabilidad» que consiste en dar , a aquellas zonas en donde se tienen localizados puntos de daños producidos por terremotos destructivos (1.674), el valor de I (M.S.K.) asignado para ese terremoto; en el caso de Lorca se considera que el máximo terremoto histórico fué de I=IX.

El valor de I máximo se asigna en este caso, a las zonas de peligrosidad alta-muy alta. El valor de I=VIII a las zonas de peligrosidad media-baja y finalmente el valor de I=VII a aquellas zonas de peligrosidad muy baja.

Si bien esta asignación no es rigurosa, ya que no existen actualmente criterios que nos permitan saber en qué valor se incrementaría la intensidad, al pasar de una zona de peligrosidad a otra de un grado superior, en la escala relativa con que hemos trabajado. Se ha aplicado esta hipótesis de carácter arbitrario, por considerarla útil para los fines perseguidos en este estudio, donde pensamos que la precisión a la que se llega es suficiente. Con ello se consigue una estimación cualitativa razonable de la vulnerabilidad, con arreglo a lo establecido en la escala M.S.K. para cada zona.

7. ESTIMACION DE LOS DAÑOS QUE UN TERREMOTO CATASTROFICO PRODUCIRIA EN EL CASCO URBANO DE LORCA

El objetivo final de un estudio sobre riesgo sísmico, al igual que para otro tipo de riesgos, sería el evaluar las consecuencias económicas que dicho fenómeno conlleva, si se produce en un área determinada (edificio,barrio, municipio,comarca, etc.); suponiendo que se hayan tomado o no medidas tendentes a mitigar sus efectos (estudios de coste-beneficio). Este tipo de estudios es difícil de realizar por lo problemático que resulta, en las distintas fases del mismo; por un lado, disponer de la totalidad (grado de completitud) de los datos involucrados, así como de la calidad de los mismos (grado de incertidumbre), por otro lado la validez del tratamiento (estadístico, emírico,analógico, etc.) que de estos datos se haga así como de las hipótesis utilizadas.

En España se ha realizado hasta la fecha únicamente un estudio de este tipo a escala municipal (Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de la ciudad de Alcoy, I.T.G.E., 1.990). A las escalas provincial y regional, se han hecho estimaciones de daños humanos y materiales con vistas a su aplicación a Protección Civil. Se realizó en primer lugar el «Plan de actuación para caso de catástrofe sísmica: Aplicación a la Provincia de Cordoba» (I.G.N. Dirección General de Protección Civil, Sevilla, 1.985) y posteriormente con igual filosofía se realizó el trabajo: «Estimación, para su aplicación en Protección Civil, de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría en Andalucía » (Sevilla, I.G.N. Delegación Regional, 1.986). A escala nacional, se debe citar el estudio realizado por el I.T.G.E. en 1.987 « Impacto socio-económico de los riesgos geológicos en España», donde está incluida una evaluación de pérdidas económicas por terremotos, en el caso de aplicación o no de medidas mitigadoras.

A continuación, y con el objetivo de dar un orden de valor aproximado de los efectos, en términos de daños a las personas y a las construcciones, en el caso de que ocurriera un terremoto destructivo en Lorca casco-urbano, se realiza la siguiente estimación.

El método utilizado parte de :

- * Datos estadísticos sobre edificación de Lorca.
- * Mapa de Vulnerabilidad Sísmica Potencial de la Ciudad de Lorca.
- * Estimación de los porcentajes en cada zona de la ciudad de los tipos de construcción A,B y C en el mapa anterior.
- * Estimación del número de habitantes en cada zona cartografiada en base al número de habitantes por secciones y agrupándolos posteriormente por barrios.
- * Escala de vulnerabilidad M.S.K. (5 niveles de daño).

La estimación se hace para un terremoto destructivo. En el caso de Lorca, el terremoto de referencia sería de grado IX (M.S.K.) máximo valor de la Intensidad sentida en Lorca (1.674).

También se considerarán los posibles daños en las zonas de menor intensidad esperada (VIII y VII).

Los condicionantes y limitaciones del método son :

- * Valores de daños con amplias variaciones; en función de hipótesis y condiciones no consideradas en el estudio.
- * Se han evaluado únicamente los «daños directos», prescindiendo de otros fenómenos derivados.
- * Sólomente se consideran los daños sobre las construcciones para vivienda, prescindiendo de los que se produzcan sobre otros edificios como hospitales, colegios, etc., que lógicamente tendrían un efecto multiplicador.
- * Los tipos de edificación son los recogidos en la definición de la escala M.S.K.
- * No se incluyen en la estimación del daño construcciones de difícil catalogación dentro de los tipos de edificaciones cartografiados; es el caso de las fábricas, de viviendas aisladas en zonas de borde del casco urbano y de los polígonos industriales.
- * No se ha considerado la influencia que en los valores de daño tienen algunos factores como son : la hora del terremoto, el uso de los edificios y la eficacia de las medidas de rescate.
- * Las construcciones se consideran no proyectadas para resistir acciones sísmicas.
- * Tampoco se tiene en cuenta la disposición de conjunto de las construcciones: disposición en planta, en altura, número de plantas, ancho de juntas entre edificios etc.

La razón de utilizar este método de estimación de carácter tan simplificado, se debe a la imposibilidad actual de realizar una clasificación de las estructuras en función de la respuesta a un terremoto destructivo ya que se desconoce cual sería exactamente el comportamiento de las mismas.

Por las razones anteriormente expuestas, se puede considerar que los resultados que se han obtenido en la estimación realizada constituyen únicamente un «límite inferior» que podría fácilmente ser rebasado en el caso de que se produjera un evento sísmico de la intensidad señalada.

La evaluación de los daños se ha llevado a cabo de la siguiente forma:

-Estimación del número de edificios en cada una de las tres zonas.

De los 4.600 edificios en el casco urbano de Lorca, se supondrá que 4.000 son los comprendidos en el área de estudio a escala 1:5.000. De estos, no se tendrá en cuenta el 10% que corresponde aproximadamente a las edificaciones de uso no residencial.

Quedan entonces 3.600 edificios, de los cuales se quita un 2%, relativo a aquellos edificios aislados no considerados en la zonificación, obteniendo finalmente un total de 3.528 edificios.

Este será el número total de edificios (N), que suman las tres zonas (zona VII, zona VIII y zona IX).

Se ha estimado a partir de un cálculo planimétrico (fotografía aérea 1:5.000 y topográfico 1:5.000) el porcentaje de edificios en cada zona; esto permite calcular el número de edificios en cada una de ellas:

$$N = N_{VII} + N_{VIII} + N_{IX}$$

<u>Porcentaje</u>	<u>Nº de edificios por zona</u>
$N_{VII} = 65\%$	$N_{VII} = 2.293$
$N_{VIII} = 22\%$	$N_{VIII} = 776$
$N_{IX} = 13\%$	$N_{IX} = 459$

Del mismo cálculo planimétrico y de la información de la distribución de los tipos de construcciones en el casco urbano, se han estimado los porcentajes de construcciones de tipo A, B y C en cada zona (Tabla 7.1) y de aquí el número de edificios de cada tipo constructivo (A, B y C) en cada una de ellas.

Tabla 7.1

<u>TIPO</u>	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>
<u>ZONA</u>			
VII	-	20%	80%
VIII	20%	65%	15%
IX	82%	8%	-

A partir de estos datos se construye:

$$N_{VII} = N_{VII}A + N_{VII}B + N_{VII}C$$

$$N_{VII}A = -$$

$$N_{VII}B = 458$$

$$N_{VII}C = 1.835$$

$$N_{VII} = N_{VIII}A + N_{VIII}B + N_{VIII}C$$

$$N_{IX} = N_{IX}A + N_{IX}B + N_{IX}C$$

$$N_{VIII}A = 155$$

$$N_{VIII}B = 504$$

$$N_{VIII}C = 117$$

$$N_{IX}A = 376$$

$$N_{IX}B = 83$$

$$N_{IX}C = -$$

Una vez conocidos estos valores y aplicando lo que establece la escala M.S.K. (véase Tabla 7.2) se puede calcular el número de edificios de tipos A, B ó C que en cada zona resultarán con un nivel determinado de daño.

TABLA 7.2
PORCENTAJES DE DAÑO A LOS DIFERENTES TIPOS DE VIVIENDAS
SEGUN LA ESCALA M.S.K.

Clase	TIPO	INTENSIDAD VII			INTENSIDAD VIII			INTENSIDAD IX		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	Ligeros	-	-	5	-	-	-	-	-	-
2	Moderados	-	50	-	-	-	50	-	-	-
3	Graves	50	5	-	-	50	5	-	-	50
4	Destruccion	5	-	-	50	5	-	-	50	5
5	Colapso	-	-	-	5	-	-	50	5	-

Considerando ahora D= zona tipo/nivel de daño; se obtienen para Lorca los siguientes valores:

DA3 _{VII}	=	0,5	x	-	=	-
DA4 _{VII}	=	0,005	x	-	=	-
DB2 _{VII}	=	0,5	x	458	=	229
DB3 _{VII}	=	0,05	x	458	=	23
DC2 _{VIII}	=	0,5	x	117	=	58
DC3 _{VIII}	=	0,05	x	117	=	6

DB3 _{VIII}	=	0,5	x	504	=	252
DB4 _{VIII}	=	0,05	x	504	=	25
DA4 _{VIII}	=	0,5	x	155	=	7
DA5 _{IX}	=	0,5	x	376	=	188
DB4 _{IX}	=	0,5	x	83	=	41
DB5 _{IX}	=	0,05	x	83	=	4
DC3 _{IX}	=	0,5	x	-	=	-
DC4 _{IX}	=	0,005	x	-	=	-

Si se consideran ahora dos niveles de daño resultantes, obtenidos a partir de los cinco establecidos en la escala M.S.K. se pueden agrupar los datos de la siguiente manera:

$$D^* = \text{N}^\circ \text{ de edificios dañados} = DB2_{VII} + DC2_{VII} + DA3_{VII} + DB3_{VII} + DB3_{VIII} + DC3_{VIII} + DC3_{IX}$$

$$D^{**} = \text{N}^\circ \text{ de edificios destruidos} = DA4_{VII} + DA4_{VIII} + DA5_{VIII} + DB4_{VIII} + DB4_{IX} + DA5_{IX} + DB5_{IX} + DC3_{IX}$$

De lo cual resulta:

$$D^* = 545 \text{ edificios (15,4 \% de N).}$$

$$D^{**} = 342 \text{ edificios (9,7\% de N).}$$

Considerando en el cálculo las edificaciones destruidas y dañadas como grupos excluyentes.

Para la estimación del número de muertos y heridos, se han aplicado las mismas fórmulas de cálculo del trabajo realizado por el I.G.N. para Andalucía (1.986) aportando como datos de población los del Padrón Municipal de Lorca de fecha 1 de Marzo de 1991 que agrupados por secciones y barrios aparece en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3

CASCO URBANO DE LORCA

POBLACION DE HECHO.

<u>SECCION</u>	<u>Nº HABITANTES</u>	<u>BARRIO</u>
I	1.487	Parroquias Altas
I	1.549	
II	1.714	
	<hr/>	
	3.263	Santiago
IV	1.208	
V	1.914	
VI	942	
VII	907	
X	1.342	
XI	1.530	
XX	1.182	
XXI	2.308	
	<hr/>	
	11.333	San Mateo
X	1.971	
XII	2.656	
	<hr/>	
	4.627	San José
XIII	2.941	La Viña
XIV	1.523	
XV	3.503	
XVI	885	
XVII	1.069	
XVIII	1.100	
	<hr/>	
	8.080	San Cristobal
XIX	2.128	Los Angeles
VIII	1.623	
XXI	1.801	
	<hr/>	
	3.424	Sutullena

A partir de estos datos, se estima la población en las zonas de intensidades esperadas IX y VIII, teniendo en cuenta la heterogeneidad que existe en la distribución geográfica de la misma dentro del casco urbano. Las fórmulas que se adoptan para el cálculo son:

$$\text{N}^\circ \text{ de muertos} = 0,007 \times P_{IX} + 0,00005 \times P_{VIII}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de heridos} = 0,003 \times P_{IX} + 0,01 \times P_{VIII}$$

Siendo P_i = población en la zona de intensidad i (IX, VIII).

En la siguiente Tabla se recoge la estimación de número de habitantes en cada zona considerada para el casco urbano de Lorca.

Tabla 7.4
ESTIMACION DE POBLACION EN ZONAS IX Y VIII

PARROQUIAS ALTAS		POBLACION: 1.487 hab.
10%	Zona VIII	148
90%	Zona IX	1.339
BARRIO DE SANTIAGO		POBLACION : 3.263 hab.
30%	Zona VIII	979
70%	Zona IX	2.284
BARRIO DE SAN MATEO		POBLACION : 11.333 hab.
15%	Zona VIII	1.700
-	Zona IX	-
BARRIO DE SAN JOSE		POBLACION : 4.627 hab.
30%	Zona VIII	1.388
-	Zona IX	-
BARRIO DE LA VIÑA		POBLACION :2.941 hab.
50%	Zona VIII	1.470
10%	Zona IX	294
BARRIO DE SAN CRISTOBAL		POBLACION : 8.080 hab.
40%	Zona VIII	3232
30%	Zona IX	2424
BARRIO DE LOS ANGELES		POBLACION : 2.128 hab.
20%	Zona VIII	425
-	Zona IX	-
BARRIO DE SUTULLENA		POBLACION : 3.424 hab.
30%	Zona VIII	1027
5%	Zona IX	171

Población total afectada:

En Zona VIII	10.369
En Zona IX	6.512

Con los datos de la Tabla 7.4 y aplicando las fórmulas ya reseñadas se obtienen para el casco urbano de Lorca:

Nº de muertos = 46	0,126% de la población total.
Nº de heridos = 123	0,338% de la población total.

En la estimación realizada deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

Los daños a la población se han considerado únicamente en las zonas IX y VIII que son zonas donde para las intensidades que se les asigna, está contrastado el daño a la población.

Los coeficientes de las fórmulas de cálculo, son congruentes con los datos registrados en terremotos ocurridos (fórmulas empíricas).

La densidad de población se ha considerado constante en cada zona, habiéndose tenido en cuenta, el área ocupada por zonas industriales (de mucha menor población como media anual), así como las áreas ocupadas por edificaciones u otras infraestructuras no dedicadas a viviendas (calzadas, descampados, plazas, áreas comerciales, etc).

Los valores de daño obtenidos para la población son sólo indicativos en base a las simplificaciones adoptadas.

Una estimación más precisa que la que aquí se ha realizado pasará por el conocimiento detallado o por la incorporación de factores muy importantes en la evaluación del daño, tanto a las edificaciones como a las personas. Entre estos factores se pueden citar los siguientes:

- * Perfeccionamiento de los datos básicos (Peligrosidad, Vulnerabilidad, etc).
- * Incorporación de análisis de las variaciones estacional y horaria del daño.
- * Daños previsibles en puntos singulares (Hospitales, Escuelas, «life lines», etc.)
- * Incorporación del componente del daño debido a factores indirectos y riesgos inducidos.
- * Estudios en Ordenación Urbana y Constructiva que consideren el Riesgo Sísmico evaluando su influencia en la disminución del daño ocasionado.

8. CONCLUSIONES

A la vista de lo expuesto en capítulos anteriores, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1) De los numerosos antecedentes sísmicos de la ciudad de Lorca (1.579-1.991) se tiene la certeza histórica de daños muy importantes en el terremoto de 1.674, que tuvo carácter altamente destructivo. Se conocen también daños del terremoto de 1.818 y del de 1.981 (ya en época instrumental).

2) El estudio sismotectónico y neotectónico de la región en la que se encuadra el Término Municipal de Lorca, revela como todo el área queda enclavada en una zona de sismicidad activa en el marco de la Península Ibérica (Área Ibero-Mogrebí).

3) La actividad sísmica en la zona se relaciona fundamentalmente con un importante número de fallas activas que muestran actividad en la época neotectónica (principalmente la falla de Alhama de Murcia).

4) Los estudios de macrozonación sísmica de diversos autores, a escala nacional, no son concluyentes en el valor obtenido para el nivel básico del parámetro de Peligrosidad Sísmica para la ciudad de Lorca (cuadro 4.1). Tampoco lo son en cuanto al valor que se otorgue a estos parámetros en escala de Término Municipal.

5) La evolución de la Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica del Término Municipal de Lorca se ha realizado tomando como modelo la zonificación realizada por PERKINS, J. B., et al. (1.987) en la Bahía de San Francisco. Se han tenido en cuenta como principales factores de amplificación el tipo de materiales (roca dura, roca blanda, suelo) y su posición topográfico-geomorfológica (altitud, pendientes, etc.).

6) Para evaluar la Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica del casco urbano de Lorca se han tenido en cuenta los numerosos factores que la integran, si bien se ha puesto de manifiesto que los principales factores a considerar son: aptitud geotécnica del subsuelo, topografía y posibles fenómenos inducidos (desprendimientos, rotura de la superficie del terreno por falla, etc.).

7) El resultado de la prospección sísmica de refracción, se ha dado como una zonación del terreno en rangos de velocidad de ondas de compresión, relativos al coeficiente de cimentación que marcará la futura Norma Sismorresistente. Todas las zonas medidas excepto RIO GUADALENTÍN, MUSEO ARQUEOLÓGICO y SAN DIEGO, pueden calificarse como Terreno de Tipo III en el rango de profundidades estudiado, que es de 15 m. como mínimo. Las tres zonas mencionadas en el párrafo precedente muestran la presencia de terreno de Tipo III en sus niveles más superficiales y del Tipo II por debajo de 8 a 10 m. de profundidad aproximadamente.

8) Actualmente los niveles freáticos más cercanos a la superficie del Acuífero detrítico del Guadalentín, están de 50 a 80 metros de profundidad (información obtenida de la Red de Control Piezométrico del Alto Guadalentín), por lo que no suponen un factor a tener en

cuenta en la amplificación de la respuesta sísmica del suelo en el emplazamiento del casco Urbano de Lorca.

9) Algunas zonas de suelo, en especial los tramos arenosos con arcillas y limos, que pueden presentar cierta capacidad de saturación transitoria, tras la infiltración que se produce por fuertes lluvias (pluviometría media en Lorca: 250 mm/año), podrían en caso de coincidencia con un terremoto, hacer que la respuesta del suelo en esas zonas sea peor, al verse disminuida por efecto del agua la resistencia del suelo.

10) Se han cartografiado por previsión aquellas trazas de fallas superficiales del accidente tectónico activo de Alhama de Murcia, siendo un elemento importante y directo de las acciones locales de un terremoto que provenga de esta fuente cercana que es el accidente mencionado. La dificultad de trabajar en el área ocupada por el casco urbano, así como la falta de evidencias en el mismo sobre algunos rasgos tectónicos que sirvan para interpolar más detalladamente las dos ramas del accidente NNE-SSO bien reconocidas, hace que no se puedan realizar estimaciones más precisas sobre el movimiento (dirección, buzamiento, etc.) y forma de la ruptura (anchura, salto de falla, etc.) a escala urbana, que los ya conocidos a nivel general para este segmento del accidente.

11) La razón de aplicar la hipótesis de Vulnerabilidad, basada en los daños (importancia y situación de los mismos) del terremoto de 1.674 y de la escala M.S.K., es por haberla considerado útil para los objetivos perseguidos en este trabajo, aún no siendo demasiado riguroso el planteamiento de la misma.

12) Se ha realizado una evaluación, con muchas simplificaciones, de los daños en las personas y en los edificios, que se produciría en Lorca en el caso de que ocurriera un terremoto catastrófico ($I \geq VIII-IX$), obteniéndose los siguientes valores:

Número de edificios dañados y destruidos en porcentaje respecto del total de edificios en Lorca-casco urbano:

Nº de edificios dañados $\approx 15.4 \%$
Nº de edificios destruidos $\approx 9.7 \%$

Número de muertos y heridos en porcentaje respecto del total de habitantes de hecho en Lorca-casco urbano:

Nº de muertos $\approx 0.126\%$
Nº de heridos $\approx 0.338\%$

Estos valores deben tomarse como indicativos según las simplificaciones adoptadas (véase Cap. 7).

9. RECOMENDACIONES

Tal como se desprende de los capítulos anteriores y se ha recogido en las conclusiones finales, *la Ciudad de Lorca está enclavada en una región del territorio peninsular considerada como sísmicamente activa*. Los antecedentes históricos de terremotos destructivos en la misma y la constatación de la existencia de una vulnerabilidad diferencial en su casco urbano según las distintas zonas que aparecen reflejadas en el *Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad Sísmica*, hacen aconsejable la toma de una serie de medidas que, dadas las características del fenómeno tratado, serán *medidas de prevención o de planificación previa*; o bien medidas a adoptar con posterioridad a la ocurrencia del terremoto ya que, hoy por hoy, existen grandes lagunas todavía no aclaradas en los estudios de predicción de terremotos.

En cualquier caso el objetivo último de cualquiera que sean las medidas que se adopten será el de *minimizar los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría en la ciudad, evitando la pérdida de vidas humanas y reduciendo en lo posible, las pérdidas económicas que puedan ocasionarse*.

En este capítulo se plantearán una serie de recomendaciones que, en esencia, se agrupan en dos tipos principales: A) *MEDIDAS DE PREVENCIÓN*; con A.1. *Recomendaciones sobre tipología de las construcciones* y A.2. *Medidas de Ordenación en el ámbito urbano*. B) *RECOMENDACIONES PARA SU APLICACION EN PROTECCION CIVIL*.

Las medidas del primer grupo (A) se encaminan hacia la adopción de estrategias y políticas de reducción de daños y su ámbito de aplicación sería antes de producida la catástrofe (durante la fase de normalidad). El segundo grupo (B) tiene su justificación en la adopción razonada de medidas de Protección Civil. Su ámbito de aplicación sería después de sucedida la catástrofe y los criterios que aquí se expondrán tendrán posteriormente su reflejo en la elaboración de los Planes de Actuación (gestión de socorros, rehabilitación de servicios, etc).

A) MEDIDAS DE PREVENCIÓN.

A.1. MEDIDAS A ADOPTAR ACERCA DE LA TIPOLOGIA DE LAS CONSTRUCCIONES.

Sin entrar en consideraciones de carácter estructuralista ni en aspectos de detalle del diseño sismorresistente de las edificaciones, se describen a continuación las medidas que deberán, a nuestro juicio, observarse con carácter general, en la configuración de la edificación, en aquellas zonas del casco urbano de vulnerabilidad media-alta y en aquellas otras que si bien actualmente no presentan vulnerabilidad debido a la inexistencia de elementos vulnerables en ellas (edificios, vías de comunicación, etc) si demuestran tener una peligrosidad sísmica alta y en el futuro (cuando se aborden nuevos planes de expansión de la ciudad) si se podrían configurar como zonas altamente vulnerables. En previsión de esto, en la cartografía (Escala 1: 5.000), se han señalado las distintas zonas de Peligrosidad.

Con carácter general y con especial énfasis en las zonas de vulnerabilidad media alta, se recomienda que se observen las siguientes condiciones, teniendo siempre presente que no existe una forma estructural ideal concebida para resistir adecuadamente las solicitaciones sísmicas (SAUTER, F., 1989).

- **Simetría y regularidad de la forma geométrica:** la experiencia ha demostrado que edificaciones de *forma geométrica simple, regular y simétrica* se comportan mejor durante sismos destructivos y tienen más probabilidad de sobrevivir con daños menores que aquellas con formas arquitectónicas caprichosas e irregulares.

La simetría en planta es deseable y debe existir en los dos ejes ortogonales (figura 9.1).

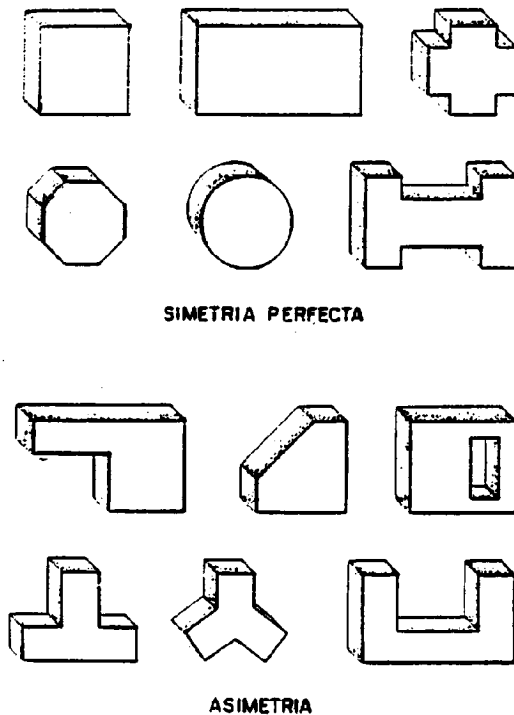


Figura 9.1. Configuraciones deseables ante un evento sísmico. (Tomado de Sauter.F., 1.989).

Es también importante a efectos de comportamiento sísmico que se mantenga una configuración regular del edificio en elevación. La condición ideal de configuración geométrica se da para planta simétrica y elevación regular tal como aparece en la figura 9.2.

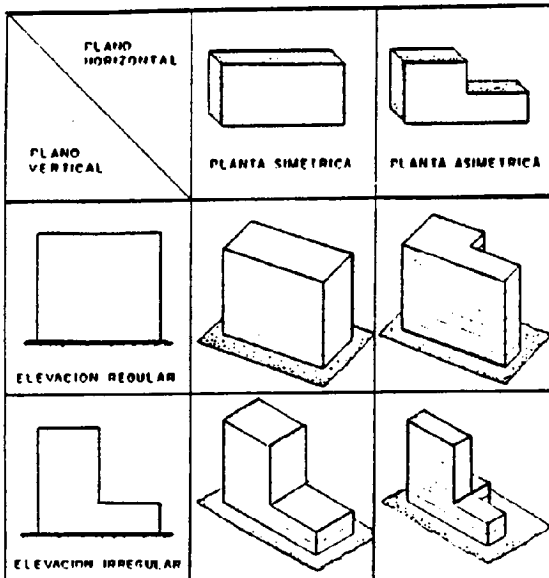


Figura 9.2 Relaciones deseables de simetría y elevación. (Tomado de Sauter, F., 1.989).

De forma general se puede decir que, a mayor irregularidad geométrica en la construcción, peor es su comportamiento frente a solicitaciones sísmicas. Es un hecho, sin embargo, que se produzcan habitualmente problemas en el diseño de la configuración geométrica de las edificaciones, generalmente debido a las formas no regulares, en planta, impuestas por la geometría de los solares urbanos.

En estos casos se recomienda transformar una planta irregular y asimétrica en dos o más formas regulares mediante juntas de separación (Figura 9.3).

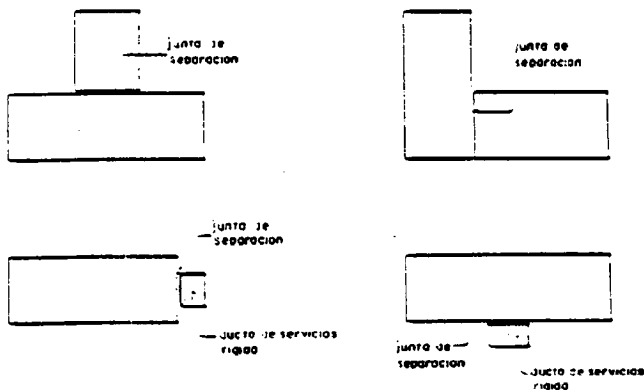


Figura 9.3. (Tomado de Sauter, F., 1989).

Las juntas de separación deberán disponerse con holgura suficiente como para permitir los desplazamientos relativos entre edificios adyacentes o entre cuerpos de un mismo edificio, evitando el choque o impacto entre secciones adyacentes (Figura 9.4); en edificios de más de 8-10 pisos esta solución no es práctica por la magnitud de los desplazamientos que pueden ocurrir en un sismo mayor y por presentar problemas constructivos.

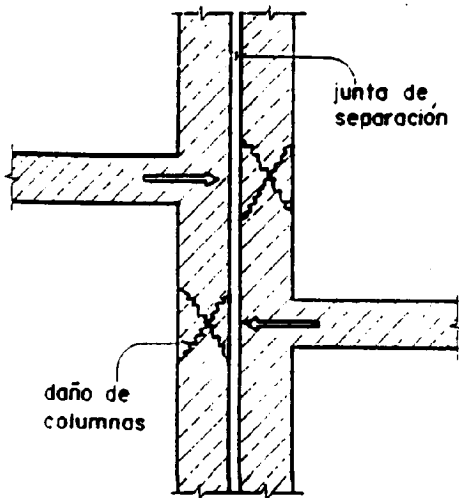


Figura 9.4. Impacto entre edificios adyacentes con entresijos a distinto nivel.

- **Regularidad en la distribución de rigideces y masas:** si un edificio simétrico geoméricamente no lo es *en cuanto a su rigidez* puede presentar *problemas de torsión* debido a la disposición irregular de los elementos resistentes.

Se recomienda que los edificios sean regulares en cuanto a la disposición de los elementos estructurales, no sólo en planta sino también en elevación. Condiciones que afectan adversamente el comportamiento sísmico de los edificios debido a cambios bruscos en su rigidez estructural y que por tanto no deberán utilizarse, aparecen en la figura 9.5.

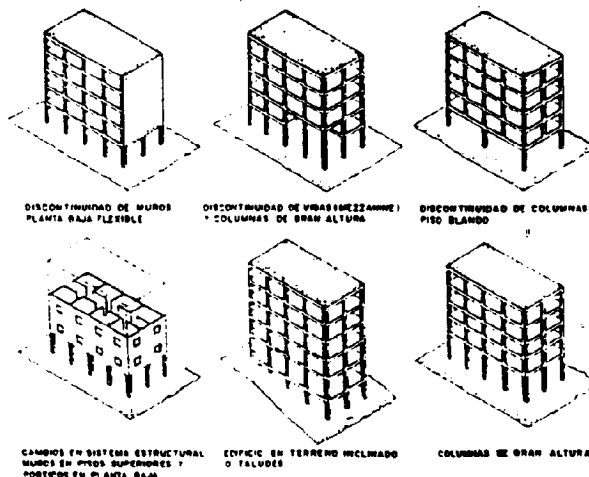
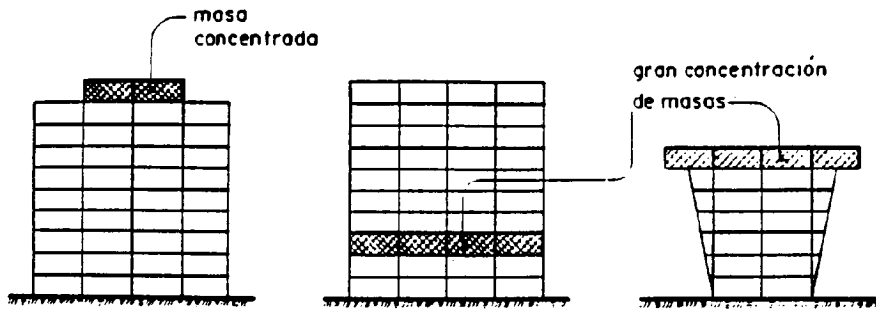


Figura 9.5. (Tomado de Sauter, F., 1989).

Además de la distribución irregular, la *concentración de masa en determinados puntos de la estructura* es igualmente perniciosa y deberá por tanto evitarse (fig. 9.6).



DISTRIBUCION IRREGULAR DE MASAS

Figura 9.6. (Tomado de Sauter, F., 1989).

- Razón de esbeltez y formas alargadas.

La *razón de esbeltez* tiene también influencia sobre el comportamiento de los edificios. Edificios cuya relación H/B (Altura/Anchura) excede de 3.0 puede presentar problemas en cuanto a los momentos de vuelco inducidos por sismos (Figura 9.7).

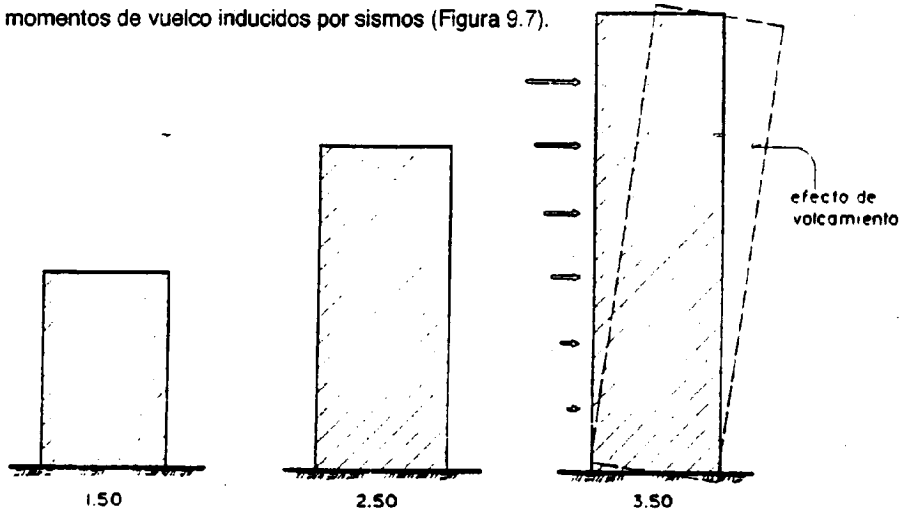


Figura 9.7. (Tomado de Sauter, F., 1989).

Los edificios de *longitud mayor de 60 m.* pueden presentar problemas debido a efectos de torsión inducidos por un reparto no uniforme de la vibración del terreno a los extremos del mismo. Para obviar este problema se recomienda *dividir el edificio en cuerpos de menor longitud* mediante juntas de separación (Figura 9.8).

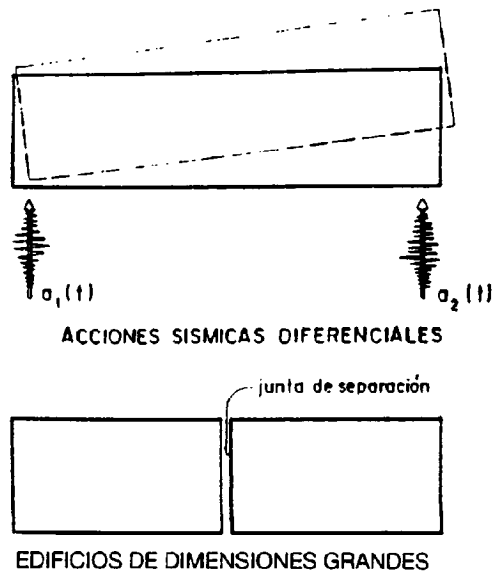


Figura 9.8. (Tomado de Sauter, F., 1989).

- Consideraciones espaciales para las estructuras.

En las zonas en las que exista vulnerabilidad alta o bien aquellas de peligrosidad alta o en las que se prevea la construcción de una estructura de importancia singular se tendrán en cuenta, además de las anteriores, otras consideraciones que intervienen de forma importante en estructuración antisísmica del sistema resistente como son:

- *Hiperestaticidad y alto grado de redundancia* de la estructura.
- *Ductilidad y alta capacidad de disipación de energía.*
- Estudio cuidadoso de las *condiciones locales de suelo* y diseño correcto de las *cimentaciones* según dichas condiciones.
- *Rigidez y periodo natural* de la estructura en relación con las propiedades del suelo.
- Procurar que las *articulaciones plásticas* y los *mecanismos de colapso* se formen antes con los elementos horizontales (vigas) antes que con las columnas.
- Atender a la seguridad de los *elementos no-estructurales* y vigilar los daños secundarios aislando las conducciones y servicios de la estructura del edificio.

Como resumen final a estas recomendaciones sobre tipología de las construcciones solamente quedaría por recordar que en zonas como esta se debe construir de acuerdo con normas sísmicas. En España si bien está actualmente en fase de revisión muy avanzada, sigue siendo obligatoria la P.D.S.- 1 (1974).

En la Norma se recoge textualmente que «en la memoria del proyecto se incluirá un apartado con el título de "Acciones Sísmicas", en el que figurarán los valores adoptados. Todos los organismos competentes, ya sean del Estado, Provincia o Municipio u otros legalmente autorizados comprobarán que en la Memoria del Proyecto figura el apartado indicado en el párrafo anterior».

Los daños que pueden producirse en las construcciones que componen el casco urbano de Lorca estarán relacionados, entre otras cosas, con el contenido de frecuencias de las ondas sísmicas destructivas y con los periodos propios de las construcciones, dependiendo estos asu vez, de la altura y rigidez de las mismas. El caso más desfavorable se produce cuando el periodo propio de vibración de la estructura coincide con el periodo natural del terreno, pues se pueden producir efectos de resonancia.

Los edificios bajos y rígidos, con periodos propios cortos ($T=0,1$ a $0,5$ seg.) responden dañándose más con vibraciones de alta frecuencia, propias de los terremotos de foco cercano. Los edificios altos y flexibles, con periodos de vibración largos ($T=1$ a 5 seg.), son menos afectados por las vibraciones de alta frecuencia, pero son más vulnerables a las vibraciones del terreno producidas por terremotos de foco lejano.

Habiéndose analizado los terremotos posibles dentro de los límites que suponen los conocimientos actuales, parece ser que la única fuente generadora de características destructivas para la ciudad, sería la Fuente de Lorca, relacionada con la falla activa de Alhama de Murcia; por esta razón el tipo de terremoto sería el «terremoto cercano» con contenidos mayores del altas frecuencias.

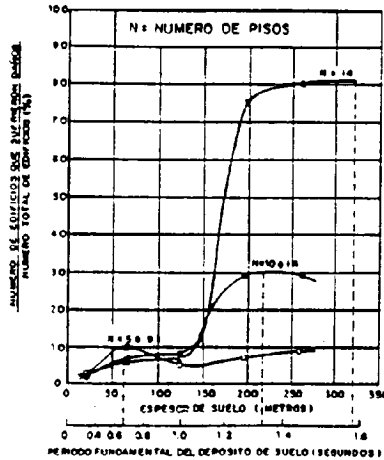
- Los únicos datos registrados sobre terremotos en este área fueron los obtenidos por MEZCUA, HERRAIZ y BUFORN en el estudio sobre el terremoto de 1.977, que dieron valores bajos del periodo, para un terremoto de magnitud alrededor de 4 y profundidad de 10 Km., en las proximidades de Lorca.

Extrapolar el comportamiento del terreno ante terremotos destructivos, partiendo de terremotos pequeños o moderados puede llevar a resultados excesivamente distintos de los reales, ya que la respuesta del suelo para terremotos grandes está muy separada de la linealidad.

También hay que tener en cuenta, que algunos terremotos se caracterizan por presentar un abanico amplio en el contenido de frecuencias y por lo tanto pueden causar daño a un número variado de estructuras, incluyendo edificios de diferente altura y rigidez.

El espesor tan grande de los depósitos aluviales en Lorca, también es un factor que distorsiona la respuesta del suelo y de las estructuras sobre él cimentadas frente a la acción sísmica, tendiendo a aumentar los periodos propios del terreno.

Los espesores potentes de suelo (por encima de los 140 m. aproximadamente) son especialmente críticos para edificios por encima de las 10 plantas, en los que el daño ocasionado se dispara, según se observa en el diagrama siguiente:



Todos estos efectos, deberán ser tenidos en cuenta al realizar un análisis previo de la Ciudad, desde el punto de vista de la respuesta probable de las estructuras frente a un movimiento de carácter destructivo.

A.2. MEDIDAS DE ORDENACION EN EL AMBITO URBANO.

Las recomendaciones tipológicas y de diseño constructivo del apartado anterior se basan en la experiencia adquirida en el campo del diseño sismorresistente de estructuras en muchas zonas del mundo. Sin embargo, estas medidas por sí solas no bastan ya que, como se ha citado, no existe un único criterio de diseño antisísmico ni una estructura antisísmica ideal. Por ello se hace necesario arbitrar otro tipo de medidas preventivas, que en esencia tienen como objetivo, por un lado el hacer que se cumplan rigurosamente las normas sísmicas en zonas de riesgo sísmico alto y por otro, el tratar de llegar a una ordenación del territorio que consiga situar las construcciones en zonas de peligrosidad adecuada a sus características para resistir, con el mínimo de daños, los terremotos esperados.

Estas medidas son las que se describen en este apartado. En esencia se trata de distinguir dentro del casco urbano de la ciudad y de sus alrededores una serie de dominios en las que desde el punto de vista sísmico se tengan en cuenta los siguientes condicionantes:

- a) Usos del Suelo.
- b) Condicionantes urbanísticos y arquitectónicos.
- c) Vías de comunicación y accesos principales.

a) Usos del Suelo.

Con carácter general se establecerán desde el punto de vista sísmico tres dominios:

- (1) Dominio de construcción muy *desaconsejable* o restringida.
- (2) Dominio de construcción tomando especiales *precauciones* .
- (3) Dominio *apto* para el crecimiento urbano.

Los dominios (1), de construcción muy *desaconsejable* o restringida, se circunscriben a aquellas áreas con pendientes relativas altas y/o próximas a los principales barrancos, y a aquellas que se sitúan sobre materiales de relleno de baja compacidad y susceptibles de colapso, ya sean depósitos naturales o antrópicos. Esta situación, en algunos casos, se ve agravada por la existencia de problemas de estabilidad en las laderas y por fenómenos de colapso en los materiales de relleno mencionados.

Se aconseja, tanto con carácter general como en particular en algunos puntos, en estas áreas:

1.- Realizar, en todos los casos, estudios geotécnicos de detalle a fin de determinar con seguridad y precisión suficientes, la presencia de un «firme» adecuado sobre el que se cimentarán las estructuras. Para toda la parte alta del casco antiguo (zona árabe) y parte alta del barrio de S. Cristóbal, es preciso señalar que el tipo de suelo, y la amplificación esperable por pendiente y altitud relativa, constituyen la peor situación en cuanto a Peligrosidad y Vulnerabilidad. Por todo ello, se recomienda en estas zonas la cimentación profunda de las estructuras, adoptando longitudes de pilotes que atraviesen todo el relleno existente, así como medidas de diseño estructural particularmente sismoresistentes.

De la misma forma, para los terrenos próximos o afectados por la rambla de S. Lázaro y de Tejares, donde se han detectado materiales especialmente flojos, se recomienda prestar una especial atención a las cimentaciones, siendo muy aconsejable apoyar las estructuras en profundidad, si la firmeza del suelo más superficial no es la adecuada o bien ofreciera dudas respecto a su capacidad de carga.

2.- Se recomienda investigar el origen y posible recarga de algún punto de agua, por sus implicaciones en la respuesta sísmica del suelo al que afecta. Aunque no se ha detectado un nivel freático estable en toda la ciudad, sí que existe una zona concreta en la que se registra, incluso muy cerca de la superficie. Esta zona se sitúa entre las calles Nuñez de Arce y Corredera, en el subsuelo más próximo de la Iglesia de S. Patricio y en un edificio que hay junto al Mercado y actual sede del Ayuntamiento. En estos casos, el nivel de agua se ha llegado a medir hasta a 3 m. de profundidad (según comunicación verbal con diversos profesionales de la construcción en Lorca).

Su origen resulta aún indeterminado y aunque se asocia a épocas de precipitaciones, se le considera estable y resulta muy probable, vistos otros casos similares, que pueda deberse a la red de saneamiento (vertidos, incluso muy antiguos).

De la misma forma, resulta conveniente tomar medidas preventivas (estudios geotécnicos), en toda la orla de influencia del río Guadalentín y rambla de Viznaga. La posibilidad de ocurrencia de un sismo en época de avenida (no necesariamente extraordinaria) aconseja poner un especial cuidado tanto a nivel de cimentaciones como de diseño estructural.

3.- Se recomienda la toma de medidas de protección (que pudieran llegar incluso al desalojo) de las «casas altas» situadas al pie del Castillo.

Estas medidas son particularmente importantes en las calles: Atrid, Tudela, J. Pérez, Monzón, Mariscos y Montalbán, donde el riesgo de desprendimientos es ya de por sí alto. Para la ubicación más precisa de estos puntos de peligro, se podrá tener en cuenta el estudio realizado en esta zona por el I.T.G.E. en 1.988 en donde se recogen de forma más pormenorizada las recomendaciones que se dieron en su día para cada caso.

Los dominios de tipo (2) son los que se recogen en el mapa como zonas de Peligrosidad Sísmica Media. Se trata de áreas topográficamente situadas a nivel medio (laderas bajas) constituídas fundamentalmente por materiales de piedemonte y coluvial proximal.

En estas zonas se recomienda proceder al refuerzo antisísmico de las estructuras poniendo un especial cuidado en el diseño de las cimentaciones según las características del suelo. Es preceptiva la realización de estudios geotécnicos particulares para el correcto diseño de las cimentaciones y para la localización de rellenos y cavidades de origen antrópico.

Los dominios de tipo (3) corresponden a las zonas de menor Peligrosidad. En estas zonas es de esperar una amplificación de las ondas sísmicas muy baja o moderada. Corresponden fundamentalmente a las áreas de ensanche de la ciudad, con construcciones predominantemente de tipo C. Estas zonas, son las más aptas para el desarrollo urbano si bien en algún caso puntual (áreas de punteado denso en el mapa) se deberán tomar precauciones en el diseño de las cimentaciones que se proyecten.

b) Condiciones urbanísticas y arquitectónicas.

Se tendrán en cuenta, como norma general las siguientes:

-Mejora de las comunicaciones interurbanas.

Dadas las peculiares características de la Ciudad de Lorca, se deberá prestar atención a la conservación y mantenimiento de los puentes. En todos los casos se aconseja un estudio de estabilidad e la estructura de los mismos frente a las acciones sísmicas y en el caso de que los resultados que se deriven de estos fueran negativos, se deberá proceder a su refuerzo estructural.

-Se evitarán, en lo posible nuevos trazados sinuosos o tortuosos de las calles, que puedan dificultar las labores de socorro o evacuación.

-Se pondrá especial atención en el cuidado y mantenimiento de las conducciones principales de agua y electricidad.

-Se deberá fomentar la creación de zonas verdes y ajardinadas, en particular en las zonas en las que la construcción es especialmente desaconsejable o muy densa, siempre que sea posible.

-Se tratará de limitar el número de plantas de las edificaciones, en particular en los dominios (1) y (2) definidos en el apartado anterior.

-Se prestará especial atención en los dominios (1) y (2) a los elementos arquitectónicos más vulnerables, procediendo al refuerzo de cornisas, balcones y cualesquiera otros elementos en voladizo. También se recomienda prestar especial atención a los cerramientos procediendo al zunchado de fábricas discontinuas, aislando las conducciones y servicios de la estructura del edificio y disponiendo juntas sensibles.

c) Vías de comunicación y accesos principales.

En el caso de catástrofe sísmica, resulta de vital importancia asegurar el mantenimiento de las vías de acceso y evacuación. Para ello deberán vigilarse los accesos a la ciudad prestando especial atención a los taludes y terraplenes de carreteras que conecten con vías principales. Se vigilará también el estado de los puentes de carretera (en especial los de la N-340 por el S) así como de las trincheras y puente del ferrocarril.

Se consideran en principio, válidos y en buenas condiciones todos los puentes de la ciudad, con lo que la evacuación se realizaría accediéndose por varios puntos a la zona más vulnerable que es el centro histórico de la ciudad. No obstante, para un sismo de Intensidad VIII ó IX es muy probable que únicamente permaneciese en servicio el último que se ha realizado, que da acceso directo desde el desvío a Murcia , a la Avenida de Juan Carlos I.

La ciudad queda compartimentada en dos áreas principales cuya evacuación deberá ser tenida en cuenta, en caso de catástrofe.

En ese caso, ambas zonas deberían evacuarse por separado ya que las dos áreas quedan delimitadas por el río Guadalentín.

El área N constituida por el barrio de S. Cristobal, S. Diego y zona de la Serrata y Diputación-Río tiene dos opciones como vías de evacuación principal ambas hacia el N: por la N-340 hacia Murcia o por la CC-3211 actualmente en muy buen estado.

- El área S constituida por la mayor parte de la ciudad, tiene también dos posibilidades de evacuación, ambas hacia el S. Por la N-340 en dirección a Almería y por la CC-3211 con dirección a Aguilas. Esta última poco aconsejable por dirigirse hacia una zona muy escarpada, con relieves de grandes pendientes donde es muy probable que se produzcan desprendimientos que podrían cortar las vías de comunicación hacia zonas de seguridad.

Entre ambas áreas, la actual circunvalación de Lorca garantiza en cierta medida una buena interconexión entre las vías mencionadas. No obstante, la citada vía presenta un túnel largo, otro en construcción y un viaducto sobre el Guadalentín. El moderno diseño de estas obras está realizado en base a normas muy estrictas respecto de la situación sísmica de la zona por lo que es de esperar que puedan prestar servicio. No obstante, no se tienen garantías absolutas acerca de su total eficacia, sobre todo si se tiene en cuenta que ambas estructuras se ven afectadas en su trazado por fracturas consideradas activas.

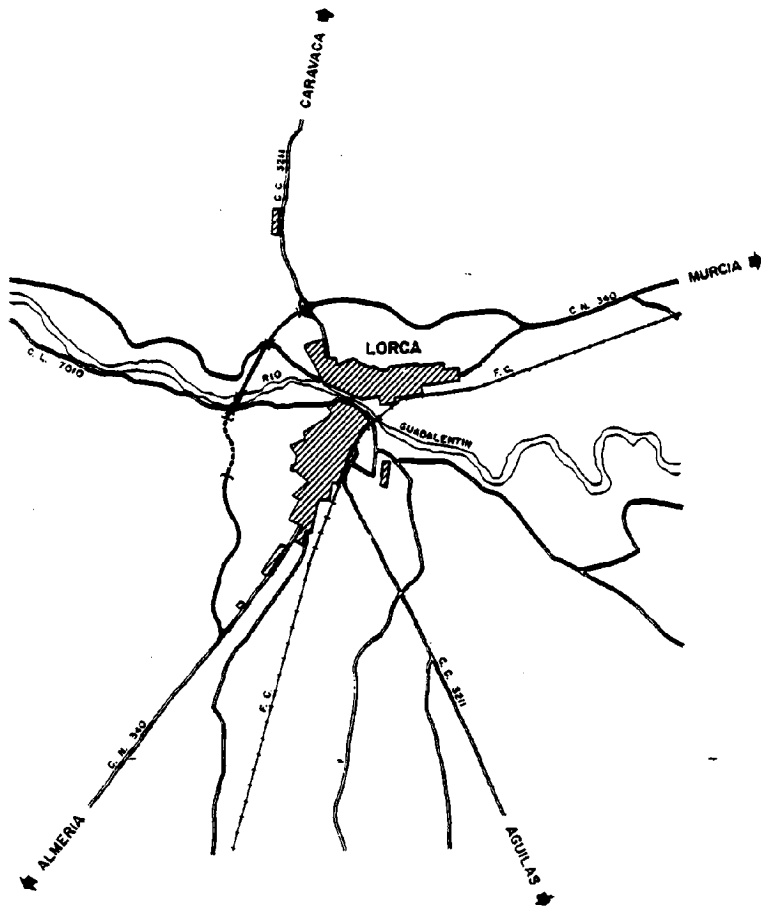


Fig. 9.9 Red de accesos principales a la Ciudad de Lorca.

B) RECOMENDACIONES PARA SU APLICACION EN PROTECCION CIVIL.

Los planes de Protección Civil para actuaciones de emergencia como puede ser la posterior a un terremoto, tienen como objeto establecer el mecanismo de la estructura jerárquica y funcional de las autoridades y organismos llamados a intervenir así como el procedimiento de coordinación y funcionalidad de los distintos medios y recursos, tanto públicos como privados, precisos para la reducción de los efectos derivados de situaciones de emergencia en casos de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, con el fin de proteger la vida de las personas, salvaguardar su integridad y evitar o controlar los daños sobre los bienes y patrimonio de interés general.

Un plan de Protección Civil es un documento formal que constituye la norma de actuación de los distintos servicios de Protección Civil en el que se establecen los mecanismos de movilización de todo tipo de recursos. Todo plan debe elaborarse con: sencillez, flexibilidad y concreción, bajo los principios de: unidad de dirección, coordinación de actuaciones y autonomía en la ejecución.

Con vistas a la elaboración de un Plan territorial (Comarcal) de actuación para el caso de catástrofe sísmica que se aplicase con carácter local al ámbito territorial del término de Lorca, deberán tenerse en cuenta, con carácter general los siguientes aspectos:

- 1) El fenómeno de desastre puede entenderse como un proceso formado por cuatro grandes fases (GONZALEZ, J.L.; 1989): Fase de normalidad, fase de preemergencia (o periodo de crisis), fase de emergencia y fase de recuperación. Las catástrofes sísmicas son, hoy por hoy, prácticamente impredecibles. Consecuentemente no existe fase de preemergencia (MARTIN MARTIN, 1986). Esto quiere decir que el acontecimiento catastrófico se produce sin que haya tiempo de detectar la amenaza que constituye la actualización del riesgo sísmico potencial.
- 2) El plan deberá redactarse para un sismo de diseño que contemple la acción más desfavorable, del mismo modo que se ha recomendado para otros planes de actuación en situaciones de riesgo sísmico similares (MARTIN MARTIN y GARCIA YAGÜE, 1.986).
- 3) Deberá abordarse un plan que tenga en cuenta la distribución heterogénea de los daños en función de la diferencia de vulnerabilidad obtenida para las diferentes zonas de la ciudad. Aún teniendo en cuenta este aspecto deberá pensarse que el área gravemente afectada puede ser el conjunto del casco urbano.
- 4) Es conveniente estudiar cuidadosamente las rutas de evacuación y abastecimiento. Convendrá estudiar detalladamente la probabilidad de que las carreteras principales pudieran quedar cortadas en algunos tramos próximos al casco urbano por desprendimientos, deslizamientos o acumulación de cascotes al atravesar dicho casco urbano. Es posible que también quede fuera de servicio la línea del ferrocarril que pasa por la localidad.
- 5) Existe el hecho de que la ciudad está dividida en dos grandes áreas, dadas sus características topográficas. Esto no debería constituir problemas importantes a la hora de organizar las ayudas, evacuación o abastecimiento de los damnificados.

Existe la posibilidad de que alguno de los puentes que cruzan la rambla del Guadalentín y que unen las dos zonas principales queden inutilizados por lo que las acciones de evacuación y ayuda se complicarían y quedarían completamente aisladas e independientes.

6) En las zonas del casco antiguo de la ciudad (área de vulnerabilidad alta) el trazado urbanístico complejo y la escasa anchura de las calles puede dificultar considerablemente tanto el acceso como las salidas.

7) Los daños indirectos que pueda ocasionar el sismo a causa de los desprendimientos y deslizamientos, tenderán a agravar la situación en las zonas afectadas, en particular en aquellas áreas próximas a las faldas del Cerro del Castillo. Todas las zonas de la ciudad situadas por debajo de los resaltes topográficos principales pueden llegar a sufrir graves daños, incluso destrucción por este motivo.

8) De cara al abastecimiento de agua a la ciudad, en caso de siniestro, se han elaborado estudios muy detallados, como el realizado por el I.T.G.E. en 1.986 con el título de « Distintas alternativas de solución mediante aguas subterráneas para resolver el problema del abastecimiento público a Lorca y Puerto Lumbreras (Murcia)». Estas alternativas, prevén la utilización de los sondeos existentes y de diversas conducciones secundarias. Los sondeos están enclavados dentro del Sistema Acuífero detrítico del Guadalentín, cuyas características hidrogeológicas son excelentes, por lo que cualquiera de ellos, podría aportar los caudales vitales necesarios. Si el movimiento sísmico afectase a las líneas eléctricas, las bombas podrían accionarse por medio de generadores. En caso de que parte de las vías de acceso a los sondeos sufriesen desperfectos, existe una densa red de caminos secundarios en toda el área que permitirían llegar a los mismos; en todo caso y puesto que la topografía en la que se ubican es llana, se podrían acondicionar los accesos en sólo unas pocas horas. Se debe prever y en lo posible evitar, no obstante lo anterior, que queden cortados algunos tramos de las conducciones principales de agua.

9) No se espera que se produzcan conflagraciones o incendios de grandes proporciones al no existir en la ciudad conducciones de gas ni tampoco depósitos importantes de combustible o de gases licuados, ni de materias inflamables. Tampoco son de temer mayores daños a causa del sismo por la emisión de productos tóxicos al carecer la ciudad de industrias contaminantes o peligrosas y no existir en la misma almacenes o depósitos enterrados de productos tóxicos o radiactivos.

10) Deberá tenerse en cuenta la distribución heterogénea de la población dentro del casco urbano. En este sentido es de especial relevancia la gran concentración de población que existe en toda la mitad Este de la localidad.

11) Deberá tenerse en cuenta y advertir a la población de la posible repetición de los movimientos en forma de réplicas del evento principal, cuya magnitud, si bien decreciente con el tiempo, podría dar lugar a nuevos daños.

12) En cuanto a posibles daños en la estructura viaria no es previsible que se produzcan cortes importantes en la carretera N-340 entre Lorca y Totana o entre Lorca y Puerto Lumbreras. Dentro del casco urbano de Lorca esta carretera discurre aproximadamente en dirección SW-NE, haciendo una inflexión casi en dirección W-E al atravesar uno de los puentes principales sobre el río Guadalentín. Durante este tramo los daños y cortes que puedan producirse serán los que se deriven del daño que sufra el propio tejido urbano (en particular de lo dañados que resulten algunos de estos puentes).

La línea férrea podría del mismo modo resultar dañada a su paso por la localidad ya que discurre con un trazado muy similar al de la carretera N-340.

10. BIBLIOGRAFIA

- **AL'ICHICO TANAKA y KENGI MIGITA (1986):** "A method to determine the kind of ground for seismic microzoning by using Dr. KAKAI'S microtremors observation". Kamamoto Institute of Technology and Kamamoto University, Japan. 5th. IAEG Congress. Buenos Aires, 1986.
- **ALMOGUERA, J. y RODRIGUEZ ESTRELLA, T. (1986):** "La neotectónica al noreste de Lorca y su incidencia en el Canal del Trasvase Tajo-Segura". Primeras Jornadas de Estudio Sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. (Murcia, 1986).
- **ARENILLAS PARRA, M. (1985):** "Catástrofes naturales. Efectos y previsión". En "Catástrofes Naturales". Publicaciones de la Cátedra de Geología Aplicada a las Obras Públicas. Universidad Politécnica de Valencia. ETSICCP. Mayo, 1985.
- **ARENILLAS PARRA, M. y BISBAL CERVELLO, L. (1985):** "Sismicidad y Riesgo Sísmico en Castellón, Valencia y Alicante". En "Catástrofes Naturales". Publicaciones de la Cátedra de Geología Aplicada a las Obras Públicas. Universidad Politécnica de Valencia. ETSICCP. Mayo, 1985.
- **BANDA, E. y ANSORGE, J. (1980):** "Crustal structure under the central and castrey part of the Betic Cordillera". Geophys. J.R. astr. Soc, 63: 515-532.
- **BANDA, E. et al (en prensa):** "Lateral variation on the crust in the Iberian Península. New evidence from the Betic Cordillera". Tectonophysics.
- **BARBAT, A. H. (1982):** "Análisis sísmico de las estructuras". U.P.C. ETSICCP. Barcelona.
- **BARRANCO, L.M. (1986):** "Análisis de la fracturación en el sureste de España. Implicaciones geodinámicas". Tesis de Licenciatura. Univ. Complutense de Madrid (sin publicar): 256 pp.
- **BELES, A.; IFRIM, M.; GARCIA YAGÜE, A. (1975):** "Elementos de Ingeniería Sísmica". Ed. Omega.
- **BISBAL CERVELLO, L. (1984):** "Estudio de la distribución de las intensidades sísmicas en el ámbito valenciano. Su incidencia en las obras públicas". Tesis doctoral U.P. de Valencia (Inédita).
- **BONILLA, M. G.; MARK, R. K. y LEINKAEMPER, J. J. (1984):** "Statistical relations among earthquake, surface rupture length and surface displacement". B.S.S.A. 74, 440-467.
- **BOUSQUET, J. C.; MONTENAT, C. y PHILIP, H. (1976):** "La evolución tectónica reciente de las Cordilleras Béticas Orientales". Reunión Geodinámica de la Cordillera Bética y Mar de Alborán. Granada, 1976, pp.59-78.
- **BOUSQUET, J.C. (1979):** "Quaternary strike-slip faults in southeastern Spain". Tectonophysics, 52: 277-286.
- **BUFORN, E. y UDIAS, A. (1991):** "Focal mechanism of earthquakes in the Gulf of Cadiz, south Spain in Alborán Sea". Tectonophysics. 29-40.

- **CAMPBELL, K. W. (1984):** "*Probabilistic evaluation of seismic hazard for sites located near active faults*". Pro. W.C.E.E., San Francisco, 1, 23-238.
- **CAPOTE DEL VILLAR, R. (1987):** "*Geología y terremotos*". En "Riesgos Geológicos". Serie Geología Ambiental. I.G.M.E. 1987.
- **CASTELEIRO MALDONADO, M. (1986):** "*Concepto de Riesgo. Desarrollo histórico y su tratamiento estadístico*". En "Riesgos Naturales en Ingeniería Civil". Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona 1986.
- **CEDEX -M.O.P.U. (1984):** "*Ingeniería Sísmica aplicada a las Obras Públicas*". 1986. 2 tomos.
- **CEDEX -M.O.P.T.-I.G.N. (1992):** "*Curso sobre terremotos y Obras Civiles*". Madrid. 1992. 2 tomos.
- **COMISION PERMANENTE DE NORMAS SISMORRESISTENTES (1974):** "*Norma sismorresistente P.D.S. 1 (1974). Decreto 3209/1974 de 30 de Agosto*". B.O.E. nº 279.
- **COMISION NACIONAL DE NORMAS SISMORRESISTENTES (1989):** "*Borrador de la Nueva Norma Sismorresistente*" (versión de Septiembre, 1989).
- **COMUNIDAD AUTONOMA DE MURCIA (1991):** "*El Sistema Acuífero del alto Guadalentín*". Consejería de Política Territorial y Obras Públicas.
- **CORTE, J. F. (1987):** "*Evaluation des propriétés des sols ris-a-vis du risque sismique*". Bull. Liaison LPC. 150-151.
- **CUELLAR, V.; OLALLA, C. y OTEO, C. (1989):** "*Aspectos geotécnicos en la microzonación sísmica en trabajos de Protección Civil*". Encuentro Internacional «Catástrofes y Sociedad». Ponencias y comunicaciones. Fundación MAPFRE- ITSEMAP. Madrid.
- **CUENCA PAYA, A. (1971):** "*Datos para un estudio de la tectónica reciente al sur de Alicante*". Rev. del Inst. Est. Alicantinos, 8, 21-46.
- **DEZA, E. M. (1974):** "*Seismic microzoning in a broad sense. Seismological microzoning*". Inst. Geof. de Perú. Ministerio de Educación. 2nd Intern. Congress of the Inter assoc. of engineering geology. 1974.
- **ESTEVEZ, A. et al. (1986):** "*Aportación al conocimiento neotectónico y sismotectónico del Sureste, provincias de Alicante y Murcia*". 1^{as} Jornadas de estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. Murcia, 1986.
- **EXCMO. AYUNTAMIENTO DE LORCA (1990):** "*Plan General de Ordenación Urbana de Lorca: Revisión-Adaptación*". 11 carpetas.
- **FERNANDEZ NAVARRO-SOTO, S. (1984):** "*Temblores de tierra en los núcleos sísmicos de Murcia-La Alberca y Orihuela-Benejuzar. Estudio de sismicidad histórica*". I.G.N. Original, 58 pp.
- **GALBIS RODRIGUEZ, J. (1932):** "*Catálogo sísmico de la zona comprendida entre los meridianos 5ºE y 20ºW y los paralelos 45ºN y 25ºN*". Instituto Geográfico y Catastral. Tomos I y II.

- GARCIA YAGÜE, A. (1987): "Prevención de terremotos y diseño antisísmico" . En "Riesgos Geológicos". Serie Geología Ambiental. I.G.M.E. 1987.
- GAUYAU, F.; BAYER, R. ; BOUSQUET, J.C.; LATHAUD, J.C. ; LESQUER, A.; Y MONTENANT, C. (1977): "Le prolongement de l'accident d'Alhama de Murcia entre Murcia et Alicante (Espagne Meridional)" . Bull. Soc. géol. Gr., 19: 623-639.
- GOMES COELHO, A. (1986): "Engineering geological mapping for seismic microzonation" . Laboratori Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 5th. IAGC Congress. Buenos Aires, 1986.
- GONZALEZ, J. L. (1989): "Gestión de desastres en la fase de Preemergencia" . Comunicación. ministerio de Transportes, Turismo y Comunicaciones, Madrid.
- GOY, J. L. et al. (1989): "Anomalías geomorfológicas ligadas a actividad neotectónica durante el Cuaternario en la cuenca neógena de Alcoy (España)" . Segunda reunión sobre el Cuaternario ibérico. Madrid.
- GROUPE DE RECHERCHE NEOTECTONIQUE DE L'ARC DE GIBRALTAR (1977): "L'Histoire tectonique récente (Tortonien à Quaternaire) de l'Arc de Gibraltar et des bordures de la mer d'Alboran" . Bull. Soc. Geol. France (7). T. XIX, 3, 576-614.
- GUIRAO GARCIA, J. (1974): "Lorca: tercer centenario de la catástrofe" . Publicación del jueves, 29 de Agosto de 1974 en el Diario de Lorca. Archivo Municipal de Lorca.
- GUMBEL, E. J. (1958): "Statistics of Extremes" . Columbia. Univ. Press. New York, 387 pp.
- GUTENBERG, B. y RICHTER, C. F. (1949): "Seismicity of the Earth" . Princenton Univ. Press, 310 pp.
- HERVAS y RODRIGUEZ ESTRELLA, T. (1986): " Estudio y repercusiones de la neotectónica en la Comarca de los Vélez (provincias de Almería y Murcia). En I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio" . IGN
- IBARGUREN SOLER, J. (1986): "Microzonación sísmica de la Huerta de Murcia" . Comunicación. 1ªs Jornadas de estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. Murcia, 1986.
- INYPSA (1992): "Informe geológico y geotécnico de la traza del nuevo túnel en la variante de lorca" . Documento interno.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1988): "Estudio de riesgos por desprendimientos en el Cerro del Castillo de Lorca (Murcia)" . Madrid, 1988.
- INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA (1990): "Estudio de riesgos naturales en la ciudad de Alcoy: Riesgo de avenidas y vulnerabilidad y riesgo sísmico" . Serie Ingeniería GeoAmbiental. Madrid.
- I.G.M.E. (1972): "Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja nº 953: Lorca" . Madrid, 1972.
- I.G.M.E. (1972): "Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja nº 975: Puerto Lumbreras" . Madrid, 1972.

- I.G.M.E. (1970): "Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Hoja nº 79: Murcia" . Madrid, 1970.
- I.G.M.E. (1983): "Mapa Geológico de España a escala 1:200.000. Hoja nº 78: Baza" . Segunda edición, Madrid, 1983.
- I.G.N. (1983): "Comunicaciones y Ponencias" . Seminario sobre sismicidad y riesgo sísmico (Area Ibero-Mogrebí). Córdoba, 7-11 de Noviembre, 1983.
- I.G.N. (1984): "Comunicaciones y Ponencias" . Asociación Europea de Ingeniería Sísmica. XI Seminario Regional. Granada, 1984.
- I.G.N. (1987): "Comunicaciones y Ponencias" . Jornadas de estudio sobre metodología para la Investigación Histórica de Terremotos. Madrid, 1987.
- I.T.G.E. (1984): "Mapa hidrogeológico de la Región de Murcia" , Escala 1:200.000
- I.T.G.E. (en prensa): "Mapas Neotectónico y sismotectónico a escala 1:200.000 y de fallas activas a escala 1:100.000 de la Región de Murcia" .
- I.T.G.E. (en prensa): " Mapas neotectónico y sismotectónico de España a escala 1:1.000.000".
- INGLES, O. G. (1979): "Human factors and error in Civil Engineering Applications of Statistics and Probability and Soils and Structural Engineering" . Sidney (Australia), University of South Wales, 1979, pp. 402-417.
- KARNIK, V. y ALGERMISSEN, S. T. (1980): "Zonificación Sísmica en terremotos" . UNESCO, Ed. Blume, Barcelona. 1980.
- LAROUZIERE et al (1987): " Evolution simultanée de basins néogènes en compression et en extension dans un couloir de décrochement : Hinojar et Mazarrón (Sud-est de l'Espagne)". Bull. Centres Rech. Explor. Prod. Elf-Aquitaine, 11 (1): 23-38.
- LOPEZ CASADO, C.; ESTEVEZ, A.; PINA, J.A. y SANZ DE GALDEANO, C. (1989): " Aportación al conocimiento sismotectónico del Sudeste de España. Ensayo de delimitación de fuentes sísmicas" . Mediterránea. Univ. Alicante.
- LOPEZ MARINAS, J. M. (1976): "Ensayo de compartimentación en bloques sismotectónicos del Sureste español" . II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, T. I., 507-514. Madrid.
- MALLARD, D. J. y WOO, G. (1991): "The expression of faults in U.K. hazard assessment Quarterly" . Journal of Engineering geology, 24, 4, 347-356.
- MARTIN MARTIN, A. J. (1983): "Riesgo sísmico en la Península Ibérica" . Tesis Doct. Ing. Universidad Politécnica de Madrid. 259 pag. 59 mapas, 97 fig., 25 tablas.
- MARTIN MARTIN, A. J. y SIERRA GOMEZ, J. (1983): "Nuevos mapas de riesgo sísmico de la Península Ibérica, obtenidos mediante la distribución de Gumbel tipo I. IV" . Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, T. I., 309-323. Madrid.
- MARTIN MARTIN, A. J. (1985): "Plan de actuación para caso de catástrofe sísmica: aplicación a la provincia de Córdoba" . I.G.N. Informe para la Dirección General de Protección Civil. Sevilla. 165 pp.

- MARTIN MARTIN, A. J. (1986): "*Consideraciones del fenómeno sísmico en la Ordenación del Territorio*". Condiciones que deben reunir las ciudades. 18^a Jornadas de estudio del fenómeno sísmico y su incidencia en la Ordenación del Territorio. Murcia, 1986.
- MARTIN MARTIN, A. J. y GARCIA YAGÜE, A. (1986): "*Estimación para su aplicación a Protección Civil, de los daños que un terremoto catastrófico ocasionaría en Andalucía*". IGN-MOPU.
- MARTIN MARTIN, A. J. y GARCIA YAGÜE, A. (1989): "*Estudio paramétrico del riesgo sísmico en la Península Ibérica*". *Curso de Especialización en Ingeniería Sísmica. T. III. "Riesgo Sísmico"*. Instituto Eduardo Torroja, Madrid.
- MARTINEZ GUEVARA, J. B. (1984): "*Temblores de tierra en el núcleo sísmico de Lorca-Totana (Murcia). Estudio de sismicidad histórica*". I.G.N., original, 51 pp.
- MARTINEZ GUEVARA, J. B. (1987): "*Peligro sísmico en la Ordenación del Territorio Lorquino*". Seminario de temas lorquinos. Fondo Cultural Espín. Cuaderno Espín 2.
- MEZCUA, J. (1982): "*Catálogo general de isosistas de la Península Ibérica*". I.G.N. Publ. nº 202, Madrid, 322 pp.
- MEZCUA, J.; MARTINEZ SOLARES, J. M. (1983): "*Sismicidad del área Ibero-Mogrebí*". I.G.N. Publ. nº 203, Madrid, 299 pp., 1 mapa.
- MEZCUA, J. ; HERRAIZ, M. y BUFORN, E. (1984): "*Study of the 6 June 1977 Lorca (Spain) earthquake and its aftersock sequence*". Bull. Seism. Soc. Am., 74 (1): 167-179.
- MEZCUA, J. (1985): "*Esquema simotectónico del Sureste de España*". En "*Mecanismos de los terremotos y tectónica*". Universidad Complutense, 225-232. Madrid.
- M.O.P.U.- I.G.N. (1987): "*Jornadas de Estudios sobre Metodología para la Investigación Histórica de Terremotos*". Comunicaciones y Ponencias, nº 6. Madrid, 1987.
- MUNUERA, J. M. (1968): "*El Mapa de Zonas Sísmicas Generalizadas de la Península Ibérica*". Instituto Geográfico y Catastral. Madrid, 1968.
- NAVARRO, F. y RODRIGUEZ ESTRELLA, T. (1986): "*Estudio y repercusiones de la neotectónica en la Comarca de los Vélez (Provincias de Almería y Murcia)*". En I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio.
- NORMA BASICA DE LA EDIFICACION (1988): "*Acciones en la edificación NBE-AE-88. Cargas Sísmicas ECS-88*". Dirección General para la Vivienda y Arquitectura. MOPU, Madrid.
- OHSAKI, Y. (1970): "*Effects of sand compactation on liquefaction during the Tocachi-Oki earthquake*". Soil Found. 10(2), 112-128 (1970).
- OLIVEROS, M. A. (1986): "*Estudio Tectónico-Cinémático de la fracturación reciente en el borde oriental y suroriental de la Sierra de las Estancias (prov. de Murcia y Almería)*". Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Geológicas. U. C. M. (inédita).
- PERKINS, J.B. (1987) : "*Map showing cumulative damage potential from earthquake ground shaking, San Mateo County, California*". Geological Survey Miscellaneous Investigations. Series Map I-1257-1. USGS.

- **REPORT OF EXPERT GROUP MEETING (1979): "Natural Disasters and Vulnerability Analysis"** .
- **REY PASTOR, A. (1951): "Estudio sismotectónico de la región Sureste de España"** . Instituto Geográfico y Catastral. 52 p. Madrid.
- **RODRIGUEZ ESTRELLA, T. (1986): "La neotectónica en la región de Murcia y su incidencia en la ordenación del territorio"**. En I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio. IGN.
- **RODRIGUEZ ESTRELLA, T. y ALMOGUERA, J. (1986): " La neotectónica del noroeste de Lorca (Murcia) y su incidencia en el canal del trasvase Tajo-Segura"** . En I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio. IGN.
- **RODRIGUEZ ESTRELLA, T. y LILLO, M. (1986): "Los movimientos horizontales y verticales recientes y su incidencia en la geomorfología del litoral comprendido entre la Sierra de las Moreras (Murcia) y la de Almuera (Almería)"**. En I Jornadas de Estudio del Fenómeno Sísmico y su incidencia en la ordenación del territorio. IGN.
- **SACHANSKI, S. y HADYIISKI, K. (1986): "Detailed microzonation determination of design seismic characteristics of a given construction site"** . VIII European Conference on Earthquake Engineering. Vol. 2 Lisboa, 1986.
- **SANZ DE GALDEANO, C. (1983): "La neotectónica de las Cordilleras Béticas"**. En "Libro Jubilar, J. M. Ríos sobre Geología de España" . T. II, 469-486. IGME. Madrid.
- **SANZ DE GALDEANO, C. (1983): " Los accidentes y fracturas principales de las cordilleras Béticas"** . Estudios Geol. 39: 157-165.
- **SAUTER, F. (1989): "Conceptos de estructuración sismorresistente"** . Cursos de especialización de Ingeniería Sísmica. T. VI. "Diseño sismorresistente de estructuras de hormigón armado" . V. I. Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1989.
- **SAUTER, F. (1989): "Fundamentos de Ingeniería Sísmica"** . Vol. I. Introducción a la Sismología. Ed. Tecnológica de Costa Rica, 1989.
- **SEED, H. B.; IDRIS (1971): "Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential"** . J. Soil Mech. Found. Div., Am. Soc-Civ. Eng. 97 (SM-9), 1249-1273.
- **SIBSON, R.H. (1980): " Transient discontinuities in ductile shear zones"** . J. Struct. Geol, 2 : 165-170.
- **SILVA, P. G.; GOY, J. L. y ZAZO, C. (1992, en prensa): "Características estructurales y geométricas de la falla de degarre de Lorca-alhama"** . Geogaceta, nº 12. 1992.
- **SKIPP, R. O. (1992): "Engineering seismology, seismic hazard and risk"** . Lecture notes february, 1992. Part II Procedures. University of Madrid..
- **STUDER, J. A. y ZIEGLER, A. (1986): "The geotechnical aspect of microzonation"** . VIII European Conference on Earthquake Engineering. Vol. 2. Lisboa, 1986.
- **TOURCOTTE, D.L. y SHUBERT, G. (1982): "Geodynamics"** . Wiley, New York.

- TYRWHITT, J. (1950): "*Surveys for planning*". In: APRR (Ed.), *Town Country Planning Text Book*. The Architectural Press, London. 1950.
- UDIAS, A. y BUFORN, E. (1985): "*Mecanismo focal de los terremotos y sismotectónica de la región Ibero-Mogrebi*". En "*Mecanismo de los terremotos y tectónica*". Univ. Complutense de Madrid. 217-224. Madrid.
- UDIAS, A., LOPEZ ARROYO, A. y MEZCUA, J. (1985): "*Estructura profunda y dinámica de la corteza de España*". En "*Libro Jubilar, J. M. Rios sobre Geología de España*". T. II, 613-638. IGME. Madrid.
- UDIAS, A.; BUFORN, E. y RUIZ DE GAUNA, J.(1989): "*Catalogue of focal mechanism of european earthquakes*". Dep. Geofísica, Univ. Complutense de Madrid, 274 pp.
- VEGAS,R. ; BARRANCO, L.M. y VAZQUEZ, J.T.(1987): "*Tectónica de bloques en el SE de España: aplicación a un límite de placas de tipo intercontinental*". *Geogaceta*, 3: 17-19.
- VEGAS, R. (1991): "*Present day geodynamics of the Ibero-Magrebian region*". En: *Seismicity, Seismotectonics and Seismic Risk of the Ibero-Mogrebian Region*. IGN: 193-204.
- VIDAL SANCHEZ,F. y RUIZ PEREZ,R. (1987): "*Jornadas de Estudios sobre Metodología para la Investigación Histórica de Terremotos*". Comunicaciones y Ponencias, Nº 6. Madrid.
- VOGT, R. (1987): "*Einfluss von Täkern unf die Seismischen Bodenbewegunden*". Bericht Nr. 158, Institut für Banstatik und Konstruktionen, ETH, Zürich, Juni, 1987.
- WAKABAGSHI, P. y MARTINEZ ROMERO, E. (1988): "*Diseño de Estructuras Sismorresistentes*". Mc Graw-Hill.
- WEIJERMARS, R. (1987): "*The Palomares Brittle-ductile Shear Zone of southern Spain*". *J. Struct. Geol.* , 9 (2): 139-157.
- YOUND, T. L.; ASCE, M. YERKES, R. T. y CLARK, M. M. (1978): "*San Fernando faulting damage and i'ts effect on land use*". Pasadena (California).
- ZAZO, C.; DABRIO, C.J. y GOY, J.L. (1989): "*Guía de la excursión B-1 (Litoral Mediterráneo)*". II Reunión del Cuaternario Ibérico. AEQUA. Madrid 1989.

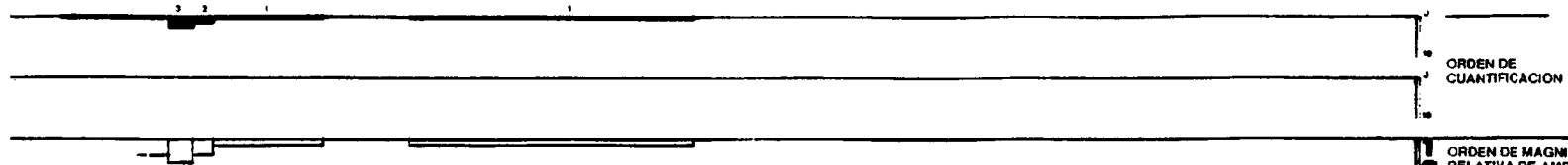
ANEXOS

ANEXO I

**CORTES TOPOGRAFICOS DE LA CIUDAD DE LORCA Y
SU ENTORNO PROXIMO. VALORACION DEL ORDEN DE
MAGNITUD RELATIVA DE AMPLIFICACION DEL FACTOR
TOPOGRAFICO**

CORTE TOPOGRAFICO

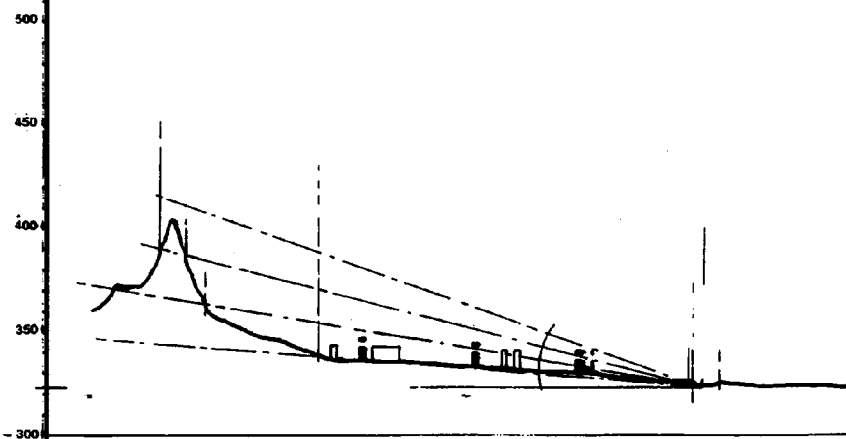
A-A



ORDEN DE CUANTIFICACION

- 1
 - 2
 - 3
 - 4
- ORDEN DE MAGNITUD RELATIVA DE AMPLIFICACION DEL FACTOR TOPOGRAFICO

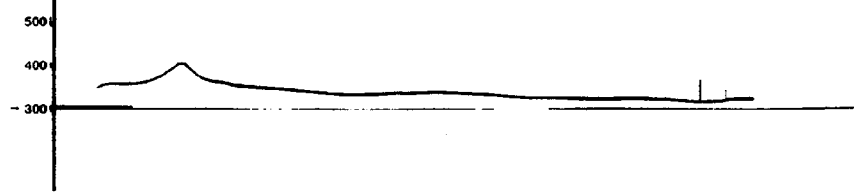
ALTITUD RELATIVA (Mts.)



• CRA. PRINCIPAL Y CAMIN
| FERROCARRIL

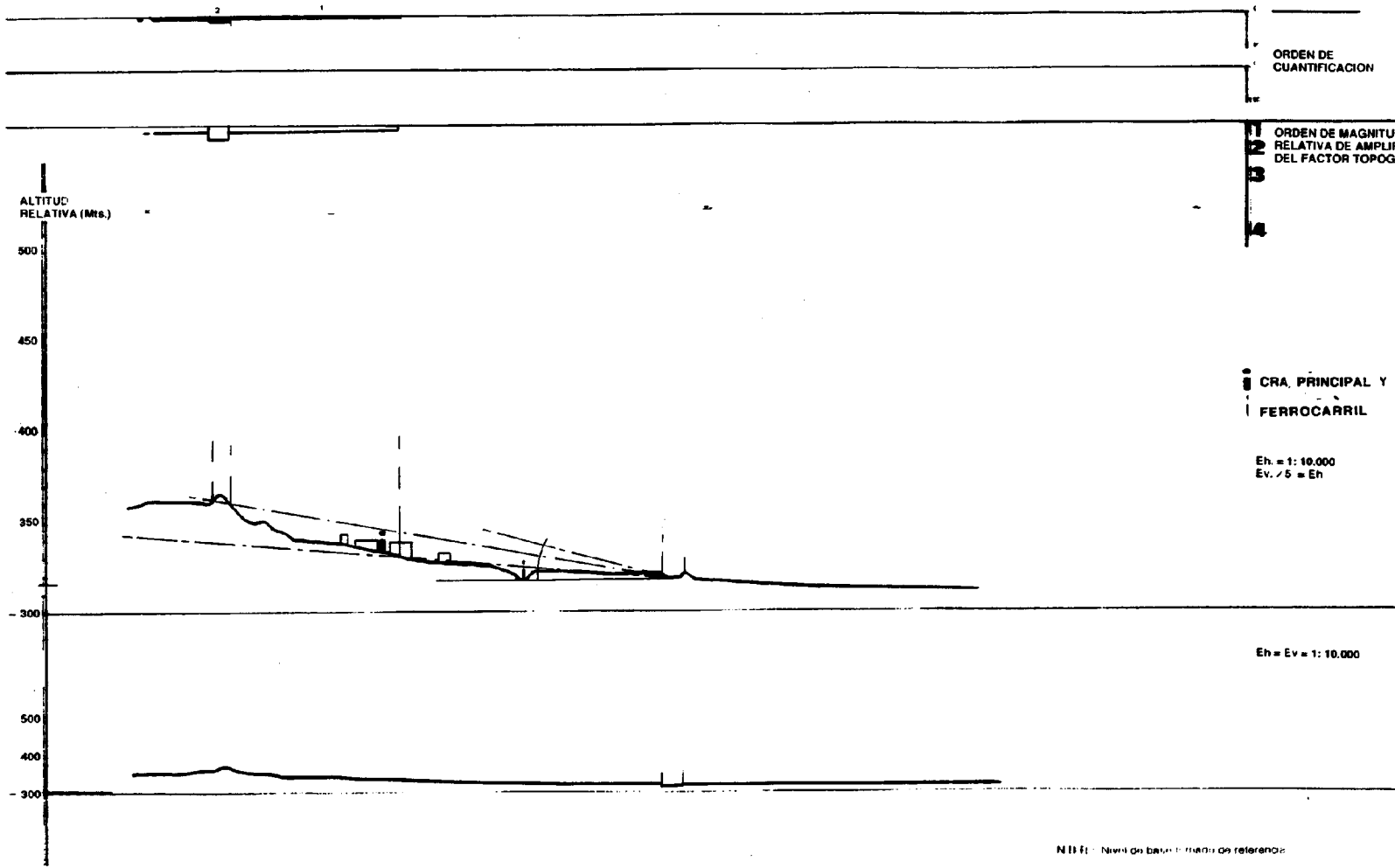
Eh = 1: 10.000
Ev = 5 = Eh

Eh = Ev = 1: 10.000



1 B.R. - Vereda case 1 - modo de referencia

CORTE TOPOGRAFICO 8'-8



ORDEN DE CUANTIFICACION

ORDEN DE MAGNITUD RELATIVA DE AMPLIFICACION DEL FACTOR TOPOGRAFICO

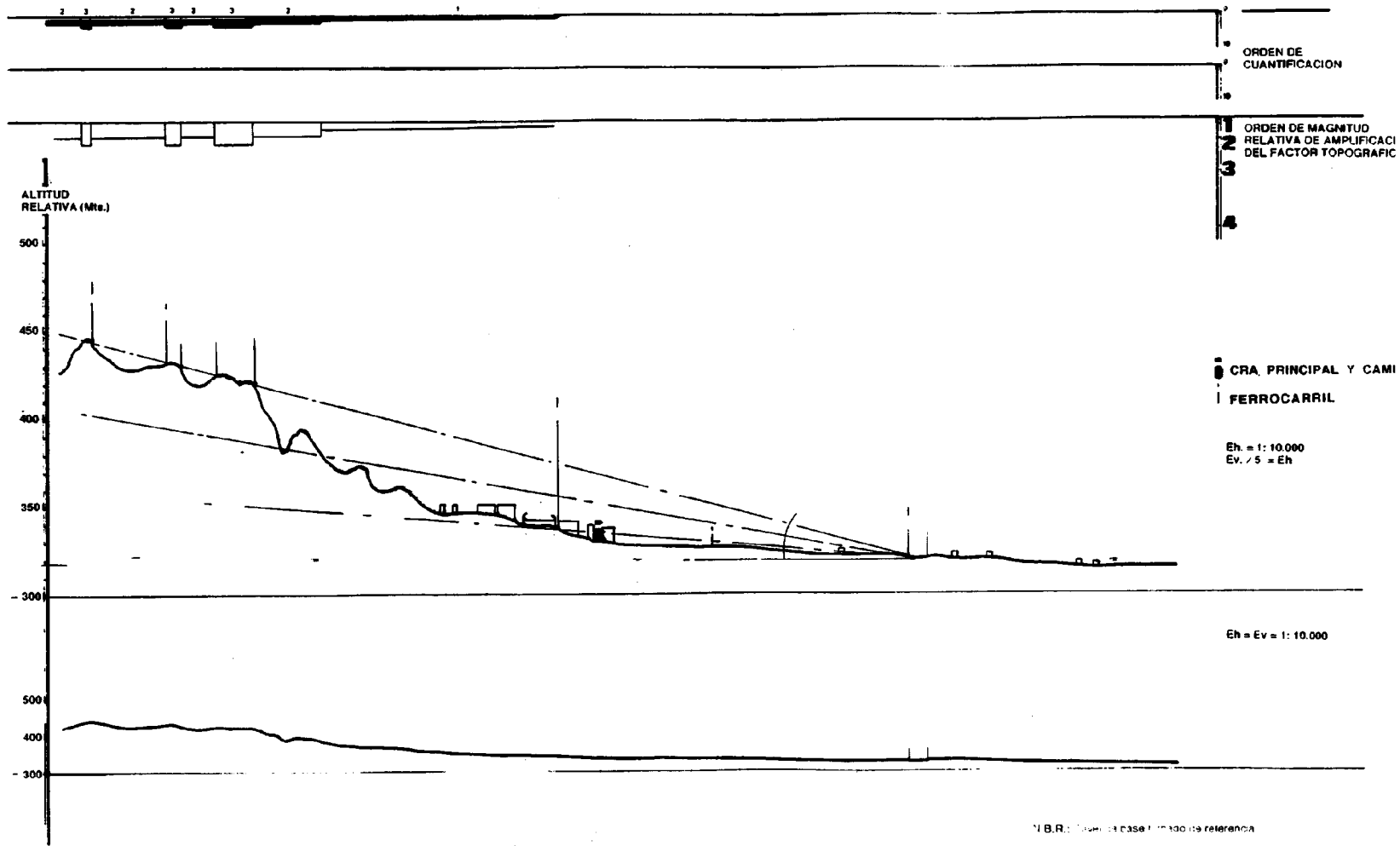
CRA. PRINCIPAL Y CAMINO FERROCARRIL

Eh = 1: 10.000
Ev. / 5 = Eh

Eh = Ev = 1: 10.000

N.T.T. Nivel de base o medio de referencia

CORTE TOPOGRAFICO C - C



ORDEN DE CUANTIFICACION

ORDEN DE MAGNITUD RELATIVA DE AMPLIFICACION DEL FACTOR TOPOGRAFICO

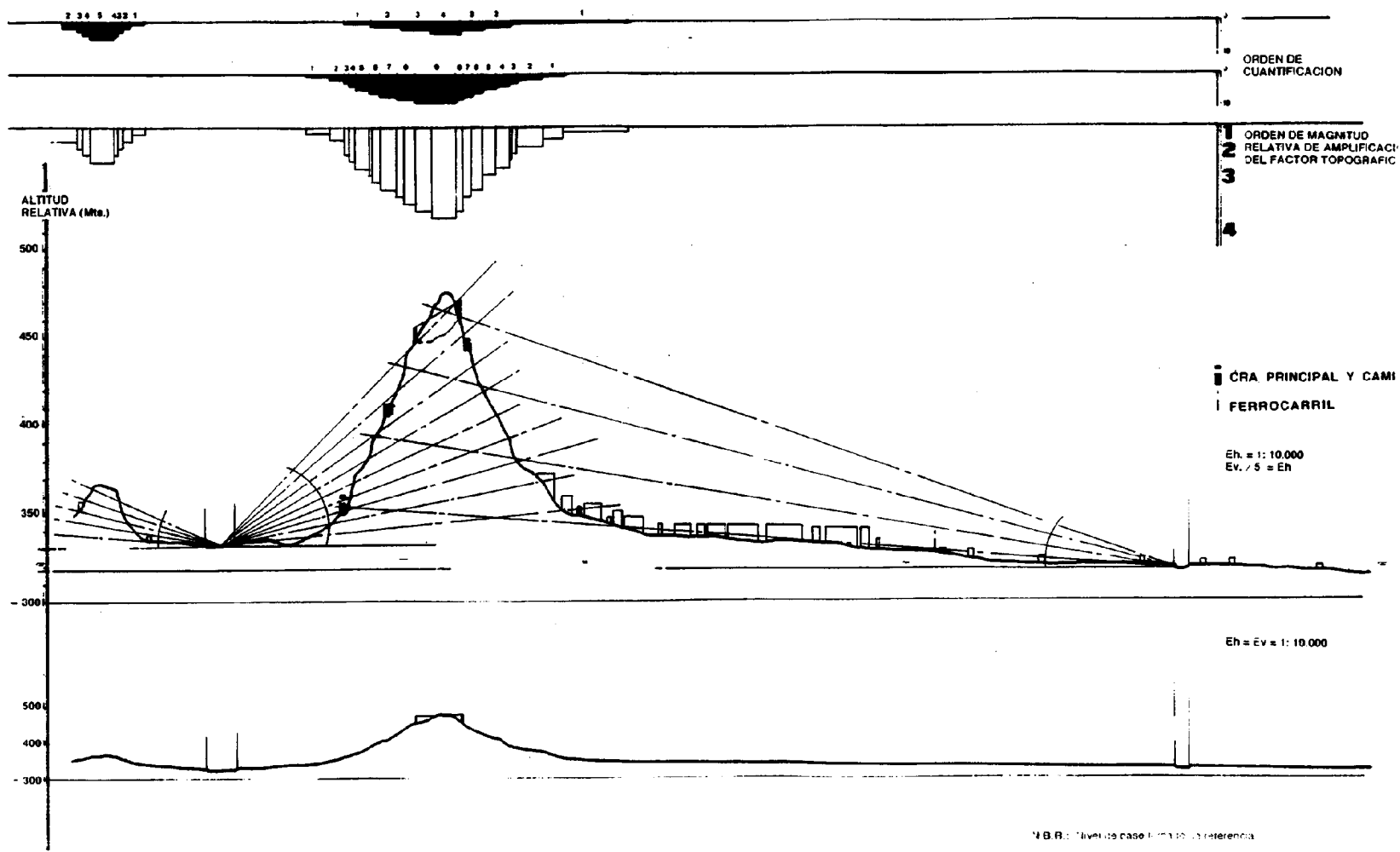
— CRA PRINCIPAL Y CAMI
- - - FERROCARRIL

Eh = 1: 10.000
Ev / 5 = Eh

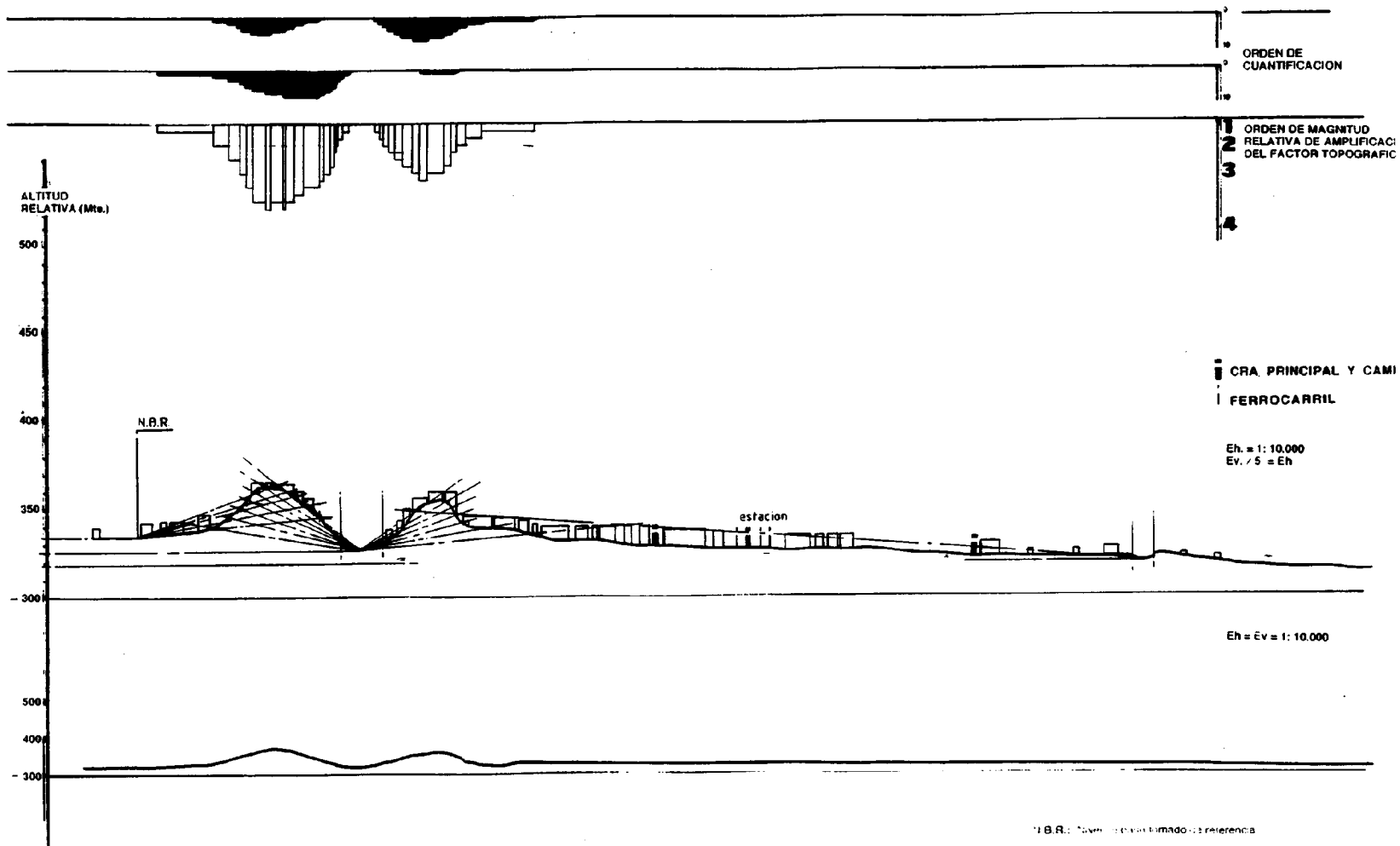
Eh = Ev = 1: 10.000

N.B.R.: Ver en caso 1.000 de referencia

CORTE TOPOGRAFICO 7-0



CORTE TOPOGRAFICO E'-E



ANEXO II

**PLANO DE SITUACION DE LOS PERFILES DE INVESTIGACION
GEOFISICA**



- A—B SITUACION DE LOS PERFILES SISMICOS
- ▣ INVESTIGACION GEOTECNICA (sondeos)
- △ SONDEOS ELECTRICOS VERTICALES (S.E.V.)

ANEXO III
PERFILES SISMICOS

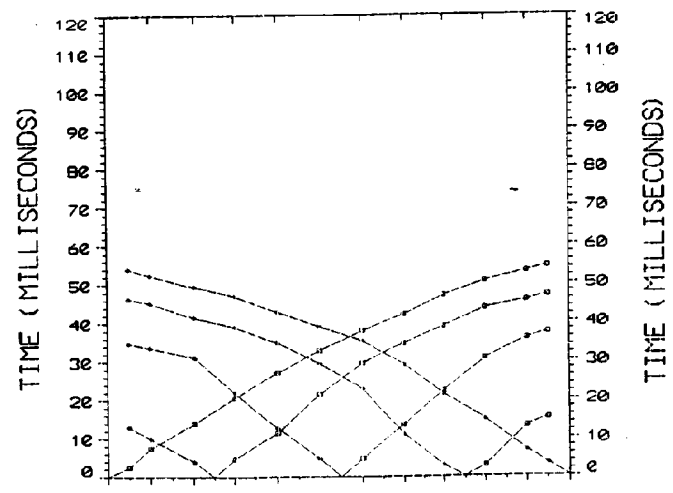
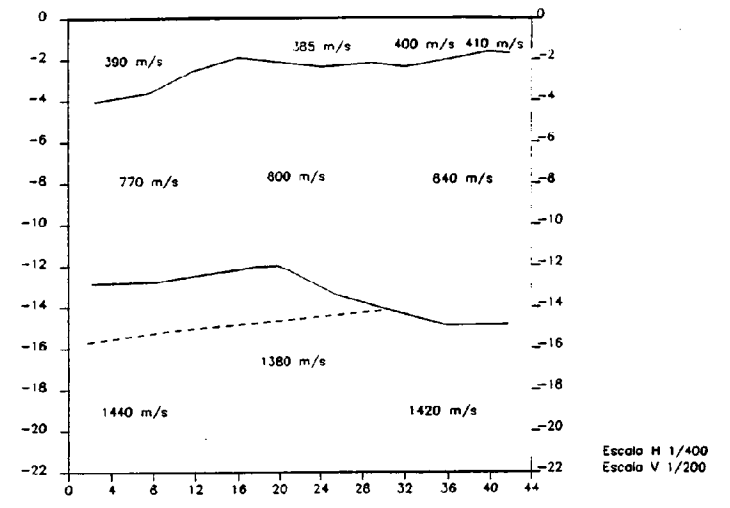
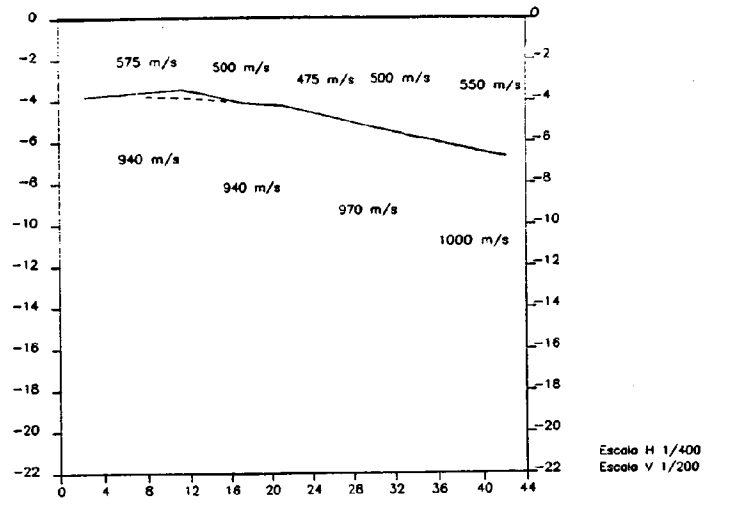
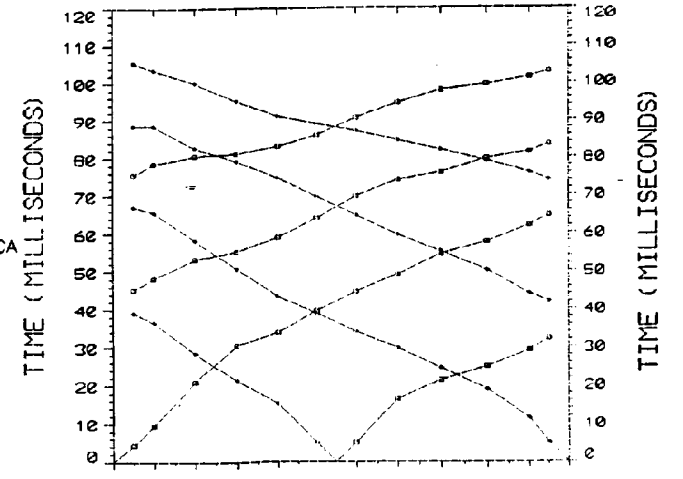


Figura 2.- Perfil sismico CAMPO DE FUTBOL

DROMOCRONICA



DROMOCRON

Figura 3.- Perfil sismico FERIA

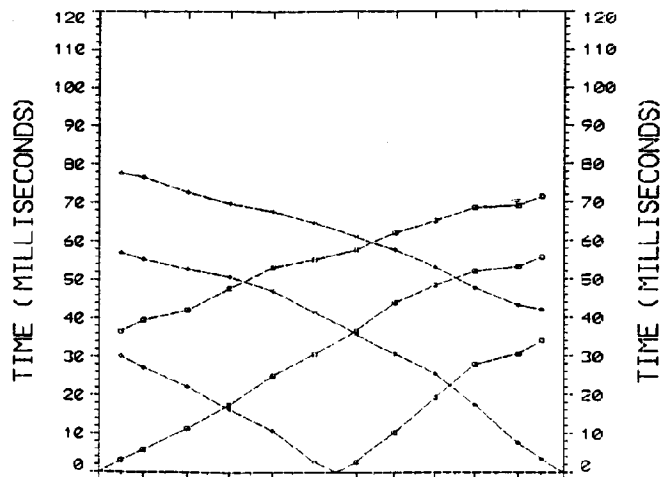
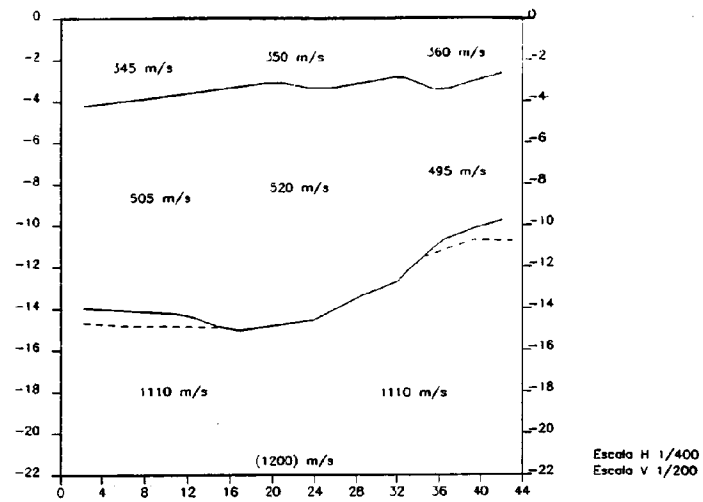
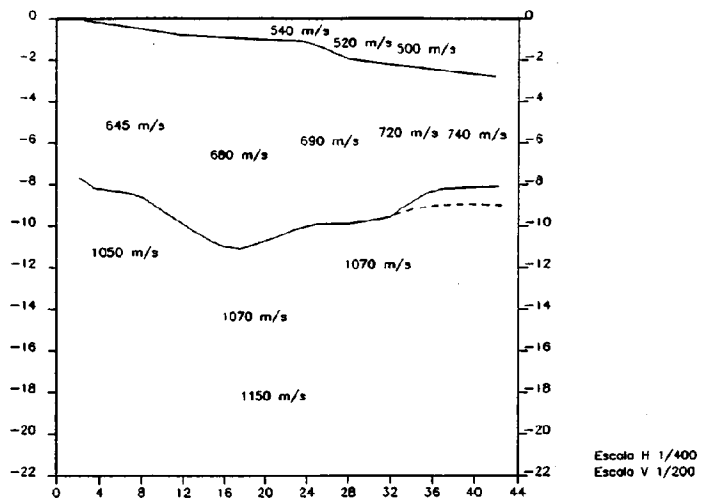
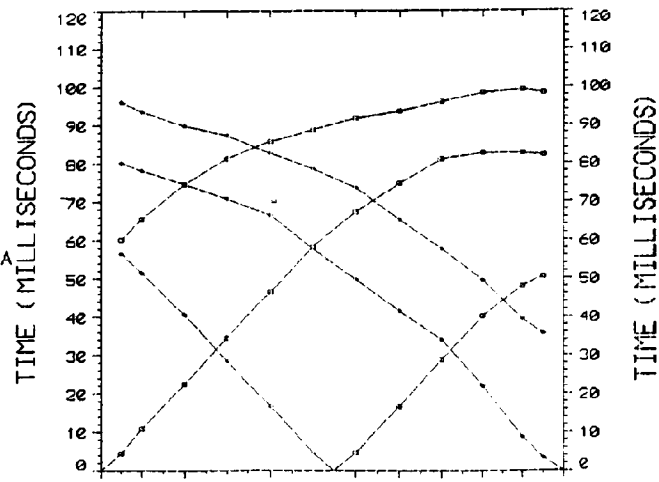


Figura 4.- Perfil sismico CANAL

DROMOCRONICA



DROMOCRON

Figura 5.- Perfil sismico ALAMEDA

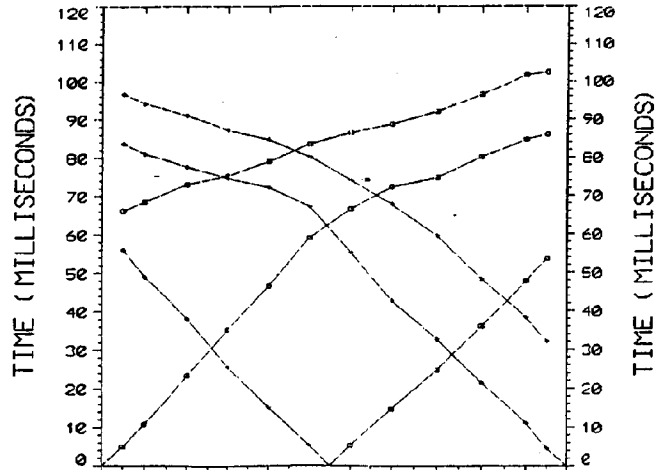
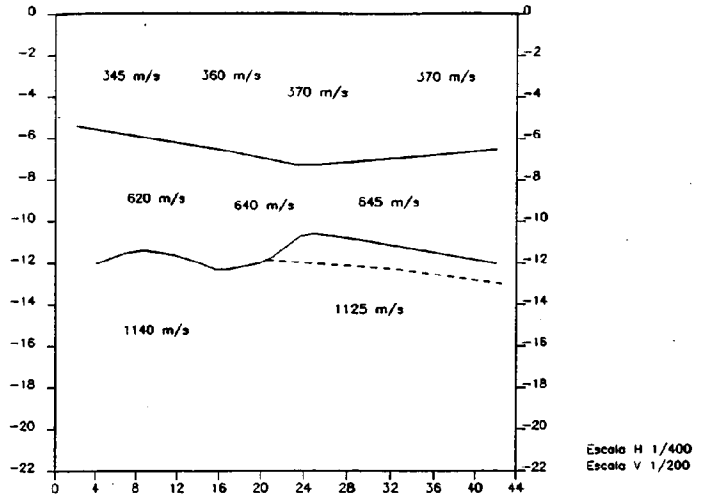


Figura 6.- Perfil sísmico CRUCE DEL GATO. Interpretación con dos refractores

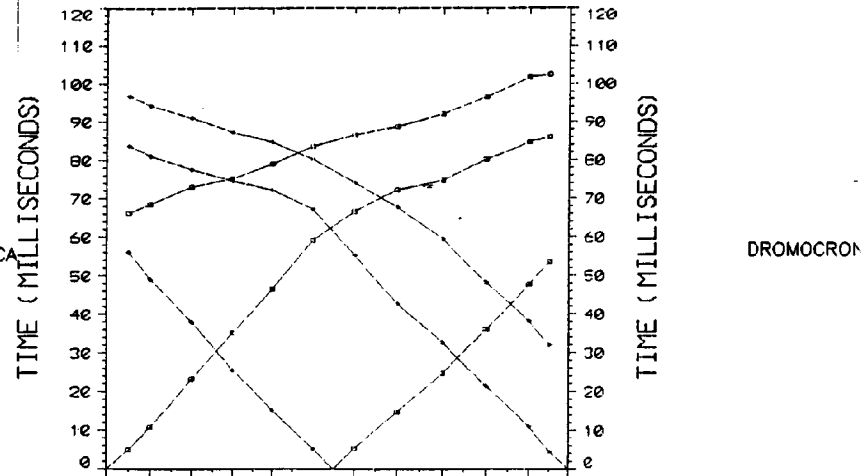
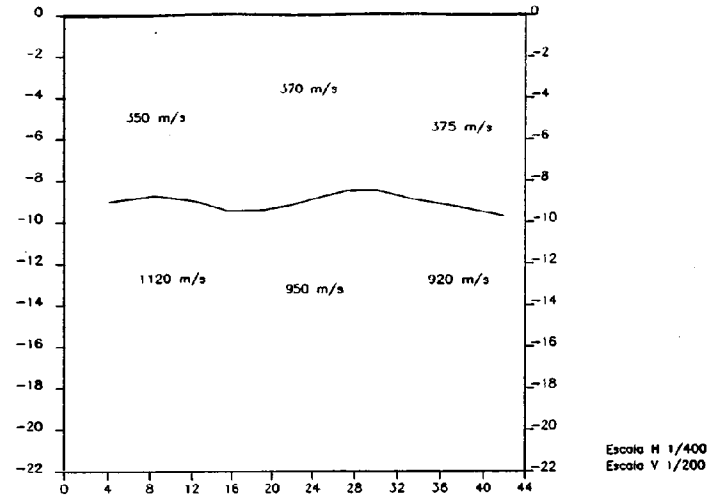


Figura 7.- Perfil sísmico CRUCE DEL GATO. Interpretación con un refractor

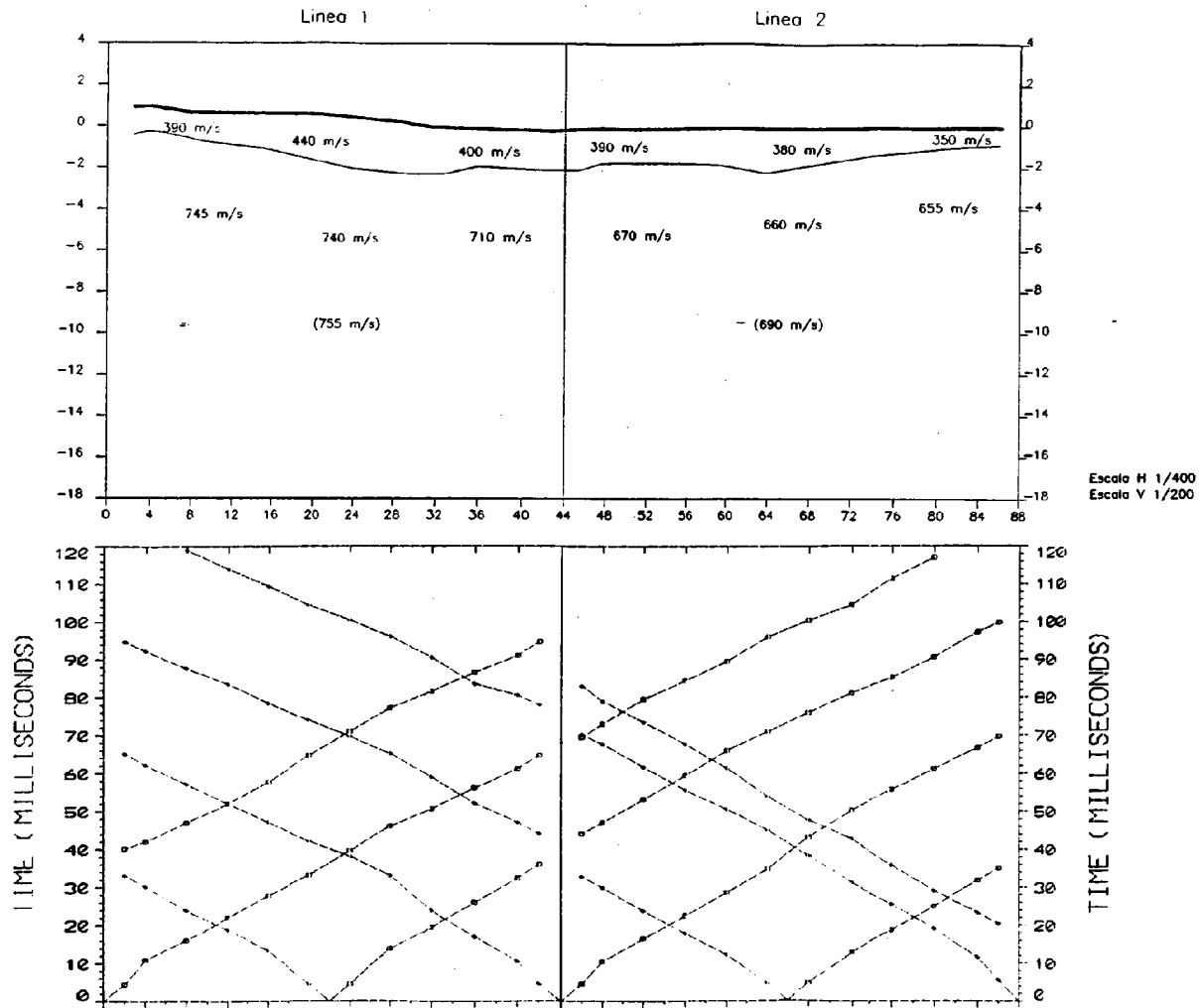
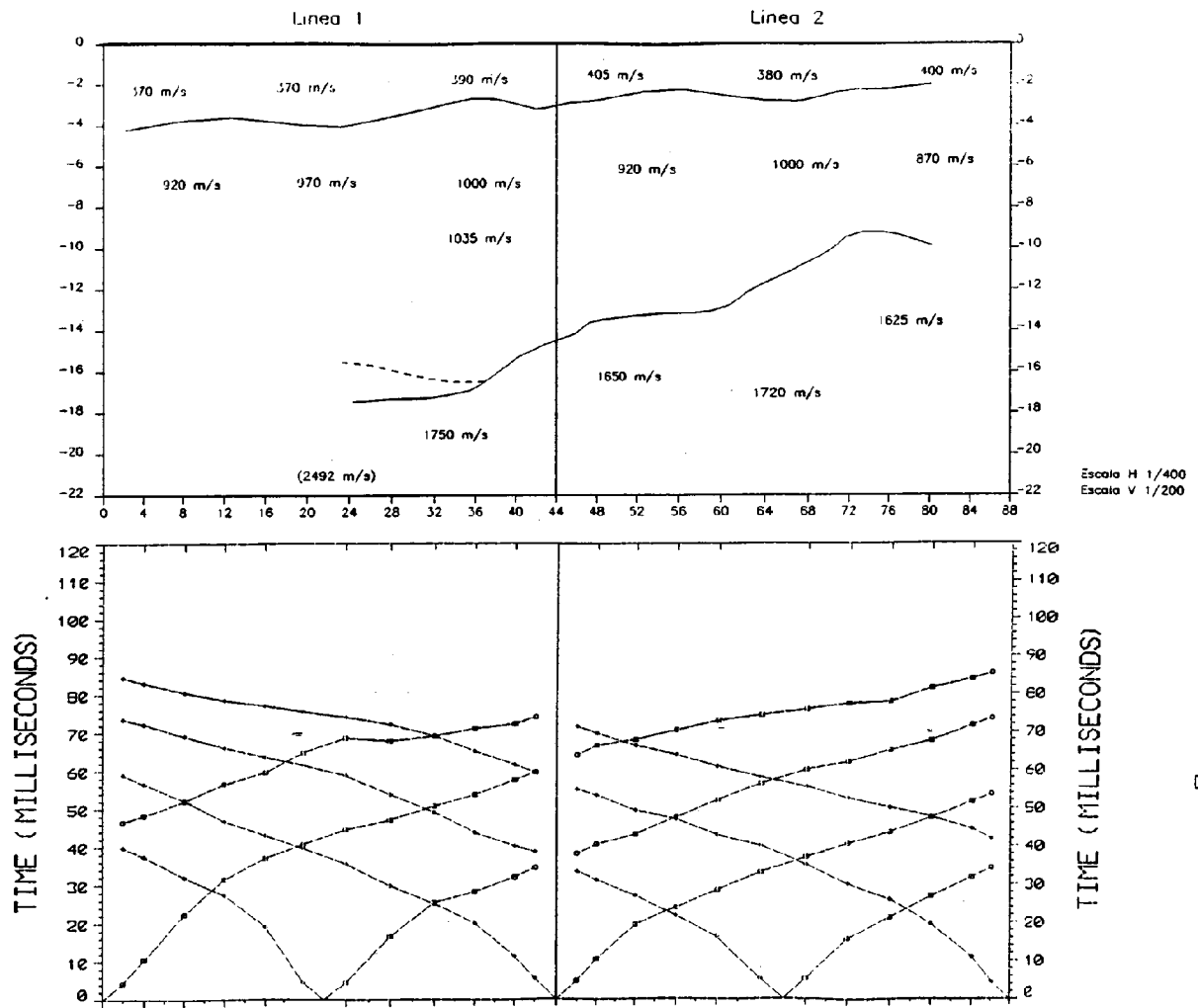
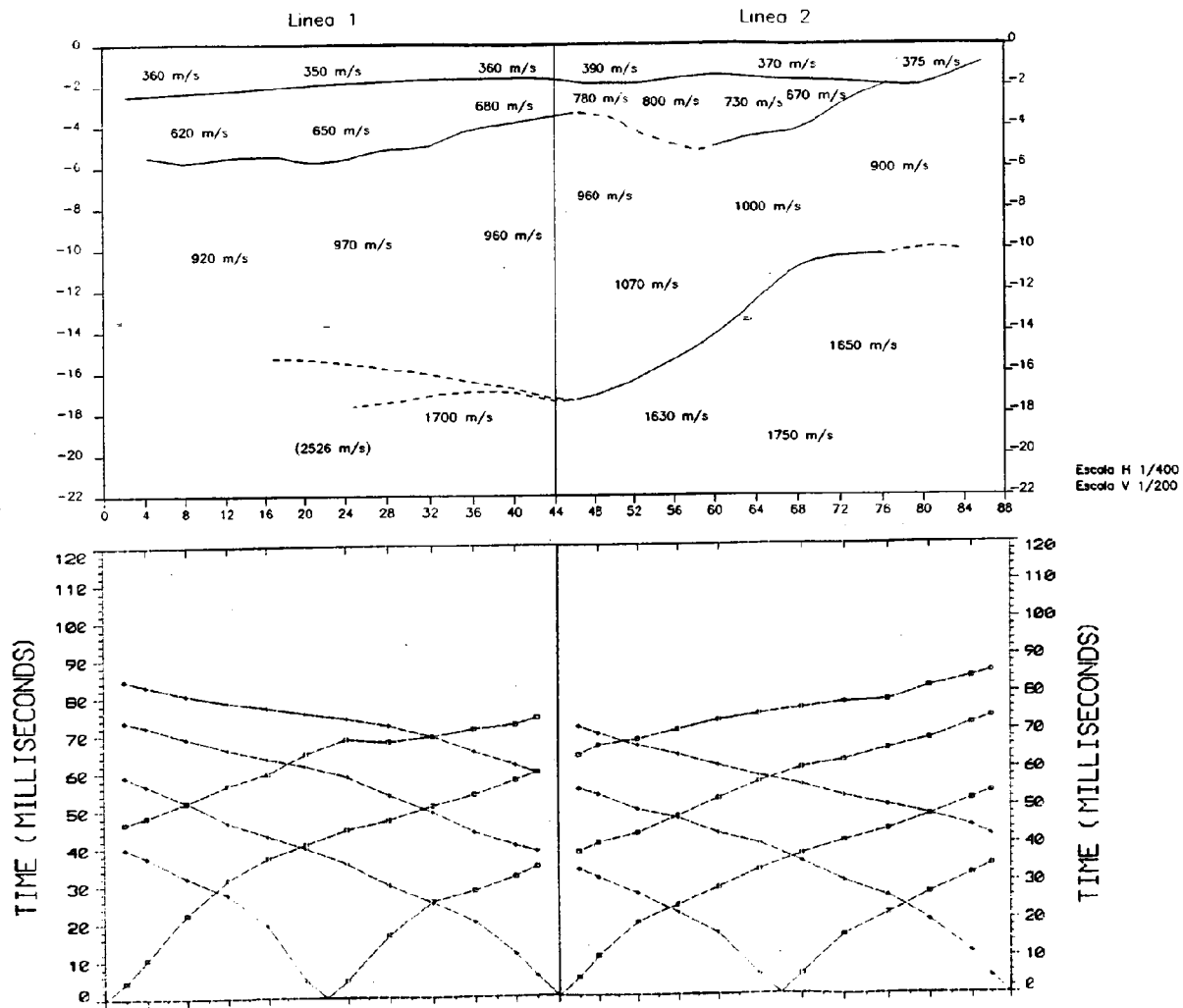


Figura 8.- Perfil sismico INSTITUTO



DROMOCRONICA

Figura 9.- Perfil sismico SAN DIEGO. Interpretacion con dos refractores



DROMOCRONICA

Figura 10 - Perfil sismico SAN DIEGO. Interpretacion con tres refractores

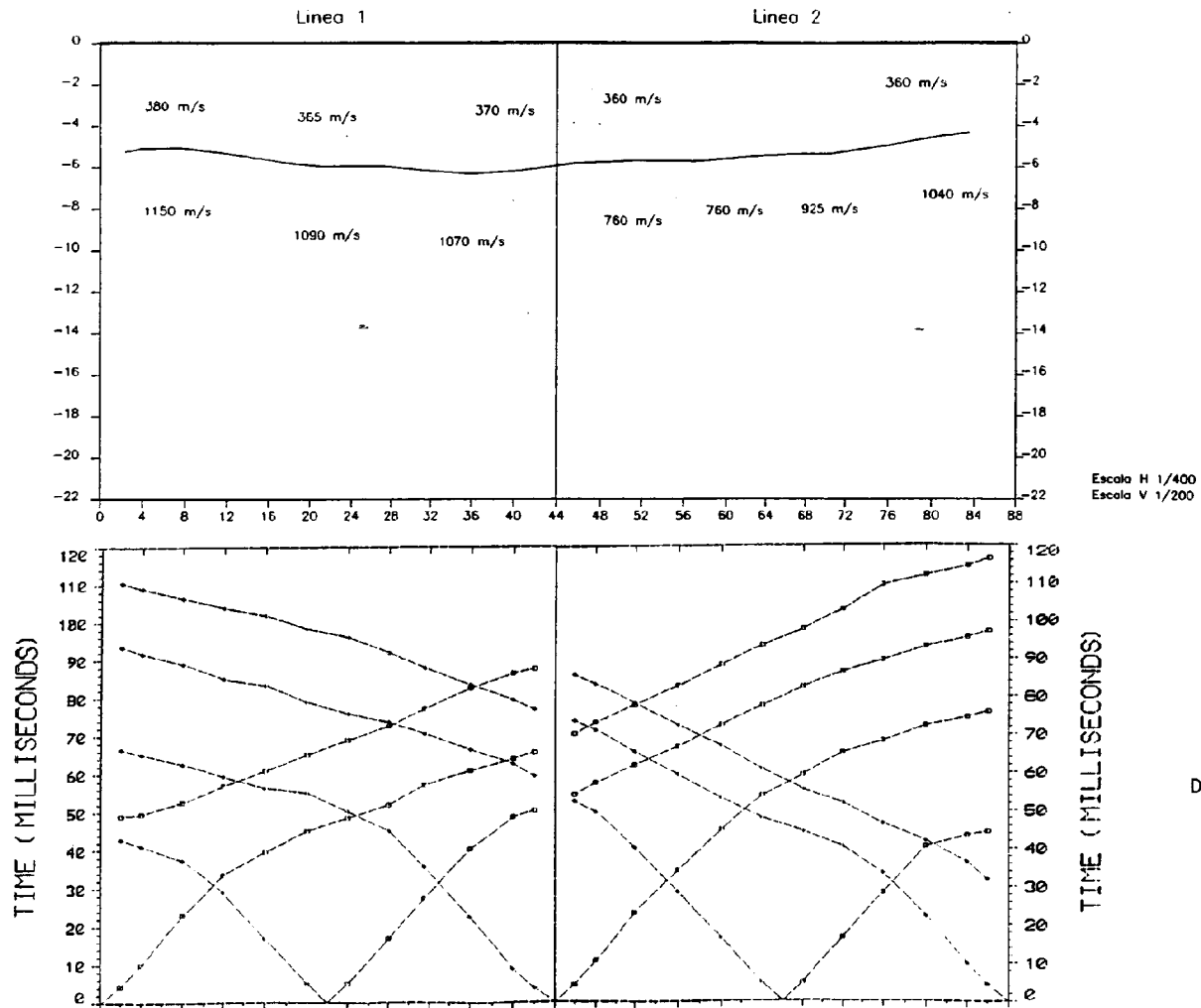


Figura 11.- Perfil sismico PLAZA DE TOROS. Interpretacion con un refractor

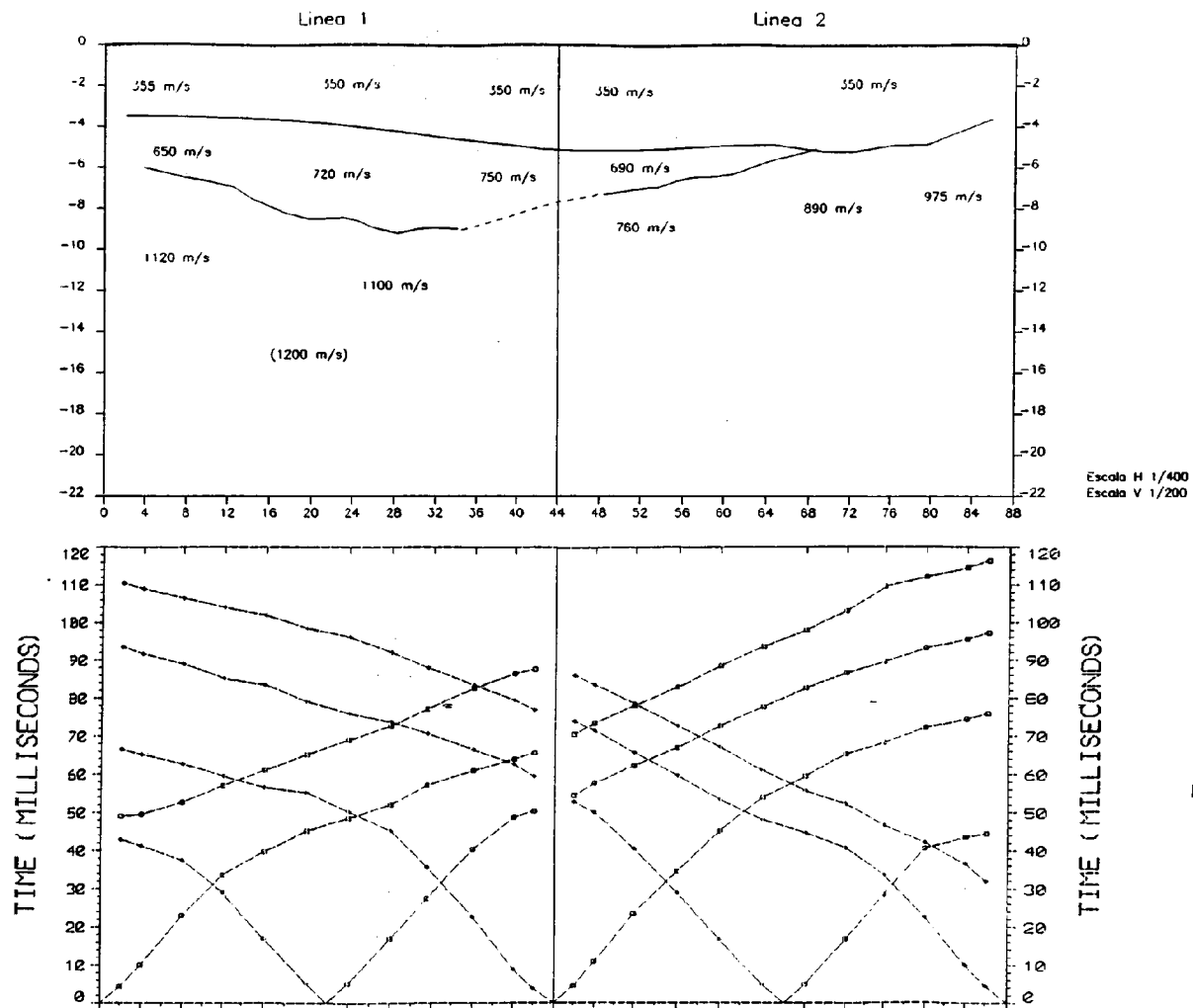


Figura 12.- Perfil sismico PLAZA DE TOROS. interpretacion con dos refractores

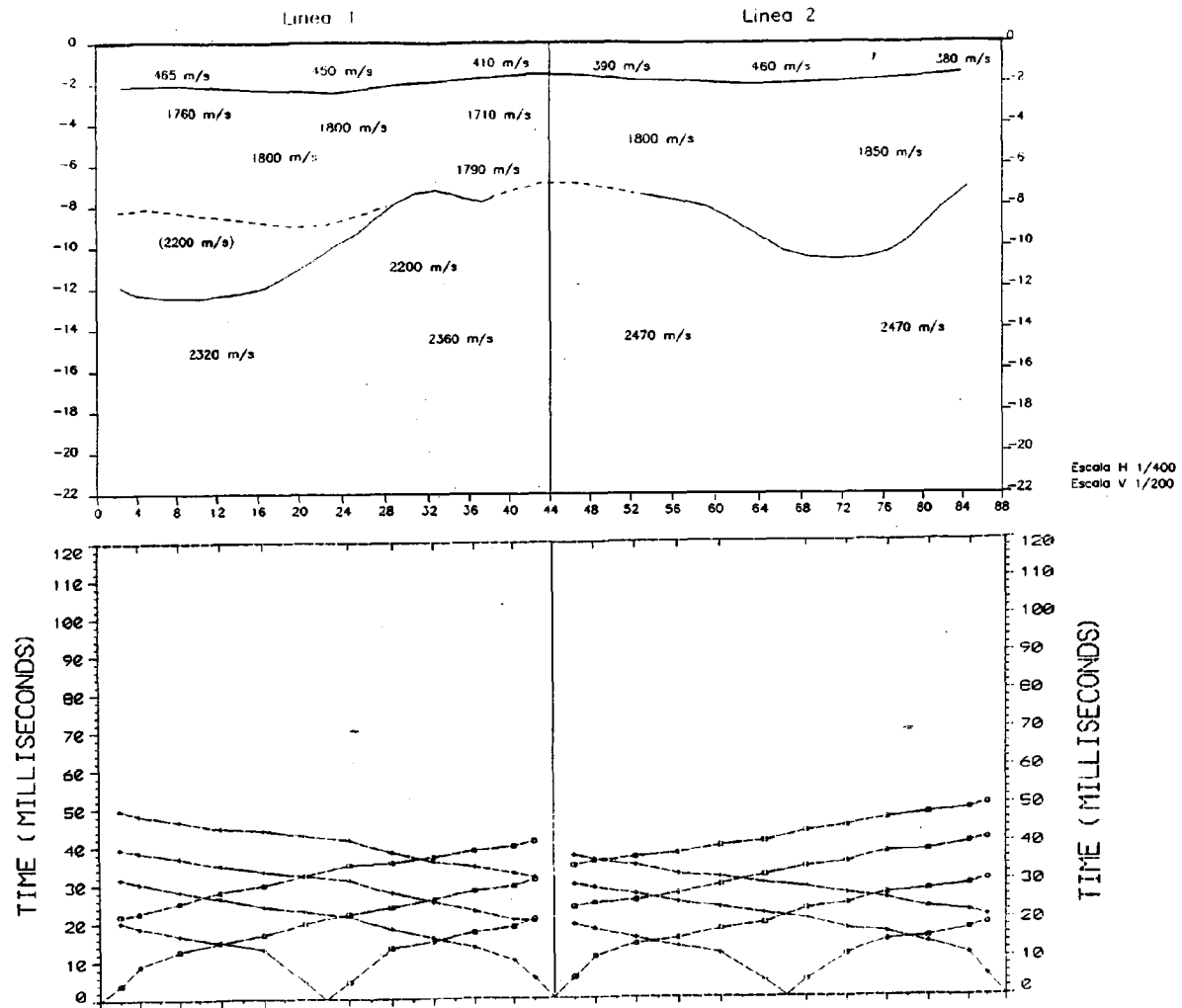
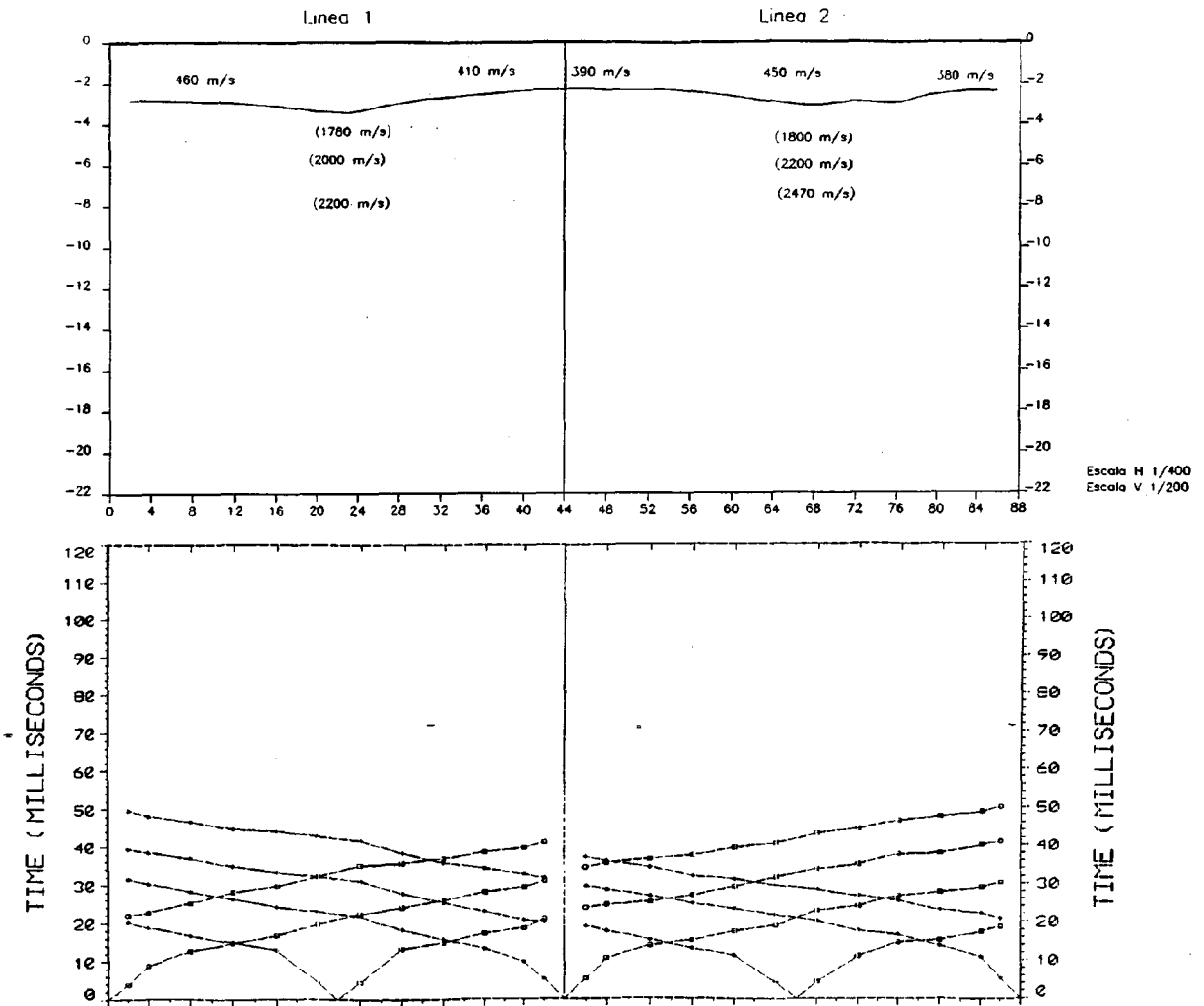


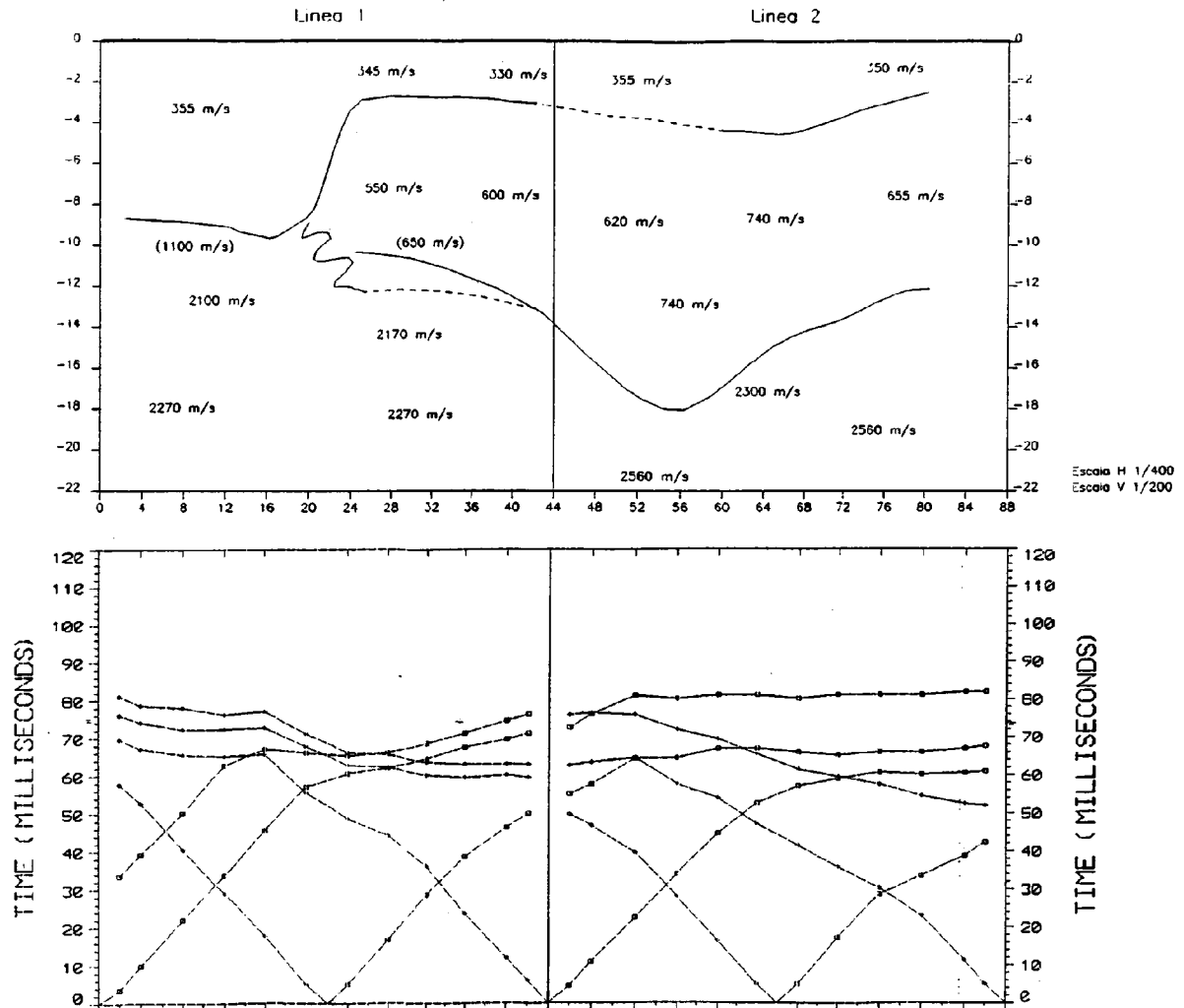
Figura 13.- Perfil sismico RIO GUADALENTIN. Interpretacion con dos refractores



Escala H 1/400
Escala V 1/200

DROMOCRONICA

Figura 14.- Perfil sismico RIO GUADALENTIN. Interpretacion con un refractor



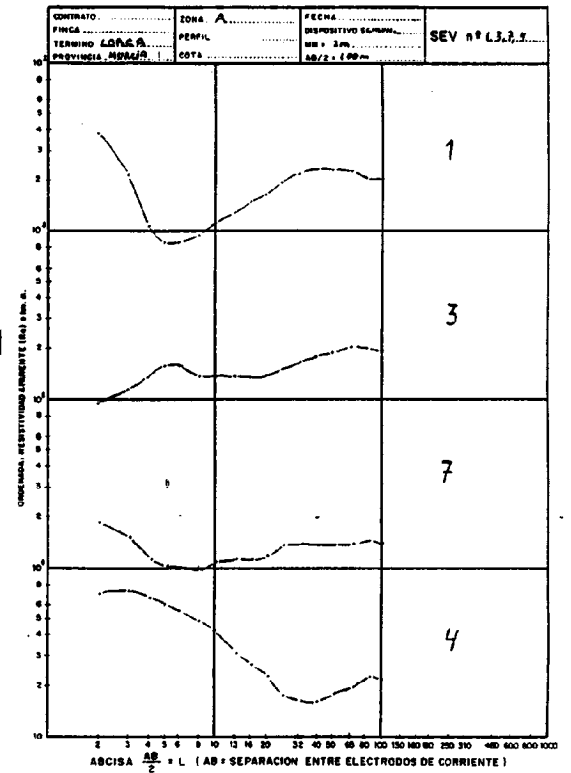
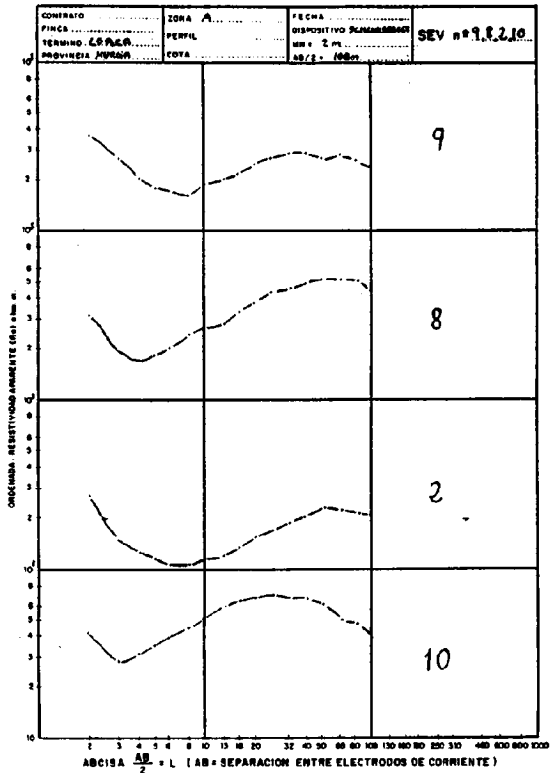
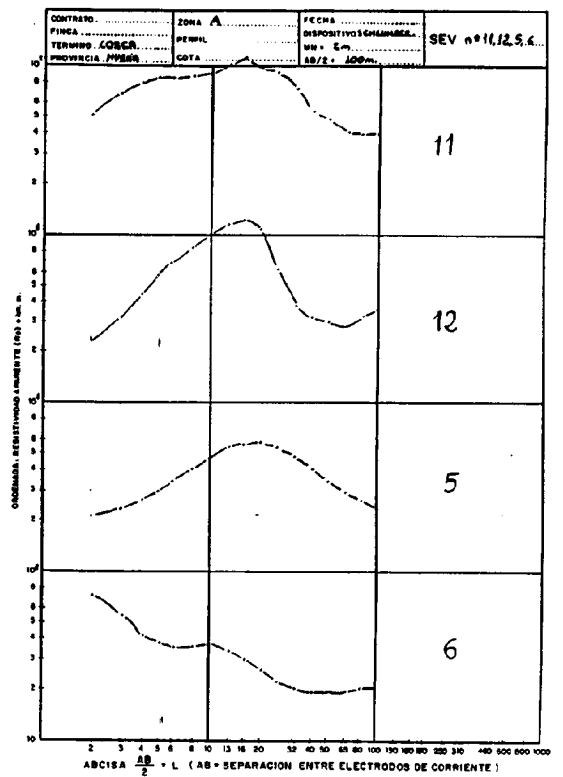
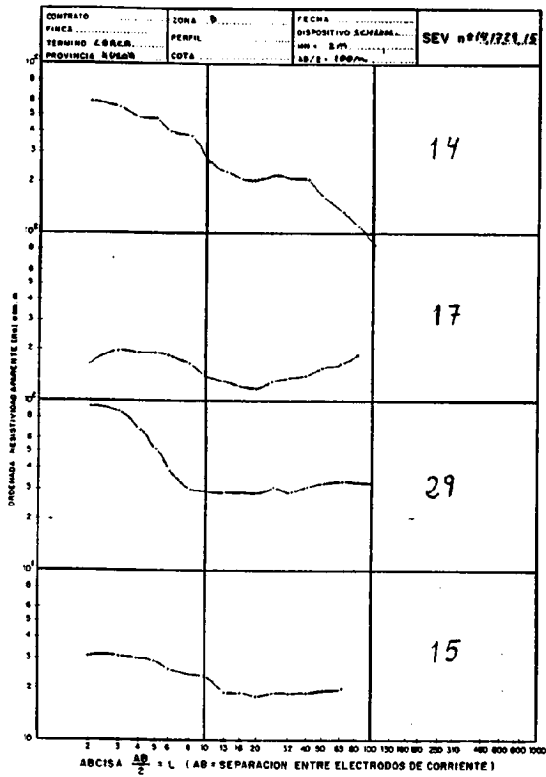
Escala H 1/400
Escala V 1/200

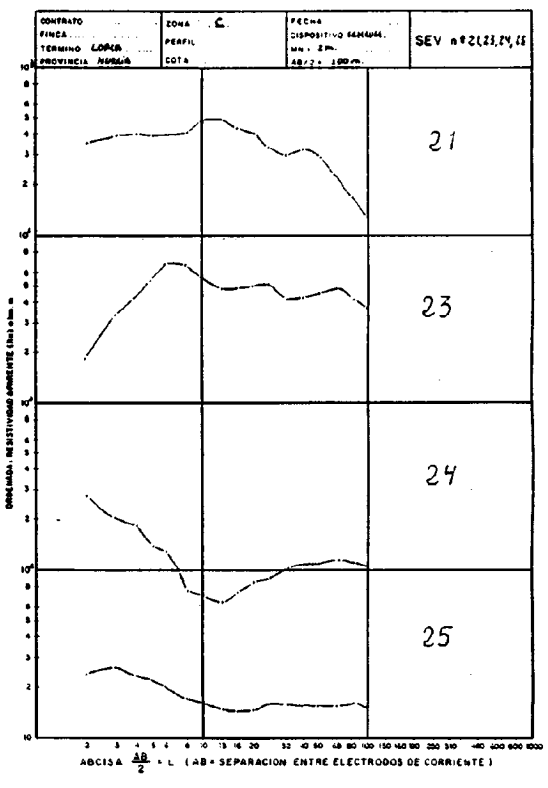
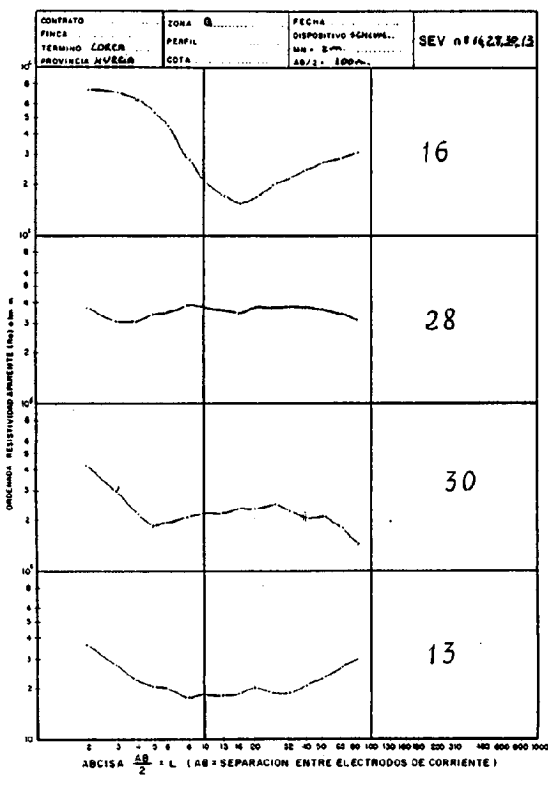
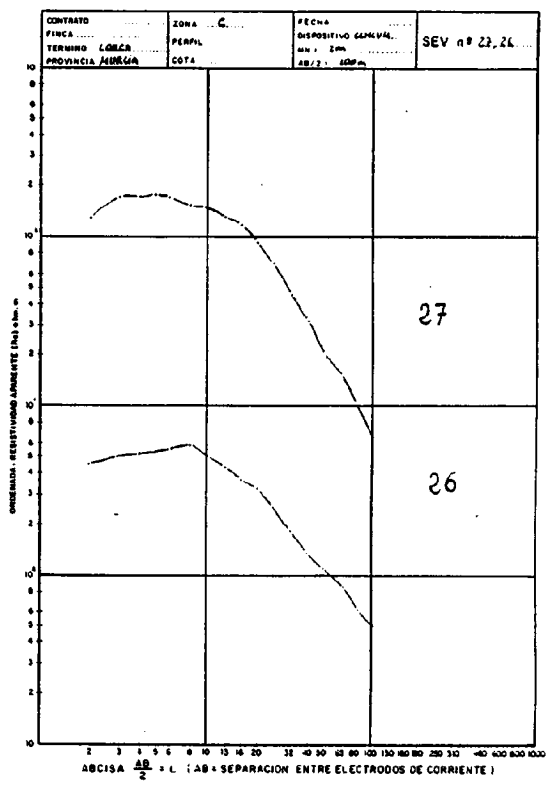
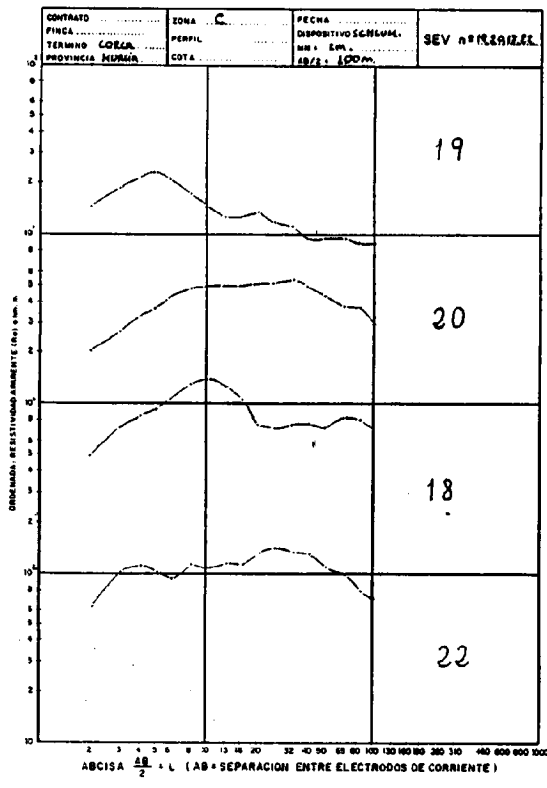
DROMOCRONICA

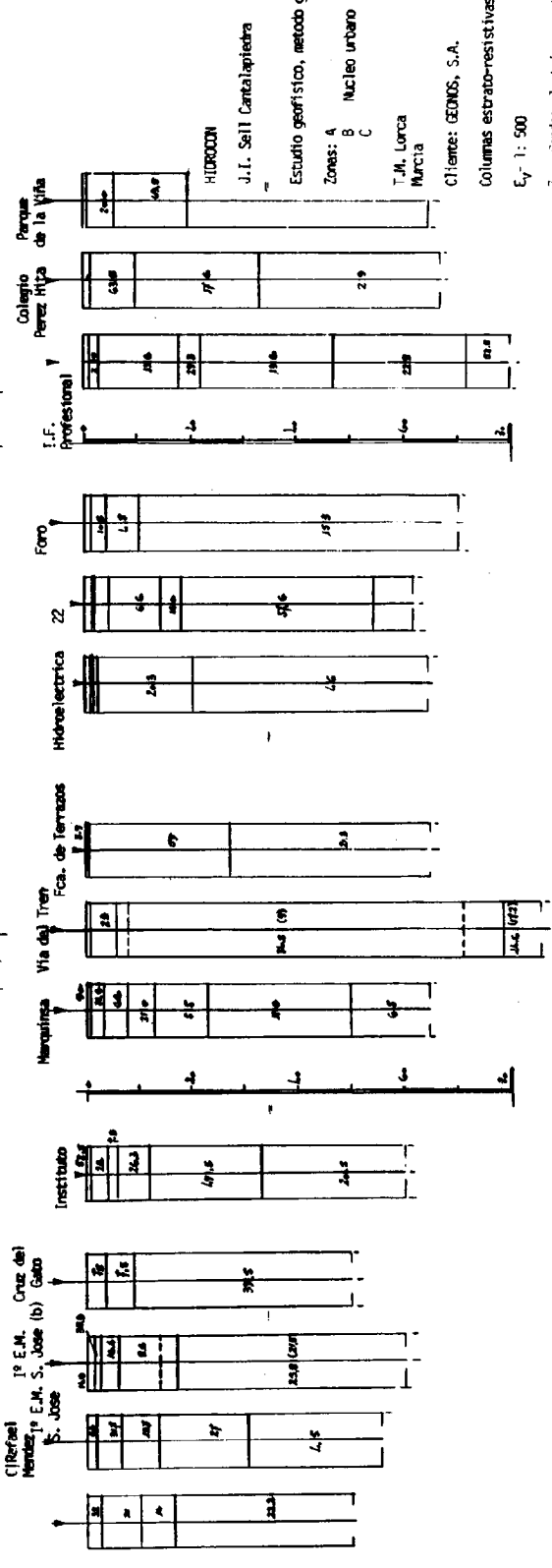
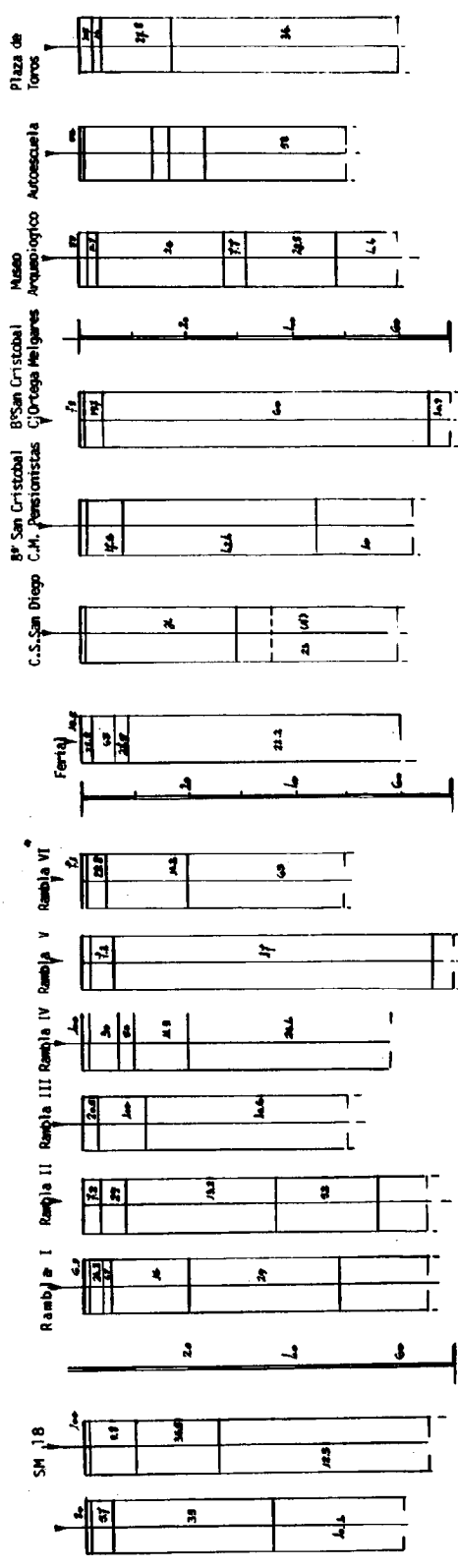
Figura 15.- Perfil sísmico MUSEO ARQUEOLÓGICO

ANEXO IV

**PERFILES REALIZADOS EN BASE A SONDEOS ELECTRICOS
VERTICALES (S.E.V.). COLUMNAS ESTRATORRESISTIVAS.**





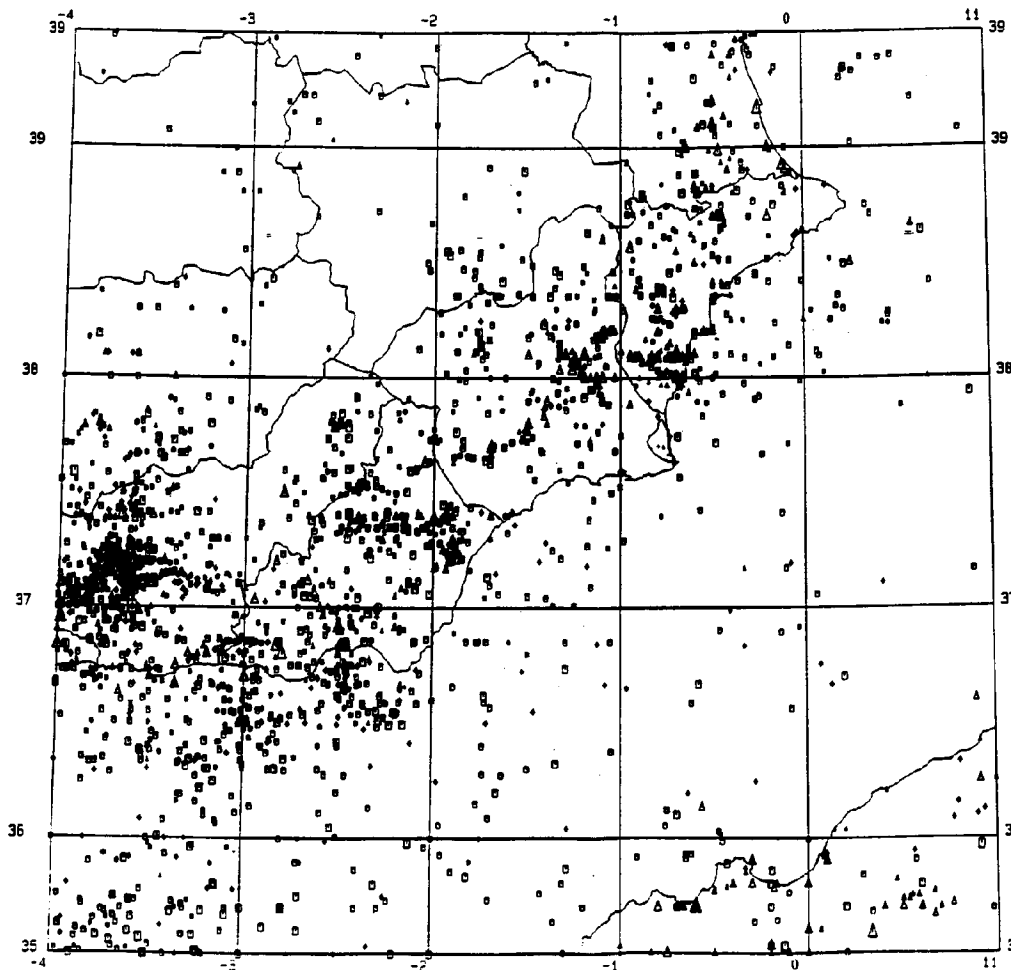


ANEXO V

**SISMICIDAD TOTAL EN EL AREA SURORIENTAL DE LA
PENINSULA IBERICA.**

**MAPAS DE ISOSISTAS DE TERREMOTOS EN LA REGION
DE MURCIA. (Fuente:M.O.P.U. Instituto Geográfico
Nacional de Sismología, Banco de Datos Sísmicos.).**

SISMICIDAD TOTAL



INTENSIDAD

• NO ASIGNADA

- < III
- III ▲ • < IV
- IV ▲ • < V
- V ▲ • < VI
- VI ▲ • < VII
- VII ▲ • < VII
- VIII ▲ • < IX
- IX ▲ • < X
- X ▲ • < XI

MAGNITUD

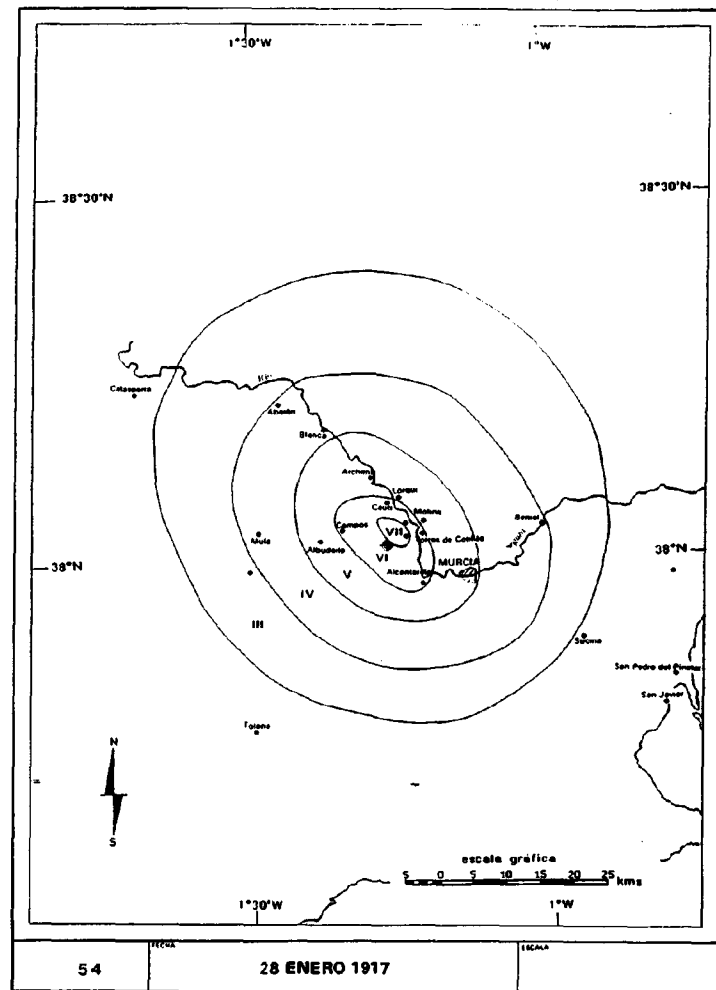
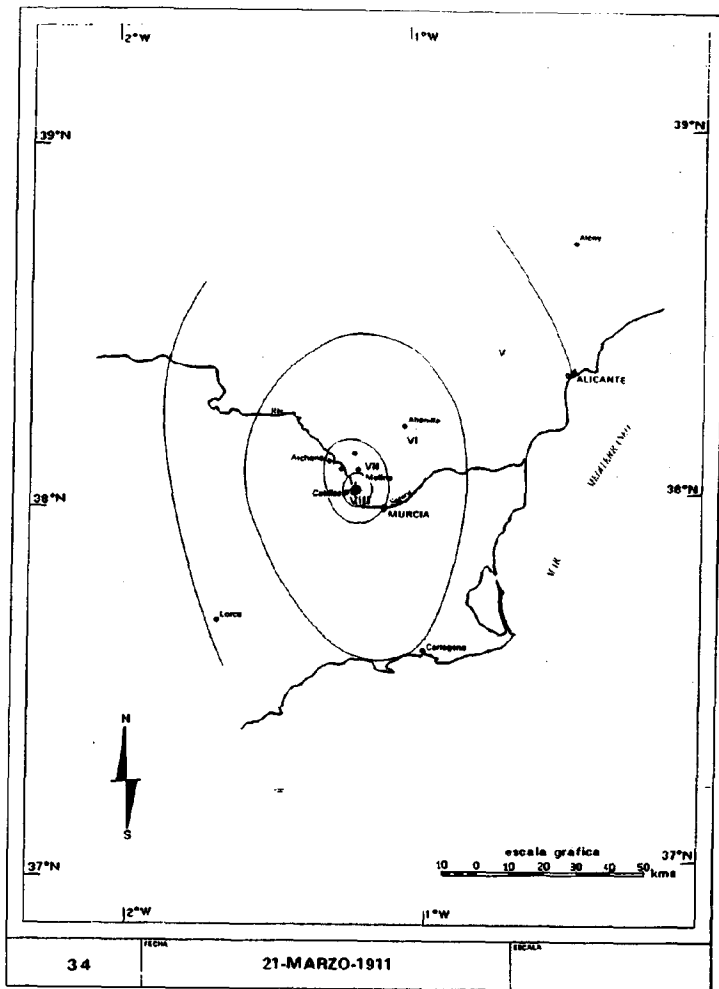
• NO ASIGNADA

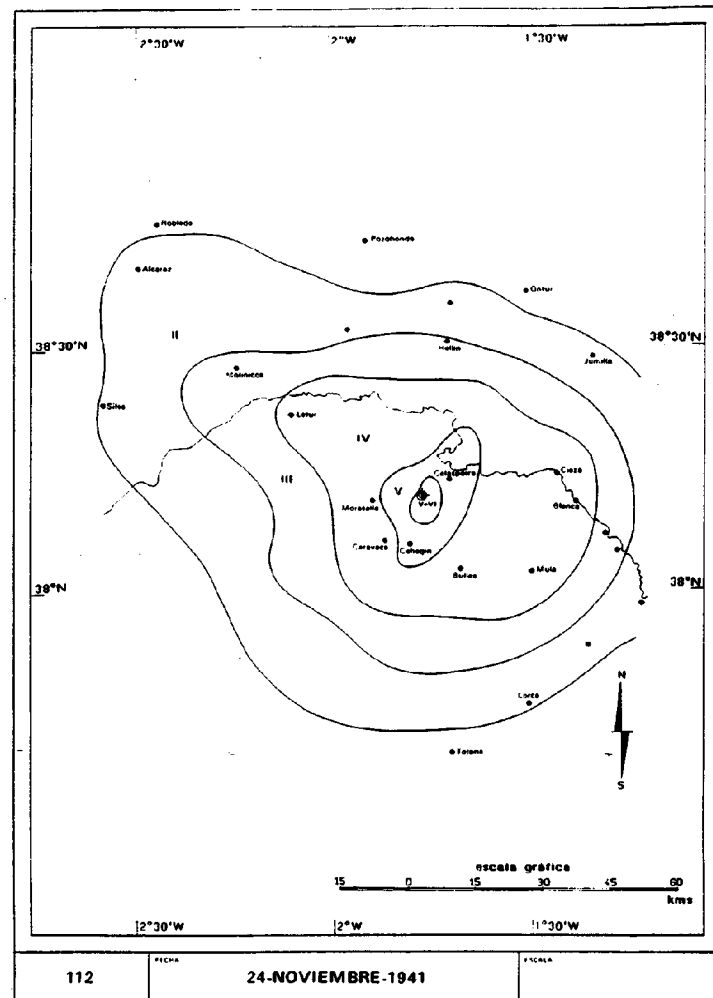
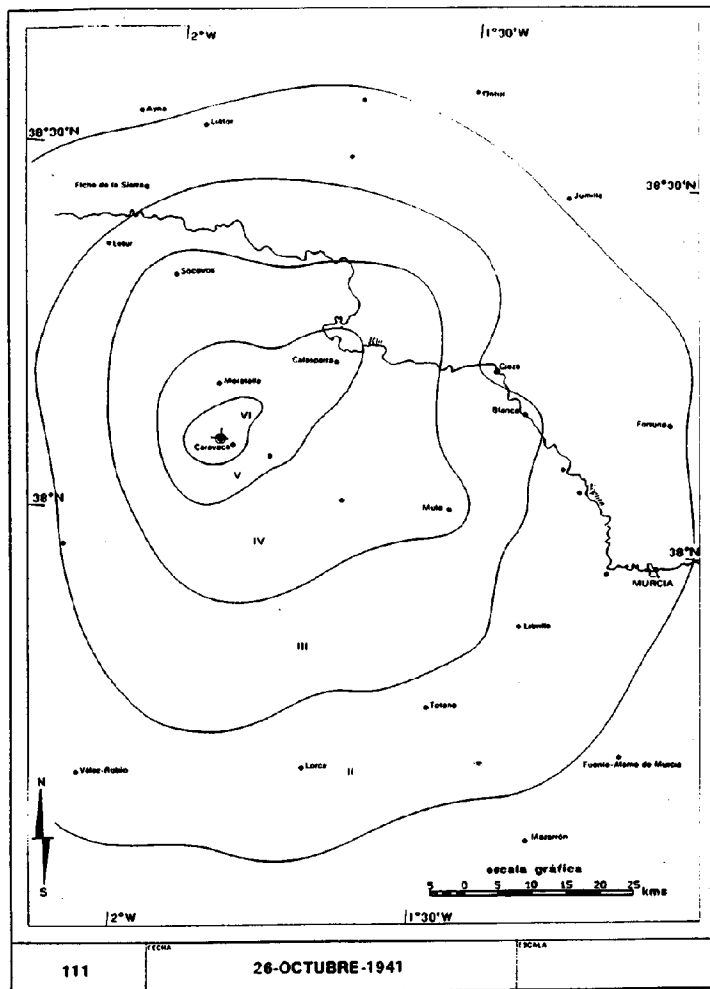
- < 2.0
- 2.0 ▲ • < 3.0
- 3.0 ▲ • < 4.0
- 4.0 ▲ • < 5.0
- 5.0 ▲ • < 6.0
- 6.0 ▲ • < 7.0
- 7.0 ▲ □

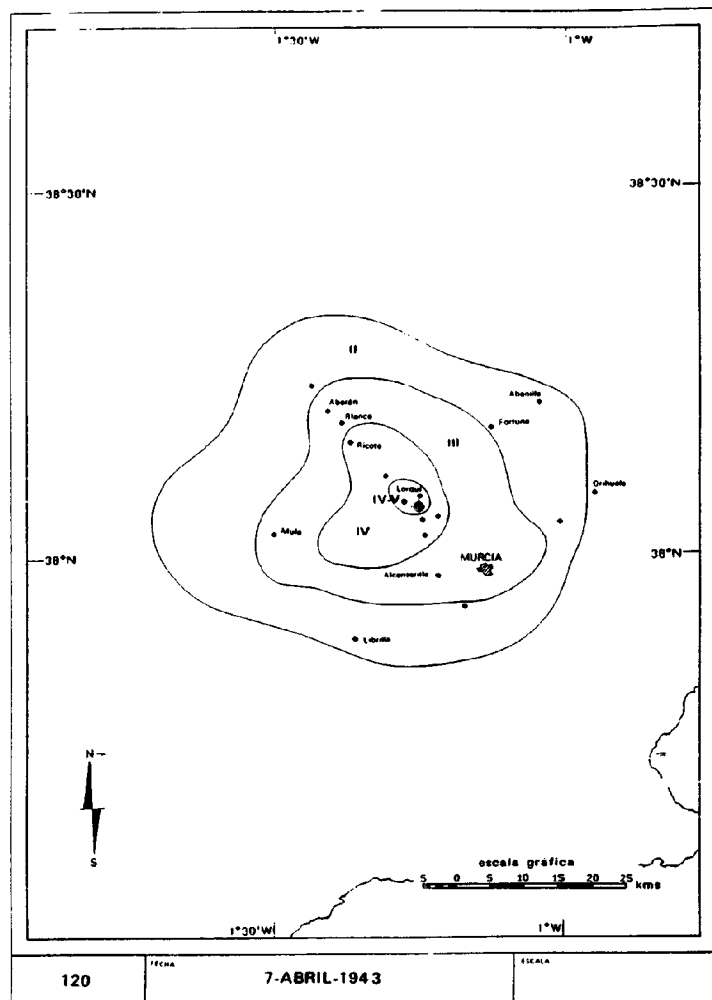
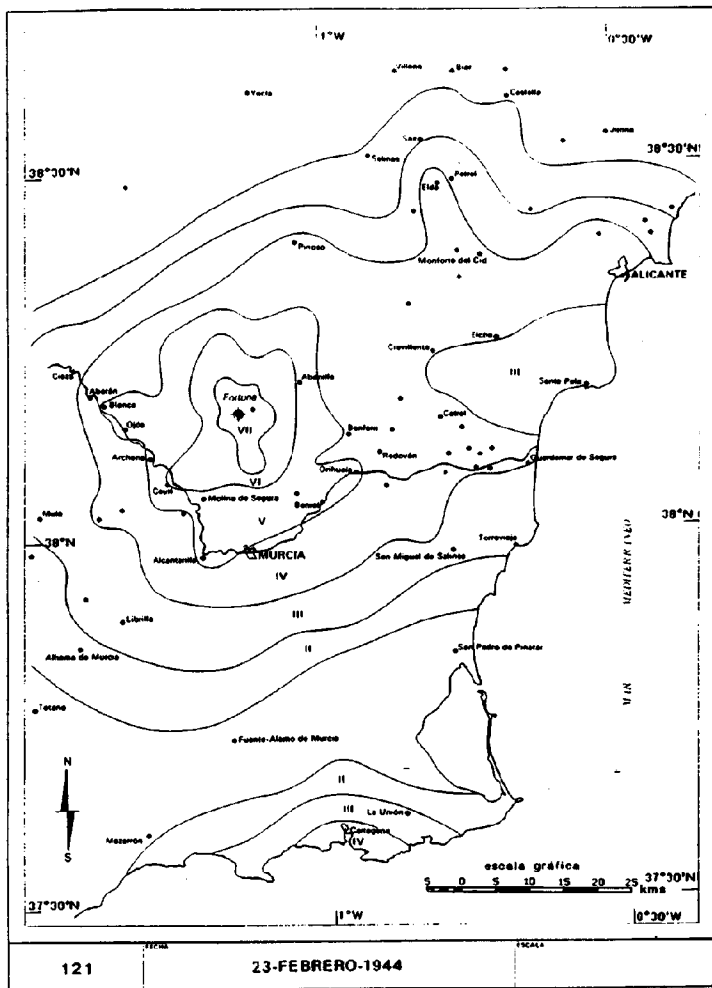
ESCALA 1:2000000

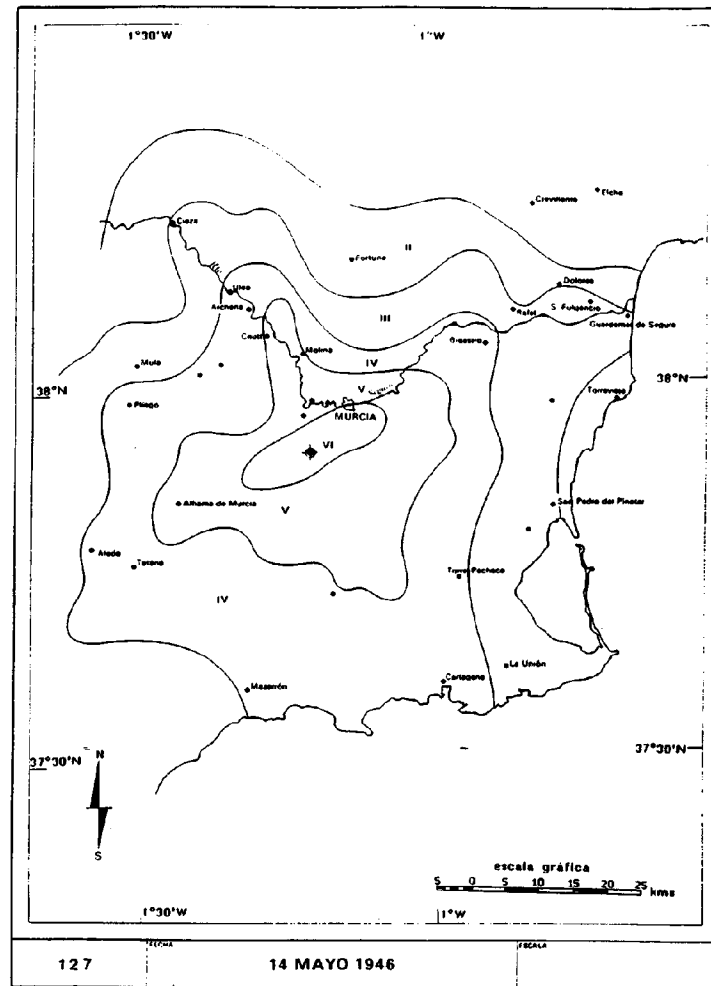
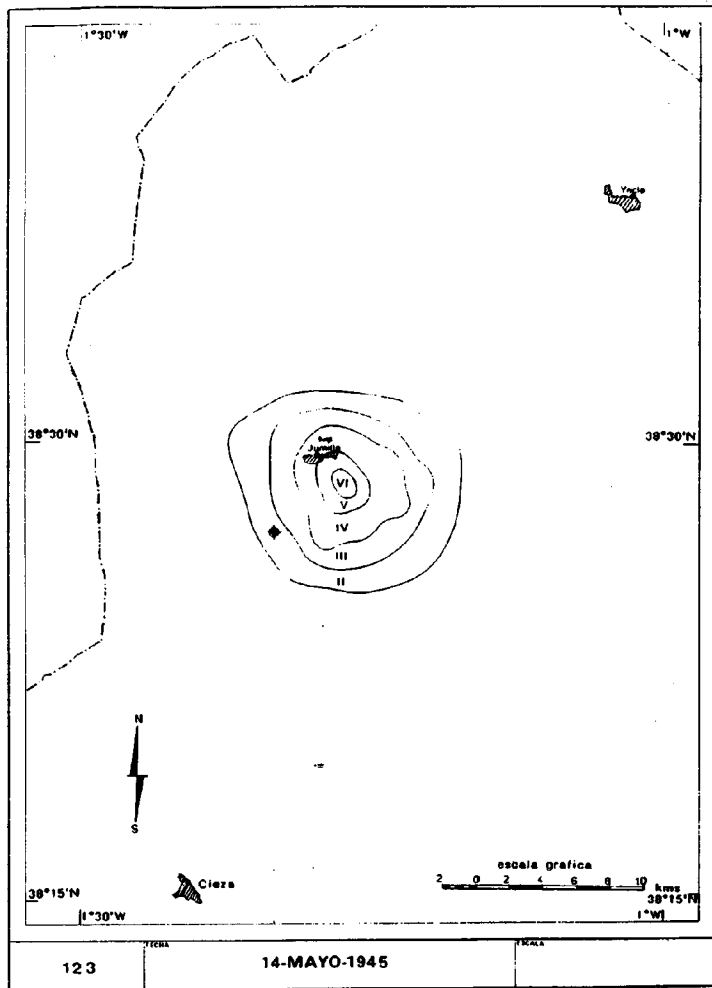
PROYECCION UTM (N 30)

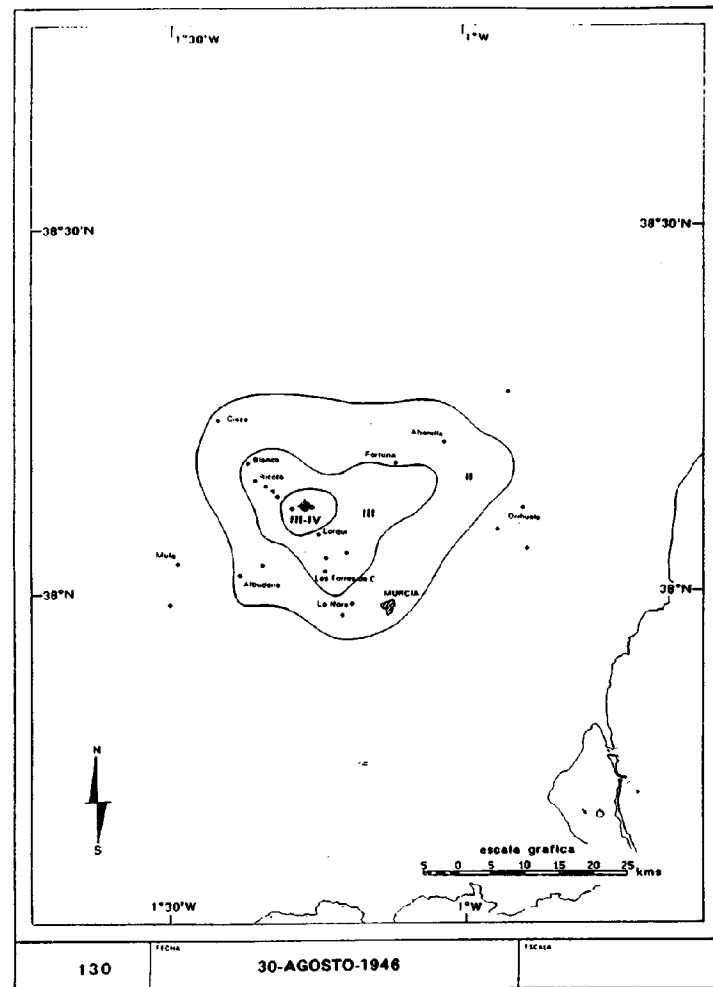
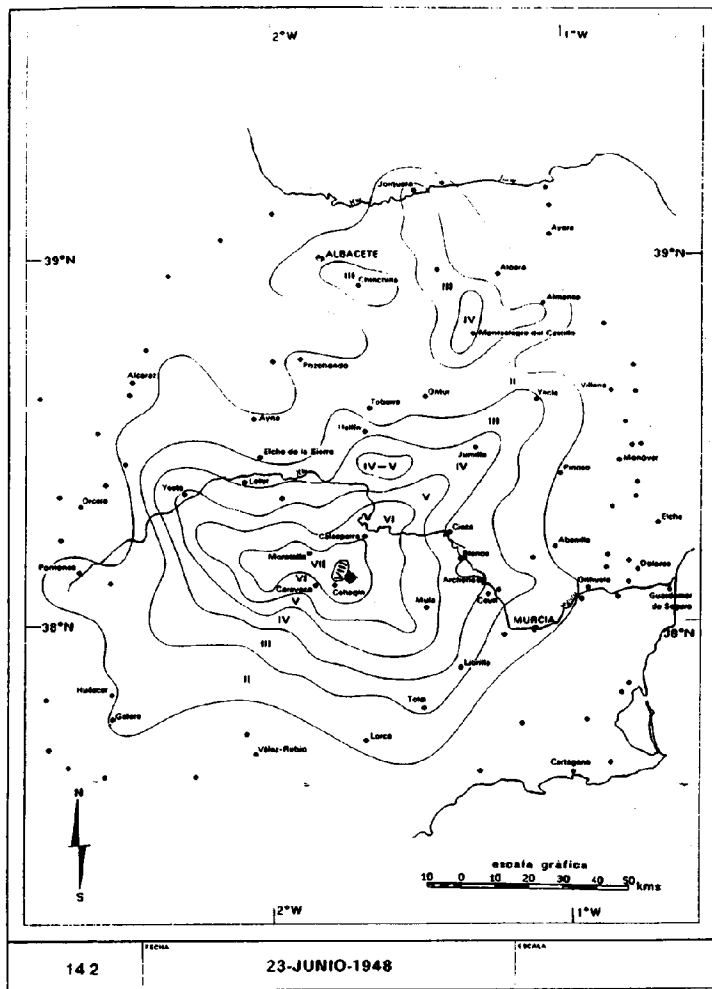
INSTITUTO
GEOGRAFICO
NACIONAL

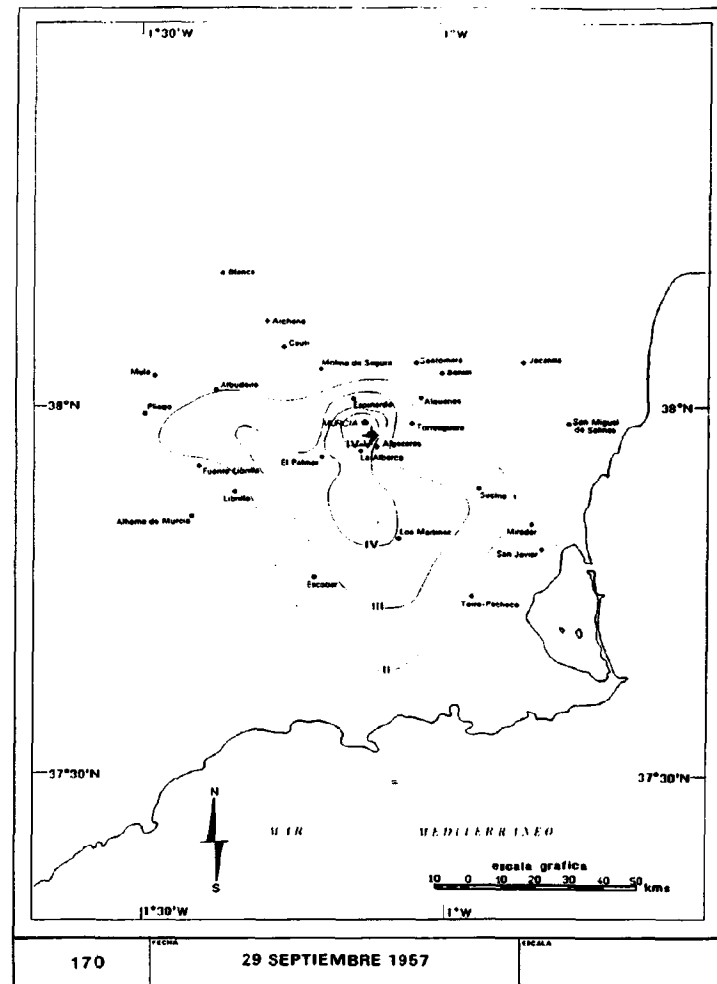
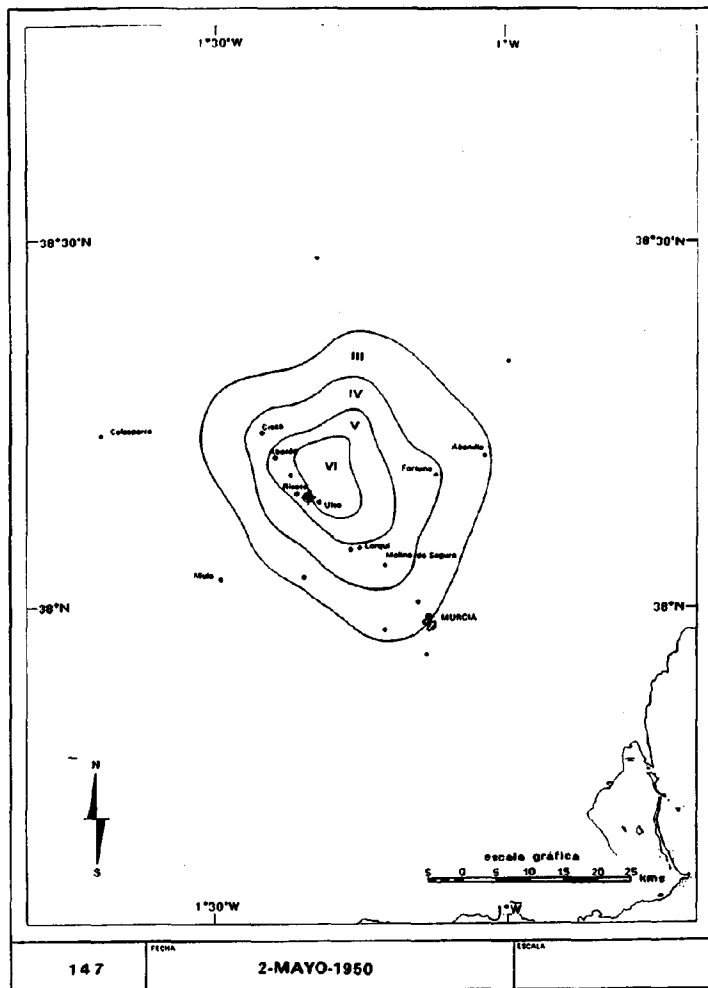


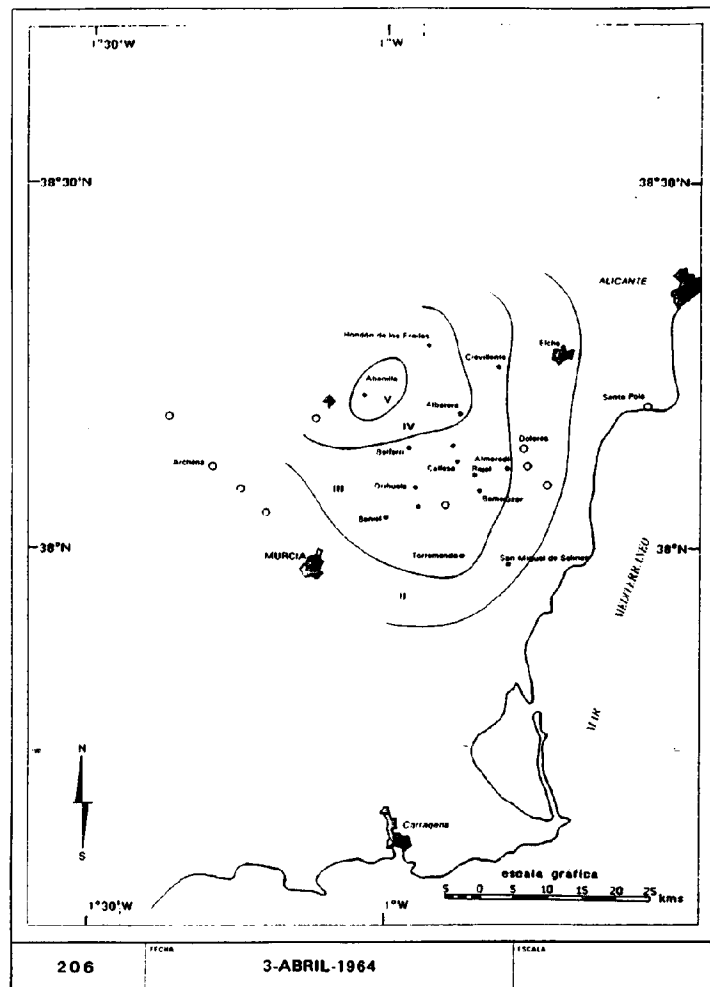
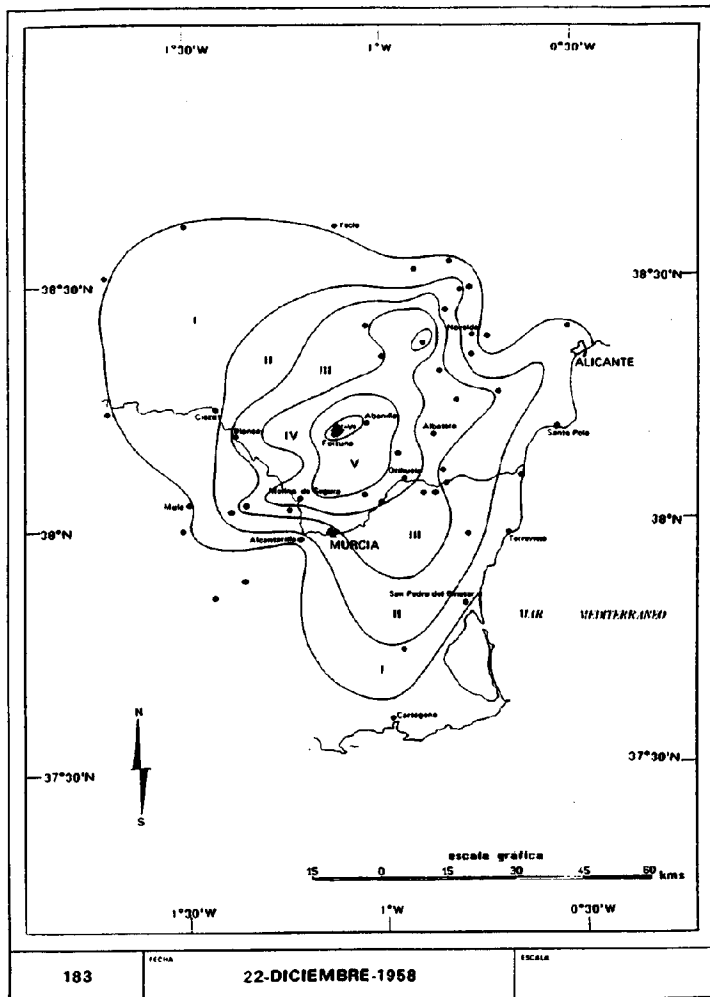


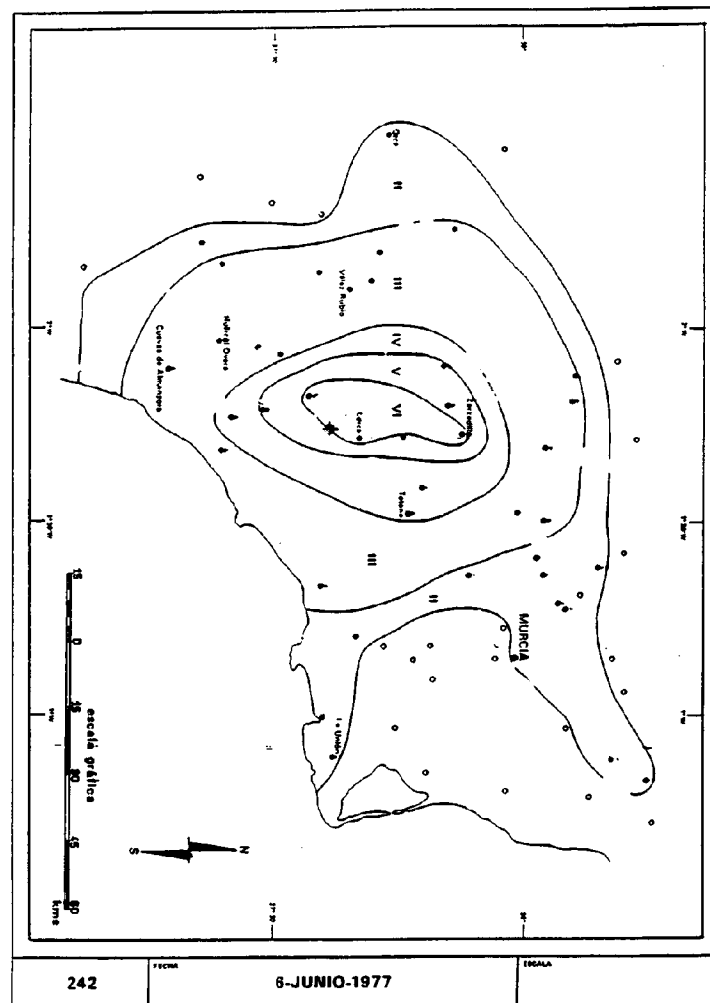
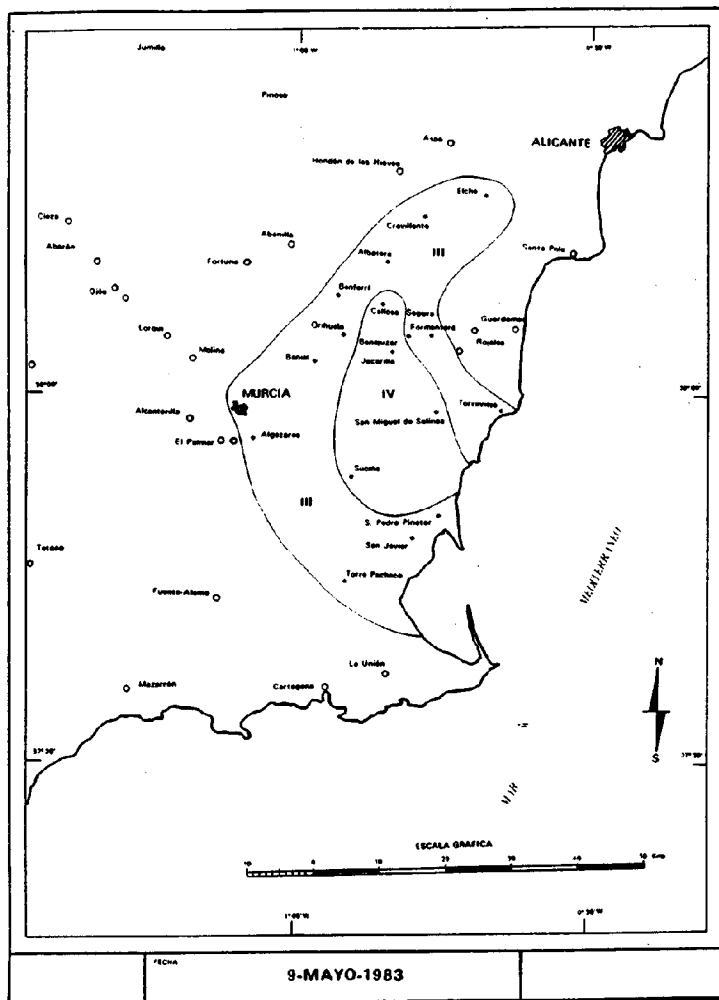












ANEXO VI
FOTOGRAFIAS.



FOTOGRAFIA N°1 Detalle de los materiales del subsuelo; materiales limo-arcillosos con contenidos variables en arcillas. Material flojo que precisa de cimentaciones mediante pilotes (profundas) o de grandes losas de reparto de cargas.



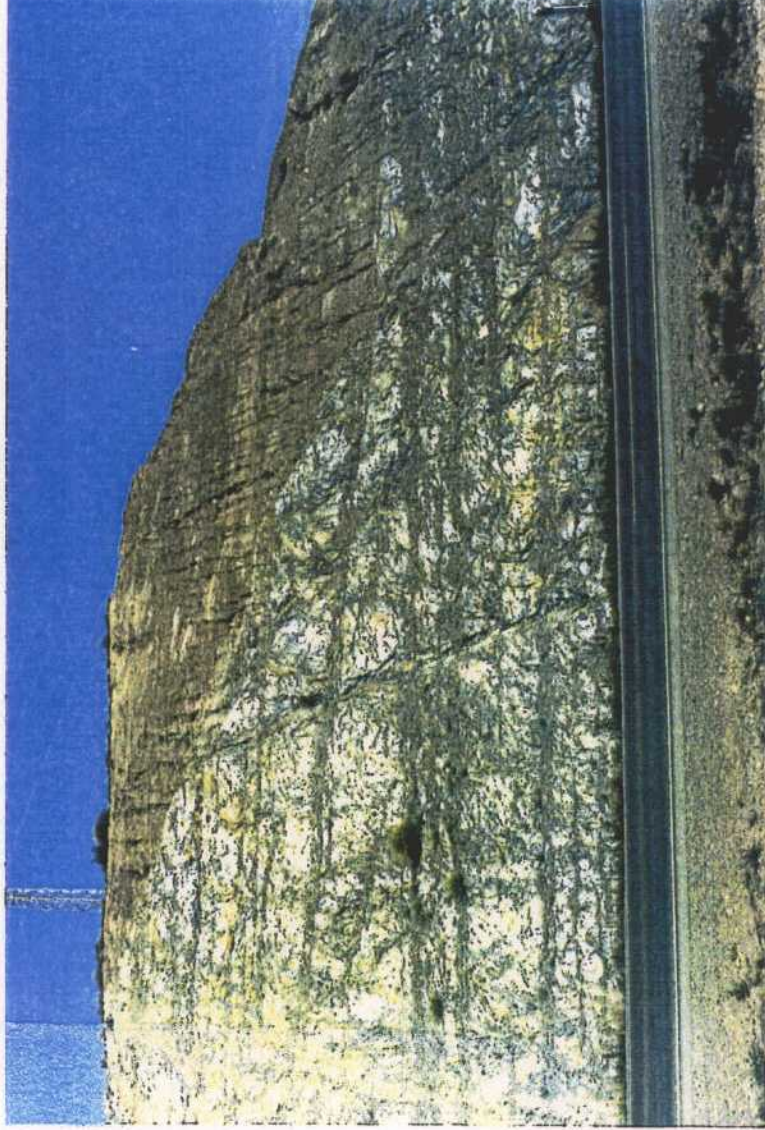
FOTOGRAFÍAS 2A-2B. Excavación y detalle de materiales limoarcillosos con pasadas de gravas y arena. Material de firmeza y consistencia variable, aunque generalmente alta. El contenido variable en arcillas produce retracción en el material al desecarse (expansivo). (Avenida de Juan Carlos I; cerca del Río Guadalentín).



FOTOGRAFIAS 3A-3B. Potentes espesores de rellenos en la parte alta del Casco Antiguo. Muro de contención caído. (Situación: 3A. al fondo se puede ver la parte posterior de la Iglesia de San Patricio. Entre las Calles Gómez y Zapatería).



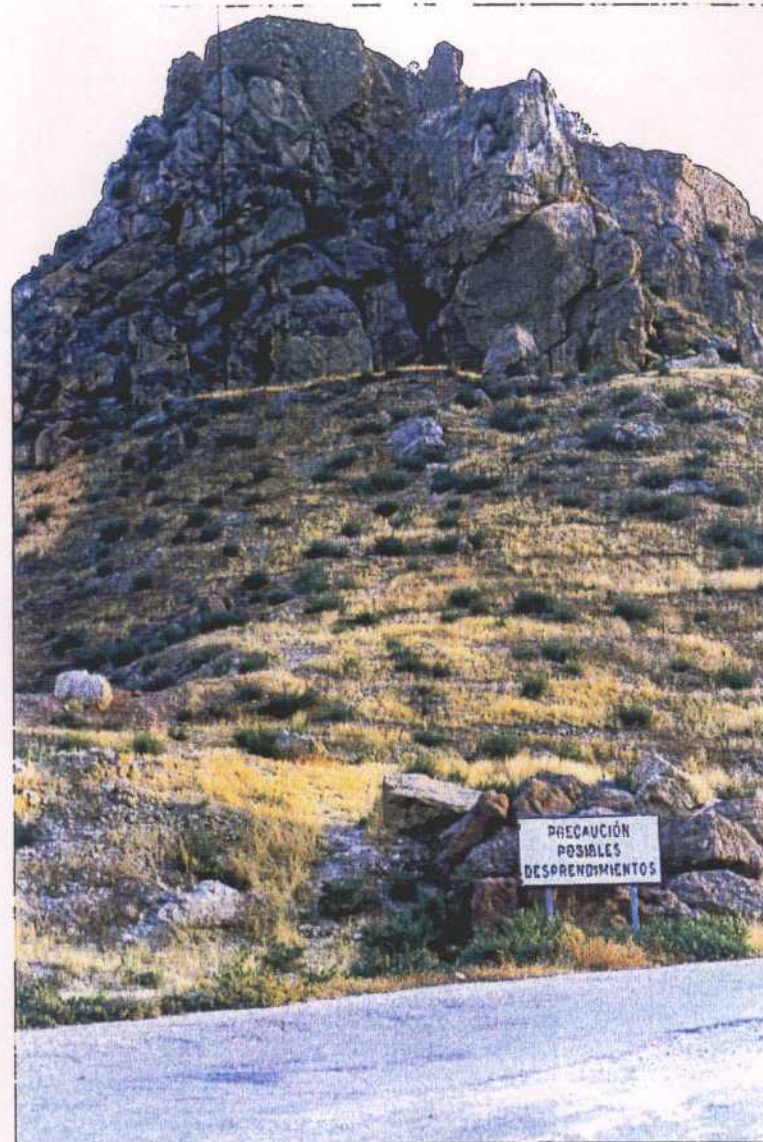
FOTOGRAFIA N° 4. Corte del terreno en un desmonte realizado en el Centro de Formación Profesional situado en el Barrio de San Antonio. Materiales coluviales, de carácter proximal sobre una formación conglomerática de tonos rojos.



FOTOGRAFIA N° 5. Corte del terreno en la Autovía de circunvalación de Lorca, a la altura del Club de Tenis. Se aprecia una formación de pizarras fuertemente esquistosadas y fracturadas, sobre la que se superpone un depósito coluvial de 'ladrera'.



FOTOGRAFIA N° 6. Corte del terreno en excavación del parking, en construcción, de la Plaza de Colón. Materiales de origen aluvial, con contenidos altos en finos (limos y arcillas) en este tramo medio-distal del punto de origen. Materiales semicompactos de firmeza variable, generalmente flojos.



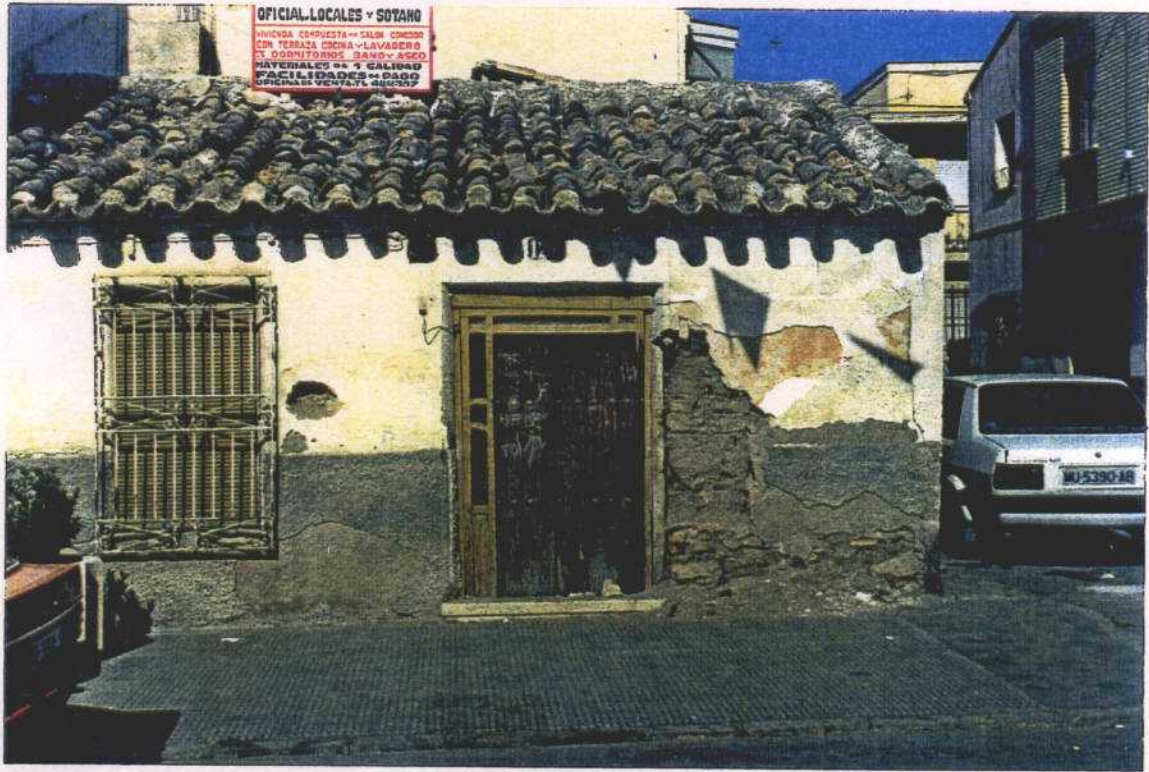
FOTOGRAFIA N° 7. Riesgos asociados. Desprendimientos frecuentes en las laderas del Castillo de Lorca. Riesgo potencial de fuertes desprendimientos sobre la parte más alta del Casco Viejo (Situación: en la parte más oriental de la peña del Castillo, sobre su carretera de acceso desde la parte norte).



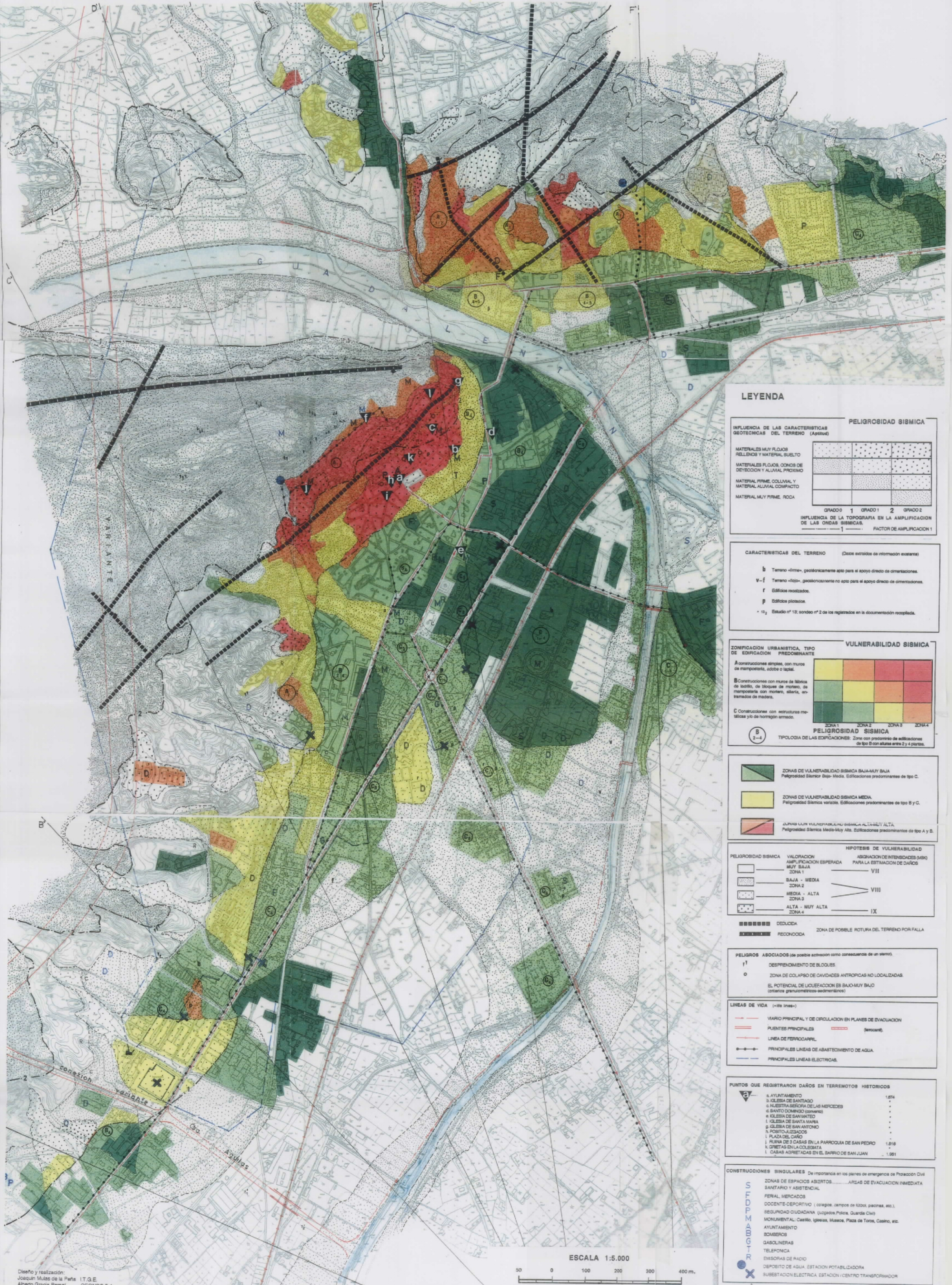
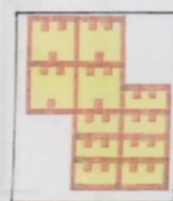
FOTOGRAFIA N° 8. Conglomerados miocenos sobre los que se situa la parte más occidental del Barrio de San Cristobal. Material muy duro y firme, fuertemente tectonizado.



FOTOGRAFIA N°9. Avenida Juan Carlos I, donde se centra la actividad lorquina. La tipología constructiva responde a edificios fundamentalmente de tipo C con alturas variables entre 8 y 13 plantas.



FOTOGRAFIA N° 10. Calle Perez Casas, donde todavía existen viviendas de tipo A. Formadas de estructura simple y constituídas por adobes de tierra seca.



LEYENDA

INFLUENCIA DE LAS CARACTERÍSTICAS GEOTECNICAS DEL TERRENO (Aptitud)

MATERIALES MUY FLOJOS RELIENDOS Y MATERIAL SUBLTO	[Pattern]	GRADO 1	GRADO 2
MATERIALES FLOJOS, CONOS DE DESECCION Y ALUVAL PROXIMO	[Pattern]	GRADO 1	GRADO 2
MATERIAL FIRME, COLLUVIAL Y MATERIAL ALUVAL COMPACTO	[Pattern]	GRADO 1	GRADO 2
MATERIAL MUY FIRME, ROCA	[Pattern]	GRADO 1	GRADO 2

INFLUENCIA DE LA TOPOGRAFIA EN LA AMPLIFICACION DE LAS ONDAS SISMICAS

GRADO 1 GRADO 2

CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO (Datos extraídos de información existente)

b Terreno «firme», geotécnicamente apto para el apoyo directo de cimentaciones.

v-f Terreno «fijo», geotécnicamente no apto para el apoyo directo de cimentaciones.

r Edificios realizados.

p Edificios pilares.

12 Estado nº 12; sondeo nº 2 de los registrados en la documentación recopilada.

ZONIFICACION URBANISTICA, TIPO DE EDIFICACION PREDOMINANTE

A Construcciones simples, con muros de mampostería, adobe o tapas.

B Construcciones con muros de fábrica de ladrillo, de bloques de mortero, de mampostería con mortero, alero, entramados de madera.

C Construcciones con estructuras metálicas y/o de hormigón armado.

PELIGROSIDAD SISMICA

TIPOLOGIA DE LAS EDIFICACIONES: Zona con predominio de edificaciones de tipo B con alturas entre 2 y 4 plantas.

ZONAS DE VULNERABILIDAD SISMICA BAJA-MUY BAJA
 Peligrosidad Sísmica Bajo-Media. Edificaciones predominantes de tipo C.

ZONAS DE VULNERABILIDAD SISMICA MEDIA
 Peligrosidad Sísmica variable. Edificaciones predominantes de tipo B y C.

ZONAS CON VULNERABILIDAD SISMICA ALTA-MUY ALTA
 Peligrosidad Sísmica Medio-Muy Alta. Edificaciones predominantes de tipo A y B.

PELIGROSIDAD SISMICA

[Symbol]	MUY BAJA ZONA 1	ASIGNACION DE INTENSIDADES (MSK) PARA LA ESTIMACION DE DAÑOS	VII
[Symbol]	BAJA - MEDIA ZONA 2		VIII
[Symbol]	MEDIA - ALTA ZONA 3		VIII
[Symbol]	ALTA - MUY ALTA ZONA 4		IX

HIPOTESIS DE VULNERABILIDAD

DEDUCIDA ZONA DE POSIBLE ROTURA DEL TERRENO POR FALLA

PELIGROS ASOCIADOS (de posible activación como consecuencia de un sismo)

1 DESPRENDIMIENTO DE BLOQUES

0 ZONA DE COLAPSO DE CAVIDADES ANTROPICAS NO LOCALIZADAS

EL POTENCIAL DE LIQUEFACCION ES BAJO-MUY BAJO (criterio granulométrico-sedimentario)

LINEAS DE VIDA (-de línea-)

VARIO PRINCIPAL Y DE CIRCULACION EN PLANES DE EVACUACION

PUNTES PRINCIPALES (simbolos)

LINEA DE FERROCARRIL

PRINCIPALES LINEAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

PRINCIPALES LINEAS ELECTRICAS

PUNTOS QUE REGISTRARON DAÑOS EN TERREMOTOS HISTORICOS

a. AYUNTAMIENTO	1.674
b. IGLESIA DE SANTO DOMINGO	1.674
c. NUESTRA SEÑORA DE LAS MERCEDES	1.674
d. SANTO DOMINGO (convertido)	1.674
e. IGLESIA DE SAN MARTIN	1.674
f. IGLESIA DE SANTA MARIA	1.674
g. IGLESIA DE SAN ANTONIO	1.674
h. PORTO JUZGADOS	1.674
i. PLAZA DEL CAÑO	1.674
j. RUINA DE 3 CASAS EN LA PARROQUIA DE SAN PEDRO	1.674
k. CRISTOS EN LA COLEGATA	1.674
l. CASAS ADRIETICAS EN EL BARRIO DE SAN JUAN	1.981

CONSTRUCCIONES SINGULARES De importancia en los planes de emergencia de Protección Civil

ZONAS DE ESPACIOS ABIERTOS AREAS DE EVACUACION INMEDIATA SANITARIO Y ASISTENCIAL

FERRAL MERCADOS

DOCENTE-DEPORTIVO (colegios, campos de fútbol, piscinas, etc.)

SEGURIDAD CIUDADANA (Juzgado Policial, Guardia Civil)

MONUMENTAL: Castillo, iglesias, Museos, Plaza de Toros, Casino, etc.

AYUNTAMIENTO

BOMBERS

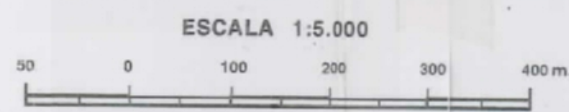
GASOLINERAS

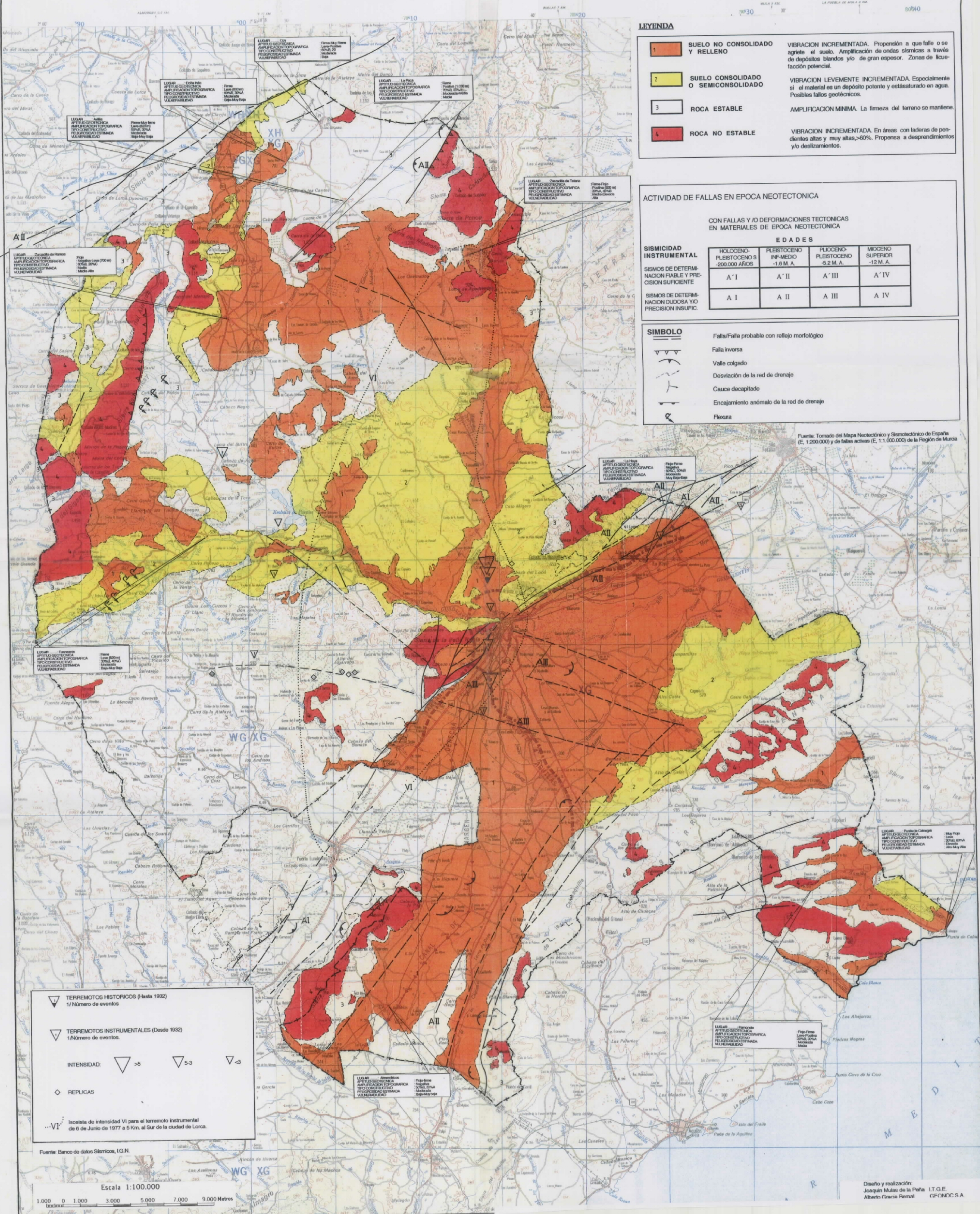
TELEFONICA

EMISORAS DE RADIO

DEPÓSITO DE AGUA, ESTACION POTABILIZADORA

SUBESTACION ELECTRICA, ESTACION / CENTRO TRANSFORMADOR





LEYENDA

- 1** SUELO NO CONSOLIDADO Y RELLENO
 VIBRACION INCREMENTADA. Propensión a que fallo o se agriete el suelo. Amplificación de ondas sísmicas a través de depósitos blandos y/o de gran espesor. Zonas de licuación potencial.
- 2** SUELO CONSOLIDADO O SEMICONSOLIDADO
 VIBRACION LEVEMENTE INCREMENTADA. Especialmente si el material es un depósito potente y está saturado en agua. Posibles fallos geotécnicos.
- 3** ROCA ESTABLE
 AMPLIFICACION MINIMA. La firmeza del terreno se mantiene.
- 4** ROCA NO ESTABLE
 VIBRACION INCREMENTADA. En áreas con laderas de pendientes altas y muy altas, >60%. Propensa a desprendimientos y/o deslizamientos.

ACTIVIDAD DE FALLAS EN EPOCA NEOTECTONICA

CON FALLAS Y/O DEFORMACIONES TECTONICAS EN MATERIALES DE EPOCA NEOTECTONICA

SISMICIDAD INSTRUMENTAL	E D A D E S			
	HOLOCENO-PLEISTOCENO S < 200.000 AÑOS	PLEISTOCENO INF-MEDIO -1.6 M. A.	PLUOCENO-PLEISTOCENO -5.2 M. A.	MIOCENO SUPERIOR -12 M. A.
SISMOS DE DETERMINACION FIABLE Y PRECISION SUFICIENTE	A' I	A' II	A' III	A' IV
SISMOS DE DETERMINACION DUDOSA Y/O PRECISION INSUFIC.	A I	A II	A III	A IV

- SIMBOLO**
- Falsa/Falsa probable con reflejo morfológico
 - Falsa inversa
 - Valle colgado
 - Desviación de la red de drenaje
 - Cauce decapitado
 - Encajamiento anómalo de la red de drenaje
 - Flexura

Fuente: Tomado del Mapa Neotectónico y Sismotectónico de España (E, 1:200.000) y de fallas activas (E, 1:1.000.000) de la Región de Murcia

TERREMOTOS HISTORICOS (hasta 1932)
 1/ Número de eventos

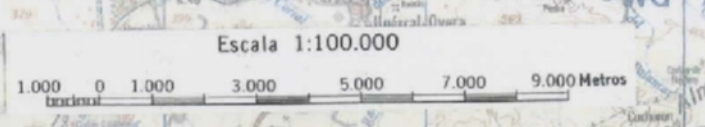
TERREMOTOS INSTRUMENTALES (Desde 1932)
 1/ Número de eventos

INTENSIDAD: >5 5-3 <3

REPLICAS

VI Icosista de intensidad VI para el terremoto instrumental de 6 de Junio de 1977 a 5 Km. al Sur de la ciudad de Lorca.

Fuente: Banco de datos Sísmicos, I.G.N.





a) Toma de datos nocturna



b) Implantación de geófonos



c) Equipo de medida

- Detalles del equipo de trabajo

ANEXO VII

**RELACION DE ESTUDIOS RECOPIADOS PARA LA CARAC-
TERIZACION DE LOS MATERIALES EN LORCA**

RECOPIACION DE ESTUDIOS GEOTECNICOS OBTENIDOS PARA LA CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

El orden numérico que se incluye aquí corresponde con el orden con el que se han señalado en el Mapa de Peligrosidad y Vulnerabilidad de la Ciudad de Lorca E, 1:50.000.

1.- Estudio geotécnico del estado actual del muro de una cocina en el punto que se señala en el mapa. (2 calicatas)
Realizado por CONTROLEX, S.A.

2.- Estudio geotécnico para la Clínica Virgen del Alcazar. (2 sondeos, 1 penetrómetro).
Realizado por CONTROLEX,S.A.

3.- Estudio geotécnico en un solar en el que se tiene proyectado la construcción de un Centro de Formación Profesional. (9 sondeos).
Realizado por GEOS, S.A.

4.- Estudio somero en base a las muestras obtenidas en 2 calicatas en el Barrio de Los Angeles.
Realizado por CONTROLEX,S.A.

5.- "Informe geotécnico de los sondeos realizados en un solar de Lorca (Murcia), para Residencia y Hogar de Pensionistas de la S.S. Mº de Trabajo". (2 sondeos, 4 penetrómetros).
Realizado por: SAFES, S.A.

6.- Estudio geotécnico para la Cooperativa de Viviendas San Patricio: Avda. Juan Carlos I, (Lorca). (2 sondeos).
Realizado por: INMUSA LABORATORIOS HORYSU

7.- Estudio geotécnico para el desdoblamiento de la carretera Lorca - Aguilas, TRAMO I: Lorca - Purias. (3 sondeos, 3 penetrómetros, 33 calicatas).
Realizado por: CETEC, S.A.

8.- Estudio geotecnico para una Residencia-Hogar del Pensionista en el punto que se señala, (6 penetrómetros).
Realizado por: RODIO, CIMENTACIONES ESPECIALES, S.A.

9.- Estudio geotécnico para un edificio situado en el Obalo de Santa Paula, (sondeos).
Realizado por: E.P.K.

10.- Estudio del estado actual de la cimentación de un edificio con problemas de asientos diferenciales situado en "la Isla", (3 sondeos).
Realizado por: CONTROLEX, S.A.

11.- Estudio geotécnico en un solar situado en el punto conocido como Casa del Niño, (7 sondeos).
Realizado por: GEOS,S.A.

12.- Estudio geotécnico de un solar para la construcción de un centro de BUP, junto al asilo de San Diego, (7 sondeos).
Realizado por: GEOS,S.A.

13-1.- Estudio geotécnico para el tunel de la Variante de Lorca, (5 sondeos).
Realizado por: 6ª Jefatura Regional de Carreteras del MOPU

13-2.- Estudio geotécnico para el Viaducto sobre el Rio Guadalentín de la Variante de Lorca, (5 sondeos).
Realizado por: 6ª Jefatura Regional de Carreteras del MOPU

14.- Estudio geotécnico para el reconocimiento del subsuelo y presencia de aguas freáticas en las calles: Moriscos, Montalban, Gomez y Zapatería. (8 sondeos).
Realizado por: GEOS,S.A.

15.- Estudio geotécnico para el reconocimiento del subsuelo y presencia de aguas freáticas en la calle Selgas. (2 sondeos).
Realizado por: GEOS,S.A.

16.- Estudio geotécnico en las Ericas (4 sondeos, 3 Borros).
Realizado por: Laboratorios del Sureste.

17-18.- Sondeos para agua según el inventario de puntos de agua de la Consejería de Política Territorial y Obras Públicas de la comunidad Autónoma de Murcia.