ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

PROYECTO FIN DE CARRERA

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA
APLICADA Y MÉTODOS INFORMÁTICOS

LA ENTROPÍA DE INFORMACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SISMOTECTÓNICO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Ignacio Vélez Pérez Noviembre de 2002

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera mencionar la cesión desinteresada, por parte de ENRESA, el CSN y el IGN, de los datos utilizados y sin los cuales este proyecto no hubiera sido posible.

Gracias también a mi padre, pues sus correcciones y ánimos hicieron que este proyecto finalizara con bastante más antelación de lo que hubiera cabido esperar.

De manera especial, quiero agradecer y recordar en este espacio la ayuda, tutoría y enseñanza de las que he sido objeto por parte de D. Carlos Paredes Bartolomé y de D. Raúl Pérez López, a los cuales considero más que mentores, auténticos amigos.

Por último, agradecer su colaboración a todos los que aquí no menciono y, que a lo largo del desarrollo del proyecto, me han prestado su ayuda en cualquier forma.

A todos ellos, gracias.

"Aquella teoría que no encuentre aplicación práctica en la vida, es una acrobacia del pensamiento."
Swami Vivekananda

ÍNDICE

X	**Resumen**	
XI	**Abstract**	
XII	**Síntesis**	

DOCUMENTO Nº 1 MEMORIA

0	**INTRODUCCIÓN**	**2**
0.1	**Alcance del proyecto PRIOR**	**2**
0.1.1	Antecedentes	2
0.1.2	Justificación	3
0.1.3	Objetivos	7
0.2	**Objetivos y alcance del equipo de trabajo de la UPM**	**9**
1	**OBJETIVOS Y ALCANCE**	**15**
2	**FUNDAMENTOS TEÓRICOS**	**18**
2.1	**Conceptos básicos de sismología**	**18**
2.1.1	Medida del tamaño de un terremoto	19
2.1.2	Ley de Gutenberg y Richter (G-R)	25
2.2	**Teoría de la información. Entropía**	**30**
2.2.1	Entropía de configuración y redundancia	33
2.2.2	Otras definiciones de entropía	34
2.3	**Análisis de variable regionalizada**	**36**
2.3.1	Estacionareidad del medio	38
2.3.2	Análisis de tendencias	39
2.3.3	Análisis estructural	40
2.3.4	Análisis correlatorio espectral fractal	42
3	**METODOLOGÍA APLICADA**	**52**
3.1	**Medidas de soporte geométrico**	**52**
3.1.1	Medidas de soporte geométrico puntual	53
3.1.2	Medidas de soporte geométrico lineal	59
3.2	**Medidas de soporte no geométrico**	**67**
3.2.1	Distribución discreta de puntos	67
3.2.2	Distribución discreta de puntos	69
3.3	**Análisis entrópico**	**71**
3.3.1	Estudio pseudo-analítico de la entropía de configuración	72
4	**APLICACIÓN SOBRE LA BASE DEL I.G.N.**	**94**
4.1	**Presentación y filtrado de la base.**	**94**
4.1.1	Estructura de la base de datos	94
4.1.2	Análisis temporal de errores	99
4.1.3	Estudio del parámetro b de la ley de Gutemberg – Richter	99
4.1.4	Estudio del comportamiento de los errores RMS y ERH	114
4.1.5	Distribución útil de sismos	118
4.1.6	Análisis espacial de errores: áreas de sombra	121
4.1.7	Definición del conjunto de datos útil	126

4.2 Análisis entrópico de la distribución de terremotos 128
4.2.1 Epicentros sin etiqueta 129
4.2.2 Epicentros con magnitud asociada 130

4.3 Análisis geoestadístico de las distribuciones discretizadas. 132
4.3.1 Distribución de intensidad epicentral 132
4.3.2 Distribución de intensidad energética 133
4.3.3 Resultados del análisis geoestadístico al total de la base 134

5 APLICACIÓN SOBRE LINEAMIENTOS 137
5.1 Análisis sobre la base de datos del berrocal. 137
5.1.1 Base 1:500 000 139
5.1.2 Base 1:10 000 141
5.1.3 Base 1:2 000 147
5.2 Análisis sobre el total de la Península Ibérica. 151

6 CONCLUSIONES 155
6.1 Conclusiones metodológicas 155
6.2 Conclusiones a los resultados 156

7 REFERENCIAS 160

DOCUMENTO Nº 2 ESTUDIO ECONÓMICO

1 GENERALIDADES 168

2 ESTRUCTURA DE COSTES 169
2.1 Equipos. 169
2.2 Personal. 170
2.3 Fungibles. 170
2.4 Resumen de Costes. 171

DOCUMENTO Nº 3 ANEXOS

A NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE 173

B NORMATIVA REGULADORA DE PROTECCIÓN CIVIL

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Pag.
0-1	Diferencia entre la proyección del hipocentro y la posición de la fractura.	11
0-2	Organigrama del trabajo desarrollado para PRIOR por la Universidad Politécnica de Madrid.	14
1-1	Diagrama de flujo del Proyecto de Fin de Carrera y su acoplamiento con el proyecto PRIOR.	17
2-1	Representación esquemática de un terremoto y todos sus elementos importantes.	19
2-2	Aspecto típico de un sismograma sobre el que se señalan los trenes de onda S y P.	20
2-3	Ábaco de cálculo de la magnitud en función de la distancia y la amplitud.	21
2-4	Esquema de localización de un terremoto mediante triangulación.	22
2-5	Representación esquemática del movimiento de una falla y tensiones asociadas, así como su criterio de representación.	23
2-6	Criterio de representación de los diferentes mecanismos focales según la proyección estereográfica de las tensiones asociadas, compresión en negro y extensión en blanco.	24
2-7	Curva de relación frecuencia-tamaño para los terremotos de la base de datos internacional HarvardCMT con magnitud superior a 4,1, el valor de *b* es de 1,1.	26
2-8	Relación de Gutenberg y Richter para la serie de terremotos filtrados desde la base digital de *Harvard* y que corresponden a aquellos relacionados con zonas tectónicas de colisión continental de los años 1976 a 2000.	27
2-9	Tamaño de los terremotos en función de la ruptura superficial y de la relación entre la longitud de ruptura, L y la anchura de la ruptura, W. Modificada de Pacheco et al., 1992.	28
2-10	Ventanas - filtro $\Phi(k)$ aplicables en el cálculo de la función de espectro $S(f)$.	44

2-11	Estudio del espectro sobre el intervalo $[f_c, f_{wn}]$.	50
2-12	Dependencia del exponente de Hausdorff H en función de β y su ajuste mediante la función *H = (β-1)/2*.	50
2-13	Estudio del variograma sobre el intervalo $[k_{wn}, k_c]$.	51
3-1	Representación simplificada de una serie de seis sismos con sus respectivas magnitudes repartidos en un área.	58
3-2	Ejemplo de distribución de puntos y sus entropías asociadas a diferentes escalas.	72
3-3	Función de distribución en valores absolutos (Histogramas) para a) 100, b) 1000, c) 5000 y d) 10000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1], la escala de las abscisas se encuentra en unidades.	76
3-4	Entropías de configuración para a) 100, b) 1000, c) 5000 y d) 10000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1], la escala de las abscisas se encuentra en unidades.	77
3-5	Errores en las entropías de configuración para 100, 1000, 5000 y 10000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.	78
3-6	Soportes geométricos de la medida a) 1000, b) 10000, c) 50000 y d) 100000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1]x[0,1], las escalas de los ejes se encuentran en unidades.	79
3-7	Entropías de configuración para a) 1000, b) 10000, c) 50000 y d) 100000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1]x[0,1], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.	80
3-8	Errores en las entropías de configuración para 1000 ◊, 10000 +, 50000 □ y 100000 ○ puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1]x[0,1], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.	81
3-9	Función de entropía de configuración, según la ecuación (3-60), para la densidad de la ecuación (3-55), con una frecuencia ω =10.	83
3-10	Función generadora δ(x) de la distribución de puntos en el intervalo [0,5], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.	84
3-11	Entropías de configuración para 100 ◊, 1000 +, 5000 □ y 10000 ○ puntos aleatorios según la distribución (3-61), en el intervalo [0,5], la escala de las abscisas se encuentra en unidades.	85
3-12	Función de densidad a) y su correspondiente entropía de configuración b), según la ecuación (3-60), para la densidad de la ecuación (3-62), con unas frecuencias ω =5 y 69, y amplitudes de 1.35 y 0.35 unidades respectivamente.	87

3-13	Entropías de configuración para 100 ◊, 1000 +, 5000 □ y 10000 ○ puntos aleatorios según la distribución (3-62) particularizada para el ejemplo de la figura 3-11 a), en el intervalo [0,5], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.	88
3-14	a) Distribución de 10000 puntos 2D según la función de densidad monofrecuencial de b).	89
3-15	a) Entropía de configuración para los 10000 puntos de la figura 3-14 a, b) distribución geométrica de la medida muestreada a escala 1/10.	89
3-16	a) Distribución de 10000 puntos 2D según la función de densidad bifrecuencial de b).	90
3-17	a) Entropía de configuración para los 10000 puntos de la figura 3-15 a), b) distribución geométrica de la medida muestreada a escala 5/69.	91
3-18	Ejemplo de 10000 puntos espaciados 0,01 unidades.	91
3-19	Entropía de información y máxima entropía según ecuación (2-16) para cada escala.	92
3-20	Entropía de configuración para la distribución continua de puntos equiespaciados.	92
4-1	Distribución del número de estaciones sísmicas instaladas anualmente en España, por el IGN, entre los años 1984 a 1997.	95
4-2	Distribución sobre la Península Ibérica de las estaciones sísmicas del IGN en funcionamiento en la actualidad.	95
4-3	Extensión del área cubierta en el análisis (—).	98
4-4	Distribución secuencial de los 10755 datos de magnitudes.	99
4-5	Diagrama de las posibles funciones cóncavas, convexas o lineales, que definen la relación semilogarítmica de frecuencia-magnitud.	105
4-6	Distribución t-Student y zonas de aceptación y rechazo de H_0 para un grado α de significación.	112
4-7	Ajustes de la ley de G-R, a los 10755 datos preseleccionados.	113
4-8a	Evolución temporal de los errores RMS para los 10755 datos.	114
4-8b	Evolución temporal de los errores ERH para los 10755 datos.	114
4-9	Estimadores de las funciones de densidad de probabilidad para los errores RMS y ERH sobre los dos períodos considerados.	116

4-10	Distribuciones bivariantes entre, a) RMS y magnitud, b) ERH y magnitud.	117
4-11	Distribución secuencial de los 8732 datos filtrados de magnitudes.	118
4-12	Ajustes de la ley de G-R, a los datos filtrados.	119
4-13	Series de los errores RMS y ERH tras el filtrado.	120
4-14	Estimadores de las funciones de densidad de probabilidad para los errores RMS y ERH sobre los dos períodos considerados, tras el filtrado.	120
4-15	Variabilidad del error ERH antes y después del filtrado.	123
4-16	Procedimiento de obtención de las áreas de sombra mediante tratamiento de imagen.	125
4-17	Resultado georeferenciado de las áreas de sombra para la base de datos del IGN filtrada.	125
4-18	Conjunto de 8732 epicentros que constituyen la base filtrada y utilizada en los análisis.	128
4-19	Entropía de configuración para el total de sismos considerados en función de la escala.	129
4-20	Distribución espacial de la medida intensidad sísmica discretizada a la escala que marca H*(ε), georreferenciadas según coordenadas UTM.	130
4-21	Entropía de configuración para la medida de soporte epicentral de densidad energética.	131
4-22	Distribución espacial de la medida densidad de energía sísmica discretizada a la escala que marca H*(ε).	131
4-23	Análisis correlatorio espectral geoestadístico sobre la medida de intensidad sísmica. Variograma y espectro de densidad de varianza multidimensional.	133
4-24	Variograma y espectro de densidad de varianza multidimensional.	134
5-1	Ejemplo de un sencillo campo de fracturas.	138
5-2	Curva de entropía para el campo de fracturas 1:500000, ordenadas adimensionales, abscisas en metros.	139

5-3	a) Campo discretizado a escala de 6583 m junto con los lineamientos. b) Campo de densidad interpolado con una técnica de krigeado. Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.	140
5-4	Variograma de la distribución de medida representada en 5-3, la escala del mapa es en metros, la gráfica es m^2.	141
5-5	Curva de entropía para los datos totales en verde, en rojo para el pérmico y en azul para el alpino, abscisas en metros, ordenadas adimensionales.	142
5-6	Mapas de intensidad de fracturación para el total de los lineamientos, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es en adimensional.	143
5-7	Variograma de la distribución total de fracturas a escala 455 m, escala en m, la escala gráfica es en m^2.	143
5-8	Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del alpino, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.	144
5-9	Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del pérmico, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.	145
5-10	Variograma sobre los datos del evento alpino. La escala del variograma es en metros la escala gráfica es en m^2.	146
5-11	Variograma sobre los datos del evento pérmico. La escala del variograma es en metros la escala gráfica es en m^2.	146
5-12	Curva de entropía para los datos totales en rojo, en verde para el pérmico y en azul para el alpino, abscisas en metros, ordenadas adimensionales.	147
5-13	Mapas de intensidad de fracturación para el total de los lineamientos, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.	148
5-14	Variograma del total de la base a escala 1:2000. La escala del mapa está en m la gráfica es en m^2.	148

5-15	Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del alpino, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.	149
5-16	Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del pérmico, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.	150
5-17	Variograma sobre la distribución de probabilidad del alpino, escala del mapa en m, la escala gráfica es en m^2.	150
5-18	Variograma de la distribución de fracturas alpinas, escala del mapa en m, la escala gráfica es en m^2.	151
5-19	Representación de los 720 lineamientos de la base de datos.	152
5-20	Entropía de configuración para los 720 lineamientos. Abscisas en metros, ordenadas adimensionales.	152
5-21	Mapa de intensidad de fracturación para la península ibérica, el mapa está en coordenadas UTM en metros. La escala gráfica es adimensional.	153
5-22	Variograma de la distribución presentada en 5-21. Unidades en metros, escala gáfica en m^2.	154
6-1	a)Variograma de la distribución de epicentros. b)Isolíneas del variograma con las anisotropías señaladas en rojo.	156
6-2	a)Variograma de la distribución de energía. b)Isolíneas del variograma con las anisotropías señaladas en rojo.	157
6-3	a)Variograma de la distribución de lineamientos. b)Isolíneas del variograma con las anisotropías señaladas en rojo.	157
6-4	Histograma de distribución de fracturas en dirección según frecuencia (a) y según tamaños (b).	158
6-5	Histograma de distribución de fracturas en dirección según frecuencia (a) y según tamaños (b) para los lineamientos filtrados.	158

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		**Pag.**
4-1	Campos de la base de datos del IGN. Elaboración Propia.	94
4-2	Base de datos con las estaciones de la red sísmica nacional. Fuente: I.G.N. (área de la Península Ibérica)	98
4-3	Estadísticos muestrales sobre la distribución de ERH y RMS para diferentes ventanas temporales. Elaboración Propia.	115
4-4	Estadísticos univariantes de los errores RMS y ERH, según los períodos de muestreo, tras el filtrado propuesto.	120
5-1	Probabilidad asociada a cada celda. Elaboración propia.	138

RESUMEN

La elección de la escala de discretización de un fenómeno determinado es una tarea que normalmente se encomienda a técnicas poco robustas y sin ningún tipo de justificación. Este proyecto presenta una novedosa técnica de la elección de una escala óptima de muestreo, basada en la teoría de información de Shannon.

Este protocolo se aplicará tanto al análisis de terremotos pertenecientes a la base I.G.N. (Instituto Geográfico Nacional) como al de fracturas. Estas bases de datos han sido objeto, en este proyecto, de operaciones de filtrado bastante extensas que descartaron los datos de mala calidad. En concreto, la base de datos del IGN se redujo de un total de 20235 terremotos a un total de 8732 datos válidos.

Una vez filtrados los datos, se les aplicará la técnica de elección de tamaño de malla (análisis entrópico) y se discretizarán los datos a esa escala. Después, sobre los datos discretizados, se efectuarán análisis variográficos, de los que se extraerán conclusiones acerca de las distribuciones y anisotropías presentes. También se discutirán las aplicaciones que esta técnica puede tener en la mejora de la calidad de los mapas de riesgo sísmico así como las futuras líneas de investigación que se están siguiendo en torno a esta técnica.

ABSTRACT

The election of the discretization scale of a particular fenomena is a task that is normaly done using innadecuate and unjustified techniques. This project introduces a novel technique, based on Shannon´s information theory, that allows to determine the optimal discretization scale.

This protocol was applied in the analysis of earthquakes included in the IGN (Instituto Geográfico Nacional) base and fracturation data. These databases were object, in this project, of an extensive filtration process that discarded the low quality data. To be exact, the IGN database was reduced from 20235 earthquakes to 8732.

Once the data were filtered, the optimal scale election technique was applied (entropic analysis), and the data was meshed at the obtained scale. Over the meshed data, variografic analysis was perfomed, and conclussions were extracted based on the results obtained. The application of this protocol to improve the quality of the seismic hazard maps is also commented.

SÍNTESIS DEL PROYECTO

Los terremotos son fenómenos naturales que pueden ocasionar grandes daños materiales y humanos, por ello es necesario disponer de la información mas precisa posible acerca de su dinámica y comportamiento, lo cual redundará en una mejor protección de todas las personas y edificaciones que sean susceptibles de ser afectadas por un fenómeno de estas características.

El presente proyecto de fin de carrera pretende aportar una herramienta útil para el análisis de la distribución de terremotos y de fallas en el espacio. Es evidente la importancia de esta tarea, pues una correcta interpretación de la relación falla-terremoto dará como resultado la identificación de las fallas potencialmente peligrosas desde un punto de vista sísmico. El conocimiento de las fallas potencialmente activas es extremadamente importante a la hora del diseño y construcción de estructuras de carácter estratégico como son las centrales nucleares y los almacenamientos de residuos radiactivos.

La técnica que aquí se presenta da como resultado la asignación de una escala óptima de discretización para una distribución de masa en el espacio (ya sean estos epicentros o fallas). Esta escala de discretización, que normalmente es escogida de manera subjetiva, es de extremada importancia pues, en función de ella, se construyen los mapas de riesgo sísmico y es claro entonces que no puede dejarse su elección en manos de técnicas inadecuadas.

A lo largo del proyecto se exponen los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión de la técnica desarrollada, entre los que se encuentran la teoría de la información, la sismología y el análisis de variable regionalizada. Una vez expuestos los fundamentos, se probará la metodología con cierta cantidad de casos test que permitirán calibrarla y extraer conclusiones acerca de su funcionamiento.

Esta técnica, en conjunto con otras herramientas de probada eficacia en diferentes campos (como el análisis geoestadístico), se aplicará a diversas bases de datos sísmicos y de fracturación disponibles. Estas bases hubieron de ser filtradas para eliminar de ellas los datos poco significativos o improcedentes. Este trabajo de filtrado y mejora de calidad de las bases

se detalla en el presente proyecto como parte integrante de él, pues supuso una tarea de análisis de gran magnitud, sin la cual no hubiera sido posible la realización de este Proyecto de Fin de Carrera.

La técnica de análisis propuesta combina los conceptos del análisis entrópico, introducidos en este proyecto, con el análisis variográfico para la detección de patrones de anisotropía y periodicidad. Esto permitirá relacionar, a través de sus variografías, datos de tan diferente procedencia como son los terremotos y las fracturas y extraer conclusiones acerca de su relación.

Los resultados que se obtengan del análisis de los datos disponibles se interpretarán, en el caso de la sismicidad y la fracturación de manera conjunta tratando de extraer conclusiones acerca de la relación terremoto-fractura en la península ibérica a escala global, lo cual en última instancia permitirá construir una primera aproximación a una clasificación de fallas de primer orden en la Península Ibérica. Adicionalmente, se extraerán conclusiones acerca de la aplicación de la metodología aquí descrita para la mejora de la calidad y precisión de los mapas de riesgo sísmico en el sentido de optimizar las mallas sobre las que se calculan los diferentes parámetros que permiten calcular la peligrosidad asociada a un área en concreto.

Por último, cabe destacar que el método de análisis presentado no está cerrado, sino que se sugieren nuevas líneas de investigación que generalicen lo aquí expuesto mediante la introducción de conceptos de entropía más modernos y generales que el de Shannon.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA
APLICADA Y MÉTODOS INFORMÁTICOS

LA ENTROPÍA DE INFORMACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SISMOTECTÓNICO DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

DOCUMENTO Nº 1 MEMORIA

Ignacio Vélez Pérez Noviembre de 2002

0 INTRODUCCIÓN

El presente Proyecto de Fin de Carrera pretende desarrollar ciertas técnicas útiles para el análisis de sismos y cartografía de fallas y fracturas. Se encuentra enmarcado dentro del proyecto de investigación denominado 'determinación de fallas de **pri**mer **or**den mediante el análisis integrado de datos geológicos (proyecto PRIOR)' en el que participa un equipo multidisciplinar de las universidades Autónoma, Complutense y Politécnica de Madrid, este último está subvencionado por la Empresa Nacional de Residuos Radioactivos (en adelante ENRESA) y el Consejo de Seguridad Nuclear (en adelante CSN) y se desarrollará durante el período 2001 a 2003.

0.1 Alcance del proyecto PRIOR

0.1.1 Antecedentes

En los últimos años el CSN ha apoyado una línea de trabajo encaminada a mejorar el conocimiento de los factores que más influyen en el diseño sísmico de instalaciones nucleares. Esto provocó que el CSN y ENRESA iniciaran conjuntamente una colaboración con un grupo de Geofisicos y Geólogos de la Universidad Complutense a fin de llevar a cabo la realización del Proyecto SHIST02-SIGMA (CSN, Colección Otros Documentos 10-1998), en el que se ha utilizado como modelo la metodología desarrollada por el 'Institut de Protection et de Sureté Nucleaire (IPSN)' para la elaboración de la zonación sismotectónica de Francia (1993).

Gracias a este trabajo, se ha realizado una caracterización del estado de esfuerzos tectónicos activos y recientes en la Península Ibérica mediante una técnica de inversión conjunta de 156 sismos y 8657 fallas recientes (80 terremotos y 71 fallas en Francia). Los resultados indican la presencia de un campo de esfuerzos con una máxima compresión horizontal Noroeste-Sureste muy constante en la diagonal que une Galicia con las Béticas Orientales. Las trayectorias se sitúan Norte-Sur hacia los Pirineos Occidentales, mientras que son Este-Oeste en el Golfo de Cádiz. De este modo aparece un abanico de orientaciones radiando desde la esquina Sudeste de la Península. En cuanto al tipo de esfuerzos son mayoritariamente de cizalla (desgarres), a

excepción de las Béticas donde aparecen soluciones más compresivas, y de la Cordillera Ibérica donde se observa una extensión triaxial.

Con esta información, y como resultado constatado en el Proyecto SIGMA, resulta posible conocer si una falla próxima a un emplazamiento de una Instalación Nuclear está favorablemente orientada o no, respecto a los esfuerzos activos. Pero esto no es en sí suficiente, sino que constituye una primera fase que necesariamente debe ser complementada con los trabajos que configuran el proyecto PRIOR a fin de poder utilizar los resultados de forma directa y cuantitativa en la evaluación de la peligrosidad sísmica.

0.1.2 Justificación

Uno de los aspectos del emplazamiento que influyen más decisivamente en la seguridad de las instalaciones nucleares, es la sismología o caracterización del movimiento del terreno por efecto sísmico. De ahí, que el avance de la seguridad nuclear requiera mejorar el conocimiento y definir mejor la peligrosidad sísmica de los emplazamientos tanto de las instalaciones existentes como de las futuras.

En este contexto, conocer el campo de esfuerzos tectónicos actual así como su permanencia en el pasado, y definir los diferentes ambientes geotectónicos con baja o moderada sismicidad como resulta en la Península Ibérica, ha sido uno de los objetivos principales del proyecto SIGMA. Este es el primer paso para llegar a definir mejor la peligrosidad sísmica, por su incidencia directa en una modelización sismotectónica consistente y en la caracterización derivada de fuentes sísmicas. En concreto, la posición geométrica de una falla o zona de falla respecto del campo de esfuerzos existente en una zona dada de la corteza, condiciona su comportamiento mecánico, de forma que una orientación favorable requiere su caracterización como fuente sismogenética.

Este criterio ha sido utilizado por diferentes expertos participantes en los estudios realizados en las zonas central y oriental de los EEUU por el EPRI y el LLNL, en relación con el análisis probabilista individual de las plantas en operación, y ha sido finalmente incorporado por la propia NRC en la normativa aplicable a las nuevas instalaciones nucleares (10 CFR 100, subparte B; R.G. 1.165, apéndices D y F; NUR-EG-1451 y NUREG-1494, de almacenamiento de residuos radiactivos).

Una vez determinados los esfuerzos tectónicos activos, para caracterizar adecuadamente el riesgo sísmico resulta fundamental definir el medio físico sobre el que se están aplicando, es decir, la Corteza Superior y sus discontinuidades de orden mayor, ya que son éstas las que pueden producir terremotos importantes.

Los siguientes pasos en el conocimiento del riesgo sísmico a escala regional han de estar encaminados, al igual que se hizo en la zonación sismotectónica de Francia, a localizar las fallas y estructuras tectónicas susceptibles de experimentar movimientos importantes bajo el campo de esfuerzos determinado en el Proyecto SIGMA. Es necesario localizar a nivel regional las estructuras mayores (fallas) que sean capaces de acumular energía sísmica a lo largo del tiempo.

Al existir una relación entre el tamaño de la falla y el sismo que puede generar (Kanamori y Anderson, 1975. Wells y Coppersmith, 1992 entre otros), resulta fundamental determinar estas estructuras, caracterizándolas cinemáticamente y evaluar su velocidad de movimiento, ya que estas fallas presentan movimientos recurrentes a lo largo de la Historia Geológica. La determinación de la velocidad de la deformación de estas fallas, es uno de los aspectos que inciden directamente en la mejor caracterización del riesgo sísmico, sobre todo en aquellas fallas que se demuestren como potencialmente activas y no tengan registros sísmicos adecuados. Nos referimos aquí, en concreto, a las que tienen periodos de retorno superiores al tiempo de registro sísmico (tanto instrumental como histórico), que en el mejor de los casos no supera los 1000 años. Estas fallas "lentas" son, sin embargo, aparentemente abundantes en las zonas menos activas, de la Península, por lo que tanto su localización como la determinación de su velocidad de movimiento redundarán de forma directa en la mejor evaluación de la peligrosidad sísmica que puede afectar a la seguridad de las instalaciones nucleares.

Con el nivel de conocimiento geológico y geofisico disponible actualmente en la Península resulta posible integrar la información, al menos a la escala que se propone, para definir correctamente estas estructuras. Por lo tanto, la integración de datos es uno de los medios que se van a utilizar en el Proyecto para conseguir sus objetivos. En este sentido se englobarían resultados de trabajos ya realizados por ENRESA (síntesis del Hercínico, campañas

gravimétricas, etc.) y proyectos cofinanciados entre el CSN y ENRESA (Datación, Daños, Segmentación de Fallas y Sigma).

Los estudios a escala regional son imprescindibles como un primer paso para realizar estudios a escala de un emplazamiento concreto. Una fuente tectónica no capaz puede estar relacionada con una que sí lo es y, en este caso, se debe considerar también como capaz. Por lo tanto, lo que se pretende abordar en este proyecto corresponde a la línea de trabajo que dicta el estado actual del conocimiento y se basa en lo ya establecido en la nueva normativa americana.

El Código Federal Norteamericano 10 CFR 100 (Reactor Site Criteria) establece, en la subparte B (Evaluation Factors for Stationary Power Reactor Site), la necesidad de determinar las fuentes sísmicas (tanto sismogenéticas como fallas capaces), el potencial de deformación tectónica de la superficie y las incertidumbres inherentes asociadas. La R.G. 1.165 (Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion), desarrolla estos requisitos normativos básicos y profundiza en los planteamientos técnicos para satisfacerlos, exponiendo que el conocimiento de los esfuerzos tectónicos es fundamental para poder definir fuentes sísmicas potenciales y diferenciar entre ellas: fuente sismogenética y fuente tectónica capaz.

Por "fuente sismogenética" se entiende la zona terrestre que tiene una potencialidad uniforme de generar terremotos (mismo evento sísmico y misma recurrencia), diferente a las de las demás regiones vecinas, no causando deformaciones superficiales y estando caracterizada por el régimen tectónico actual. Bajo este concepto se incluye un amplio abanico de posibilidades, desde una estructura tectónica bien definida hasta una extensa zona de sismicidad difusa.

Una "fuente tectónica capaz" se define como una estructura tectónica que, en el régimen tectónico presente, puede generar tanto vibración del suelo como deformaciones superficiales (fallas o plegamientos en la superficie o próximos a ella). Esto queda caracterizado por, al menos, una de las siguientes condiciones:

- Presencia de deformación en o cerca de la superficie, o existencia de depósitos geológicos de naturaleza recurrente durante los últimos 500.000 años o, al menos una vez, en los últimos 50.000 años.

- Asociación razonable con uno o más terremotos importantes o con una actividad sísmica sostenida, la cual está normalmente acompañada por deformaciones superficiales significativas.

- Asociación estructural con una fuente tectónica capaz, que tenga las dos características anteriores, de la cual pueda esperarse razonablemente que el movimiento de una estructura (fuente principal) vaya acompañado por el movimiento de la otra.

El NUREG-1451 (Staff Technical Position on Investigations to Identify Fault Displacement Hazards and Seismic Hazards at a Geologic Repository), distingue entre fallas de tipo I, II y III, dependiendo del movimiento potencial de las mismas y su influencia en el almacenamiento geológico.

Las fallas tipo I son definidas en este documento como aquellas que están sujetas a desplazamiento y que, por su longitud y localización, pueden afectar al diseño, operación y clausura del almacenamiento, requiriendo una investigación específica detallada. El proceso de identificación y caracterización de estas fallas tipo I requiere dos etapas: la primera orientada a evidenciar su desplazamiento y la segunda dedicada a evaluar los efectos potenciales de su movimiento, tanto en lo que respecta a los cambios en la geometría del terreno (peligrosidad de desplazamiento) como a la caracterización del movimiento vibratorio provocado (peligrosidad sísmica).

Se considera que una falla está sujeta a desplazamiento si existen evidencias de movimiento durante el Cuaternario. Si los registros cuaternarios son incompletos o poco claros, como puede ser el caso de algunas zonas de la Península Ibérica, se considera entonces que la falla está sujeta a desplazamiento si reúne una o más de las siguientes condiciones:

- Tener sismicidad instrumental directamente asociada.
- Tener relación estructural con otras fallas sujetas a desplazamientos .
- Estar orientada favorablemente según el campo de esfuerzos tectónicos presente.

En este contexto la estimación del campo de esfuerzos actual en una zona es fundamental, desde el punto de vista de la seguridad nuclear, para analizar mejor la peligrosidad sísmica de

los emplazamientos y poder acotar los inherentes márgenes de incertidumbre de los resultados, como se ha realizado en el proyecto SIGMA. Por tanto, la fase siguiente ha de consistir en definir el medio físico sobre el que se están aplicando los esfuerzos. Ya que las discontinuidades mayores son las que pueden generar los terremotos más importantes, resulta necesario evaluar las "Fallas de Primer Orden".

0.1.3 Objetivos

El objetivo del proyecto PRIOR (Fallas de PRImer ORden), una vez concluido el proyecto SIGMA, se ha dirigido hacia la cartografía regional de fallas susceptibles de producir sismos importantes, así como a cuantificar sus velocidades de deformación, utilizando y reelaborando información ya disponible. Los resultados de este proyecto redundarán en beneficio de las reevaluaciones de la seguridad de las instalaciones nucleares existentes y en el diseño de los posibles almacenamientos de residuos.

Dentro de estas estructuras tectónicas (o sismogenéticas) conviene distinguir algunas categorías que tienen que ver con su potencial sísmico:

- Fallas de primer orden. Existe una relación directa entre superficie de la falla (longitud) y la magnitud del terremoto que pueden originar. Conviene realizar un inventario de estas estructuras a nivel regional, con especial atención a las que aparecen en el Macizo Hespérico, que es el que sustenta un mayor número de emplazamientos nucleares. Las fallas de primer orden son las que afectan a toda la Corteza Superior. El hecho de que estas fallas aparezcan muy segmentadas, como se ha puesto de manifiesto en un reciente Proyecto de investigación financiado por ENRESA, no excluye la posibilidad de movimiento simultáneo en varios de estos segmentos.

- Fallas Heredadas. Debido a la discontinuidad mecánica que representa una falla, se ha demostrado mediante modelizaciones numéricas que éstas tienden a nuclear la deformación, por lo que si están adecuadamente orientadas respecto al campo de esfuerzos, el movimiento se producirá preferentemente en ellas. Este hecho queda muy patente en la Historia Geológica, donde se registran movimientos repetidos de grandes fallas, no generadas bajo el campo de esfuerzos neotectónicos, (fallas heredadas) en distintas condiciones mecánicas y a lo largo de periodos de tiempo muy amplios.

- Fallas Activas. Aunque hay varias definiciones al respecto, cabe mencionar que la ausencia de sismicidad instrumental no es garantía de que una falla determinada, heredada o de primer orden, no produzca en un futuro próximo sismos importantes. A este respecto son fundamentales los estudios de Paleosismicidad (Rodriguez-Pascua et. al, 2002) que se realicen sobre fallas previamente seleccionadas. Podemos así distinguir entre "fallas recientes" y "sísmicas", considerando ambas como "activas".

Todas estas categorías han sido definidas en distintos trabajos técnicos para Organismos Reguladores de la Energía Nuclear en varios países. En España existe abundante información a escala regional, que permitiría cartografiar estas estructuras si se adopta una visión en conjunto del problema.

Otro aspecto fundamental para evaluar el potencial sísmico de una estructura determinada, es el de la velocidad de la deformación y de la frecuencia de sismos. A nivel regional cabe considerar la información referente a tasas de levantamiento o hundimiento, que pueden obtenerse mediante estudios de carácter global, geomorfológicos, geodésicos e incluso petrológicos.

Con todo ello y como objetivo final, se pretende realizar dos mapas a escala 1:1 000 000, a saber:

- Mapa de Fallas de Primer Orden de la Península Ibérica.
- Mapa de Fallas Potencialmente Activas.

Estos mapas servirán como base imprescindible para la realización de posibles estudios detallados que se requieran en emplazamientos concretos.

0.2 Objetivos del equipo de trabajo de la UPM

Dentro del esquema general de PRIOR, existe una parte correspondiente al análisis de lineamientos de terremotos que se desarrolla en la Universidad Politécnica de Madrid

centrándose su trabajo dentro del Departamento de Matemática Aplicada y Métodos Informáticos (DMAMI) de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas (ETSIM) y que como se presenta a continuación ha dado, en parte, lugar a este proyecto de fin de carrera.

El propósito de encontrar una relación los lineamientos de las fracturas y los terremotos asociados a estas puede entenderse en principio como ambiguo y ciertamente extenso. Debido a que el termino relación no especifica claramente el contenido de lo buscado, sino que crea un amplio abanico de posibilidades para estimar esta relación, pudiendo ser tanto cualitativa (fundada en una mera descripción que puede basarse en aspectos subjetivos), como cuantitativa (para la que se precisan ciertos cálculos y establecer criterios de comparación).

Dado el tipo de datos disponibles, y considerando que estos se basan en inferencias cuantitativas (los que más) y cualitativas (los que menos) de los sismos registrados, en cuanto a su relación con la fractura en movimiento, y que a su vez este puede provocar la aparición de, si no, nuevas fracturas, al menos remarcar algunas ya visibles o en principio existentes pero invisibles, no se va a tener en cuenta la casuística. Es decir, se parten de unos datos (fracturas y terremotos) que, si bien se sabe que se encuentran relacionados, no se identifica concretamente el tipo de relación en cuanto al origen de la estructura mutua. Así es, serán los análisis que se practiquen, los que cuantitativamente estimen la importancia del movimiento de una fractura sobre los terremotos circundantes; o recíprocamente, el efecto que el movimiento sísmico tiene sobre la corteza próxima y las fracturas existentes o las nuevas creadas.

Considerando con detalle la tipología de los datos de los campos de fracturas, al proporcionarse estos en forma de lineamientos (o segmentos rectilíneos en el plano) se esta considerando el fenómeno de la facturación como un proceso bidimensional, cuando en realidad se trata de un proceso tridimensional donde las fracturas son superficies irregulares alabeadas. Estas trazas, resultado de la intersección de las fracturas en el medio espacial, con la superficie topográfica, se han obtenido gracias a los trabajos de interpretación de MDT (modelos digitales del terreno) y digitalización del equipo de la UCM que participan en PRIOR. Hecha esta apreciación, queda simplificada la dimensión del campo de fracturas, y por consiguiente la información necesaria para describirlo.

Por otra parte, se sabe que el movimiento de una fractura, que es susceptible de provocar un sismo, es un proceso sobre la superficie irregular de la roca quebrada. La energía liberada en este movimiento depende, además de otros parámetros, de la superficie involucrada en este movimiento (Pacheco et al. 1995). Bajo las oportunas consideraciones sobre el tamaño de esta área, puede asumirse que frente al área de la zona en estudio (para este proyecto), resulta ser insignificante. Asumida esta simplificación puede considerarse que el fenómeno sísmico, en su origen o fuente de energía (hipocentro) es un hecho puntual, del que se conoce su posición (con relativa precisión) que lo ubica en el espacio.

El movimiento en esta superficie, si bien se registra localmente en un punto, puede ser debido a esfuerzos tectónicos que se transmiten a través de grandes distancias. Estos esfuerzos no solo provocan un sismo sino toda una amplia variedad de sismos diferenciados en tiempo y magnitud asociados a una o un grupo de fracturas. Este razonamiento puede hacerse extensible a todo el territorio sujeto a estudio (en el presente trabajo, la zona Ibero-Magrebí). Por otra parte si quedan constatados los diferentes tipos de esfuerzos que se aplican sobre las estructuras fracturadas en la corteza, dentro de este territorio (Proyecto SIGMA). De esta forma es posible establecer una zonificación a partir de la agrupación de áreas sometidas a tensiones semejantes, con lo que el problema pasa de estar planteado sobre un área muy extensa, a estarlo sobre zonas más reducidas, a las que les llegan, transmitidos por continuidad, los esfuerzos tectónicos, cuyo origen esta más allá del territorio considerado. Gracias a esta simplificación, los terremotos pueden ser entendidos como un efecto local (registrado en un punto) debido a una causa regional (limitada a la zona de características comunes).

Como se ha mencionado anteriormente, los terremotos tienen su origen en profundidad sobre una a´rea que rompe, con lo que su ubicación es tridimensional (hipocentros). Dado que los datos de fracturación se han obtenido sobre la superficie, para poder efectuar la identificación de la relación, los datos de terremotos también deben de estar dados en superficie, como epicentros. A diferencia de las trazas, que son intersecciones de la fractura con el terreno, los epicentros no son intersecciones, sino que son muy próximos a la proyección en la superficie del hipocentro según la dirección de un radio terrestre. Más concretamente el epicentro es la proyección del hipocentro en superficie, que puede o no coincidir con el punto de máxima intensidad en superficie, según el grado de heterogeneidad del terreno a la transmisión de ondas. De esta manera, si un sismo se origina en profundidad, por el movimiento de una,

fractura, puede ocurrir que la relación con esta, en superficie, no sea tan evidente, al ser uno la imagen de un punto y el otro la intersección de un cuerpo orientado (véase figura 0-1).

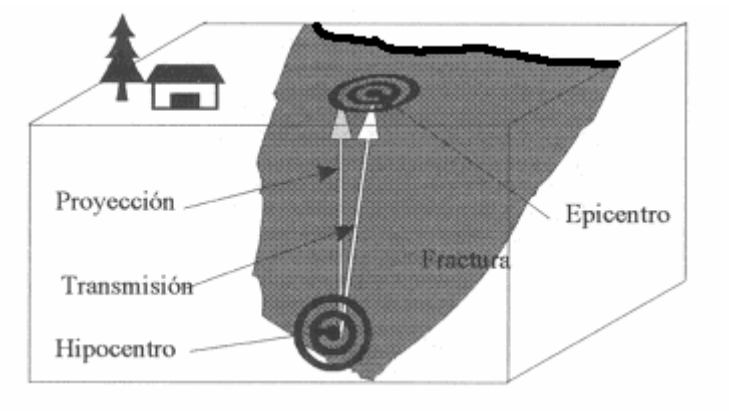


Figura 0-1: Diferencia entre la proyección del hipocentro y la posición de la fractura.

Cabe señalar en este sentido que la simplificación del problema tridimensional a uno bidimensional, puede complicar la resolución del mismo, al perderse la correspondencia en cuanto a posición de la fractura y terremoto en profundidad, y debido a que la fractura es un cuerpo orientado.

Se exponen a continuación las hipótesis simplificadoras sobre las que se va a realizar el estudio de la relación fractura-sismo, y que se resumen en:

- Las fracturas son segmentos rectilíneos (trazas) en el plano de la superficie topográfica.
- Los terremotos son puntos (epicentros) en el plano topográfico.
- Las zonas poseen características sismotectonicas semejantes (regiones sísmicas).

Se propone como objetivo marco de esta investigación establecer e identificar una relación espacial entre los fenómenos de fracturación de la corteza terrestre y los sismos localmente registrados. Al mencionar relación espacial, se refiere a que se tienen en cuenta aspectos:

- Direccionales: dado que los lineamientos son segmentos orientados y los terremotos se disponen, si no sobre ellos (por la diferencia entre la intersección y la proyección), a su alrededor.

- Posicionales: dado que se observa una proximidad entre un terremoto y la fractura que lo origina. La consecución de este doble objetivo debe proporcionar información cualificada y cuantificada para la asignación de la fracturación primaria y la sísmica relacionada.

Para alcanzar el objetivo propuesto, se precisa el tratamiento de los datos disponibles mediante una serie de análisis que suministren la información que el objetivo requiere. Teniendo en cuenta que la relación (ahora correlación) espacial es tanto direccional como geométrica, los análisis que se lleven a cabo serán aquellos que informen sobre la anisotropía y sobre el índice de correlación espacial y en función de la escala. Para ello se dispone en la bibliografía de las técnicas que suministra la geoestadística y el análisis fractal y multifractal.

Adicionalmente, dado que el proceso de aparición de terremotos transcurre, no solo distribuido en el espacio, sino también en el tiempo, los análisis se han de llevar a cabo con un carácter estacionario y transitorio. Se diferencian uno del otro en que el estacionario analiza todo el conjunto de datos recogidos hasta el momento; y el transitorio, intervalos de datos a lo largo del tiempo. Esta ultima diferenciación en el tipo de análisis, en cuanto al carácter temporal de los mismos, solo afecta al conjunto de datos sísmicos, que son los que varían a lo largo del tiempo.

Los análisis serian inútiles si no se interpretaran los resultados obtenidos atendiendo a los datos de procedencia. Por ello de cada uno de los análisis que se realizará se extraerá un conjunto de conclusiones, cualitativas y cuantitativas que orienten hacia la identificación final de la relación fractura-sismo.

A continuación se describe brevemente la estructura de los análisis que se realizaran sobre los datos:

- Análisis estacionario: Se analiza la información hasta el momento actual. Como puede entenderse, el campo de fracturas se considera siempre el mismo, y el de terremotos varía a lo largo del tiempo. De esta forma, se estudiaran todos los datos disponibles hasta el instante, sin hacer consideraciones temporales (en cuanto al momento en que aparecen). Los resultados que se espera que proporcione presentaran las posibles

correlaciones espaciales y anisotropías en los campos de epicentros y fracturas, para cada una de las zonas o regiones sísmicas consideradas. El análisis estacionario consta a su vez de dos tipos de análisis, uno simple y otro cruzado.

- Análisis simple: para el que se consideran de forma separada y se analizan de manera independiente los campos de fracturas y de terremotos. Este análisis comprende, para la identificación de correlaciones, anisotropía a invarianzas al cambio de escala, la aplicación de técnicas fractales, multifractales, y estocásticas (estudiando la irregularidad geométrica); y técnicas correlatorio espectrales (para estudiar la irregularidad de la estructura de correlación).

- Análisis cruzado: en este caso se analizan de forma conjunta los campos de fracturas y terremotos, permitiendo estudiar la irregularidad estructural con técnicas correlatorio espectrales.

- Análisis transitorio: que solo tiene en cuenta la variación en el tiempo de los terremotos y su correspondiente posición en el espacio. Tras filtrar la información disponible, en cuanto a magnitudes de sismos registrados, seleccionara aquellos parámetros procedentes del análisis simple y cruzado de los mismos, que puedan reflejar el comportamiento en el tiempo.

Además, para la puesta en funcionamiento de alguno de ellos se precisa otra serie de análisis que preprocesan los datos para configurarlos apropiadamente a identificar estructuras de anisotropía y correlación.

- Análisis colaterales: que comprenden la asignación de una medida correcta asociada a las características geométricas de cada campo particular (por ejemplo para el campo de fracturas, pudiera ser la densidad de fracturación); y la identificación de las direcciones principales de anisotropía procedentes de fuentes como los análisis simple y cruzado, de la direccionalidad del campo de fracturas, o del tensor de esfuerzos asociado a la región sísmica.

A continuación se presenta un esquema del trabajo que dentro de PRIOR realizó la universidad politécnica, véase figura 0-2.

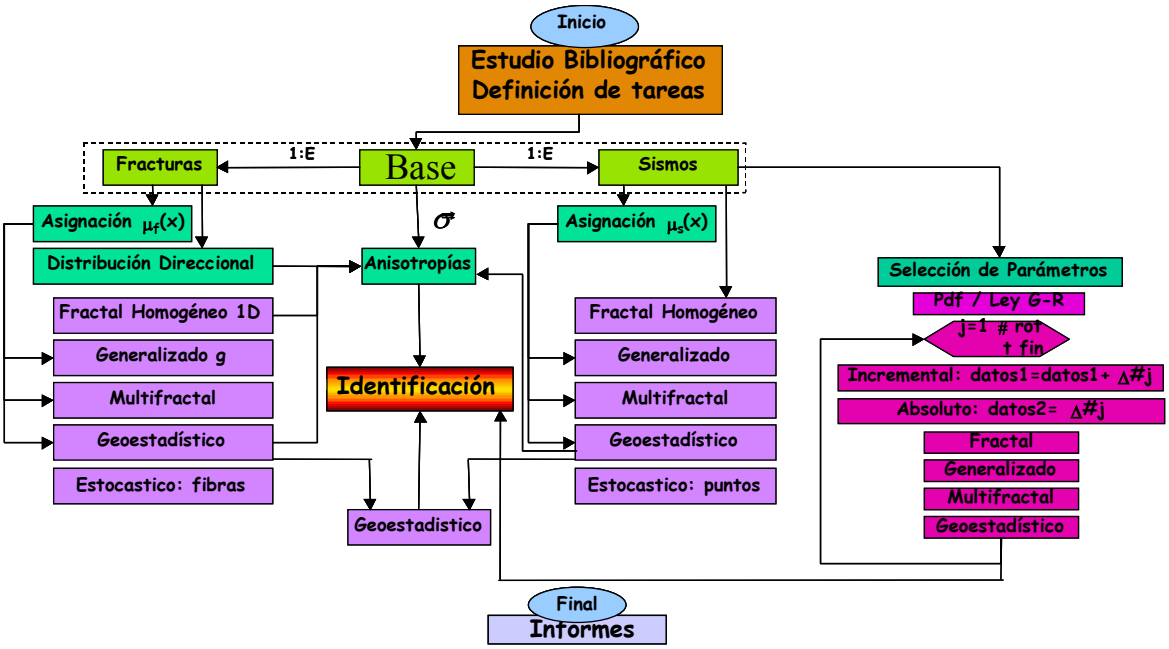


Figura 0-2: Organigrama del trabajo desarrollado para PRIOR por la Universidad Politécnica de Madrid.

1 OBJETIVOS Y ALCANCE

El presente Proyecto de Fin de Carrera tiene como objetivo principal definir una metodología para maximizar la información asociada a estructuras geométricas de distribuciones de masa. De manera particular esta metodología se ha desarrollado a fin de aplicarla a la base de datos de terremotos del área ibero-magrebí.

El objeto del desarrollo de esta metodología y su aplicación a bases de datos sísmicas y de fracturación no es otro que la de proporcionar una nueva herramienta muy útil a la hora de elegir una escala de observación de un fenómeno. La responsabilidad de la elección de una escala de muestreo se deja actualmente en manos de técnicas absolutamente empíricas y carentes de fundamentos sólidos, basadas exclusivamente en la constancia de ciertas propiedades estadísticas.

Esta circunstancia puede parecer en un principio banal y sin importancia, pero no lo es en absoluto si tenemos en cuenta que es, la distribución discretizada, sobre la que se aplican luego diversos algoritmos de análisis a la hora de estimar, por ejemplo, los mapas de riesgo sísmico. Es, por tanto, clara la necesidad de un protocolo que permita, en función de los datos disponibles, elegir una escala de muestreo adecuada. Esto es aún más claro en el caso de los fenómenos sísmicos y los mapas de riesgo, pues de ellos puede depender la vida de muchas personas en caso de un hipotético terremoto.

La técnica que se presenta en este Proyecto de Fin de Carrera está basada en la teoría de la información (Shannon, 1948) y en su desarrollo se han debido llevar a cabo ciertos objetivos secundarios que se detallan a continuación.

En primer lugar se ha efectuado una intensa búsqueda bibliográfica para determinar el estado del arte de la cuestión en particular. A pesar de que hay ciertos intentos de sistematizar una técnica de elección de escalas características (Goltz, 1997) son bastante empíricos y subjetivos.

Una vez revisado el conocimiento existente se procedió al diseño de la metodología. Dicho diseño, una vez ideado, se probó con diversos casos test (algunos de los cuales se presentan en el presente proyecto), lo cual implicó la programación e implementación de numerosos algoritmos para cada una de la tipología de los datos (líneas, terremotos, puntos, etc.). Como se verá más adelante para cada tipo de datos se ha de definir una medida diferente.

Una vez que se dispuso de una técnica robusta y comprobada con casos sintéticos, se pasó al análisis de bases reales de datos. En particular se debió filtrar la base de datos del IGN, a lo cual se dedica un capítulo completo del presente proyecto.

Principalmente, el alcance final del presente proyecto es proponer una reevaluación de los métodos utilizados para el cálculo de la peligrosidad sísmica vigentes en España. Para ello se utilizarán los resultados obtenidos en los análisis antes comentados.

Como alcances secundarios, debe destacarse la definición, por medio de la técnica aquí desarrollada, de un protocolo de muestreo óptimo de estructuras geométricas. Los alcances de este proyecto pretenden ser ampliados en un futuro para la generalización de la técnica (Véase apartado 2.2.2). Las perspectivas en este aspecto, en el que se sigue trabajando en la actualidad, son altamente prometedoras y están arrojando resultados muy interesantes acerca de la potencia del análisis que aquí se detalla.

Como complemento a este primer capítulo se detalla a continuación el esquema seguido por el Proyecto de Fin de Carrera y su integración dentro del proyecto PRIOR (Figura 1-1).

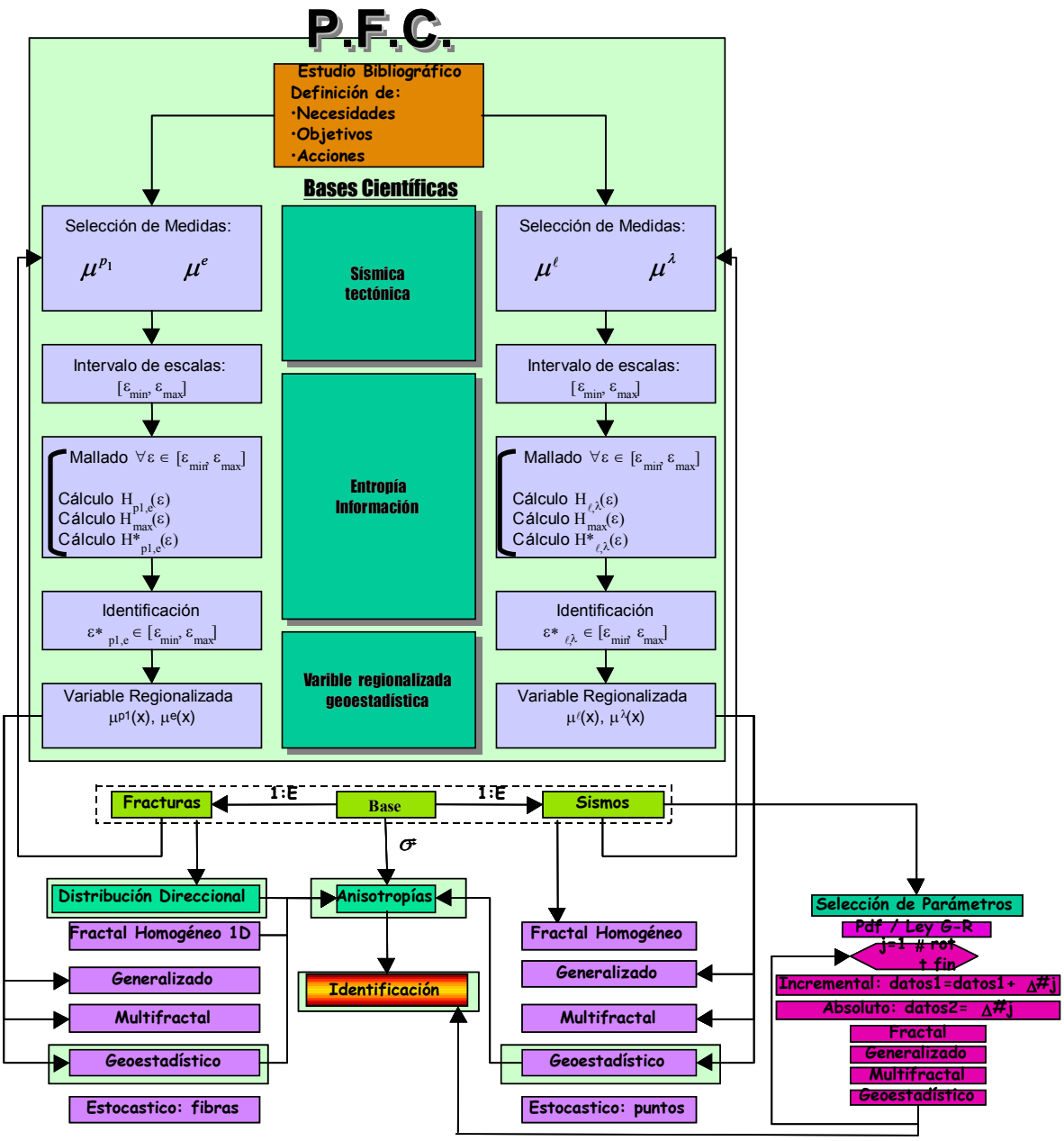


Figura 1-1: Diagrama de flujo del Proyecto de Fin de Carrera y su acoplamiento con el proyecto PRIOR.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En el presente capítulo se presentan algunos de los conocimientos científicos que han sido considerados necesarios para el desarrollo del Proyecto de Fin de Carrera. Este capítulo no pretende en ningún modo ser un desarrollo exhaustivo de todos estos conocimientos, sino una introducción necesaria para la comprensión de la lógica y estructura seguidas por el proyecto.

2.1 Conceptos básicos de sismología

En este apartado describiremos brevemente algunos de los principios de la sismología. Este apartado es completamente necesario para el correcto manejo de los datos que se van a analizar, así como para la correcta interpretación de los resultados obtenidos. Se describirán las herramientas básicas de la sismología así como la formulación y análisis de la ley de Gutemberg-Richter.

Los terremotos constituyen un fenómeno físico de disipación de energía resultante de la dislocación entre dos planos de falla (Figura 2-1). Espacialmente, se representan como una fuente puntual explosiva de amplitud unitaria. Con esta definición es posible representar los terremotos como una fuente impulsiva según una onda compresiva esférica que se propaga a una velocidad C, tal y como representa la ecuación (2-1):

$$u(r,t_r) = \delta(t_i - t_r)/4\pi\rho C^2 r \qquad (2\text{-}1)$$

Donde δ es una delta de Dirac t_i es el tiempo de comienzo del terremoto, t_r el tiempo de llegada a una distancia r, C la velocidad de propagación y ρ la densidad del medio de propagación y u es la amplitud de onda en el sismograma registrado.

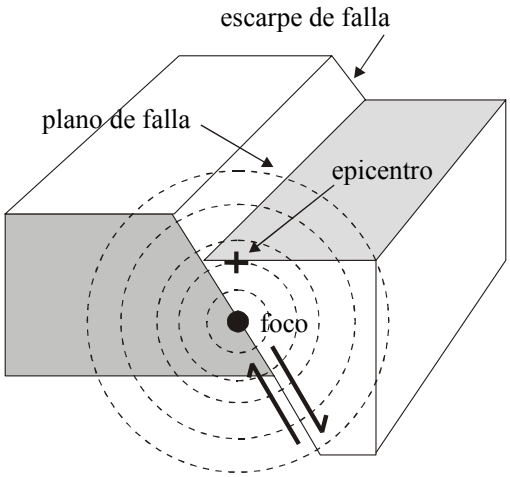


Figura 2-1: Representación esquemática de un terremoto y todos sus elementos importantes.

Las condiciones iniciales para asumir esta fuerza puntual es que el terremoto se propaga en un medio elástico, homogéneo e isótropo, además de infinito.

2.1.1 Medida del tamaño de un terremoto

La magnitud representa el tamaño de una terremoto y es proporcional a la energía liberada. La magnitud fue la primera medida cuantitativa y su uso esta extendido ampliamente, aunque presenta ciertos inconvenientes. Además, es muy difícil de relacionar teóricamente con los parámetros propios de la fuente: energía de la deformación, salto de falla, caída de esfuerzos, etc. (Kanamori and Anderson, 1975). Es por ello que la energía liberada por un terremoto se mide desde dos métodos: métodos directos y métodos indirectos.

2.1.1.1 Métodos indirectos: estimación de la magnitud

La forma tradicional de medir el tamaño de un terremoto es mediante la magnitud la cual representa una escala logarítmica de la amplitud de una onda sísmica específica medida en una frecuencia particular y corregida la distancia entre el terremoto y la localidad donde está situado el sismómetro. La magnitud en sí se definió en los años 30 a partir de los trabajos simultáneos de Wadati (Wadati, 1928) y de Richter (Richter, 1958). La respuesta de la tierra ante un terremoto se registra en el sismograma, a partir de un sismógrafo que registra la llegada de las ondas de volumen P, S, SH, etc. (Figura 2-2).

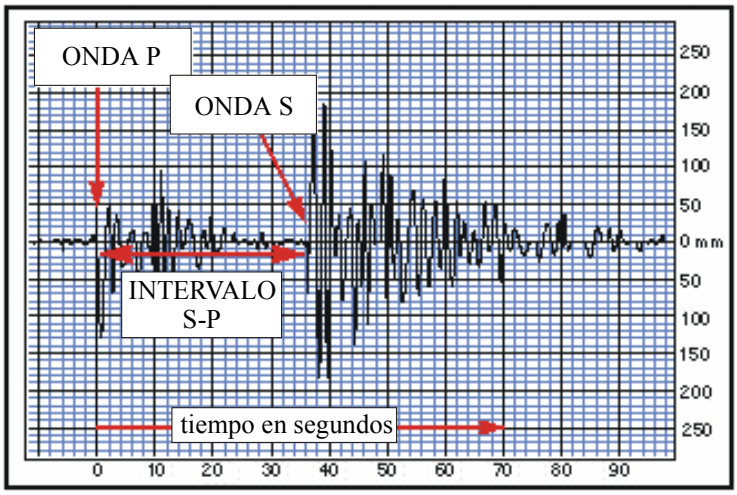


Figura 2-2: Aspecto típico de un sismograma sobre el que se señalan los trenes de onda S y P.

La primera llegada corresponde a la onda P u onda longitudinal, la cual presenta un periodo cercano a 1 segundo. Después se registran las ondas transversales S, y finalmente las ondas superficiales, *Rayleigh* y *Love*, de periodo mayor (ente 18 y 32 segundos).

2.1.1.2 Magnitud Local, M_L

La primera publicación sobre una escala de magnitudes de los terremotos (Richter, 1935) se indica cómo el número de terremotos cae rápidamente según aumentamos el tamaño de la misma. Richter (1958) define la magnitud local de una terremoto como el logaritmo de la amplitud de la señal registrada en micras (10^{-6} metros) por un sismómetro estándar (tipo Wood-Anderson), con un periodo propio de 2,8 segundos, una amplificación de la señal con un factor de 2800 y 0,8 de atenuación a una distancia de 100 kilómetros (Δ).

$$M_L = \log A - 2.48 + 2.76 \log \Delta \qquad (2\text{-}2)$$

Esta magnitud se basa en dos hipótesis muy particulares. La primera que la magnitud define el tamaño de un terremoto y que la corrección del sismómetro es estadísticamente satisfactoria.

2.1.1.3 Magnitud de ondas de volumen (m_b) y ondas de superficie (M_S)

En distancias de registro superiores a 1000 kilómetros no se puede determinar la magnitud M_L, utilizándose la magnitud de ondas de volumen. Para determinar la magnitud a partir del

sismograma, se mide el tiempo de llegada de las ondas de volumen S, P o la diferencia entre ambas, lo que indica la distancia ente la estación sismológica y el epicentro (Figura 3.1.4). Por otra parte, se mide la amplitud en milímetros de cualquiera de ellas y mediante el uso de un nomograma (Figura 2-3) se obtiene la magnitud. La magnitud es, por tanto, una medida logarítmica de la amplitud cuyo rango de valores está comprendido ente 0 y 10 (Richter1958):

$$m_b = \log(A/T) + Q(h;\Delta) \qquad (2\text{-}3)$$

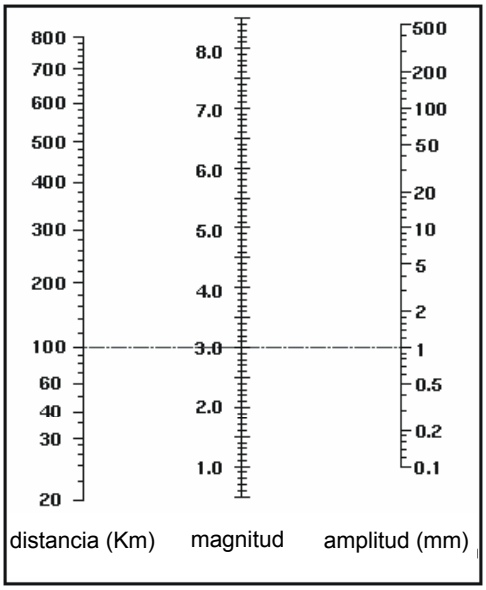


Figura 2-3: Ábaco de cálculo de la magnitud en función de la distancia y la amplitud.

Donde *T* es el periodo característico de la onda de volumen y *Q(h; Δ)* es una función empírica que depende de la profundidad y de la distancia al epicentro. Debido a que se produce una saturación en la señal registrada cuando las ondas utilizadas son las S o las P, la máxima magnitud registrable por este método es de 5,5. La localización del epicentro se realiza mediante triangulación de tres estaciones sismológicas convenientemente situadas (Figura 2-4).

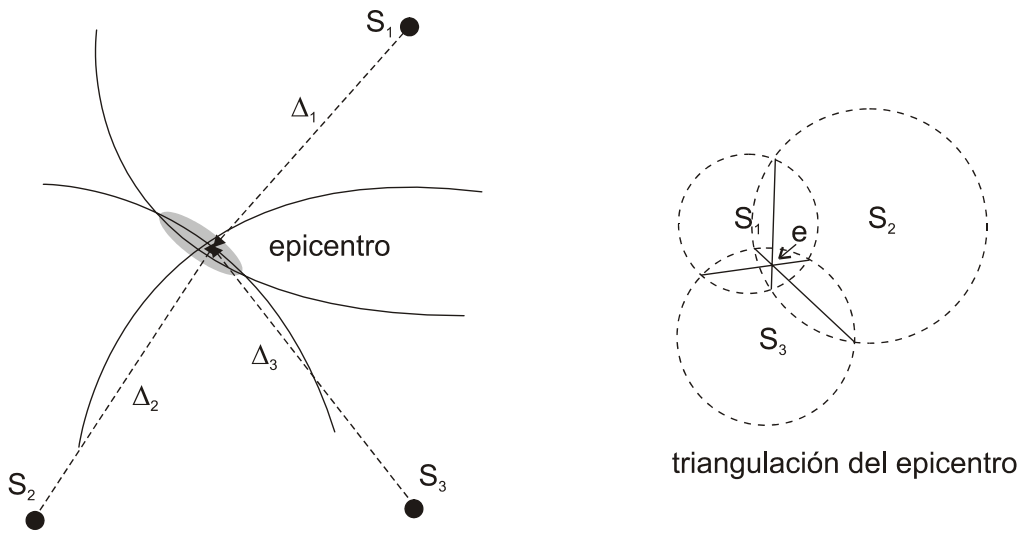


Figura 2-4: Esquema de localización de un terremoto mediante triangulación.

A larga distancia dominan los sismogramas de ondas superficiales de largo periodo (cercano a 20 segundos). La magnitud definida mediante las ondas superficiales se encuentra en el intervalo $5 \leq M_s \leq 8$, debido a que no se registran todas las longitudes de onda (2-4).

$$M_S = max\{\log(A/T)\} + 1.66 \times \log\Delta + 3.3 \qquad (2\text{-}4)$$

2.1.1.4 Métodos directos: estimación del momento sísmico

La estimación de la magnitud presenta varios inconvenientes, siendo uno de ellos el de relacionar la magnitud con parámetros propios de la fuente sísmica, tal y cómo la energía liberada, el salto de la falla, etc. Además, la magnitud implica una parte del sismograma, mientras que la energía liberada implica una integración sobre la totalidad del espectro. Para entender mejor cómo obtener la energía liberada a partir de parámetros propios de la fuente describamos los terremotos según el modelo de doble pareja y la dislocación elástica (Steketee, 1958, Burridge and Knopoff, 1964, Maruyama, 1963, Aki, 1966, Haskell, 1964). Sea una falla con un desplazamiento destral (Figura 2-5 a). La zona hacia donde se desplaza sufre compresión, mientras que la zona desde donde se desplaza sufre dilatación. Este esquema muestra una simetría al representarse por otro momento de par de fuerzas de sentido contrario, sinestroso (Figura 2-5 a). Desde este esquema, una falla que produce terremotos se modeliza conceptualmente mediante dislocación de una falla de cizalla sobre una superficie en un medio elástico. Esta dislocación es equivalente a la distribución de una doble pareja de fuerzas sobre esta superficie cuyo momento total es:

$$M_0 = \mu S \Delta \qquad (2\text{-}5)$$

Donde μ es el coeficiente de rigidez del medio, S el área de la superficie de rotura y Δ la dislocación o salto medio a lo largo del plano de falla. Esta cantidad se denomina momento sísmico es función del tiempo y las dimensiones más comunes son dinas por centímetro.

Este esquema permite obtener el mecanismo del foco del terremoto, que constituye una representación en estereográfica de las zonas en compresión y extensión que provoca la dislocación (Figura 2-5 b y c). Además, cada geometría de falla presentará un mecanismo focal característico (Figura 2-6).

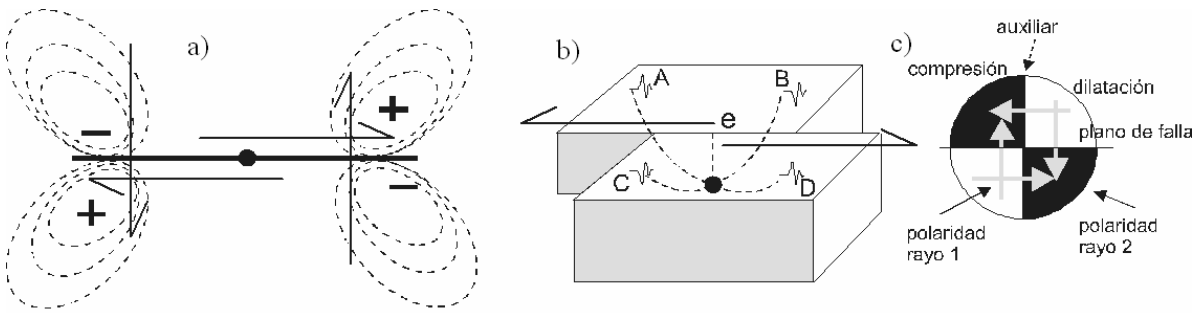


Figura 2-5: Representación esquemática del movimiento de una falla y tensiones asociadas, así como su criterio de representación.

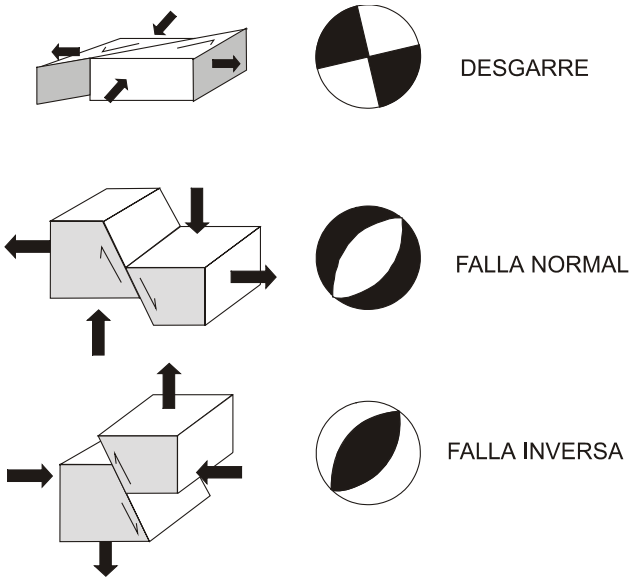


Figura 2-6: Criterio de representación de los diferentes mecanismos focales según la proyección estereográfica de las tensiones asociadas, compresión en negro y extensión en blanco.

La dimensión física de una fuente sísmica puede definirse mediante el tamaño del plano de falla o por el área donde se localizan las réplicas (Kanamori and Anderson, 1975).

2.1.1.5 Magnitud de momento (M_W)

Siguiendo la tendencia continuista de representar los terremotos mediante la magnitud, Kanamori (1977) propone la siguiente relación:

$$M_W = \frac{3}{2}\log M_0 - 10.73 \qquad (2\text{-}6)$$

2.1.1.6 Relaciones empíricas entre magnitud y energía liberada

De forma empírica la relación entre la magnitud de ondas de superficie y la energía liberada (E_S) que coincide con el momento sísmico M_0 y para la mayoría de los terremotos es:

$$M_0 = E_S = 10^{1.5Ms} \qquad (2\text{-}7)$$

Además, la relación entre la energía liberada y la longitud de rotura (L) es (Aki, 1967a, Brune, 1970, Kanamori and Anderson, 1975):

$$E_S \approx L^3$$

Y finalmente, la relación entre la superficie de rotura y la magnitud es (Utsu and Seki, 1954, Båth and Duda, 1964, Kanamori and Anderson, 1975)

$$\log S = 1.21 M_S - 5.05$$

2.1.2 Ley de Gutenberg y Richter (G-R)

Mediante análisis estadísticos sobre la distribución de la frecuencia acumulada del tamaño de los terremotos, de forma independiente Ishimoto e Ida (1939) y Gutenberg y Richter (1944) establecieron esta popular ley empírica entre la magnitud de un terremoto y su frecuencia:

$$\log N(m) = a - b \times m \qquad (2\text{-}8)$$

Donde *N(m)* es el número de terremotos de magnitud superior a *m*. Este comportamiento también se observa para la microfracturación generada a partir de ensayos de laboratorio (Mogi, 1962, Scholz, 1968).

La ecuación (2-8) indica que el tamaño de los terremotos obedece una ley exponencial. Atendiendo a la relación logarítmica entre la magnitud y la energía liberada por el terremoto, la ley de Gutenberg y Richter muestra cómo la liberación de energía sigue una ley potencial.
El valor de la constante a de la ecuación (2-8) depende del número de terremotos de la muestra por lo que es de escasa importancia. Sin embargo, el parámetro b o exponente de la ley potencial es muy importante. El valor del parámetro *b* es casi 1 para la sismicidad mundial, oscilando dentro del intervalo 0,5-1,5 (Aki, 1981) aunque otros autores lo restringen algo más: 0,7-1,3 (King, 1983). Las explicaciones sobre el significado de la ley de Gutenberg y Richter relacionan el parámetro *b* con la distribución heterogénea de esfuerzos, atribuyendo esta relación empírica a la distribución de esfuerzos.

La figura 2-7 muestra la ley de Gutenberg y Richter para la sismicidad mundial obtenida de la base digital de datos *Harvard-CMT* entre los años 1962 y el año 2000, mediante la representación del acumulado del momento sísmico. En total se representan 18.267 eventos con magnitudes superiores a 4,5. El valor del parámetro *b* es de 1,1, dentro del intervalo de confianza y similar al obtenido por otros autores en trabajos previos (Aki, 1981) y se obtuvo aplicando el método de máxima verosimilitud (Aki, 1967), método que se explicará en la sección siguiente. Resulta curioso que en 19 años de nuevo registro se mantenga el valor mundial del parámetro *b*, aunque resulta arriesgado sacar conclusiones precipitadas.

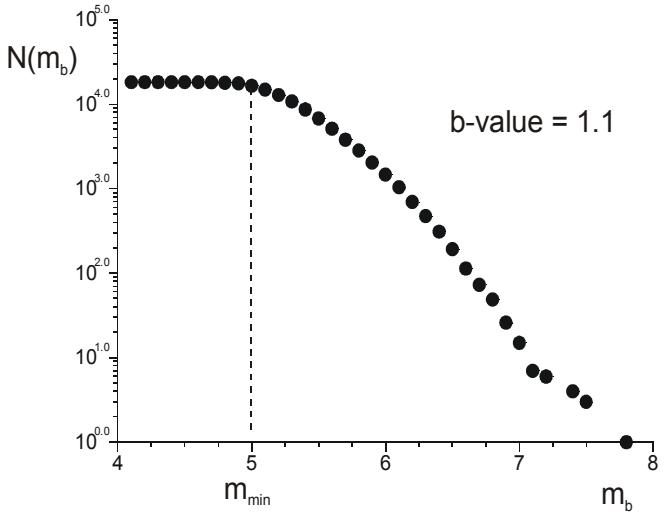


Figura 2-7: Curva de relación frecuencia-tamaño para los terremotos de la base de datos internacional HarvardCMT con magnitud superior a 4,1, el valor de *b* es de 1,1.

La figura 2-8 muestra la relación de Gutenberg y Richter para la serie de terremotos filtrados desde la base digital de *Harvard* y que corresponden a aquellos relacionados con zonas tectónicas de colisión continental. Estas zonas comprenden la micro placa ibérica, situada entre la colisión de la placa Euroasiática con la placa Africana, la zona de colisión entre la península Arábica con la plataforma Rusa, lo que provoca la sismicidad del Caucaso y áreas adyacentes y la zona de colisión continental entre la India con el Tíbet que da lugar a la cordillera del Himalaya. El valor del parámetro *b* en este caso, obtenido también mediante el método de máxima verosimilitud, es de 0,62. Contrasta este valor más bajo que el parámetro *b* de la sismicidad mundial. Desde un punto de vista meramente estadístico esto significa que el

balance entre terremotos medianos (*4.5 < m < 5*) y terremotos grandes (*m>7*), es mayor para las zonas de colisión continental, dominando grandes eventos en estas zonas.

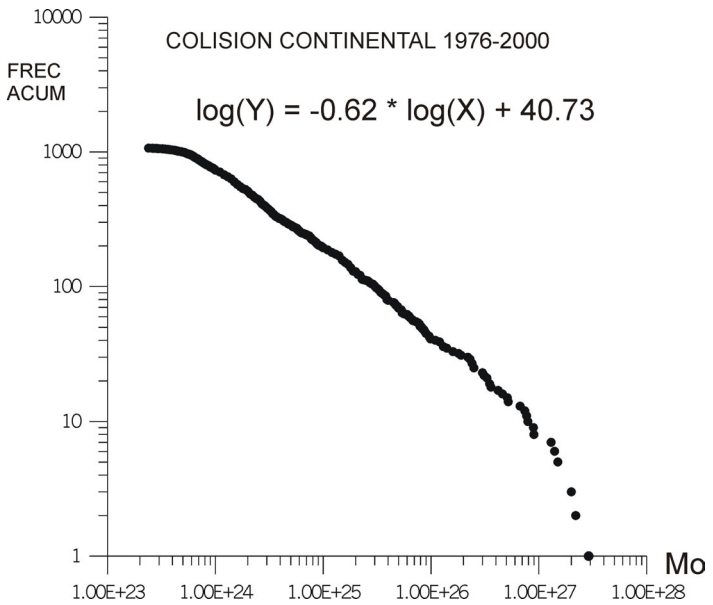


Figura 2-8: Relación de Gutenberg y Richter para la serie de terremotos filtrados desde la base digital de *Harvard* y que corresponden a aquellos relacionados con zonas tectónicas de colisión continental de los años 1976 a 2000.

Combinando la ley de Gutenberg y Richter con el momento sísmico:

$$\log N(m) = \frac{-b}{c} \log Mo + cte \qquad (2\text{-}9)$$

Atendiendo a la relación entre el momento sísmico y la longitud de rotura (Kanamori and Anderson, 1975, Aki, 1981, King, 1983):

$$M_0 \approx L^3 \qquad (2\text{-}10)$$

Esta relación muestra la autosimilitud de los terremotos (Aki, 1981) y es razonable para la mayoría de los terremotos registrados (Kanamori, 1975). Sustituyendo en la ecuación (2-9) se obtiene la ecuación de autosemejanza en tres dimensiones:

$$\log N(L)_{3D} = \frac{-3b}{c}\log L + cte \qquad (2\text{-}11)$$

Y en dos dimensiones queda:

$$\log N(L)_{2D} = \frac{-2b}{c}\log L + cte \qquad (2\text{-}12)$$

La ecuación (2-11) y la ecuación (2-12) muestran cómo la distribución de tamaños de longitudes de rotura sigue la ley de Gutenberg y Richter como un modelo de autosimilitud, lo que puede asimilarse cómo que la distribución de fallas sismogenéticas sigue la ley de Gutenberg y Richter.

2.1.2.1 Estacionaridad del parámetro b

Diversos trabajos han relacionado variaciones del valor del parámetro *b* con el tamaño de los terremotos (Pacheco et al, 1992, Okal and Romanowicz, 1994, Kagan, 1997). En primer lugar, estos autores distinguen los terremotos grandes de los pequeños en función de si rompen o no en superficie y la longitud de ruptura *L* es similar a la anchura de la ruptura *W* (Figura 2-9). Observando que el momento sísmico liberado en los terremotos pequeños escala de forma diferente con la longitud de ruptura frente a los terremotos grandes (Kanamori and Anderson, 1975).

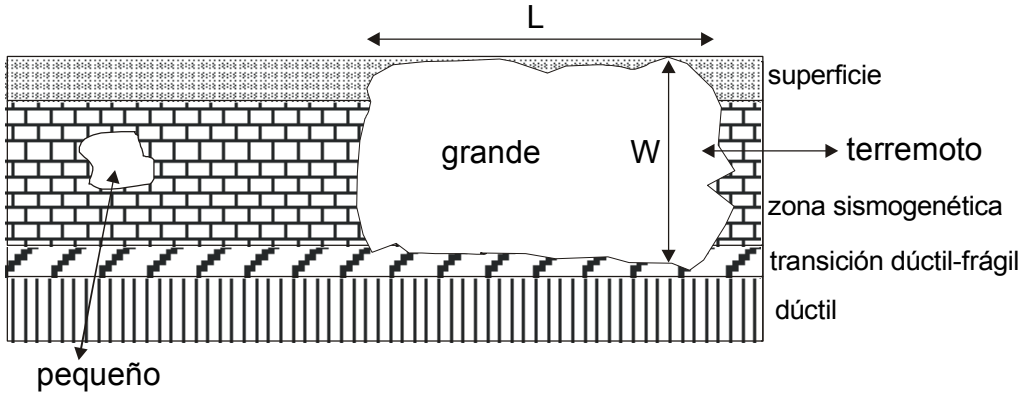


Figura 2-9: Tamaño de los terremotos en función de la ruptura superficial y de la relación entre la longitud de ruptura, L y la anchura de la ruptura, W. Modificada de Pacheco et al., 1992.

Pacheco et al., 1992 explica esta variación mediante un sesgo en la ley de Gutenberg y Richter debido a que en el intervalo temporal de registro mundial instrumental la relación entre terremotos pequeños y terremotos grandes es mayor, además de las saturaciones debidas

a los grandes terremotos que disminuye el valor de la magnitud registrada. Estos autores explican este comportamiento mediante una ruptura en la autosimilitud de las fallas en función de su geometría, la relación entre la anchura y la longitud de la ruptura. La ruptura se produce en el momento en que ambos valores coinciden. Sin embargo, es más razonable analizar la estacionaridad del proceso para poder afirmar que la tasa terremotos pequeños / grandes está sesgada, amén de que este valor no es homogéneo en todas las zonas tectónicas: convergentes, divergentes y zonas en régimen de tipo desgarre. Por otro lado, si trabajamos con el valor de *Mo*, parece difícil que haya problemas de saturación de la señal puesto que es un parámetro de la fuente.

Okal y Romanowicz (1994) señalan que la curvatura que aparece en la ley de Gutenberg y Richter en función del intervalo de tamaño de la serie sísmica analizada incrementa el valor del parámetro *b* hasta dos tercios entre los terremotos pequeños ($m<5$) y más grandes. Justifican este comportamiento indicando la necesidad de explicar el proceso geológico responsable de la sismicidad, al cual responsabilizan directamente. Además, la saturación del salto de falla, cuando coincide con la anchura de la superficie de ruptura, provoca un aumento del valor de *b*, mientras que el modelo que presenta una longitud de ruptura *L,* mayor que la anchura, presenta un valor más bajo (Romanowicz and Rundle, 1993).

El análisis del valor de *b* según el catálogo sísmico utilizado indica que el catálogo de *Harvard-CMT* favorece un modelo en el que *L* y *W* son similares, donde el valor de b medido para conjuntos representados por m_b se encuentra entre 1.35 y algo mayor a 2, mayor que para datos representados mediante M_s (Okal y Romanowicz, 1994). Estos autores también calculan el parámetro *b* para series sísmicas relacionadas con la geometría de la falla mediante el tensor de esfuerzos concluyendo que los terremotos de fallas normal presentan un valor de *b* más alto, esto es, provocan una tasa mayor entre terremotos grandes frente a terremotos pequeños y medianos, aunque señalan que es algo precipitado concluir esto debido a la escasez del registro temporal.

Mogi (1979) demuestra que la distribución de magnitudes de los terremotos registrados es diferente entre zonas de alta y de baja latitud, situando la frontera entre ambas zonas en latitud 40ºN y 40ºS, o bien 38ºN, 38ºS para incorporar la secuencia Chilena de 1960 en el grupo de alta latitud (Utsu, 1999).

En general, de las publicaciones más relevantes sobre la variabilidad espacial del parámetro *b* destacan Ogata et al. (1991), Frohlich and Davis (1993), Karnik and Klima (1993), Okal and Kirby (1995) y Wyss et al. (1997); y sobre la variabilidad temporal del parámetro *b* Smith (1986), Imoto (1987), Ogata and Abe (1991) Trifu and Shumila (1996). El trabajo de Frohlich and Davis (1993) demuestra que el valor del parámetro *b* es mayor para el conjunto de terremotos debidos a fallas normales (mecanismo focal normal).

Con estos principios se cubren en gran medida las necesidades del presente proyecto de fin de carrera en cuanto a sismología se refiere. En cualquier caso, en capítulos posteriores se describirán las técnicas de obtención y ajuste del parámetro *b* en series sísmicas, y se aplicarán los conceptos aquí expuestos para diseñar un filtro adecuado sobre la base de datos del I.G.N.

2.2 Teoría de información. Entropía

En este apartado se introducen de manera básica los principios de la teoría de la información necesarios para la comprensión de la metodología adoptada. De ahora en adelante seguiremos el desarrollo y conceptos propuestos por Shannon (Shannon, 1948). Al final se describirán otros conceptos y definiciones de entropía, estas nuevas definiciones permitirán en un futuro extender el alcance de este proyecto, generalizando el concepto de análisis entrópico que se expone en el capítulo 3.

Imaginemos que tenemos un sistema caracterizado por un conjunto de *n* sucesos con probabilidades de ocurrencia $p_1, p_2, p_3, ..., p_n$. Estas probabilidades son conocidas, pero es lo único que conocemos de dichos sistema, es decir, no podemos saber de ninguna forma el suceso que va a ocurrir a continuación. El problema consiste en encontrar una medida que de alguna manera cuantifique la cantidad de incertidumbre asociada a dicho sistema.

De ahora en adelante se considerará que: $\sum p_i = 1,\ p_i \geq 0$

Si esta medida existe, llamémosla *H*, deberemos exigirle ciertas propiedades:

- *H* deberá ser continua en p_i.

- Si todas las p_i son iguales, $p_i=1/n$, entonces H deberá ser monótona creciente con n. Esto se traduce en el aumento de incertidumbre que hay si se aumenta el número de sucesos.

- Si un suceso de subdivide a su vez en dos elecciones, H deberá ser la suma ponderada de los valores individuales de H (e.g. $H\left(\frac{1}{2},\frac{1}{3},\frac{1}{6}\right)=H\left(\frac{1}{2},\frac{1}{2}\right)+\frac{1}{2}H\left(\frac{2}{3},\frac{1}{3}\right)$).

Teorema: (Adaptado de Shannon,1948)

La única medida H que cumple las anteriores propiedades es:

$$H=-K\cdot\sum_{i=1}^{n}p_i\cdot\log p_i \tag{2-13}$$

Demostración:

Sea $H\left(\frac{1}{n},\frac{1}{n},...,\frac{1}{n}\right)=A(n)$, de la tercera propiedad, se deduce que podremos descomponer s^m sucesos equiprobables en series de m sucesos equiprobables, de forma que:

$$A(s^m)=m\cdot A(s)$$

de igual forma:

$$A(t^n)=n\cdot A(t)$$

Podremos escoger un n arbitrariamente elevado y encontrar un m que satisfaga:

$$s^m\le t^n\le s^{(m+1)}$$

Tomando logaritmos y dividiendo por $n\cdot\log(s)$ tenemos:

$$\frac{m}{n}\le\frac{\log t}{\log s}\le\frac{m}{n}+\frac{1}{n}\text{; o lo que es lo mismo: }\left|\frac{m}{n}-\frac{\log t}{\log s}\right|<\varepsilon$$

con ε arbitrariamente pequeño.

Teniendo en cuenta la propiedad de monotonía creciente de *A(n) con n*, tenemos: $A(s^m) \leq A(t^n) \leq A(s^{(m+1)})$, esto es: $m \cdot A(s) \leq n \cdot A(t) \leq (m+1) \cdot A(s)$

Entonces dividiendo por *nA(s),* se tiene:

$$\frac{m}{n} \leq \frac{A(t)}{A(s)} \leq \frac{m}{n} + \frac{1}{n} \text{ o lo que es lo mismo: } \left| \frac{m}{n} - \frac{A(t)}{A(s)} \right| < \varepsilon$$

sumando con lo anteriormente obtenido:

$$\left| \frac{A(t)}{A(s)} - \frac{\log t}{\log s} \right| < 2\varepsilon \text{, es decir, } A(t) = -K \cdot \log t$$

Supongamos ahora que tenemos un sistema caracterizado por *n* probabilidades de valor: $p_i = \frac{n_i}{\sum n_i}$ donde los n_i son enteros. Podemos subdividir un suceso de $\sum n_i$ posibilidades en otro de *n* con probabilidades p_i y si el suceso i-esimo es escogido, otra elección entre n_i posibilidades equiprobables. De forma que:

$$K \cdot \log \sum n_i = H(p_1, p_2, ..., p_n) + K \cdot \sum p_i \log n_i$$

Entonces:

$$H = -K \cdot \sum p_i \log \frac{n_i}{\sum n_i} = -K \cdot \sum p_i \log p_i$$

Este valor *H* se conoce como entropía de Shannon y es una medida de la cantidad de incertidumbre (información) asociada a una elección.

Si en vez de un numero de sucesos finito, tenemos una función de distribución de probabilidad *p(x),* la entropía *H* será:

$$H = -K \cdot \int_a^b p(x) \cdot \log p(x) \cdot dx \tag{2-14}$$

Donde el sumatorio se ha transformado en integral, *a* y *b* son los extremos del intervalo donde está definida la función de distribución y *p(x)* es la función de distribución que verifica:

$$\int_b^b p(x) \cdot dx = 1 \tag{2-15}$$

Sobre esta función *H* se definen varias propiedades fundamentales. La única de ellas que es de nuestro interés para su aplicación en el presente proyecto de fin de carrera es que *H* es máxima sí y sólo sí todas las p_i son iguales entre sí (equiprobabilidad). De forma que su valor para *n* sucesos equiprobables es:

$$H_{max} = -K \cdot \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{n} \log \frac{1}{n} = K \cdot \log n \tag{2-16}$$

De manera intuitiva, esto debe ser así puesto que el suceso más incierto (i.e. el que mayor información proporciona una vez sucedido) es aquel en el que todas las probabilidades son iguales.

2.2.1 Entropía de configuración y redundancia

Se define la entropía de configuración o relativa como el tanto por uno que posee la entropía de un sistema frente a la máxima que podría tener. De manera inmediata se define la entropía relativa o de configuración *H** de *n* sucesos con probabilidades p_i, como la entropía dividida por la entropía máxima, esto es:

$$H^*(p_i) = \frac{H(p_i)}{H_{max}} = \frac{-K \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i}{-K \log n} = \frac{\sum_{i=1}^{n} p_i \log p_i}{\log n} \tag{2-17}$$

Debe analizarse la importancia de todo lo anteriormente dicho, pues de su correcta comprensión depende la comprensión de la metodología propuesta por el proyecto. En definitiva, hemos definido una magnitud (entropía) que se puede obtener inmediatamente de cualquier distribución de probabilidad sin mas que aplicar la ecuación (2-13), el resultado es dividido por la entropía máxima adoptable por el sistema, este valor H^* está siempre comprendido entre 0 y 1, lógicamente un valor de 0 corresponde a un suceso en el que todas las probabilidades son nulas menos una y un valor de 1 corresponde a un proceso equiprobable. Este valor es por tanto un estimador normalizado de la información asociada a un proceso, un valor cercano a 1 (proceso equiprobable) corresponde a un proceso con gran cantidad de información asociada a cada elección, por el contrario un valor cercano a 0 indicará lo opuesto.

Se define redundancia R^* como el complementario a 1 de la entropía relativa, es decir:

$$R^* = 1 - H^* \tag{2-18}$$

2.2.2 Otras definiciones de entropía

El concepto antes presentado de entropía no es el único existente, pero sí el que más se adapta a nuestros propósitos como se verá en capítulos posteriores. A continuación se presentan otras definiciones de entropía deducidas por diferentes autores. Dichas definiciones no son en absoluto excluyentes entre sí, sino que son casos particulares de un concepto amplio como es la medida del desorden (información) en un sistema.

2.2.2.1 Entropía de Boltzmann

En el dominio de la mecánica estadística, es usada de modo habitual la expresión de la entropía de Boltzmann:

$$H = -k \cdot \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i \tag{2-19}$$

Inicialmente, la entropía fue definida por Boltzmann como $H = -K \cdot \log n$, considerando él que todos los sucesos eran equiprobables, siendo la expresión (2-19) una generalización.

Es evidente el parecido de la ecuación (2-19) con la de entropía de Shannon, sin embargo existen importantes diferencias entre ambas. En el caso de Shannon, k es una constante arbitraria que puede ser cualquier numero real positivo, mientras que aquí es una constante universal llamada constante de Boltzmann que posee unidades. El valor de esta constante en el Sistema Internacional es:

$$k = 1{,}3208 \cdot 10^{-23} \ J \cdot K^{-1}$$

El significado de ambas es diferente, a pesar de que ambas tienen un carácter extensivo, la de Shannon cuantifica la incertidumbre asociada a una elección, la de Boltzmann mide el grado de desorden de un sistema de partículas. Por otra parte la forma de deducir ambas es absolutamente diferente, la entropía de Boltzmann se deduce a partir de los principios básicos de la mecánica estadística (referencia mecánica), esto es, la distribución más probable de un sistema de partículas (e.g. gas en el interior de un recipiente) es aquel en el que el numero de estados posibles es máximo (i.e. el gas esta uniformemente distribuido en el recipiente), es decir, en el que el desorden es máximo.

2.2.2.2 Entropía de Boltzmann generalizada. Entropía de Tsallis

Diferentes autores han tratado de generalizar la expresión (2-19), Tsallis (1988) propuso la siguiente:

$$H = \frac{k}{\tau - 1}\left(1 - \sum_{i=1}^{n} p_i^{\tau}\right) \qquad (2\text{-}20)$$

Donde τ es el índice entrópico que en principio puede ser cualquier número real. Esta expresión coincide con la de Boltzmann si $\tau = 1$.

Esta definición de entropía ha hecho un interesante aporte a la evolución de la mecánica estadística con la introducción del parámetro τ. En la teoría clásica, se consideraba que la

entropía de la suma de dos sistemas era la suma de entropías, sin embargo según esta nueva definición la entropía de un sistema conjunto es:

$$H(A+B) = H(A) + H(B) + (1-\tau)\cdot H(A)\cdot H(B)$$

Por tanto la entropía puede aumentar, permanecer igual o disminuir según sea el valor del parámetro τ característico del sistema, es decir, esta definición de entropía tiene un carácter no extensivo, lo cual presenta ciertas dificultades a la hora de su aplicación.

2.2.2.3 Entropía de Rényi

Como generalización a la entropía de Shannon, Rényi (1961) propuso la siguiente:

$$H = \frac{1}{1-\tau}\log\sum_{i=1}^{n} p_i^{\tau} \qquad (2\text{-}21)$$

Donde n no es el número de sucesos, sino el numero de sucesos no vacíos, es decir, con $p_i \neq 0$. La entropía de Shannon se obtiene en el límite de $\tau = 1$. Esta entropía mantiene su carácter extensivo independientemente del valor τ que se adopte. Este valor está directamente relacionado con el concepto de dimensiones generalizadas, lo cual abre un abanico de posibilidades muy interesantes en la aplicación de la metodología que se describirá en el capítulo 3, de forma que se generalice el análisis a momentos de orden superior de la distribución de medida.

2.3 Análisis de variable regionalizada

En el presente capítulo se describe con detalle el análisis geoestadístico que va a realizarse sobre los datos disponibles. Este tipo de análisis se conoce como análisis geoestadístico o variográfico estructural. En este análisis se analizan los comportamientos de las funciones variograma y espectro de densidad de varianza.

El variograma de la medida, se calcula en el dominio del espacio, permite obtener el comportamiento de la correlación entre los valores de la medida para diferentes distancias y

para diferentes orientaciones, lo que permite analizar igualmente y cuantitativamente las posibles anisotropías o direccionalidades preferentes en las correlaciones de los valores, y hasta qué distancia dichas correlaciones son apreciables.

El espectro de densidad de varianza, también conocido como espectro de potencia o densidad espectral, permite identificar en el dominio de la frecuencia la existencia de la tendencia en los valores, periodicidades y la orientación de las mismas, así como el posible comportamiento aleatorio estructurado que da lugar a una estocasticidad "coloreada" o invariante al cambio de escala. Este último se refleja como un comportamiento bilogarítmico lineal para cierto rango de escalas frecuenciales y se caracteriza paramétricamente por la pendiente de la linealidad.

Para poder llevar a cabo el análisis deben de hacerse dos hipótesis de trabajo. La primera supone que el proceso es estocástico, es decir, la medida distribuida espacialmente ó variable aleatoria es estacionaria de segundo orden. La segunda hipótesis supone que el comportamiento espacial esta carente de tendencias, lo que puede determinarse a partir del comportamiento del espectro en el origen de frecuencias (a frecuencia cero, espacio infinito, es decir, deriva o tendencia).

Adicionalmente se han realizado una serie de cortes en la función variograma para aquellas direcciones sobre las que se detecta un comportamiento particular. Sobre estas direcciones además es posible ajustar un modelo de variograma y detectar el tipo de anisotropía: o bien geométrica o bien zonal, que permita mejorar la interpretación del comportamiento espacial de las medidas.

El análisis de los datos muestreados, previos al proceso de generación de medios, permite una primera clasificación de los medios en comparación con la primera identificación visual, y certificará el comportamiento de los medios de acuerdo a lo visualizado. Es necesario para la definición e interpretación de las características y las estructuras más sobresalientes. Se compone de cuatro partes interrelacionadas entre sí:

- El análisis estadístico de la población. Análisis regresivo;
- El análisis estadístico de la población regularizada;
- El análisis geoestadístico. Análisis correlatorio;

- El ajuste correlatorio.

El primer análisis estadístico a realizar es el del comportamiento de la población original. Se analizan los momentos de primer orden:

Media:

$$E[Z(\mathbf{x})] = m(\mathbf{x}) \tag{2-22}$$

y de segundo orden:
Varianza:

$$Var[Z(\mathbf{x})] = E[Z(\mathbf{x}) - m(\mathbf{x})]^2 \tag{2-23}$$

Covarianza:

$$C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = E[(Z(\mathbf{x}_i) - m(\mathbf{x}_i))(Z(\mathbf{x}_j) - m(\mathbf{x}_j))] \tag{2-24}$$

Semivariograma:

$$\gamma(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = \frac{1}{2} E[Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_j)]^2 \tag{2-25}$$

de la variable aleatoria Z(x) definida como "valor de gris ", función de la posición x (y de sus dos componentes en el plano $\mathbf{x}_1$, $\mathbf{x}_2$).

2.3.1 La estacionariedad del medio

El análisis de la población se realiza asumiendo la hipótesis de estacionariedad de la variable Z(**x**), lo que supone que la función de distribución de la variable Z(**x**), considerada estacionaria, será invariante con la posición **x**. Es sin embargo demasiado restrictiva y de imposible comprobación muestral. Se reemplaza por un criterio de estacionariedad relajado; que la media sea invariante:

$$E[Z(\mathbf{x})] = m = cte. \tag{2-26}$$

y que la covarianza dependa sólo del vector desplazamiento entre dos puntos i y j cualesquiera, $\mathbf{h} = \mathbf{x}_i - \mathbf{x}_j$

$$C(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j) = C(k) \tag{2-27}$$

avanzando más aún, suponemos que nuestra variable es tal que la media y la covarianza de esa variable convergen a los valores m y $Var(Z)$, conforme el tamaño del medio muestreado va creciendo al infinito (Gómez, 1991), es decir, son ergódicas.

$$\lim_{\mathbf{h}\to\infty} m(k) = m \tag{2-28}$$

$$\lim_{\mathbf{h}\to\infty} \gamma(k) = Var(Z) \tag{2-29}$$

Según estas hipótesis, el comportamiento de la variable aleatoria es perfectamente determinable a partir de los valores muestreados. Es importante por tanto estudiar el comportamiento de la variable Z(**x**) tanto estadísticamente como geoestadísticamente, y su grado de ajuste a la estacionariedad.

2.3.2 Análisis de tendencias

Forzamos a cumplir, a la escala global del medio, la hipótesis de estacionariedad. Para ello, empezamos por eliminar posibles componentes deterministas que se reflejarían primordialmente en una tendencia de evolución en los valores de gris. Al tiempo regularizamos el medio a una media nula.

Para realizar la regularización de los valores de gris aproximamos el medio mediante un plano de regresión:

$$Z(\mathbf{x}) = \beta_0 + \mathbf{b}\mathbf{x} \tag{2-30}$$

donde **x** es el vector posición en el plano de cada punto y **b** es el vector de coeficientes del plano. Dicho plano de regresión seguirá una determinada orientación conforme con la

tendencia general. Tendrá por tanto una media variable en el espacio. Restándola, obtenemos un campo de media nula:

$$E[Z(\mathbf{x})] = 0 \qquad (2\text{-}31)$$

Avanzamos así un primer paso hacia la estacionariedad del medio.

2.3.3 Análisis estructural

Los valores de *Z(x)* se consideran en primer lugar en cuanto a su distribución probabilística: Interesa estudiar el ajuste de la función de densidad de probabilidad de cada población a una densidad de probabilidad Normal o Gausiana o de cualquier otro tipo (Lognormal, potencial,...). En nuestro caso interesa la comparación de las distribuciones con la normal. En efecto, si la suposición de normalidad no es conforme a la realidad muestral, ello redundará en un fallo de estimación y reproducción de la población. Es por tanto importante en la elección del método de generación. Esta evaluación del ajuste puede realizarse mediante los tests clásicos de Kolmogoroff-Smirnoff y test de la χ^2.

La falta de ajuste a su vez puede requerir el estimar esa ley de forma no paramétrica; el histograma y su curva de frecuencias acumulada intervendrán posteriormente en la determinación de las variables adecuadas para su estimación.

En cuanto a la distribución de Z(**x**) en el espacio, la medimos mediante los correlogramas (2-24) y semivariogramas muestrales (Ecuación 2-25). (Journel y Huijbregts, 1978) describen ampliamente la distribución de funciones aleatorias en el espacio y su traducción a correlogramas y semivariogramas.

Se pueden realizar aproximaciones cualitativas y cuantitativas entre las anisotropías del medio y las estructuras de los semivariogramas (Samper y Carrera, 1990) mediante un análisis detallado de:

- Alcance del semivariograma. Conocido como *a*, se define como el valor para el cual el semivariograma alcanza el 95% de la meseta. Es tomado como la distancia umbral a

partir de la cual los datos son incorrelados. Como particularidad, en los modelos exponenciales se trabaja con el 0,05% del correlograma, lo que supone un alcance a 3τ, siendo τ la constante del modelo exponencial.

- Meseta del semivariograma. Describe el comportamiento a largas distancias. La meseta del semivariograma representa la máxima variabilidad de los datos en la dirección dada. Para una variable estacionaria será igual a la varianza de la población, $Var(Z)$ (Isaaks y Srivastava, 1989)

- Comportamiento a muy cortas distancias. El comportamiento en el origen se analiza a través de la pendiente en este, como medida de la continuidad del medio. A menor pendiente en el origen, mayor continuidad de la variable y menores contrastes entre valores próximos en el espacio.

- Anisotropías direccionales. Orientación de las estructuras. Especialmente importante es el análisis de la anisotropía direccional es el estudio de direcciones preferenciales de deposición de sedimentos y de flujo a través de la variabilidad de las porosidades en hidroestatigrafía, por ejemplo (Johnson, 1995), o de estudio de direcciones de crecimiento cristalográfico diferencial o de análisis de direcciones principales de deformación y fracturación de terrenos como es el caso del presente proyecto de fin de carrera. Las anisotropías direccionales se traducen en variogramas direccionales que, aunque con idéntica meseta, poseen alcances distintos, y quedarán claramente reflejadas en los semivariogramas bidimensionales mediante figuras geométricas de tipo elipsoidal. Se requerirá su aproximación mediante elipses definidas mediante sus ejes de mayor y menor alcance. La aproximación debe realizarse con cautela al poder intervenir anisotropías de tipo zonal (con mesetas variables según la orientación) o, incluso, al poder estar tratando con medios no estacionarios de variabilidad no acotada.

- Anisotropías zonales. Denominamos como tal al hecho de que en diferentes direcciones las mesetas sean diferentes. Una meseta menor en una dirección que en otra indica un grado de correlación más, con independencia de la distancia. Son un elemento de distorsión a la hora de evaluar la anisotropía geométrica, aumentando el alcance de aquel

variograma que muestre mayor varianza. Esto es debido a que el alcance se calcula en términos de porcentaje de variabilidad alcanzada respecto de la máxima .

- Estacionariedad de la correlación. Aproximaciones a la estacionariedad. Como resultado de todos los factores descriptores de la variabilidad de Z(**x**) en el espacio, obtenemos el semivariograma muestral de la población. Puesto que la estacionariedad en la correlación se muestra de idéntica manera que en el semivariograma, la relación entre el semivariograma $\gamma(k)$, la varianza, $Var(Z)$, y la covarianza, $C(k)$:

$$\gamma(k) = Var(Z) - C(k) \qquad (2\text{-}32)$$

es una firma de estacionariedad de la variable *Z(**x**)* (el semivariograma está acotado; tiende en el infinito a la varianza). Cabe discutir, según los datos muestrales, sobre si un variograma muestral no acotado refleja un campo no estacionario o si, simplemente adolece de defectos o escasez de datos en el muestreo. La zanjamos tomando la estacionariedad como una decisión previa nuestra a riesgo de tener eventualmente que revisarla en función de los análisis geoestadísticos y de los resultados generados posteriormente- para poder aplicar los métodos de generación secuencial.

2.3.4 Análisis correlatorio espectral fractal

El estudio convencional de las series temporales mediante los análisis de correlación y espectral lleva ya treinta años de vigencia (refs) y en las dos últimas décadas han constituido una de las técnicas de mejor acogida para la caracterización y cuantificación de las series temporales.

Brevemente, el análisis correlatorio espectral consiste en el cálculo de la función de correlación $\rho(h)$ y del espectro de densidad de varianza $S(f)$ de la serie temporal. Si partimos de una crónica de longitud n, discretizada pasos equiespaciados, como $\{X(t)\}$, con $t = 1, 2, \ldots, n$. Entonces, la función de covarianza de la misma se calcula como:

$$C(k) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{t=1}^{n-k} \left(X(t) - \overline{X_t}\right)\left(X(t+k) - \overline{X_t}\right) \qquad (2\text{-}33)$$

según la aproximación de Box y Jenkins (1976); con lo que la función de correlación es:

$$\rho(k) = {C(k)}/{C(0)} \tag{2-34}$$

Siendo *C(0)* la varianza como muestra la ecuación 2-32, el cálculo efectuado debe de ser truncado para un valor de m comprendido entre *n/20* y *n/3*, ya que si se utiliza toda la serie se pierde información y se incrementan los errores en la estimación de la correlación. Por lo tanto, la selección del valor de *k* afecta a la varianza y a la resolución del estimador:

- Pequeños valores de *k* dan lugar a pequeñas varianzas del estimador, pero éste se hace cada vez más sesgado.

- Grandes valores de *k* producen un comportamiento errático del estimador, pero se aumenta la resolución en el dominio frecuencial.

Puede ser posible también la aplicación de la fórmula de Bravais & Pearson, que es un estimador insesgado de la autocorrelación:

$$C(k) = \frac{1}{n-k} \cdot \sum_{t=1}^{n-k} \left(X(t) - \overline{X_t}\right)\left(X(t+k) - \overline{X_{t-k}}\right) \tag{2-35}$$

pero es preferible la utilización de la primera porque se toma una ponderación al aproximarse *k* a *n*; ya que la segunda realiza una ponderación igual tanto para valores a espaciados cortos como para aquellos valores que se encuentran muy distanciados.

A partir de la función correlograma es posible interpretar si el proceso analizado es de media móvil, o es de tipo autorregresivo, si es determinista o aleatorio, si posee efecto pepita, si hay tendencia en la serie, o si existen tendencias periódicas y fluctuaciones, según como decrezca la función desde 1 en el origen.

Mediante el cálculo del espectro es posible el estudio de la serie en el dominio frecuencial, mediante una descomposición de las varianzas, y por lo tanto mediante la utilización de la transformada de Fourier del correlograma de la serie:

$$S(f) = 2.\left(1 + 2.\sum_{k=1}^{n} \Phi(k).\rho(k).\cos(2.\pi.f.k)\right) \tag{2-36}$$

donde la función *Φ(k)* corresponde con el filtro que se aplica al correlograma para el cálculo de la transformada discreta de Fourier, y la frecuencia $f = j/2m$, con $j=0,1,2,...,m$. La función de espectro puede ser obtenida de igual manera aplicando la trasformada de Fourier, y filtrando posteriormente.

Pueden ser utilizados diversos filtros o ventanas:

Barlett: (a) $\Phi(k) = 1 - k/n$

Parzen: (a) $\Phi(k) = 1 - k^2/n^2$

(b) $\begin{cases} \Phi(k) = 1 - (6k^2/n^2).(1 - k/n) & ; \text{ para } 0 \le k \le n/2 \\ \Phi(k) = 2.(1 - k/n)^3 & ; \text{ para } n/2 \le k \le n \end{cases}$

Tukey: (a) $\Phi(k) = 1 - 0'46 + 0'46.\cos(\pi.k/n)$

(b) $\Phi(k) = (1 + \cos(\pi.k/n))/2$

Algunas de estos filtros se encuentran representados en la figura 2-10.

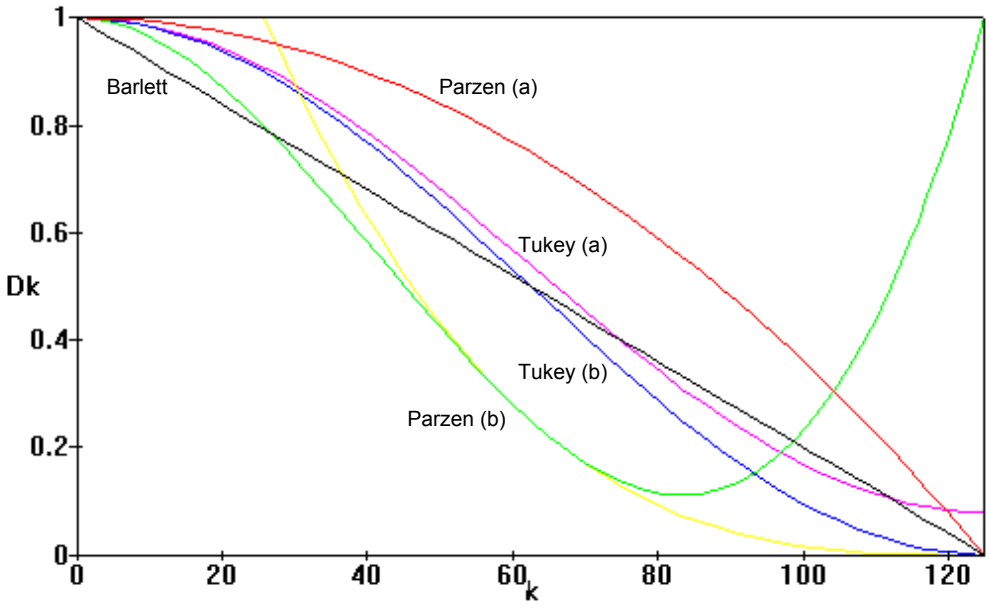


Figura 2-10: Ventanas - filtro *Φ(k)* aplicables en el cálculo de la función de espectro *S(f)*.

Cada una de estas ventanas ponderan de manera distinta las componentes de la función a filtrar; así, el filtro de Parzen (b) es un filtro pasa altos, y el de Parzen (a) es pasa bajos. La práctica y la experiencia en adquirida en el análisis de series temporales de acuíferos aconsejan la utilización del filtro de Tukey y el de Parzen (b).

Si se dispone de una señal de entrada en el sistema analizado, y del que procede la serie *X(t)* que se está analizando, es posible efectuar el análisis correlatorio espectral cruzado. A partir de éste análisis, y supuesta la señal de entrada como aleatoria pura, es posible obtener la respuesta impulsional del sistema, identificada como el correlograma cruzado:

hacia $k > 0$

$$\rho(k) \equiv \rho_{YZ}(k) = \frac{C_{YZ}(k)}{\sigma_Z . \sigma_Y} \quad \text{con} \quad C_{YX}(k) = \frac{1}{n} . \sum_{t=1}^{n-k} \left(Z(t) - \overline{Z_t}\right) . \left(Y(t+k) - \overline{Y_{t+k}}\right)$$

hacia $k < 0$

$$\rho(k) \equiv \rho_{YZ}(k) = \frac{C_{YZ}(k)}{\sigma_Y . \sigma_Z} \quad \text{con} \quad C_{YZ}(k) = \frac{1}{n} . \sum_{t=1}^{n-k} \left(Y(t) - \overline{Y_t}\right) . \left(Z(t+k) - \overline{Z_{t+k}}\right)$$

y siendo las varianzas:

$$\sigma_X^2 = \frac{1}{n}.\sum_{t=1}^{n}\left(Y(t) - \overline{Y_t}\right)^2 \quad ; \quad \sigma_Y^2 = \frac{1}{n}.\sum_{t=1}^{n}\left(Z(t) - \overline{Z_t}\right)^2$$

Además del croscorrelograma es posible obtener el espectro de densidad de varianza cruzado $S_{XY}(f)$, de interés cuando se quieren obtener las periodicidades comunes entre la señal de entrada *Z(t)* y la de *salida Y(t).* Este espectro cruzado puede escribirse de varias formas, ambas relacionadas entre sí. Según el coespectro $\hbar_{YZ}(f)$ y el espectro de cuadratura $\lambda_{XY}(f)$:

$$S_{YZ}(f) = \hbar_{YZ}(f) - i.\lambda_{YZ}(f) \tag{2-37}$$

donde:

$$\hbar_{YZ}(f) = 2.\left[\rho_{YZ}(0) + \sum_{k=1}^{m}\left(\rho_{YZ}(k) + \rho_{YZ}(-k)\right).\Phi(k).\cos(2.\pi.f.k)\right] \tag{2-38}$$

y

$$\lambda_{YZ}(f) = 2.\sum_{k=1}^{m}\left(\rho_{YZ}(k) - \rho_{YZ}(-k)\right).\Phi(k).\mathrm{sen}(2.\pi.f.k) \tag{2-39}$$

El coespectro da información sobre la covarianza, y la parte del espectro de cuadratura da información sobre el desfase.

Igualmente es posible escribir el espectro cruzado en función de la función de amplitud $\left|S_{YZ}(f)\right|$ y la función de fase $\theta_{XY}(f)$:

$$S_{YZ}(f) = \left|S_{YZ}(f)\right|.e^{-i.\theta_{YZ}(f)} \tag{2-40a}$$

donde:

$$\left|S_{YZ}(f)\right| = \sqrt{\hbar_{YZ}^2(f) + \lambda_{YZ}^2(f)} \tag{2-40b}$$

y

$$\theta_{YZ}(f) = arctan\frac{\lambda_{YZ}(f)}{\hbar_{YZ}(f)} \tag{2-41}$$

La función de amplitud indica cual es la covarianza entre la salida y la entrada, frecuencia por frecuencia; y la función de fase indica cuál es el desfase entre la salida y la entrada frecuencia por frecuencia.

Otra serie de funciones de interés en este análisis pueden ser obtenidas. Tales como la función de coherencia, que indica la correlación entre los espectros y sirve para dar una idea de la linealidad del sistema en las amplitudes. La función de ganancia que es una regresión entre los espectros en el dominio frecuencial y sirve para dar una idea de las amplificaciones y las atenuaciones en información del sistema, el cepstrum o espectro de la función de densidad espectral, etc (Box y Jenkins,1976; Christakos, 1992; Bras y Rodríguez Iturbe, 1985).

Sin embargo la interpretación se complica, y el análisis así efectuado resulta insuficiente cuando se pretende realizar una descripción de la organización interna del sistema. Una gran parte de la información es descartada cuando se utilizan estas técnicas, especialmente aquella que, en un principio se asocia a efectos estocásticos no controlables. Esta información es la que se encuentra, por ejemplo sobre el espectro, a partir de la denominada frecuencia de corte, esto es, referente a aquellos efectos que se encuentran poco distanciados.

En cuanto a la forma del comportamiento del espectro de una estructura fractal autoafín, si bien para una serie temporal puede ser escrita según sus componentes frecuenciales en sumas de funciones cosinusoidales, según la transformada de Fourier. Para una serie continua esta transformada puede escribirse como:

$$\mathbf{TF}\left[Y(t)\right] \equiv \aleph(f,T) = \int_0^T Y(t).e^{2.\pi.i.f.t}.dt \qquad (2\text{-}42)$$

La cantidad $\left|\aleph(f,T)\right|^2$ es la contribución de la energía total de *Y(t)* a partir de aquellas componentes con frecuencias entre *f* y *f+df.* Dado que la transformada de Fourier suele ser una magnitud compleja, se toma el valor absoluto denotado por $|\bullet|$. A partir de éste valor absoluto se obtiene la función de densidad espectral como:

$$S(f) = \frac{1}{T}.\left|\aleph(f,T)\right|^2 \qquad (2\text{-}43)$$

en el límite cuando el periodo $T \to \infty$. El producto *S(f).df* es la potencia en la serie temporal asociada con el rango de frecuencias entre *f* y *f+df*. Para una serie temporal fractal la función de densidad espectral se comporta como $S(f) \propto f^{-\beta}$.Pero, ¿cuál es la relación con la dimensión fractal y el exponente de Hurst *H* de la serie con el exponente *β*?. Matemáticamente puede ser derivada a partir del hecho de que la media cuadrática de los incrementos (que son proporcionales a $\Delta t^{2.H}$ para un mBf, con exponente *H*) se encuentran relacionados directamente con la función de autocorrelación *ρ(k)* de la serie temporal *Y(t.* Pero como a partir de *ρ(k)* es posible definir la densidad espectral como su transformada de Fourier, vía relación establecida en el teorema de Wierner-Khintchine :

$$C(k) = \int_{-\infty}^{\infty} S(f).e^{2.\pi.i.f.k}.df \tag{2-44}$$

es posible establecer la relación entre los exponentes según $2.H = \beta - 1$.

Pero otra forma más elegante para obtenerla, es considerando dos series temporales *x(t)* e *y(t)* que son la primera una versión rescalada por *r* de la segunda:

$$y(t) = \frac{1}{r^{\mathrm{H}}}.x(r.t) \tag{2-45}$$

Según una de las propiedades fundamentales de las series temporales autoafines, *x(t)* tiene las mismas propiedades estadísticas en distribución que *y(t).* Al calcular la respectiva transformada de Fourier de *y(t):*

$$\aleph_y(f,T) = \int_0^T y(t).e^{2.\pi.i.f.t}.dt \tag{2-46}$$

Si se sustituye la definición *x(t)* en esta transformada y se realiza un cambio de variable *t'=r.t,* se tiene que:

$$\aleph_y(f,T) = \int_0^{r.T} \frac{x(t')}{r^{\mathrm{H}}}.e^{2.\pi.i.f.t'/r}.\frac{dt'}{r} \tag{2-47}$$

y por comparación de transformadas de Fourier:

$$\aleph_y(f,T) = \frac{1}{r^{H+1}}.\aleph_X\left(\frac{f}{r}, r.T\right) \tag{2-48}$$

Ahora, si se aplica la definición de la densidad espectral a cada lado:

$$S_y(f) = \frac{1}{T}.\left|\aleph_y(f,T)\right|^2 = \frac{1}{r^{2.H+1}}.\frac{1}{r.T}.\left|\aleph_x\left(\frac{f}{r}, r.T\right)\right|^2 = \frac{1}{r^{2.H+1}}.S_x\left(\frac{f}{r}\right) \tag{2-49}$$

pero como *y(t)* es una versión rescalada de *x(t),* sus respectivas funciones de densidad espectral son una versión rescalada de la otra:

$$S(f) = \frac{1}{r^{2\mathrm{H}+1}}.S\left(\frac{f}{r}\right) \tag{2-50}$$

por lo tanto $\beta = 2.H+1 = 5-2.D$, ya que $D = 2-H$ (Voss, 1985) por lo tanto si $H \in [0,1]$, entonces el exponente $\beta \in [1,3]$, si se trata de un ruido browniano fraccionario.

En la práctica, el cálculo del espectro puede hacerse, bien como ha sido presentado mediante la relación de Wierner-Khintchine, y una transformada discreta de Fourier, o bien mediante la utilización del método de máxima entropía MME ó según cualquier otro método de estimación espectral.

La elección de uno u otro dependerá de la disponibilidad del código apropiado, de las hipótesis que se hacen para cada método en el cálculo de la transformada, ya que si bien la primera exige que se trabaje con series estacionarias, la segunda supone que el proceso temporal es de tipo autorregresivo. Y dependerá también del coeficiente de correlación deseado en la regresión para el cálculo de β, debido a que si para el primer método las oscilaciones son muy marcadas y es difícil estimar la zona que corresponde a ruido aleatorio puro, la segunda permite suprimir estas oscilaciones erráticas, con la consiguiente pérdida de información relativa, pero facilitando la regresión.

De cualquier manera lo que importa es la forma de proceder en el análisis fractal correlatorio espectral, tanto unidimensional como bidimensional. Primero se debe de trabajar sobre el espectro S(f) de la serie a analizar, en el que una vez determinada la frecuencia de corte f_c según las técnicas descritas por Mangin (1981,1986), Voss (1985) y Vanmarcke (1988) debe de determinarse la frecuencia de ruido blanco f_{wn}, para tener así el intervalo donde efectuar la regresión. Numéricamente f_{wn} se calculará mediante la realización de sucesivas regresiones sobre *S(f),* comenzando desde las frecuencias más altas hacia las más bajas, y determinando aquella frecuencia que de lugar a una pendiente de la regresión lineal del *log S(f) vs. log f* sea más próxima a cero.

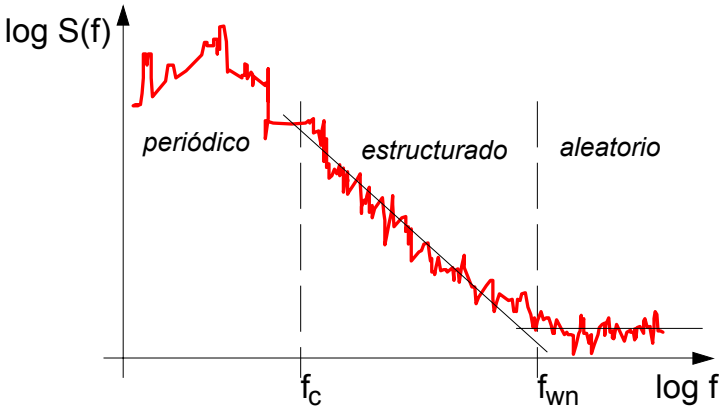


Figura 2-11. Estudio del espectro sobre el intervalo [f_c, f_{wn}].

Una vez determinada dicha frecuencia, queda definido el intervalo de frecuencias donde la señal se comporta como una ruido estocástico estructurado, con lo que aquí es donde se obtiene el valor de β, que ajusta en la regresión de $S(f) \propto f^{-\beta}$, y se calculará el valor del exponente de Hurst según $H = (\beta-1)/2$. Regresión que permite estimar de manera efectiva el valor de *H* (Malamud y Turcotte,1998) como se muestra en la figura 2-12.

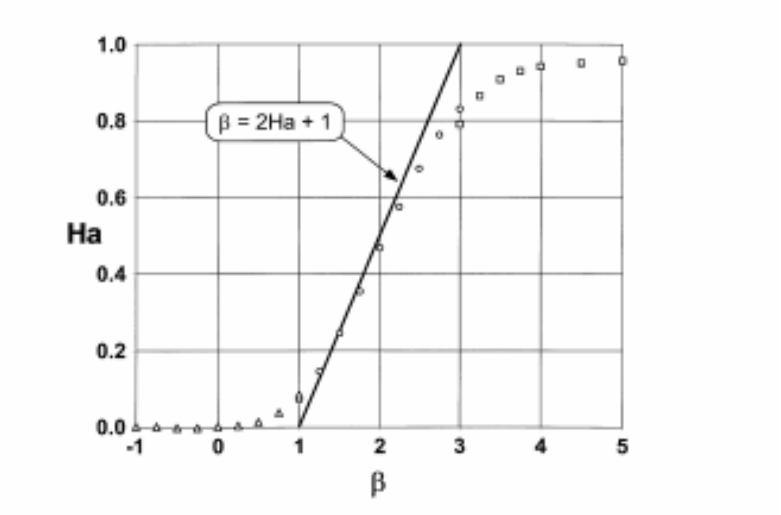


Figura 2-12: Dependencia del exponente de Hausdorff H en función de β y su ajuste mediante la función *H = (β-1)/2*.

Posteriormente al análisis del espectro puede analizarse el correlograma o el variograma, analizaremos éste último. Una vez obtenidas las frecuencias anteriores $[f_c, f_{wn}]$, estas definen a su vez un intervalo de espaciados dentro del dominio temporal que dan lugar a un intervalo $[k_{wn}, k_c]$. Esto es debido a que el comportamiento hacia el límite $k \to 0$ del variograma $\gamma(k)$ se encuentra directamente relacionado con la pendiente del espectro de densidad de varianza $S(f)$ cuando $f \to \infty$. Este es el intervalo que se llevará sobre el variograma y en el que se realizará una regresión de log γ(k) vs. log k. El variograma puede calcularse a partir de la función de autocorrelación $\rho(k)$, y de la varianza de la serie $C(0)$ como:

$$\gamma(k) = C(0).(1 - \rho(k)) \tag{2-51}$$

El variograma puede ser calculado también mediante las técnicas de ventana variable, que se basan en una correción del variograma utilizando su derivada.

Sabiendo que, por las propiedades del mBf, y por la definición del variograma, que esta función varía según k como $\gamma(k) \propto k^{2.H}$, es posible determinar el valor del exponente de Hurst H a partir de la mitad de la pendiente de la regresión anterior como se muestra en la figura 2-13.

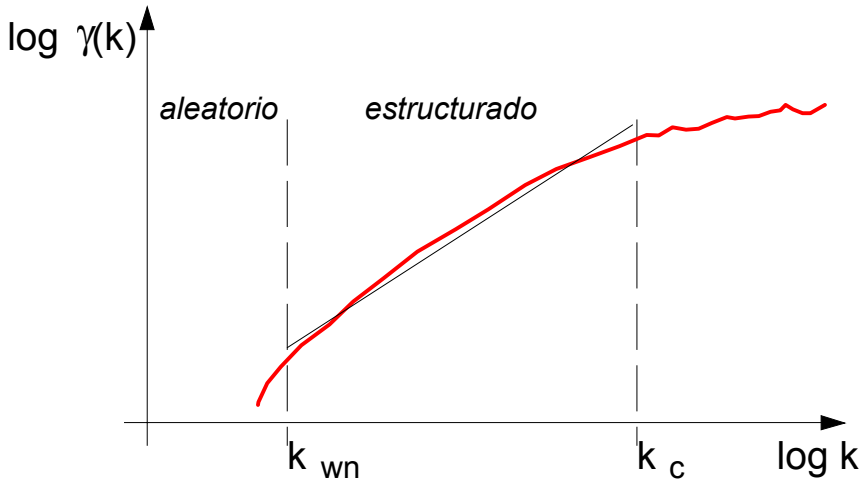


Figura 2-13: Estudio del variograma sobre el intervalo $[k_{wn}, k_c]$.

3 METODOLOGÍA APLICADA

En el presente capítulo se describirá y justificará todo el desarrollo de la metodología que se aplicará a los datos disponibles. Este capítulo, en primer lugar describe la forma de transformar una distribución de masa (ya sea esta de puntos, lineas o de cualquier otra tipología) en una distribución de probabilidad. En segundo lugar se desarrollará una técnica de análisis basada en la teoría de la información que se describió en el capítulo anterior.

3.1 Medidas de soporte geométrico

Hemos visto que se puede caracterizar la información contenida en un sistema de manera muy sencilla mediante la aplicación de conceptos básicos de teoría de la información. Pero a nosotros esto no nos basta, pues lo que queremos analizar son distribuciones geométricas de masa tales como puntos, lineas o incluso elementos más complicados. Mediante estos elementos simularemos sucesos como terremotos (puntos) o fracturas (líneas).

Debemos por tanto transformar la distribución geométrica de elementos en una distribución de probabilidad p_i para que sea aplicable lo dicho en el apartado 2.2. Esto se logrará discretizando el sistema (mallando el dominio Ω donde se encuentran los elementos de masa) mediante la asignación de una medida μ_i, de forma que a cada una de las unidades en las que dividamos el sistema le impondremos un valor de probabilidad de forma que:

$$H^p * (\varepsilon) = 0$$

Una vez calculadas las probabilidades se procederá al cálculo de la entropía de el sistema. El sumatorio de la ecuación (2-13) se efectúa sobre los *nc* sucesos (unidades en la que hemos dividido el sistema) que contienen medida no nula, $\mu_i^p \neq 0$ (por convenio, los sucesos de medida nula proporcionan una entropía nula).

3.1.1 Medidas de soporte geométrico puntual

Se definirán a continuación dos de las muchas medidas de probabilidad que se pueden aplicar a un conjunto de puntos distribuidos en el espacio (este espacio puede ser n-dimensional pero, por la tipología de los datos, se restringirá el estudio a 2D).

Debido a la naturaleza de los terremotos, es posible hacer un análisis desde dos puntos de vista completamente diferentes. El primero considerará todos los fenómenos iguales, es decir a efectos de medida contará lo mismo un terremoto de magnitud 2 que uno de magnitud 5, en este caso sólo estaremos considerando la distribución geométrica de los puntos en el espacio. El otro caso considerará los terremotos como eventos con un tamaño asociado, de forma que uno de magnitud 2 tendrá menos peso que uno de magnitud 5.

3.1.1.1 Medida de puntos sin magnitud asociada

Cuando se utiliza este soporte de puntos, se define como medida de probabilidad, sobre la i-ésima celda:

$$\mu_i^{p1} = \frac{\sum_{j=1}^{np} 1_i(j)}{np} \qquad (3\text{-}1)$$

Siendo: np el número de puntos $\{P_j\}_{j=1}^{np}$ (o pixeles)

nc el número de celdas $\{\Omega_i\}_{i=1}^{nc}$

la función indicadora: $1_i(j) = \begin{cases} 1; P_j \in \Omega_i \\ 0; P_j \notin \Omega_i \end{cases}$

La medida así definida es el numero de puntos dentro de una celda de tamaño ε dividido por el numero de puntos total. Se trata de una medida de probabilidad . Por ahora no debe preocuparnos la definición de celda de tamaño ε, pues será aclarado posteriormente.

La entropía para esta medida, cuyo soporte es:

$$Sop\ (\mu^{p1}) = \{P_j\} \subset IR^n \tag{3-2}$$

La entropía es máxima cuando la distribución de la medida es uniforme, es decir, que todas las celdas poseen la misma probabilidad de que tengan un punto en su interior (todas las celdas tienen el mismo número de puntos):

$$\mu_i^{p1} = \mu_j^{p1} \quad ; \quad \forall \Omega_i \neq \Omega_j \tag{3-3}$$

luego la función indicadora es:

$$\sum_{j=1}^{np} 1_i(j) = \mathrm{int}\left(\frac{np}{nc}\right) \tag{3-4}$$

y, sustituyendo en la entropía, se obtiene la máxima:

$$H_{max}^{p1} = \log(nc) \tag{3-5}$$

que, como se puede apreciar (3-5) es independiente de la procedencia de los datos (puntos), ya sean éstos tipo 'raster' (pixeles) o tipo contínuo (puntos coordenados), sólo es función del número de celdas en las que se discretice el dominio que continene los puntos.

En ciertas ocasiones es interesante definir otra medida, ésta no de probabilidad, pero que tiene connotaciones de densidad, como cuantificación por unidad de superficie de la cantidad de puntos en el plano. Este hecho puede ser de interés cuando por ejemplo se este modelizando el campo de puntos como un proceso estocástico multidimensional de Poisson, con una densidad variable. Entonces es necesario saber a qué escala se debe discretizar la densidad para proceder a su modelización. Esta medida tiene como expresión:

$$\mu_i^{p2} = \frac{\sum_{j=1}^{np} 1_i(j)}{\varepsilon^2} \tag{3-6}$$

Siendo: np el número de puntos $\{P_j\}_{j=1}^{np}$ (o pixeles)

nc el número de celdas $\{\Omega_i\}_{i=1}^{nc}$

la función indicadora: $1_i(j) = \begin{cases} 1; P_j \in \Omega_i \\ 0; P_j \notin \Omega_i \end{cases}$

ε el tamaño de la celda ≈ $diam(\Omega_i)$

La entropía para esta medida, cuyo soporte es:

$$Sop\ (\mu^{p2}) = \{P_j\} \subset IR^n \tag{3-7}$$

La entropía es máxima cuando la distribución de la medida es uniforme, es decir, que todas las celdas poseen la misma probabilidad de que tengan un punto en su interior:

$$\mu_i^{p1} = \mu_j^{p1} \quad ; \quad \forall \Omega_i \neq \Omega_j \tag{3-8}$$

luego la función indicadora es:

$$\sum_{j=1}^{np} 1_i(j) = \text{int}\left(\frac{np}{nc}\right) \tag{3-9}$$

y, sustituyendo en la entropía, se obtiene la máxima:

$$H_{max}^{p2} = -I_\varepsilon Log(I) \tag{3-10}$$

siendo: $I = np/A$ la densidad regional de puntos

$I_\varepsilon = np/\varepsilon^2$ la densidad máxima local

Como se ha mencionado anteriormente, esta medida no es de probabilidad. Para solventar este inconveniente, que provoca que la magnitud calculada, no sea mas que una pseudoentropía, esta se relaciona en este proyecto de fin de carrera a la entropía calculada con la medida de probabilidad anterior. Para encontrar por cuánto hay que modificar esta pseudoentropía para

que sea entropía, relacionarán ambas por un término en común, que resulta de expandir ambas expresiones:

$$H^{p1} = \frac{1}{I_\varepsilon} H^{p2} + Log(I_\varepsilon) \qquad (3\text{-}11)$$

Con lo que para referir la pseudoentropía a la entropía basta con modificarla por un término relacionado con la densidad local máxima I_ε para cada escala de discretización.

3.1.1.2 Medida sobre puntos con magnitud asociada

Las anteriores medidas, tan sólo tenían en cuenta la distribución espacial de los puntos y en ningún caso se consideraba el "tamaño" de los eventos sino que se le asignaba el mismo peso a todos y cada uno de ellos.

Parece lógico, como siguiente paso para el posterior análisis de los datos sísmicos, introducir en el estudio los datos de magnitud, de manera que los eventos pasen de ser considerados como puntos, a ser considerados como puntos etiquetados con un valor de magnitud asociado a cada uno de ellos. La manera de introducir este nuevo dato en el análisis pasa por definir una nueva medida que pondere el aporte de cada elemento según su magnitud, de tal manera que la contribución a la masa del conjunto de un evento pequeño sea menor que la de un evento mayor.

Esta nueva medida debe cumplir asimismo ciertas propiedades para poder ser utilizada con las técnicas de análisis de entropía de configuración, a saber:
- Debe cumplir las propiedades de medida
- Debe ser medida de probabilidad, lo cual implica:

$$\sum_{i=1}^{n} \mu_i = 1 \qquad (3\text{-}12)$$

$$\mu_i \in [0,1] \quad \forall i \qquad (3\text{-}13)$$

Donde n es numero de eventos

La nueva medida además de cumplir los anteriores requisitos debe tener significado físico, de forma que los resultados obtenidos sean verdaderamente útiles. Para definir esta nueva medida, se sabe que la magnitud de un sismo es proporcional al logaritmo de la energía liberada, según Richter (1956), Kanamori y Anderson (1975). Si se pondera la energía liberada en cada sismo con la energía total de todos los eventos, se tendrá definida la medida asociada a cada *i*-ésima celda, es decir:

$$\mu_i^e = \frac{\sum_{k=1}^{np} 1_i(k) \cdot 10^{2.4 m_{b,k} - 1.2}}{\sum_{j=1}^{np} 10^{2.4 m_{b,j} - 1.2}} \qquad (3\text{-}14)$$

para la energía expresada en Julios (Herraiz, 1997) y $m_{b,j}$ la magnitud de Richter para cada j-ésimo epicentro. Esta nueva medida además permitirá extraer datos extremadamente útiles tales como la energía liberada por unidad de área, así como identificar las zonas donde se libera mayor energía para un número reducido de eventos. Se trata por tanto una medida de energía distribuida, no solo una medida de distribución geométrica, como las anteriores.

En efecto esta medida cumple todas las premisas requeridas, cumple (3-12):

$$\sum_{i=1}^{nc} \mu_i^e = \sum_{i=1}^{np} \frac{10^{2.4 m_{b,i} - 1.2}}{\sum_{j=1}^{np} 10^{2.4 m_{b,j} - 1.2}} = 1 \qquad (3\text{-}15)$$

y cumple (3-13):

$$m_i \in \Re^+ \rightarrow 10^{2.4 m_i - 1.2} > 1 \; \forall i \rightarrow \sum_{j=1}^{n} 10^{2.4 m_{b,j} - 1.2} \geq 10^{2.4 m_{b,i} - 1.2} \; \forall i \rightarrow \mu_i = \frac{10^{2.4 m_{b,i} - 1.2}}{\sum_{j=1}^{n} 10^{2.4 m_{b,j} - 1.2}} \in [0,1] \qquad (3\text{-}16)$$

Como un sencillo ejemplo de utilización de la medida, para pasar de una distribución de masa a una de probabilidad, veamos un caso muy sencillo que se refleja en la figura 3-1.

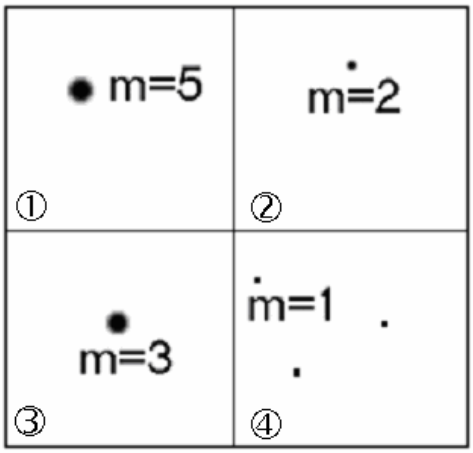


Figura 3-1: Representación simplificada de una serie de seis sismos con sus respectivas magnitudes repartidos en un área.

Atendiendo a (3-14), la medida (teniendo en cuenta el mallado hecho) asociada a la celda superior izquierda ①, por ejemplo sería:

$$\mu_1 = \frac{10^{2.4\cdot 5-1.2}}{10^{2.4\cdot 5-1.2}+10^{2.4\cdot 3-1.2}+10^{2.4\cdot 2-1.2}+3\cdot 10^{2.4\cdot 1-1.2}} = 0.999984$$

y la asociada a la celda inferior derecha ④:

$$\mu_1 = \frac{3\cdot 10^{2.4\cdot 1-1.2}}{10^{2.4\cdot 5-1.2}+10^{2.4\cdot 3-1.2}+10^{2.4\cdot 2-1.2}+3\cdot 10^{2.4\cdot 1-1.2}} = 7.5\cdot 10^{-10}$$

El resultado es altamente significativo, como se ve, más de 99 % de la energía está acumulda en el evento de magnitud 5 quedando las otras celdas prácticamente vacías en cuanto a densidad energética se refiere. Como se verá en el capítulo dedicado a los análisis sobre datos reales, la influencia de un solo terremoto de gran magnitud es muchisimo mayor que la de miles de terremotos más pequeños, por lo que el comportamiento ante un análisis entrópico en el que la discretización se haga por medio de esta medida, estará fuertemente influenciado por la presencia de pocos eventos de alta energía.

3.1.2 Medidas de soporte geométrico lineal

En el caso de las líneas será aplicable lo mismo dicho para puntos, solo que ahora no se evaluará el número de puntos a la hora de asignar una medida, sino que contará la longitud de fractura que cae en cada celda.

Como se ve, el proceso de asignación de medida, pasa por el desarrollo de cierta cantidad de programas informáticos que permitan el conteo de puntos dentro de celdas o el cálculo de longitudes de fractura dentro de celdas, en definitiva, algoritmos de 'clipping', que no se detallarán aquí, pero que ha sido necesario desarrollar a fin de llevar a cabo los análisis.

3.1.2.1 Asignación de una medida de soporte geométrico lineal

La evaluación de la densidad de fracturación es un cálculo que, para la importancia que tiene, habitualmente se realiza con técnicas manuales poco robustas o se deja a cargo de los programas inadecuados. Estos métodos no tienen en cuenta a qué nivel de escala la información disponible del medio fracturado es máxima. Si así fuera, se podrían evitar redundancias o sesgos artificiales originados bien en la restitución de los lineamientos, bien en la atribución de la misma sobre una zona, o en ambos.

Por ello, se proponen dos soluciones que, aún siendo computacionalmente más costosas que las manuales, reducen el grado de incertidumbre asociado a esta medida, parámetro característico del medio fracturado. En la primera, se asigna un valor constante al área de estudio, dependiendo de las características fractales del campo de fracturas. Y en la segunda, se entiende que la densidad es una variable espacial discretizada sobre el plano a cierta escala crítica, que se calcula para recoger toda la información posible y distribuirla en el área.

Este hecho es muy importante, debido fundamentalmente a que no interesará perder información en el proceso de interpretación y restitución de los lineamientos, pero tampoco será conveniente añadir más información que la real. Como se discutirá más adelante, la cantidad de información máxima que puede aportar un medio es limitada y vendrá indicada por su entropía.

3.1.2.2 La densidad de fracturación

En principio, ¿qué se entiende por densidad de fracturación?. En la bibliografía pueden encontrarse diferentes aproximaciones a esta respuesta. En algunas se encuentra el término intensidad (Dershowitz et al., 1998), en otras persistencia (Dershowitz y Herda, 1992), y en otras se denomina densidad a una relación que no tiene nada que ver con los anteriores (Rockworks, 1999), produciendo la correspondiente confusión terminológica.

Según la definición física, la densidad es la cantidad de magnitud física, sea masa, energía,... que contiene la unidad de espacio (en términos infinitesimales $\rho=dm/dV$). Cuando se trata de campos de fracturas, o de cuerpos geométricos en el espacio, la magnitud física que se asocia es proporcional a su diámetro, es decir, a su extensión (longitud en el caso de trazas bidimensionales, o superficies en tres dimensiones). La definición se traduce entonces, para el plano en dos dimensiones, en la longitud ℓ total por unidad de área, λ_{21}:

$$\lambda_{21} = \frac{\sum_i \ell_i}{A} \qquad (3\text{-}17)$$

ó en tres dimensiones, como superficie fracturada s por unidad de volumen de roca, λ_{32}:

$$\lambda_{32} = \frac{\sum_i s_i}{V} \qquad (3\text{-}18)$$

ambas con dimensiones de $[L^{-1}]$. Los sumatorios se extienden sobre todas las i fracturas consideradas en el área o en el volumen, respectivamente.

En ocasiones, la densidad se confunde con la intensidad de fracturación. El concepto de intensidad esta asociado a la cuantificación de un flujo de cierta cantidad que, en este caso, corresponde con el número de fracturas. Así las cosas, dado que el flujo es una magnitud por unidad de superficie, la intensidad de fracturación se refiere al número de fracturas por unidad de área o de volumen:

$$I_{21} = \frac{\sum_i 1_A(i)}{A} \quad ; \quad I_{32} = \frac{\sum_i 1_V(i)}{V} \tag{3-19}$$

con dimensiones de [L^{-2}] y [L^{-3}], respectivamente. La función indicadora, $1_A(i)$ ó $1_V(i)$, es la unidad si la *i*-ésima fractura se encuentra en el área o en el volumen en estudio, y son cero en otro caso.

La persistencia de fracturación (Dershowitz y Herda, 1992), aunque como denominación está menos extendida, se aplica para definir el mismo concepto que la intensidad o que la densidad de fracturación. La densidad y la intensidad de fracturación se encuentran relacionadas, a través de una proporcionalidad directa, exceptuando el caso particular en el que los datos estén tomados sobre una dirección o transecto (cuando se trata de puntos espaciados sobre una recta), para el que ambas coinciden:

$$\lambda_{10} = I_{10} = \frac{\sum_i 1_L(i)}{L} \tag{3-20}$$

con dimensiones de [L^{-1}]. En los otros dos casos (bi y tridimensional), la constante de proporcionalidad es el momento de primer orden de la función de distribución de tamaños de fracturas. Así, en el caso bidimensional, al tratarse de segmentos rectilíneos, ésta corresponde con la longitud promedio de la función de densidad de probabilidad de longitudes $f(\ell)$:

$$\lambda_{21} = I_{21}\int_0^\infty \ell f(\ell)d\ell = I_{21}\bar{\ell} \tag{3-21}$$

La estimación de la función de distribución $f(\ell)$ debe hacerse con cierta cautela, para evitar los efectos que puede producir el hecho de que haya fracturas truncadas por su restitución o por su posición. Para evitarlo, es recomendable un estudio más detallado (Visser y Chessa, 2000) de la información que proporcionan esas fracturas, cuyo tamaño esta sesgado, que modifique las colas de la función $f(\ell)$. Para más detalles también pueden consultarse Priest y Hudson (1981), Pahl (1981) y Laslett (1982). En el caso volumétrico, la función de distribución corresponde con la de superficie de fractura f(s). Por lo tanto, la constante de proporcionalidad entre densidad e intensidad es la superficie promedio:

$$\lambda_{32} = I_{32}\int_0^{\infty} sf(s)ds = I_{32}\bar{s} \qquad (3\text{-}22)$$

En la práctica, la utilidad de las relaciones anteriormente presentadas es muy limitada. El problema de interés se plantea en la cuantificación de la relación entre las magnitudes, cuando éstas se refieren a diferentes dimensiones, especialmente en la densidad, que es en la que interviene la extensión de las fracturas. Para encontrarlas es preciso acudir a aquellas que proporciona la estereología, y que se hallan en textos de geometría estocástica, como por ejemplo en Stoyan, Kendall y Mecke (1987) y en Santalo (1976), o de teoría estereológica en Underwood (1970). El tipo de relaciones que se establecen son del estilo:

$$\lambda_{32} \propto C''\,\lambda_{21} \propto C'\,\lambda_{10} \qquad (3\text{-}23)$$

donde, las constantes de proporcionalidad C' y C'', que establecen la igualdad, tienen una dependencia no lineal con las distribuciones de tamaños de fracturas y de orientaciones, que son desconocidas. En realidad, estas funciones de distribución deben ser estimadas a partir de los datos disponibles de campo, de tal manera que, en primer lugar, se calibra una función esférica para las orientaciones (direcciones y buzamientos) de las fracturas. Esta se usa, a posteriori, para evaluar una función de distribución test para los radios de fracturas (supuestas como discos tridimensionales en el espacio), teniendo en cuenta que, con ambas, debe de verificarse la distribución de tamaños de trazas cartografiadas sobre el terreno (HIDROBAP, 2000).

Hasta ahora se han expuesto dos medidas cuyo soporte es el campo de fracturas, expresadas como puntos, trazas o superficies alabeadas, según sea la dimensión de muestreo (uni, bi o tridimensional, respectivamente). Sobre este soporte espacial, es también posible definir otras medidas, que se denotarán de manera general como μ. Algunas de ellas tienen un significado físico relacionado con las anteriores.

Si se considera que la información procede de lineamientos (de igual manera se plantearán si el origen geométrico es diferente), desde un punto de vista probabilístico, puede definirse la

probabilidad de fracturación de un área A, como la probabilidad de encontrar alguna fractura en A, dentro de una región mayor B, según:

$$\mu_{A\subset B} = \frac{\sum_{i\in A} 1_A(i)}{\sum_{j\in B} 1_B(j)} \tag{3-24}$$

Obviamente, si $A = B$, esta medida es la unidad. Si la fracturación es uniforme en B, entonces $I_{A\subset B} \propto s_A/s_B$. La razón de longitud de fracturación en un área $A \subset B$, se calcula según:

$$\mu_{A\subset B} = \frac{\sum_{i\in A} \ell_i}{\sum_{j\in B} \ell_j} \tag{3-25}$$

entendido como el tanto por uno de longitud de fracturación en A respecto a B. Ambas medidas están implícitamente normalizadas. Es decir, si a partir de un conjunto $\{A_k\}$ de áreas disjuntas, $A_m \cap A_n = \varnothing$, tales que todas ellas consiguen recubrir B, $\cup_k A_k = B$, entonces se verifica:

$$\begin{aligned} \mu'_{A\subset B} &\in [0,1] \\ \sum_k \mu'_{A_k\subset B} &= 1 \end{aligned} \tag{3-26}$$

Para los cálculos de análisis entrópico que se presentarán en el presente proyecto de fin de carrera no se ha adoptado como medida que caracteriza el medio fracturado la densidad de fracturación, a pesar de que es un parámetro importante y muy utilizado, pues la medida que define sobre un campo de fracturas no es de probabilidad. Se utilizará sin embargo la medida de soporte geométrico que se define a partir de 3-25 que si es de probabilidad:

$$\mu_i^l = \frac{\sum_{k=1}^{nl} |l_k \cap \Omega_i|}{\sum_{j=1}^{nl} |l_j \cap \Omega|} \tag{3-25b}$$

La entropía asociada a esta medida, puede de manera muy sencilla relacionarse con la medida de densidad de fracturación, de manera análoga a como se hizo en 3-11, como se detalla a continuación:

$$\mu^l = \frac{l_i}{L_T} \rightarrow H^l = -\frac{1}{L_T}\sum_{i=1}^{nc}\left(l_i \cdot \log l_i\right) + \log L_T$$
$$\mu^\lambda = \frac{l_i}{\varepsilon^2} \rightarrow H^\lambda = -\frac{1}{\varepsilon^2}\sum_{i=1}^{nc}\left(l_i \cdot \log l_i\right) + \frac{\varepsilon^2}{L_T}\log \varepsilon^2$$

despejando de ambas expresiones se tiene:

$$\sum_{i=1}^{nc}\left(l_i \cdot \log l_i\right) = L_T \cdot \left(\log L_T - H^l\right)$$
$$\sum_{i=1}^{nc}\left(l_i \cdot \log l_i\right) = \varepsilon^2 \cdot \left(\frac{L_T}{\varepsilon^2}\log \varepsilon^2 - H^\lambda\right)$$

igualando:

$$L_T \cdot \left(\log L_T - H^l\right) = \varepsilon^2 \cdot \left(\frac{L_T}{\varepsilon^2}\log \varepsilon^2 - H^\lambda\right)$$

despejando, se tiene que:

$$H^\lambda = \frac{L_T}{\varepsilon^2} \cdot H^l + \frac{L_T}{\varepsilon^2} \cdot \log \varepsilon^2 - \frac{L_T}{\varepsilon^2} \cdot \log L_T$$

haciendo $\lambda_\varepsilon = \frac{L_T}{\varepsilon^2}$, se llega:

$$H^l = \frac{1}{\lambda_\varepsilon} \cdot H^\lambda + \log \lambda_\varepsilon \qquad (3\text{-}26)$$

La evaluación regional de la densidad de fracturas en un medio geológico se realiza cuando se intenta cuantificar el grado de fracturación sobre un área en toda su extensión. La caracterización cuantitativa a este nivel de escala es muy simple y se realiza normalmente a través de la relación (3-17), (3-18) ó (3-20), dependiendo de la dimensión de procedencia de los datos.

Esta estimación, aunque válida para una primera aproximación, puede ser deficiente si no reúne una serie de requisitos. Entre estos cabe mencionar el hecho de que para un tamaño concreto del área, las posibilidades de identificación de los lineamientos y su ulterior restitución, decrece con el tamaño de los mismos. De igual forma, aquellos lineamientos que se encuentran truncados en su longitud por el limitado tamaño de la ventana de observación, ó área de estudio, introducen un sesgo en la aproximación de la densidad. Finalmente, hay que mencionar el hecho de que las trazas se encuentren quebradas por tramos, lo que reduciría la longitud en el denominador; ó, por el contrario, se aumentaría si éstas se considerasen líneas tortuosas (cuando se evalúa λ_{21}, por ejemplo).

Entonces, ¿cómo aprovechar la información disponible para cada una de las escalas de fracturación, de tal forma que en su conjunto sea representativa de toda el área?, ¿cuál es esta información?, y ¿cómo cuantificarla?. La respuesta la proporciona la teoría geométrica de la medida, o más comúnmente conocida como geometría fractal. Si se estudia el comportamiento invariante al cambio de escala del medio fracturado, es decir se evalúa a qué dimensión el campo de fracturas puede medirse, y se utiliza esta medida para estimar la densidad de fracturación, el resultado proporcionado asegura que la densidad tiene en cuenta la información del medio a todas las escalas comprendidas entre aquellas que verifican el comportamiento fractal del campo de fracturas.

La medida que se utiliza, para cuantificar el tamaño del campo de fracturas, es la medida de Hausdorff (Falconer, 1990), que se define, para un conjunto $F \subset IR^n$ (que pudiera ser el campo de fracturas), como el límite:

$$\mu^{t,H} = \lim_{\varepsilon \to 0} H_{\varepsilon}^{t}(F) \qquad (3\text{-}27)$$

si este límite existe para un t particular; y siendo:

$$H_{\varepsilon}^{t}(F) = \inf\left\{ \sum_{i} |U_i|^t ; \{U_i\} \text{ es un } \delta \text{ - recubrimiento de F} \right\} \qquad (3\text{-}28)$$

para un δ-recubrimiento contable (o finito) de conjuntos $\{U_i\}$, cuyo diámetro es $|U_i| \leq \delta$, del conjunto F. El valor de t, para el cual este límite existe y es finito, se denomina dimensión de Hausdorff, más conocida como dimensión fractal *D*, de *F*. Esta es la dimensión para la cual el

conjunto F es mesurable. Ahora bien, ¿cómo medir computacionalmente F?. Uno de los métodos comúnmente propuestos se denomina conteo de celdas ó box-counting (Paredes y Elorza, 1999), que consiste en calcular el límite (3-27), utilizando un recubrimiento de conjuntos U_i formado por celdas de tamaño ε (de lado ó de diagonal) decreciente (para que $\varepsilon \to 0$). Transformando la expresión (3-27), para este tipo de recubrimiento, la medida D dimensional de Hausdorff de F se aproxima por:

$$\mu^{D,H} = \lim_{\varepsilon \to 0} H_{\varepsilon}^{D}(F) \cong \lim_{\varepsilon \to 0}\left(N(\varepsilon)\varepsilon^{D}\right) \tag{3-29}$$

tomando logaritmos en ambos lados de la igualdad:

$$\log \mu^{D,H} = \lim_{\varepsilon \to 0}\left[\log N(\varepsilon) + D \log \varepsilon\right] \tag{3-30}$$

y evaluando que su comportamiento es invariante al cambio de escala a partir de la calidad de la regresión lineal de log N(ε) vs. log ε, puede aproximarse:

$$D \approx \lim_{\varepsilon \to 0} - \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \tag{3-31}$$

En el ajuste resultante, la ordenada en el origen, para ε = 1, permite determinar la medida D dimensional de Hausdorff de F como:

$$\mu^{D,H} = N(1) \tag{3-32}$$

A partir de (19), se define la densidad fractal de fracturación como:

$$\lambda_{10}^{D,H} = \frac{\mu^{D,H}}{L} \quad ; \quad \lambda_{21}^{D,H} = \frac{\mu^{D,H}}{A} \quad ; \quad \lambda_{32}^{D,H} = \frac{\mu^{D,H}}{V} \tag{3-33}$$

para datos procedentes de muestreo uni, bi y tridimensional respectivamente.

La comparación de las medidas obtenidas regionalmente, a partir de las ecuaciones (3-17), (3-18) ó (3-20), con (3-33), respectivamente, proporciona información sobre la calidad de los datos analizados, en cuanto a la integridad de la restitución a una escala particular. Tomando este criterio, cuando $\lambda < \lambda^{D,H}$ significa que la calidad de la restitución es pobre, lo que conlleva a que falten fracturas que pudieran encontrarse a la escala de muestreo, y que por lo tanto ésta esté incompleta. Por el contrario, si $\lambda > \lambda^{D,H}$, entonces se han cartografiado más fracturas de las que un modelo de tipo fractal puede admitir o bien que el nivel de detalle recogido en la cartografía sea excesivo para la escala de trabajo.

3.2 Medidas de soporte no geométrico

Hemos visto hasta ahora ejemplos de medidas de soporte geométrico, es decir, que la medida se aplica directamente sobre la distribución espacial de puntos. Este tipo de medidas no son en absoluto las únicas que se puden definir sobre una distribución de puntos. En este apartado se mostrará otra forma de definir una medida sobre distribuciones de masa (Goltz,1997), este tipo de medidas transformará en primer lugar la distribución sobre 2D en otra en 1D.

El trabajar con un soporte de medida unidimensional permite obtener información sobre el comportamiento con la escala de la entropía asociada a la distribución de celdas con un número determinado de puntos, es decir, de la probabilidad de encontrar una celda con un cierto número de puntos, independientemente de donde ésta se localice. Si bien el interés se encuentra en trabajar con la probabilidad de asignar en una posición un punto, es preciso cambiar el soporte geométrico de la medida, manteniéndose con la misma dimensión que la de los datos de partida.

3.2.1 Distribución discreta de puntos

Si los datos son de tipo ‘raster’, es decir, se distribuyen sobre una matriz, lo que constituye una distribución discreta de puntos. Sea ε el tamaño de la celda cuadrada y l_p el tamaño de un pixel (o punto activo o pasivo), entonces el número de pixeles (activos o pasivos) por celda es:

$$r^2 = (\varepsilon / l_p)^2 \qquad (3\text{-}34)$$

Si se define la medida de probabilidad, para cada i-ésimo suceso de los nc posibles:

$$\mu^p{}_i = nc_i / nc \qquad (3\text{-}35)$$

siendo: nc_i el número de celdas con i pixeles activos (puntos)

nc el número de celdas total

Esta medida de probabilidad es el número de celdas con i pixeles partido por el número total de celdas. Es de inmediata aplicación lo expuesto en el anexo A, se comprueba inmediatamente que se trata de una medida de probabilidad.

Así las cosas, resulta que el soporte de la medida a pasado a ser unidimensional, formado por:

$$Sop\ (\mu^p) = IN \cap [0,r^2] \qquad (3\text{-}36)$$

Es decir, el número de configuraciones posibles es el número de clases: $\{0,1,2,...,r^2\}$, sobre las que se distribuye μ^p. Luego la entropía para la distribución de esta medida es:

$$H^p = -\sum_{i=0}^{r^2} \mu_i^p Log \mu_i^p \qquad (3\text{-}37)$$

De hecho, como puede entenderse, la medida así definida depende de la escala ε a la cual se haga el conteo, por lo que la entropía resultante también dependerá de ésta.

Para calcular la entropía de configuración es necesario determinar la entropía de las diferentes configuraciones equiprobables. Es decir, la entropía máxima cuando el valor de la medida μ^p es igual para todas las i clases:

$$\mu^p{}_i = nc_i / nc = 1 / (r^2 + 1) \qquad (3\text{-}38)$$

para poder distribuir todos los pixeles por todas las clases de la misma forma (uniformemente). Sustituyendo esta distribución de medida de probabilidad uniforme (3-38) en la entropía (3-37) ésta se hace máxima:

$$\mathrm{H}^{\mathrm{p}}_{\max} = -\sum_{\mathrm{i}=0}^{\mathrm{r}^2} \frac{1}{\mathrm{r}^2+1} \mathrm{Log} \frac{1}{\mathrm{r}^2+1} \qquad (3\text{-}39)$$

operando, resulta que:

$$H^{p}_{max} = Log(r^2+1) = Log\left[\left(\frac{\varepsilon}{l_p}\right)^2 + 1\right] \qquad (3\text{-}40)$$

en función de magnitudes (escala y tamaño de pixel) conocidas.

3.2.2 Distribución continua de puntos

Si los puntos se distribuyen de forma continua sobre el plano, es posible definir una medida de probabilidad, que transforme la distribución de bidimensional a unidimensional:

$$\mu^p_i = nc_i / nc \qquad (3\text{-}41)$$

siendo: nc_i el número de celdas con i puntos

nc el número de celdas total

cuyo soporte es también unidimensional, pero es número de clases puede llegar ahora hasta el número total de puntos np:

$$Sop\ (\mu) = IN \cap [0,np] \qquad (3\text{-}42)$$

La entropía para esta distribución de medida, se obtiene sumando para todas las clases que puedan contener medida para los np puntos:

$$H^{p} = -\sum_{i=0}^{nclas} \mu_i^p Log\mu_i^p \tag{3-43}$$

Que es máxima cuando la distribución sobre el soporte unidimensional es uniforme, lo que supone que:

$$H_{max}^{p} = -(nclas+1)\frac{nc_i}{nc} Log \frac{nc_i}{nc} \tag{3-44}$$

donde se desconoce el número de clases nclas que proporcionan información y el número de celdas con *i* puntos nc_i ($i = 0,...,np$). Para su determinación, se sabe que:

$$nc_0 + nc_1 + nc_2 + ... + nc_{nclas} = nc \tag{3-45}$$

y como $\mathrm{nc_i} = \mathrm{nc_j}$, por ser uniforme, con lo que (3-45) se convierte en:

$$(nclas+1)nc_i = nc \tag{3-46}$$

Por otra parte, se verifica que el número total de puntos puede obtenerse a partir de:

$$0.nc_0 + 1.nc_1 + 2.nc_2 + ... + nclas.nc_{nclas} = np \tag{3-47}$$

y por ser uniforme:

$$nc_i \sum_{j=0}^{nclas} j = np \tag{3-48}$$

con estas ecuaciones es posible plantear un sistema no lineal en *nclas* y en nc_i:

$$\begin{cases} (nclas+1)nc_i = nc \\ nc_i \sum_{j=0}^{nclas} j = np \end{cases} \tag{3-49}$$

cuyas soluciones son:

$$\mathrm{nlcas} = 2\frac{\mathrm{np}}{\mathrm{nc}} \quad ; \quad \mathrm{nc_i} = \frac{\mathrm{nc}^2}{2\mathrm{np} + \mathrm{nc}} \tag{3-50}$$

Si se sustituyen (3-50) en la expresión (3-44) de la entropía, ésta se maximiza. Resultando finalmente que:

$$H^{p}_{max} = \log nc \tag{3-51}$$

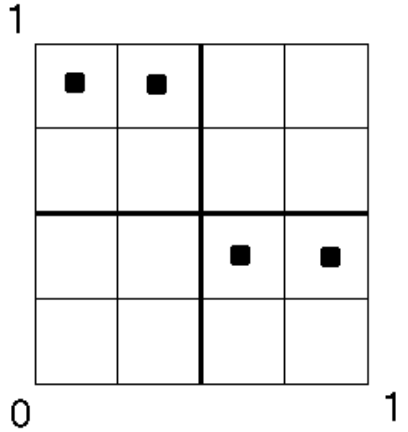
bajo la consideración de que $nc_i = 1$, ya que no pueden coexistir dos celdas con el mismo número de puntos en el caso de distribución de máxima entropía.

3.3 Análisis entrópico

Una vez vistos los fundamentos de la teoría de la información (apartado 2.2) y la conversión de los datos geométricos en distribuciones de probabilidad (3.1 y 3.2), en este apartado se comprobará y analizará el funcionamiento de esta técnica.

Veamos entonces en que consiste el análisis entrópico de estructuras gométricas. Por una parte se ha presentado la definición y forma novedosa de calcular la entropía de configuración de una distribución de probabilidad. (Apartado 2.2), por otra, se ha visto la forma, por medio de las medidas, de transformar una distribución de masa en una distribución de probablidad. La aplicación es inmediata, pues se podrá conocer la entropía de configuración de nuestra distribución de masa sin mas que transformarla en una distribución de probabilidad y aplicar la definición de entropía.

Dependiendo de la discretización (tamaño de celda sobre la que apliquemos la medida) el resultado será diferente al calcular a entropía de configuración. Comprobemos esta afirmación sobre un sencillo ejemplo. Imaginemos una distribución de puntos como la representada en la figura 3-2.



$$H_1(0{,}5) = -2 \cdot \left(\frac{2}{4} \cdot \log \frac{2}{4} \right) = \log 2$$

$$H_1(0{,}25) = -4 \cdot \left(\frac{1}{4} \cdot \log \frac{1}{4} \right) = 2 \cdot \log 2$$

Figura 3-2: Ejemplo de distribución de puntos y sus entropías asociadas a diferentes escalas.

Por tanto si muestreamos un determinado rango de escalas, podremos determinar cual de ellas es la que mayor entropía de configuración posee, y por tanto la que más información aporta sobre el sistema.

El encontrar la escala apropiada de discretización, implica adoptar una solución de compromiso para el tamaño de las celdas, de tal forma que, siendo un tamaño grande no promedie excesivamente, manteniendo el grado de irregularidad espacial; y siendo un tamaño pequeño, que no exija una calidad de muestreo, un coste computacional difícilmente alcanzable con los recursos disponibles y una irregularidad impropia de la densidad.

En la práctica, la estimación de esta escala suele hacerse manualmente, ponderando los pros y los contras de tomar una escala mayor o menor, comparándose el error cometido en los análisis de variabilidad, para una serie de escalas entre las cuales se encuentra la considerada como óptima. Existe una relación empírica entre ésta y un percentil de la función de distribución de distancias entre puntos. Como puede entenderse, esta forma de proceder resulta poco robusta, laboriosa y carente de todo fundamento.

La metodología alternativa que se presenta en este proyecto de fin de carrera, y que permite superar los inconvenientes de la aproximación manual de la escala, se basa en la búsqueda semi-automática de ésta para la que se encuentra el máximo de la entropía asociada a la distribución de densidad o intensidad de epicentros (o lineamientos en su caso).

Como antes se ha señalado, cabe destacar que para este proyecto se han diseñado e implementado cierta cantidad de algoritmos que permiten el cálculo de H^* para cierto tipo de

datos (principalmente puntos y lineas en 2D) a diferentes escalas. El esquema básico seguido por estos algoritmos consiste en mallar el espacio con celdas cuadradas (cúbicas en 3D). Dentro de cada celda se evalúa la medida correspondiente y se aplica la ecuación 2-13 para todas las celdas del mallado, tras lo cual se obtiene un valor de H^*, que se almacena junto con el valor de la escala correspondiente. Este proceso se repite para mallados de diferentes tamaños, obteniendose al final una serie de parejas de valores que nos indican el comportamiento de H^* al cambio de escala.

Para calcular la escala de máxima información ε^*, se hace un estudio del comportamiento cóncavo que tiene la entropía de configuración (2-17) en un intervalo de escalas $\varepsilon^* \in [\varepsilon_{min}, \varepsilon_{max}] \subset [0,+\infty]$. En la práctica, la cota superior de este intervalo corresponde con la longitud del menor lado que limita el área de estudio, para la que: $H^*(\varepsilon) = 0$. La cota inferior puede tomarse en relación con la mínima distancia entre puntos. Una vez la entropía relativa alcance el máximo, la escala correspondiente se asigna a ε*:

$$H^*(\varepsilon)\big|_{max} = H^*(\varepsilon^*) \qquad (3\text{-}52)$$

En este estudio, el comportamiento de $H^*(\varepsilon)$ muestra una fuerte dependencia con el número de datos, esto es, con el número de elementos en los que se discretiza el área de estudio (Goltz, 1998), mientras que ε^* es mucho más robusta, influenciada por los posibles efectos de lacunaridad en la medida. Gracias a la precisión con la que esta escala puede obtenerse, incluso pequeñas diferencias en los máximos pueden considerarse como muy significativas en las características de los datos de partida, aunque éstos sean muy parecidos.

De forma que el análisis del comportamiento *de* H^* de un sistema y de la posición de su máximo según variamos la escala, nos proporciona una robusta herramienta desarrollada íntegramente en el presente proyecto de fin de carrera, para determinar a que tamaño de ventana debe analizarse dicho sistema para obtener los resultados más significativos. Si tomáramos una escala mayor que la arrojada por el análisis estaríamos acumulando la información en poco espacio, si la escala fuera menor estaríamos dispersando la información y falseando los resultados. Como se verá en el capítulo de aplicación, los beneficios de esta técnica son mucho en lo que a análisis de terremotos se refiere.

3.3.1 Estudio pseudo-analítico de la entropía de configuración

Cualquiera que sea la procedencia de los datos y su tipología, la función que determina la información de la distribución es una función de tipo medida de probabilidad. Pero ocurre que, en la práctica, la geometría que define esta medida de probabilidad, o bien es escasa, o bien se encuentra inciertamente localizada, con los consiguientes efectos sobre la medida.

Por ello se ha llevado a cabo un estudio detallado del comportamiento pseudoanalítico de la función de entropía estándar sobre funciones de densidad de probabilidad conocidas, ya sean de tipo uniformemente distribuida o de tipo senoidal, a fin de ir ahondando en la interpretación de los resultados arrojados por el análisis. Si bien sobre las primeras será posible apreciar fácilmente el efecto del número de datos sobre los resultados numéricos frente a los analíticos, sobre la segunda, para un número suficientemente elevado, es posible distinguir cuál es la escala, previsiblemente proporcional a la de la periodicidad de muestreo de máxima información, caso de que ésta se componga de una sola frecuencia; así como lo que ocurre con ésta cuando se compone con efectos periódicos de mayor frecuencia (comparable con el ruido que se introduce debido a los errores en el muestreo de datos). Este estudio es necesario debido a que como se trata de una técnica de análisis nueva, debemos indagar en la correcta interpretación de las curvas de entropía.

En resumen, el conjunto de funciones de densidad analizadas, como ya se ha mencionado es de dos tipos. Se han estudiado tanto unidimensional, como bidimensionalmente, las distribuciones uniforme y periódica, de tal manera que en principio se ha procedido a generar un campo de puntos mediante un proceso estocástico de puntos en el espacio (en un intervalo IR^1, y en el plano IR^2) que siguiese esa ley de densidad conocida.

Las funciones de densidad son generadas a partir de un soporte geométrico de puntos, un proceso estocástico multidimensional sintéticamente generado que se correspondería en la realidad con el conjunto de epicentros en superficie.

A continuación, se ha procedido a estimar, para diferentes escalas de muestreo, una aproximación de la información a dicha escala, que se estandariza con la información correspondiente a un proceso de puntos uniformemente distribuido en el espacio.

El resultado obtenido tras el cálculo se compara con el que teóricamente debe de obtenerse; tras esta comparación se aprecian los efectos producidos por el tamaño de la muestra, frecuencias de variabilidad, etc.

De manera resumida, lo que a continuación se presenta es un estudio de la función *H** frente a unas distribuciones test determinadas, esto es necesario pues debido a lo novedoso de la técnica se desconoce parcialmente el comportamiento de esta función, esto pretende ser una primera aproximación al futuro conocimiento de *H*,* lo cual redundará en su poder como método de análisis.

3.3.1.1 Densidad uniforme 1D

Se genera sobre un soporte unidimensional, sobre el intervalo $[x_{min},x_{max}]$, un conjunto de n puntos con una distribución uniforme, y se determina el comportamiento de la entropía de configuración. Se sabe (véase informe pasado) que para una distribución uniforme que ha sido muestreada en *NC* celdas, de tamaño o a escala su entropía es *log NC*, es decir, la entropía de configuración es la unidad para cualquier escala. Si se cambia el número de puntos que definen el soporte inicial puede estudiarse cómo afecta esta cantidad comparando el comportamiento calculado del que teóricamente debe de tener (unidad para todas las escalas), además esta diferencia puede cuantificarse en forma de error (relativo) lo que facilita su estudio comparativo.

Tomando en principio un conjunto de n_1 = 100 puntos en el intervalo [0,1], en principio puede apreciarse cómo su distribución se aleja bastante de la uniforme, véase figura 3-3. Puede entenderse que esto es así debido a la forma de muestrear la función de distribución, ya que se utiliza una técnica de muestreo aleatorio simple.

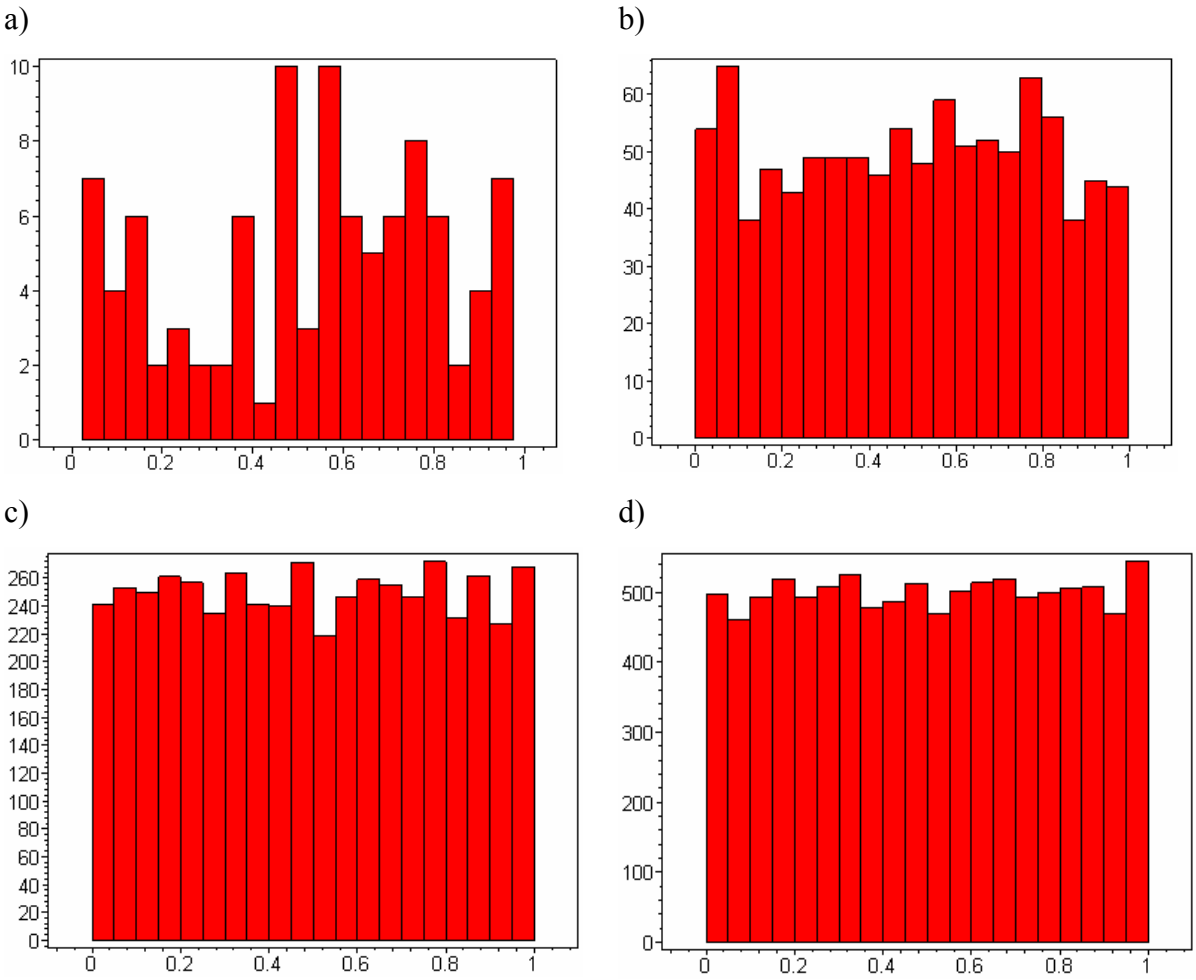


Figura 3-3: Función de distribución en valores absolutos (Histogramas) para a) 100, b) 1000, c) 5000 y d) 10000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1], la escala de las abscisas se encuentra en unidades.

Esto podría mejorarse si se aplicara un muestreo estratificado, o una técnica de hipercubo latino, por ejemplo, que son más efectivas en el muestreo de funciones de distribución.

El número de puntos se incrementa a 1000, 5000, hasta 10000, y la distribución muestral mejora considerablemente, en cuanto a su comportamiento frecuencial.

El número de clases (es decir el tamaño de discretización) apropiado nos lo dará la función de entropía de configuración para cada caso, que se calcula a continuación. La medida de probabilidad aplicada es la dada en 3-1.

El proceso del cálculo es el anteriormente descrito, primero se escoge arbitrariamente una escala para la que se divide el dominio en celdas de ese tamaño, se aplicará la medida a cada una de la celdas para obtener un valor de probabilidad, con ese valor se calculará la entropía

asocida a cada celda mediante (2-13), se almacenará el dato de entropía a esa escala y por último se cambiará a otra escala diferente para la que repetiremos el cálculo.

Una vez realizado el cálculo de la entropía de configuración, los resultados se muestran en la figura 3-4, para cada uno de los casos anteriores. Obsérvese cómo, a medida que se incrementa el número de puntos que constituyen el soporte de la medida, la función H*(e), posee valores más próximos a la unidad.

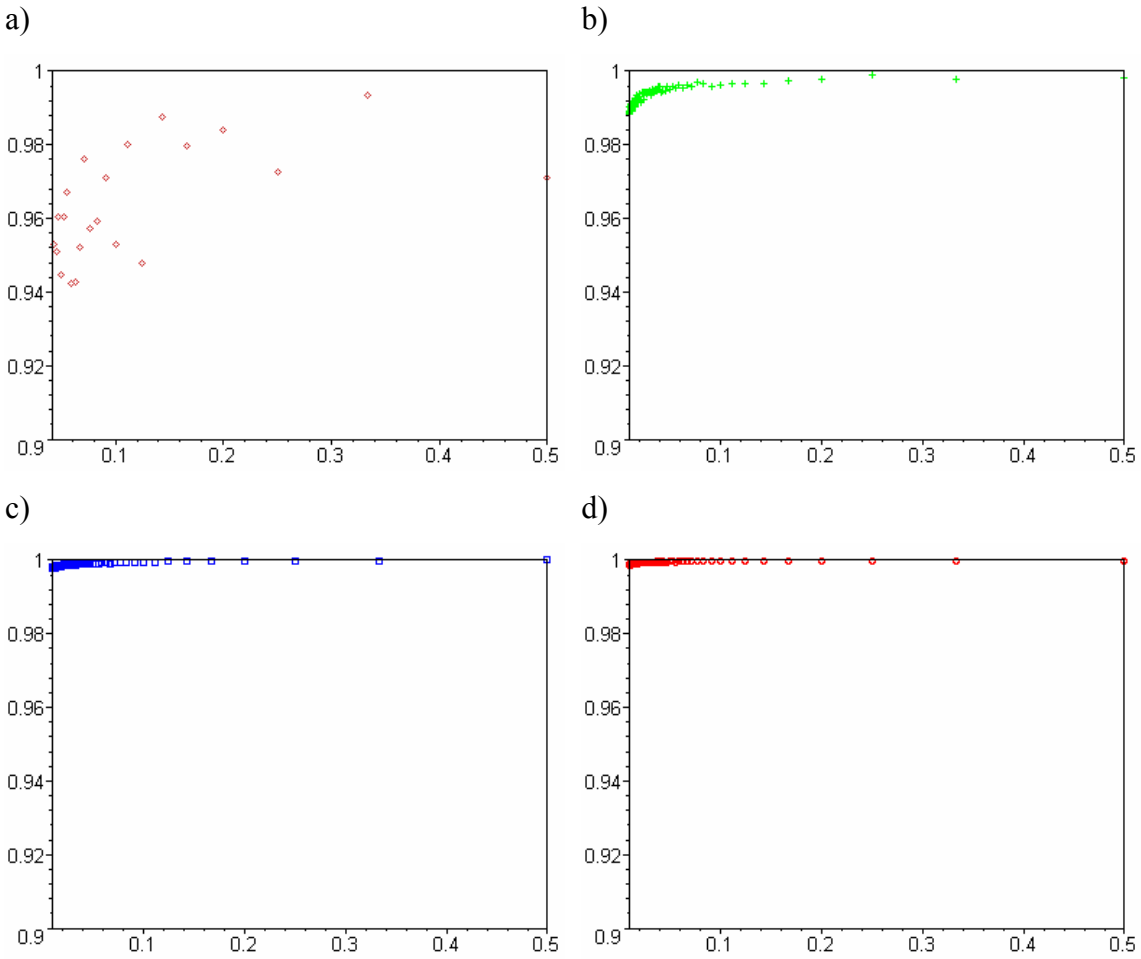


Figura 3-4: Entropías de configuración para a) 100, b) 1000, c) 5000 y d) 10000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1], la escala de las abscisas se encuentra en unidades.

Como se había mencionado anteriormente, esto supone que la escala de discretización del dominio debe de ser menor a medida que aumenta el número de puntos, luego el número de clases óptimo que definirán la función de densidad, o de distribución empírica, cada vez será mayor. Según el número de puntos aumenta, vemos que la entropía se acerca al valor de la

distribución uniforme continua, cuyo valor evidentemente es 1, a continuación en la figura 3-5 se presentan los errores respecto a la distribución uniforme de cada una de las distribuciones discretas, los errores disminuyen, según lo esperado, con el aumento del número de puntos.

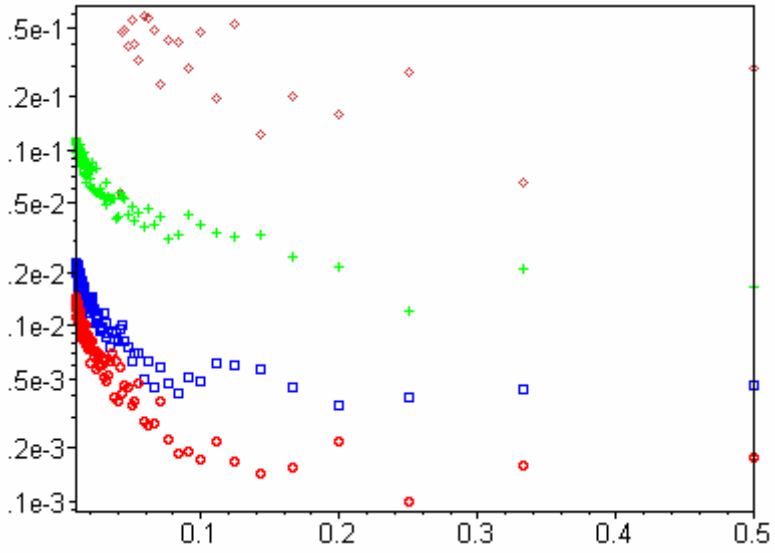


Figura 3-5: Errores en las entropías de configuración para 100 ◊, 1000 +, 5000 □ y 10000 O puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.

3.3.1.2 Densidad uniforme 2D

El procedimiento a seguir en el caso bidimensional es totalmente análogo al unidimensional estudiado precedentemente. Para su estudio, se generan estocásticamente un conjunto de puntos regidos por un proceso de Poisson 2D (figura 3-6) de densidad homogénea en un dominio cuadrado $[x_{min},x_{max}]$x$[y_{min},y_{max}]$, este proceso de puntos aleatorios, constituye el soporte geométrico de la medida, que nuevamente es la probabilidad de que un punto caiga en una celda. Como en el caso anterior, teóricamente, si para una escala e, el número de celdas total es NC^2, para un total de n puntos simulados, la probabilidad de que un punto caiga en una celda es $(n/NC^2)/n = 1/NC^2$.

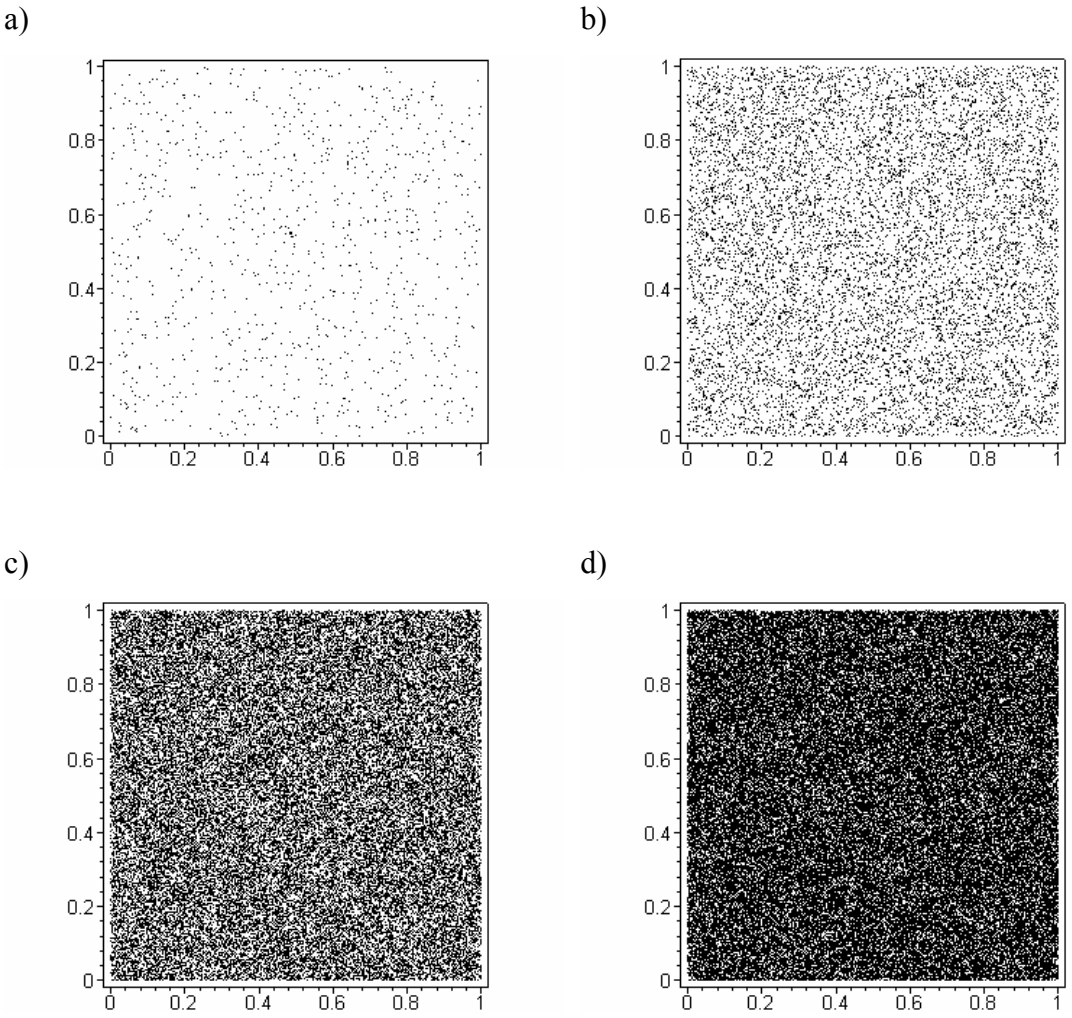


Figura 3-6: Soportes geométricos de la medida a) 1000, b) 10000, c) 50000 y d) 100000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1]x[0,1], las escalas de los ejes se encuentran en unidades.

Al igual que para el caso unidimensional, la entropía de configuración teórica tiene valor unidad, para todas las escalas posibles, por ello se puede también estudiar en 2D la influencia del número de puntos que definen el soporte en el valor de la entropía sobre un conjunto finito, frente al que teóricamente ha de tener.

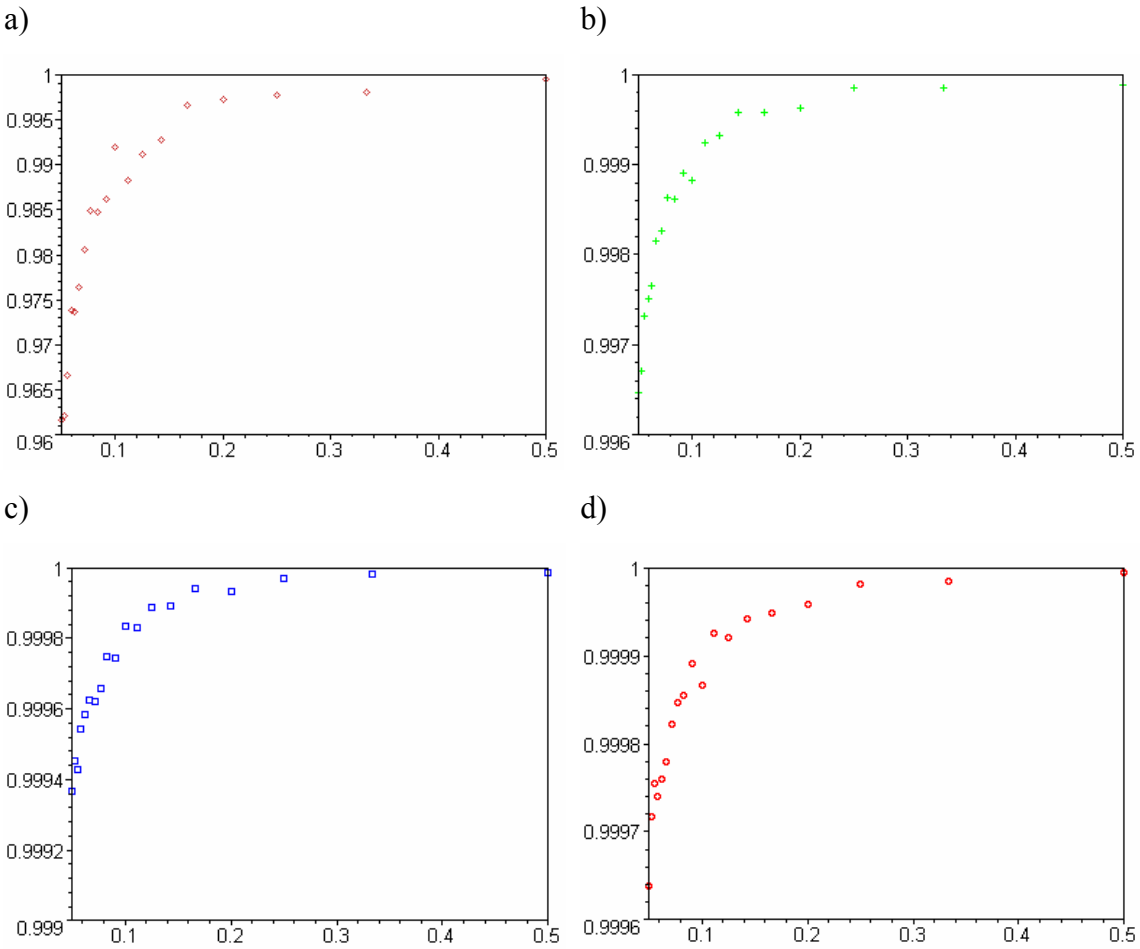


Figura 3-7: Entropías de configuración para a) 1000, b) 10000, c) 50000 y d) 100000 puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1]x[0,1], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.

Una vez realizado el cálculo de la entropía de configuración, los resultados se muestran en la figura 3-7, para cada uno de los casos anteriores. Obsérvese cómo, a medida que se incrementa el número de puntos que constituyen el soporte de la medida, la función H*, posee valores más próximos a la unidad para escalas más pequeñas. El efecto producido por el aumento de puntos en el soporte deja de ser apreciable por encima de los 50000 puntos, ya que el error no es significativamente diferente del cometido con 10000 puntos, como puede verse en la figura 3-8.

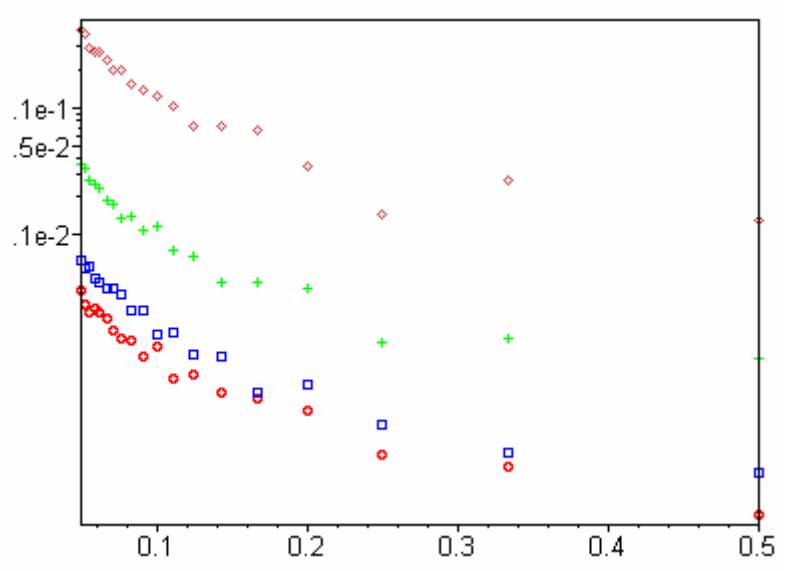


Figura 3-8: Errores en las entropías de configuración para 1000 ◊, 10000 +, 50000 □ y 100000 ○ puntos aleatorios uniformes, en el intervalo [0,1]x[0,1], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.

3.3.1.3 Estudio analítico 1D periódico

Una vez se conoce el efecto del número de puntos de soporte en la medida y sobre los valores de la entropía de configuración, se estudia a continuación un efecto, ya no tanto relacionado con la calidad de la definición de los datos, sino de la propia estructura de éstos.

Para ello se supone una función de distribución ó de densidad de puntos $\delta(x)$, en un dominio unidimensional (el intervalo $[x_{min},x_{max}]$) de tipo periódico, no nula, y con una amplitud tal que asegure que:

$$\int_{x_{min}}^{x_{max}} \delta(x)dx = 1 \qquad (3\text{-}54)$$

Para que sea función de densidad de probabilidad. En los ejemplos que se tratan a continuación se toma una función $\delta(x)$, monofrecuencial, cosenoidal del tipo:

$$\delta(x) = \frac{[1+\cos(\omega\pi x)]}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} [1+\cos(\omega\pi x)]dx} = C_{\omega}^{-1}[1+\cos(\omega\pi x)] \qquad (3\text{-}55)$$

Una vez que se ha creado la función de densidad de forma analítica, sin tener que pasar por la simulación sintético del soporte geométrico, se calcula sobre esta la probabilidad de encontrar un punto en una celda de tamaño ε, definida en el intervalo $[x_j, x_j+\varepsilon]$, con j = *1, 2,..., NC*. El valor del número de celdas viene dado por el cociente:

$$NC = (x_{max} - x_{min}) / \varepsilon \qquad \text{(3-55b)}$$

Esta probabilidad viene dada por la probabilidad que hay bajo la función □(x), entre los límites del intervalo:

$$p_j(\varepsilon) = \int_{x_j}^{x_j+\varepsilon} \delta(x)dx = \int_{x_j}^{x_j+\varepsilon} C_\omega^{-1}\left[1+\cos(\omega\pi x)\right]dx \qquad \text{(3-56)}$$

resolviendo esta integral, resulta:

$$p_j(\varepsilon) = C_\omega^{-1}\left[\varepsilon + (\omega\pi)^{-1}\left(\text{sen}(\omega\pi(x_j+\varepsilon)) - \text{sen}(\omega\pi x_j)\right)\right] \qquad \text{(3-57)}$$

o lo que es lo mismo:

$$p_j(\varepsilon) = C_\omega^{-1}\left[\varepsilon + (\omega\pi)^{-1}\left(\text{sen}(\omega\pi(x_{min}+(j-1)\varepsilon)) - \text{sen}(\omega\pi(x_{min}+j\varepsilon))\right)\right] \qquad \text{(3-58)}$$

con *j = 1, 2,..., NC.*

Una vez calculado el valor de la probabilidad en cada una de las celdas en las que se ha discretizado, a una escala ε, el dominio, puede obtenerse la entropía a dicha escala:

$$H(\varepsilon) = -\sum_{j=1}^{NC} p_j(\varepsilon)\log p_j(\varepsilon) \qquad \text{(3-59)}$$

y la entropía de configuración:

$$H^*(\varepsilon) = H(\varepsilon)/\log NC \qquad (3\text{-}60)$$

según el valor de (3-55).

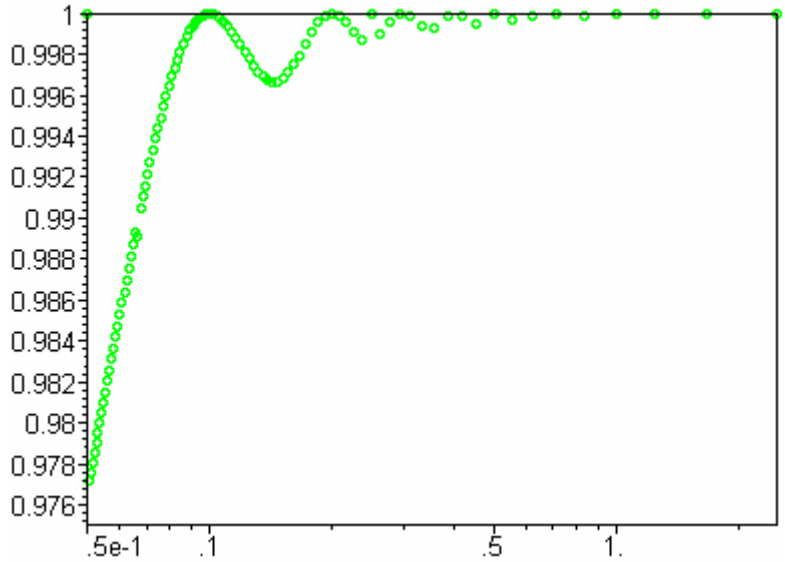


Figura 3-9: Función de entropía de configuración, según la ecuación (3-60), para la densidad de la ecuación (3-55), con una frecuencia ω =10.

Gráficamente, el valor de la función obtenida para la densidad proporcionada en la ecuación (3-55), queda reflejada en la figura 3-9, donde se reconoce rápidamente que la función representada posee un máximo para el valor de la frecuencia ω =10, es decir para tamaños de escala de 0,1. Esto nos está dando información importante. Esta técnica nos está dando el tamaño característico de la función analizada, esto será importante a la hora de la aplicación e interpretación de los resultados a partir de los datos reales.

3.3.1.4 Estudio discreto 1D periódico

Se verá a continuación qué ocurre cuando esta función de distribución se discretiza mediante su muestreo aleatorio. Es sencillo simular una distribución de puntos, con dicha función, mediante una técnica de etiquetado de puntos. Para ello dentro del intervalo propuesto se ubica un punto uniformemente distribuido en el intervalo, es decir sobre cualquier posición, ya que todas son (en principio) equiprobables. A continuación se le asigna una etiqueta, que es un valor aleatorio, también uniforme, pero entre [0,1]. Ahora, el paso siguiente es saber si el punto permanece o es rechazado, lo que supone comparar el valor de la etiqueta asignada con el valor de la función de densidad en este punto. Así las cosas:

Si $E_x > \delta(x)$ se rechaza el punto $x \in [x_{min}, x_{max}]$

Si $E_x \leq \delta(x)$ se acepta el punto $x \in [x_{min}, x_{max}]$ como del campo estocástico de densidad $\delta(x)$

La función que se va a utilizar, por ejemplo, es la función: $\cos(2\omega\pi)+1$, que se transforma, para que verifique (3-54). Pero si se va a utilizar como función generadora de puntos tal y como se ha descrito anteriormente, bastará con hacerla variar entre 0 y 1, ya que esta función como mucho vale 2, se dividirá por éste valor:

$$\delta(x) = 0.5(\cos(10\pi x)+1) \qquad (3\text{-}61)$$

Se ha tomado el intervalo [0,5] como dominio de la simulación. De esta forma hay más puntos sobre la función de entropía, y por lo tanto será más fácil apreciar su comportamiento. El aspecto que tiene la función $\delta(x)$, se muestra en la figura 3-10.

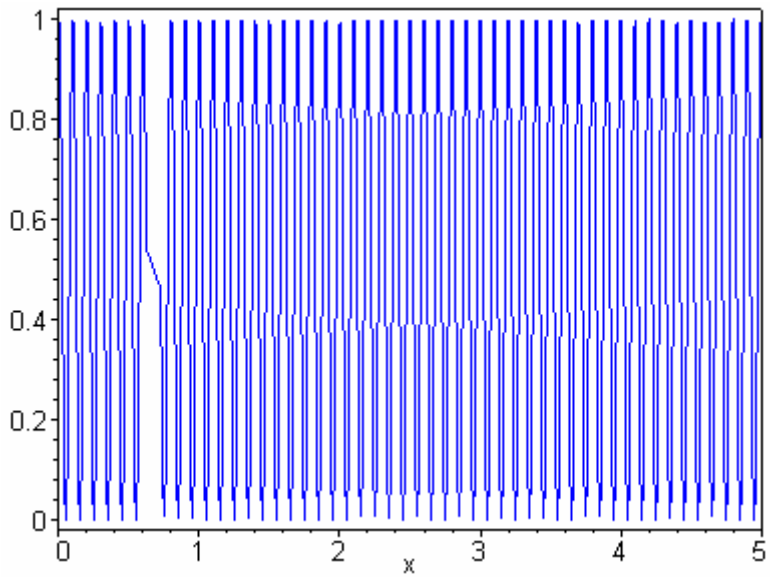


Figura 3-10: Función generadora $\delta(x)$ de la distribución de puntos en el intervalo [0,5], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.

Se procederá como en los casos anteriores, calculando la entropía de configuración para varios tamaños del soporte de simulación. Como es de esperar, en los resultados debe de aparecer un máximo para el espaciado de 0.1, es decir $1/\omega$, lo cual es mucho más deficiente con cuantos menos puntos se haya muestreado la densidad. El resultado puede verse en la figura 3-11.

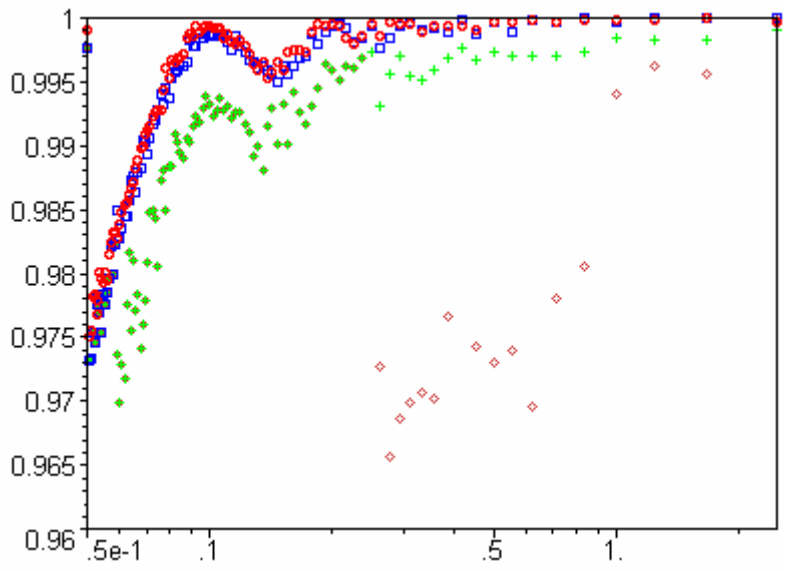


Figura 3-11: Entropías de configuración para 100 ◊, 1000 +, 5000 □ y 10000 ○ puntos aleatorios según la distribución (3-61), en el intervalo [0,5], la escala de las abscisas se encuentra en unidades.

3.3.1.5 Estudio analítico 1D n-periódico

Se puede pensar ahora en la superposición de n componentes periódica y tratar de encontrar los efectos de cada una sobre la función de densidad. Esto puede ser bastante útil cuando se sospecha que sobre el soporte geométrico de la medida hay dos o más estructuras de características distintas, se espera poderlas reconocer sobre la entropía.

Su estudio analítico se asemeja bastante al presentado en el apartado 3.1.3, con la diferencia que ahora se suman varias, hasta *n*, componentes cosenoidales:

$$\delta(x) = \frac{\sum_{i=1}^{ns} A_i\left[1+\cos(\omega_i \pi x)\right]}{\int_{x_{min}}^{x_{max}} \sum_{i=1}^{ns} A_i\left[1+\cos(\omega_i \pi x)\right]dx} = C_\omega^{-1} \sum_{i=1}^{ns} A_i\left[1+\cos(\omega_i \pi x)\right] \qquad (3\text{-}62)$$

cada de las ns señales viene definida con una amplitud A_i, y una frecuencia ω_i. Una vez se ha creado la función de densidad de forma analítica, sin tener que pasar por la simulación

sintético del soporte geométrico, se calcula sobre esta la probabilidad de encontrar un punto en una celda de tamaño ε, definida en el intervalo [x_j,x_j+ε], con *j = 1, 2,..., NC*. El valor del número de celdas viene dado por el cociente (3-55b).

Esta probabilidad viene dada por la probabilidad que hay bajo la función δ(x), entre los límites del intervalo:

$$p_j(\varepsilon) = \int_{x_j}^{x_j+\varepsilon} \delta(x)dx = \int_{x_j}^{x_j+\varepsilon} C_\omega^{-1} \sum_{i=1}^{ns} A_i \left[1 + \cos(\omega_i \pi x)\right] dx \qquad (3\text{-}63)$$

resolviendo esta integral, resulta:

$$p_j(\varepsilon) = C_\omega^{-1} \sum_{i=1}^{ns} A_i \left[\varepsilon + (\omega\pi)^{-1} \left(\text{sen}(\omega\pi(x_j + \varepsilon)) - \text{sen}(\omega\pi x_j)\right)\right] \qquad (3\text{-}64)$$

o lo que es lo mismo:

$$p_j(\varepsilon) = C_\omega^{-1} \sum_{i=1}^{ns} A_i \left[\varepsilon + (\omega\pi)^{-1} \left(\text{sen}(\omega\pi(x_{min} + (j-1)\varepsilon)) - \text{sen}(\omega\pi(x_{min} + j\varepsilon))\right)\right] \qquad (3\text{-}65)$$

siendo la constante:

$$C_\omega = \sum_{i=1}^{ns} A_i \left[L + 2(\omega_i \pi)^{-1} \cos(\omega_i \pi \bar{x}) \text{sen}(\omega_i \pi L / 2)\right] \qquad (3\text{-}66)$$

con *j = 1, 2,..., NC*.

Una vez calculado el valor de la probabilidad en cada una de las celdas en las que se ha discretizado, a una escala e, el dominio, puede obtenerse la entropía a dicha escala utilizando nuevamente (3-59), y la entropía de configuración mediante (3-60).

Gráficamente, el valor de la función obtenida para la densidad proporcionada en la ecuación (3-62) para *ns* = 2 (figura 3-12 a), queda reflejada en la figura 3-12 b), donde se reconoce

rápidamente que la función representada posee dos máximos para el valor de la frecuencia ω =5 y 69, es decir para tamaños de escala de 5/5 y 5/69.

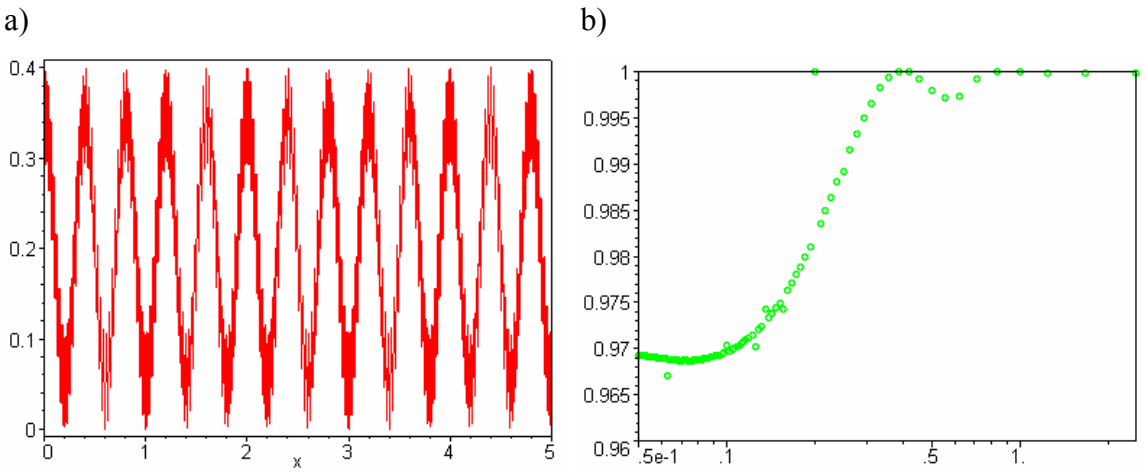


Figura 3-12: Función de densidad a) y su correspondiente entropía de configuración b), según la ecuación (3-60), para la densidad de la ecuación (3-62), con unas frecuencias ω =5 y 69, y amplitudes de 1.35 y 0.35 unidades respectivamente.

3.3.1.6 Estudio discreto 1D doble periódico

Se procederá como en los casos anteriores, calculando la entropía de configuración para varios tamaños del soporte de simulación. Se ha aplicado la función de distribución bifrecuencial del epígrafe anterior.

Como es de esperar, en los resultados debe de aparecer un máximo para el espaciado de 1/5 y 1/69, es decir $1/\omega_i$, lo cual es mucho más deficiente con cuantos menos puntos se haya muestreado la densidad. El resultado puede verse en la figura 3-13.

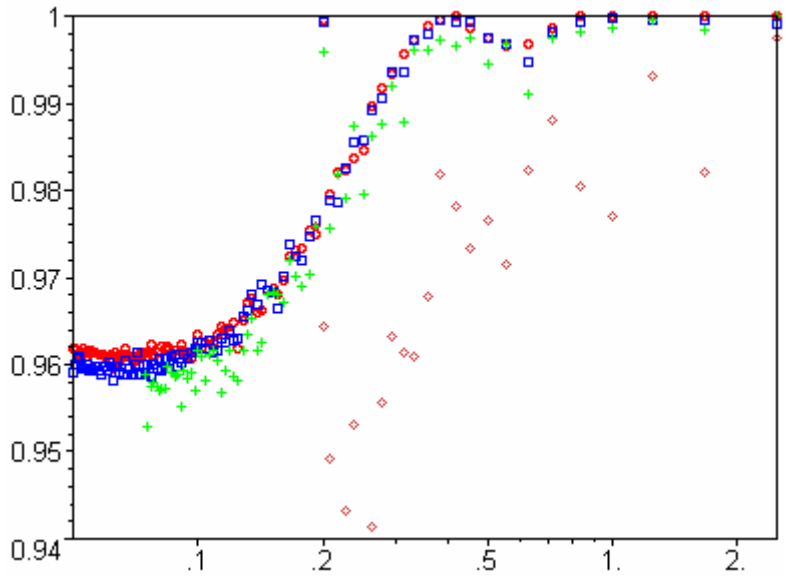


Figura 3-13: Entropías de configuración para 100 ◊, 1000 +, 5000 □ y 10000 ○ puntos aleatorios según la distribución (3-62) particularizada para el ejemplo de la figura 3-11 a), en el intervalo [0,5], la escala de las abcisas se encuentra en unidades.

3.3.1.7 Densidad periódica 2D (caso discreto)

Para el caso bidimensional el estudio aplicado es totalmente análogo al unidimensional. Se presentan a continuación los resultados obtenidos para una simulación de un campo de puntos estocástico, representado en la figura 3-14 a), que se rigen por una función de densidad periódica y de la misma forma en ambos ejes x e y, que la ecuación (3-61) en el dominio de simulación [0,1]x[0,1].

a) b)

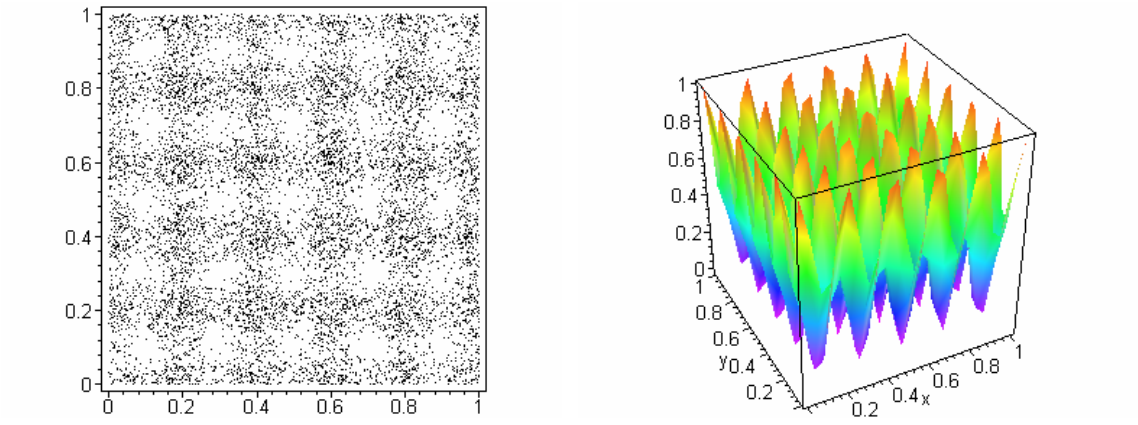


Figura 3-14: a) Distribución de 10000 puntos 2D según la función de densidad monofrecuencial de b).

Los resultados obtenidos para la entropía de configuración, representados en lafigura 3-15 a), refleja que, para los bases de datos bidimensionales es preciso tener mucha información espacialmente distribuida, mucho más que en el caso unidimensional. Y como corresponde aparece un máximo a escala 1/10, para la que se presenta el campo de distribución de la medida en 4-15 b).

a) b)

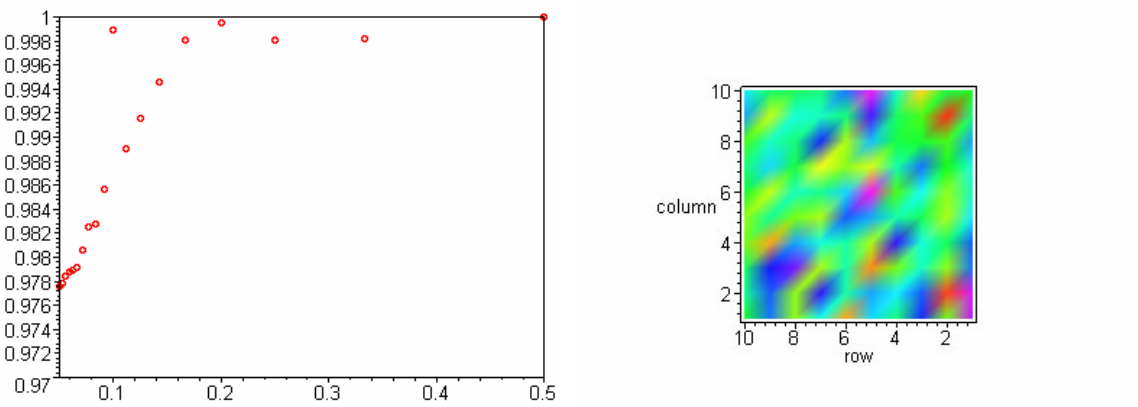


Figura 3-15. a) Entropía de configuración para los 10000 puntos de la figura 3-14 a, b) distribución geométrica de la medida muestreada a escala 1/10.

3.3.1.8 Densidad doble periódica 2D (caso discreto)

Para el caso bidimensional con superposición de varias señales el estudio aplicado es totalmente análogo al unidimensional. Se presentan a continuación los resultados obtenidos para una simulación de un campo de puntos estocástico, representado en la figura 3-15 a, que se rigen por una función de densidad periódica y de la misma forma en ambos ejes x e y, que la ecuación para la densidad (3-62), con unas frecuencias ω =5 y 69, y amplitudes de 1.35 y 0.35 unidades respectivamente, en el dominio de simulación [0,5]x[0,5].

a) b)

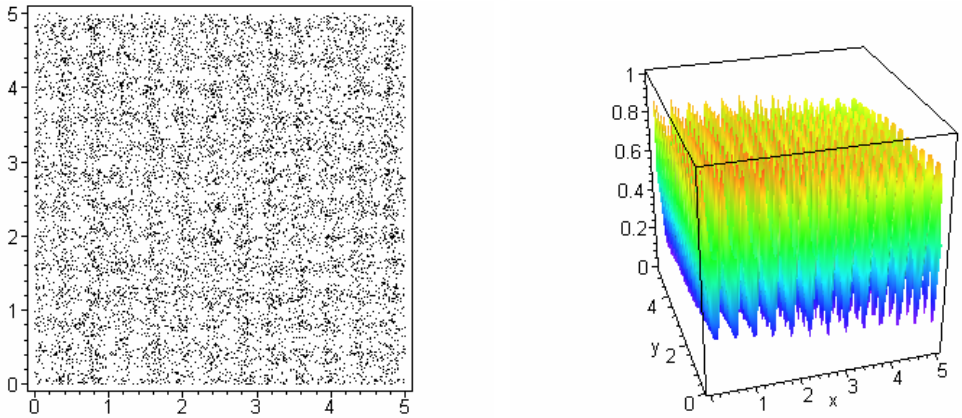


Figura 3-16: a) Distribución de 10000 puntos 2D según la función de densidad bifrecuencial de b).

Los resultados obtenidos para la entropía de configuración se representan en la figura 3-16 a), refleja que, para los bases de datos bidimensionales es preciso tener mucha información espacialmente distribuida, mucho más que en el caso unidimensional. Y como corresponde aparece un máximo a escala 5/5 y 5/69, para la que se presenta el campo de distribución de la medida en 3-17 b).

a) b)

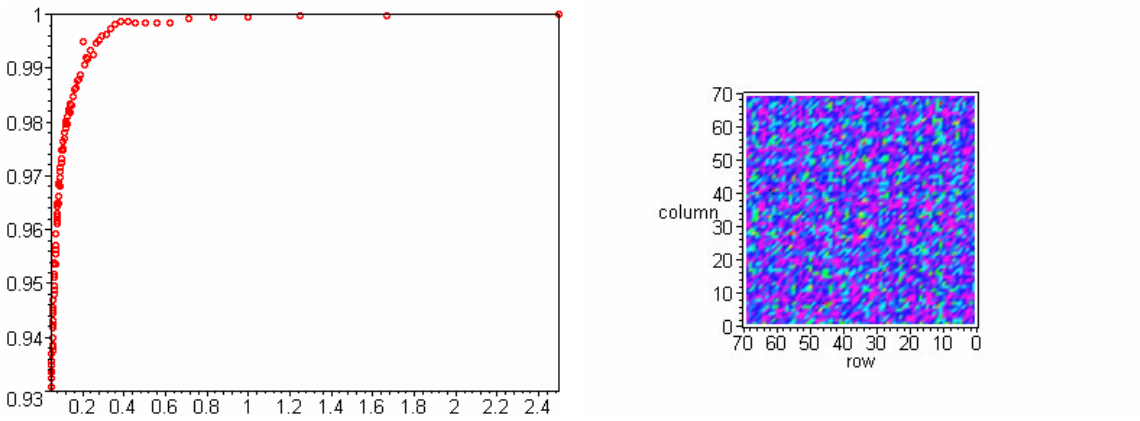


Figura 3-17: a) Entropía de configuración para los 10000 puntos de la figura 3-15 a), b) distribución geométrica de la medida muestreada a escala 5/69.

3.3.1.9 Densidad regular 2D (caso discreto)

Al aplicar el procedimiento descrito a un caso test, constituido por una distribución de 10000 puntos equiespaciados sobre malla cuadrada, con una distancia mínima entre puntos de 0,01 unidades (figura 3-18)

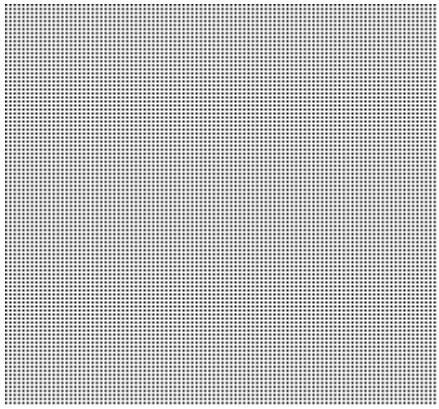


Figura 3-18. Ejemplo de 10000 puntos espaciados 0,01 unidades.

Utilizando un soporte geométrico bidimensional de la medida de probabilidad se obtiene la entropía, tal y como se ha hecho en los casos anteriores, se presentan los resultados en la figura 3-19 y 3-20.

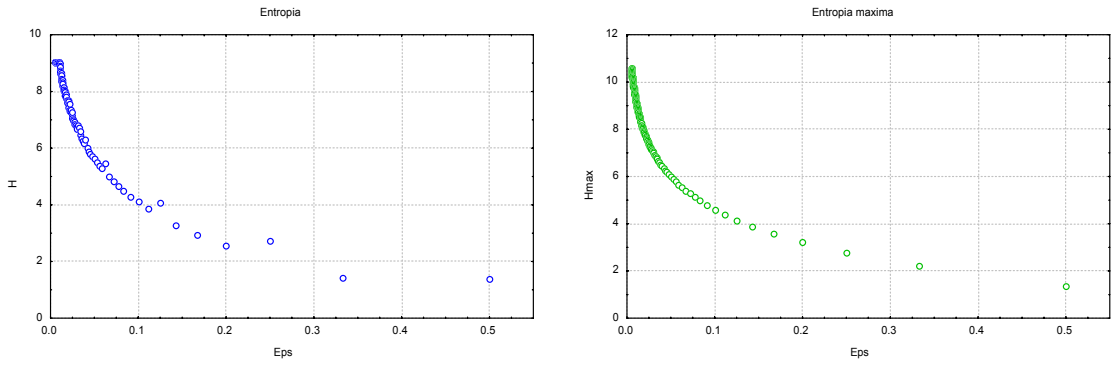


Figura 3-19: Entropía de información y máxima entropía según ecuación (2-16) para cada escala.

Ahora, haciendo el cociente de la entropía de información con la máxima entropía para cada escala se obtiene la variación de la entropía de configuración con la escala, como se aprecia en la figura 3-20.

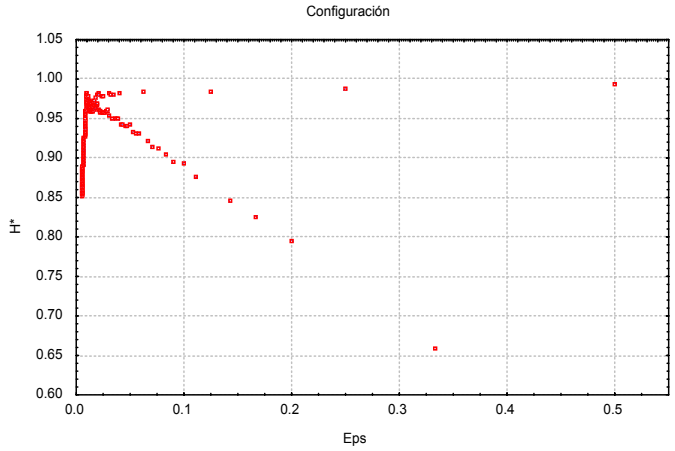


Figura 3-20. Entropía de configuración para la distribución continua de puntos equiespaciados.

Sobre esta gráfica puede apreciarse un primer máximo, que corresponde con el espaciado entre los puntos (0,01 unidades) así como una serie de máximos de menor importancia (información) a distancias múltiplos enteros de ésta. Además se encuentran dos comportamientos asintóticos, uno hacia valor cero, que corresponde con el límite que se alcanza en la entropía de configuración cuando la escala es el tamaño del dominio: en ese caso solamente hay una celda que acumula toda la medida que se hace unidad, con lo que la información aportada es nula.

La otra asíntota corresponde con el comportamiento a gran escala de la distribución equiespaciada que se hace equivalente a la uniforme dado que todas las celdas poseen la misma medida y por lo tanto ésta se hace máxima.

4 APLICACIÓN SOBRE LA BASE DEL I.G.N.

4.1 Presentación y filtrado de la base

En este capítulo se analiza la base de datos cedida por el IGN para la realización del proyecto. Esta base de datos brutos, ha sido tratada desde el punto de vista de las necesidades y de los análisis que se procederán a realizar posteriormente, lo que significa que es posible que ciertos criterios de tipo geofísico no hayan sido mantenidos con el suficiente rigor.

4.1.1 Estructura de la base de datos

La base de datos proporcionada por el IGN consta de un total de 20235 datos (sismos recogidos). La información que se asocia a cada sismo se distribuye sobre 23 campos que se refieren en la tabla 4-1.

Tabla 4-1: Campos de la base de datos del IGN. Elaboración Propia.

Campo	Campo
A: Agencia	J: ERH error cuadrático medio de posición Km
B: Longitud Este (º ‘ “.0)	K: ERZ error cuadrático medio de prof. Km
C: Latitud Norte (º ‘ “.0)	L: Tipo de magnitud (vacío: mbLg, P:mb)
D: Fecha del evento (año, mes, día)	M: Magnitud x10
E: Hora del evento (hora, minutos, segundos.0)	N: Número de estaciones que lo identifican
F: Profundidad en Km	O: Intensidad x10 (EMS)
G: Mecanismo focal calculado	P: Comentarios
H: D si hay disponible registro digital	Q: población más próxima al epicentro
I: RMS error cuadrático medio en s.	R: código provincial

Del conjunto de datos recogidos en esta base, inicialmente se han descartado aquellos que se han datado anteriores al año 1985, ya que la primera estación sísmica instalada en España data de 1984 (estación “GUD”, ubicada en el interior de la Basílica al pie de la Cruz de los Caídos, en la Sierra de Guadarrama).

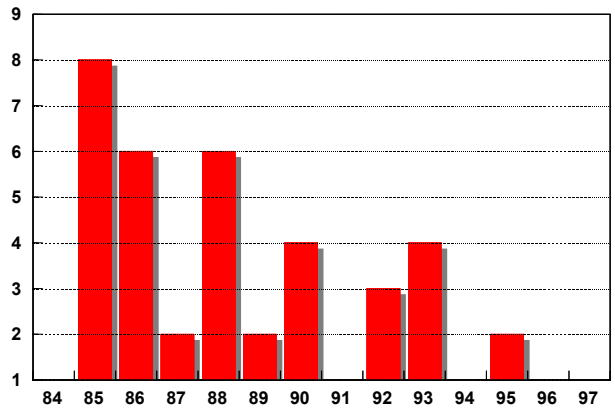


Figura 4-1: Distribución del número de estaciones sísmicas instaladas anualmente en España, por el IGN, entre los años 1984 a 1997.

A partir de ese momento, como se muestra en el gráfico adjunto (figura 4-1), se han ido instalando sucesivas estaciones del IGN sobre el territorio Español, hasta configurar, en la actualidad una red de registro, prácticamente en continuo, como la que se muestra en la figura 4-2.

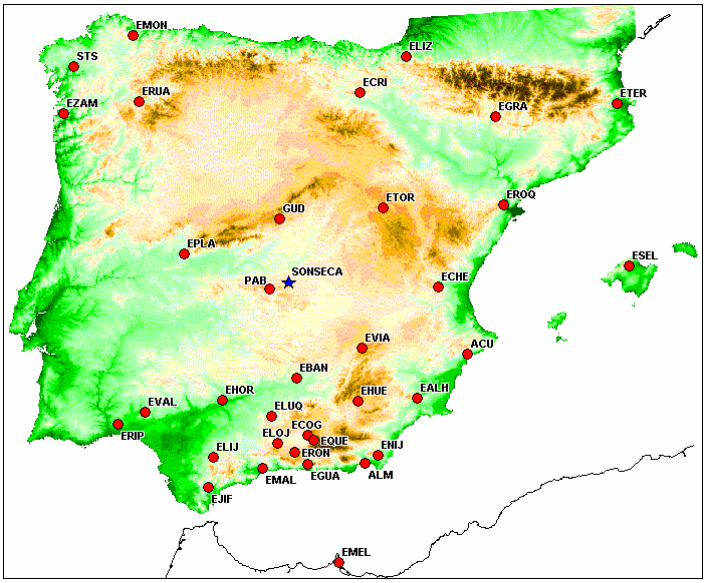


Figura 4-2: Distribución sobre la Península Ibérica de las estaciones sísmicas del IGN en funcionamiento en la actualidad.

Con la información disponible, y considerada para este Proyecto, para cada estación se ha elaborado una base de datos, que se presenta en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Base de datos con las estaciones de la red sísmica nacional. Fuente: I.G.N. (área de la Península Ibérica)

Código	Nombre	Lat °	Lon °	UTM X	UTM Y	Alt.	Año	Comp	Agencia	Código	Código	m.p.s.	Sensor
		(N)	(E)	(m)	(m)	(m)	Inst.			Banda	Inst.		
ACU	Canalobre	38.51133	-0.41066	725772.7	4265521	580	85	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ALM	Almeria	36.85167	-2.45983	548156.8	4078350.6		97	3R	IGN	B	H	Â	STS-2
EALH	Alhama	37.85816	-1.41966	639024.3	4191048.7	294	86	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EBAN	BaÃ±os	38.17099	-3.78999	430800.1	4224875.1	460	86	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ECHE	Chera	39.59083	-0.96766	674522.4	4384108.2	643	86	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ECOG	Cogollos	37.02716	-3.56633	449626.7	4097831.4	1176	90	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ECRI	Cripan	42.05861	-2.51	540544.5	4656185.5	807	86	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EGRA	Graus	42.19516	0.316	773805.3	4676555.3	706	90	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EGUA	Guajares	36.83366	-3.56533	449588.3	4076365.8	386	91	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EHOR	Hornachuelos	37.82316	-5.24799	302141.9	4188369.6	160	85	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EHUE	Huescar	37.81483	-2.59266	535854.1	4185142.6	980	90	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EJIF	J. de la Frontera	36.45133	-5.46883	278739.4	4036640.4	260	88	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ELIJ	Sierra de Líjar	36.91902	-5.37962	288024.2	4088330.5	870	96	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ELOJ	Loja	37.14799	-4.153	397605.4	4111707.6	998	93	1R	IGN	S	H	50	L-4
ELIZ	Elizondo	43.164	-1.31408	637055.7	4780190.7	523	92	1R	IGN	S	H	50	L-4
ELUQ	Luque	37.5605	-4.26683	388110.1	4157602.3	703	92	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EMAL	Malaga	36.7275	-4.4111	373992.5	4065368.7	60	93	3R	IGN	S	H	125	L-4
EMEL	Melilla	35.29999	-2.95666	503940.5	3906113.5	85	88	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EMON	Mondonedo	43.43616	-7.32983	149560.5	4818148.2	615	88	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ENIJ	Nijar	36.97149	-2.207	570586.7	4091799.8	440	85	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EPLA	Plasencia	40.06416	-6.08033	237281.3	4439215.5	591	85	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EQUE	Quentar	37.2086	-3.44444	460562.7	4117901.6	1050	95	3R	IGN	B	H	125	STS-2
ERIP	Rio piedras	37.3761	-7.02555	143507.6	4144000.5	82	95	3R	IGN	B	H	125	STS-2
ERON	Agron	37.01799	-3.805	428388.7	4096967.1	1305	94	1R	IGN	S	H	50	L-4
EROQ	Roquetas	40.82316	0.40883	787485.4	4524508.5	284	87	3R	IGN	S	H	50	SS-1
ERUA	La Rua	42.39266	-7.14249	159009.1	4701478	431	87	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ESEL	Selva	39.76816	2.89433	1005012.5	4418465	231	88	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ETER	Terrades	42.3015	2.8555	982736.5	4699670.1	238	88	1R	IGN	S	H	50	SS-1
ETOR	Torete	40.81949	-2.05516	579681.5	4518936.3	1018	88	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EVAL	V. del Camino	37.58416	-6.44516	195769.2	4165055.7	295	85	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EVIA	Vianos	38.68499	-2.5025	543271	4281730.1	1142	85	1R	IGN	S	H	50	SS-1
EZAM	Zamans	42.14899	-8.69499	29365	4681827.6	398	86	1R	IGN	S	H	50	SS-1
GUD	Guadarrama	40.64316	-4.15366	402450.4	4499573.5	1268	84	1R	IGN	S	H	50	SS-1
PAB	San Pablo	39.5458	-4.3483	384145.6	4378005.7	925	92	3R	IGN/IRIS	B	H	20	STS-1
STS	Santiago	42.88599	-8.5525	46522.8	4762916.9	265	86	1R	IGN	S	H	50	SS-1

Atendiendo a su ubicación y fecha de instalación puede entenderse que es a partir del año 1985 cuando es posible realizar una apropiada ubicación de los terremotos con cierta confianza dentro del área de interés considerada para este estudio. Dicha área se encuentra delimitada por la siguientes coordenadas UTM:

Xmin: -263 695 Xmax: 1 347 356 Ymin: 3 561 905 Ymax: 5 172 956

Del conjunto resultante de sismos considerados a partir de 1985, que suponen un total de 11503 datos, se han seleccionado aquellos que se encuentran dentro de la mencionada ventana, resultando una base de 11008 datos. Para ello se han incluido en la mencionada base dos columnas adicionales con las coordenadas UTM X e Y de los epicentros. La extensión de esta área puede reconocerse en la figura 4-3, sobre la que además se han ubicado las estaciones sísmicas categorizadas por fecha de instalación.

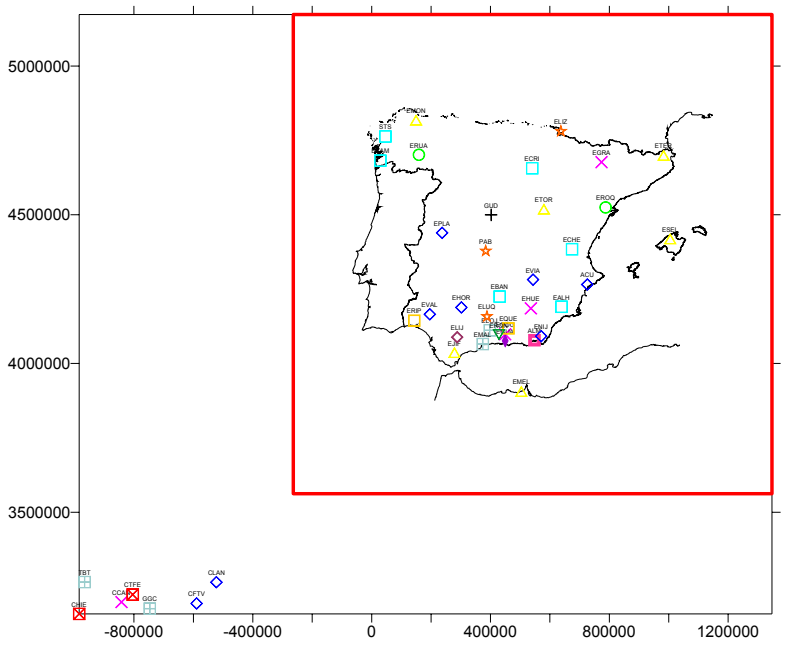


Figura 4-3: Extensión del área cubierta en el análisis (—).

De estos 11008 datos se suprimen tres que poseen una magnitud nula (campo M de la tabla 4-1 con valor 0), con lo que quedan 11005 datos. De éstos, no todos poseen información respecto al error de localización horizontal (ERH), al error de localización temporal (RMS), y a la magnitud, por lo que se han escogido sólo aquellos que poseen los tres campos

completos, dando lugar a un total de 10755 datos, que se representan junto con sus correspondientes magnitudesen la gráfica de la figura 4-4.

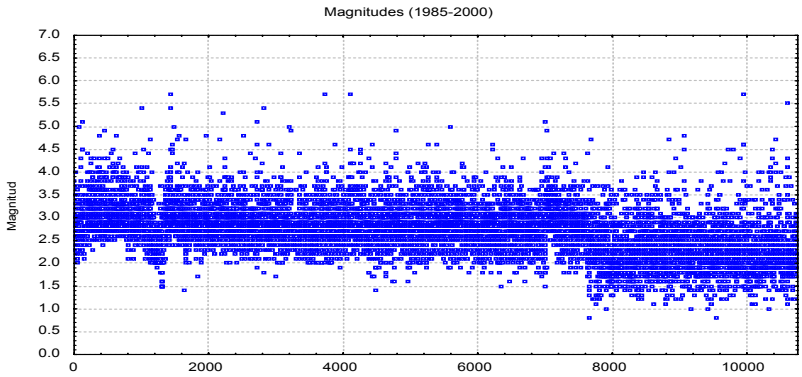


Figura 4-4: Distribución secuencial de los 10755 datos de magnitudes.

4.1.2 Análisis temporal de errores

En la figura 4-4 es posible apreciar un salto al principio del año 1997, que supone una disminución del límite inferior de detectabilidad de la magnitud de los terremotos, pasando de 2 – 2,5 antes de 1997, a 1 – 1,5 después de 1997. Se desestima la posibilidad de que la serie de magnitudes de los terremotos acaecidos en el área seleccionada posea una tendencia hacia presentar magnitudes más bajas con el tiempo.

Atendiendo al momento en que este salto ocurre es posible asociar el mismo al estado de recolocación de los sismos dado que es posible que sea este punto a partir del cual los datos no se encuentren reposicionados, con lo que errores tipo RMS y tipo ERH también se encontrarán afectados y por lo tanto este salto será reconocible. A partir de esta observación se definen dos periodos de estudio: 1985 – 1997 y 1997 – 2000.

4.1.3 Estudio del parámetro b de la ley de Gutemberg – Richter

Sobre la función de probabilidad empírica $F(M)$ = Prob[$M \leq m$], se estudia el comportamiento semilogarítmico que dicta la ley de Gutenberg - Richter:

$$Log\ N[M>m] \propto -bM \tag{4-1}$$

por lo tanto, si se verifican las relaciones entre el número de sismos con magnitud *M* mayor que una dada *m* y su probabilidad de ocurrencia:

$$N[M>m] \propto Prob[M>m] = 1 - Prob[M \leq m] \tag{4-2}$$

y que:

$$Log\ CF(M) = Log\ (1 - F(M)) = Log\ (1 - Prob[M \leq m]) \tag{4-3}$$

entonces puede decirse que:

$$Log\ CF(M) \propto Log\ N[M>m] \propto -bM \tag{4-4}$$

Es decir, la función complementaria de la de probabilidad empírica *CF(M),* se comporta como una función de potencia, con exponente *b*, de la magnitud *M*, ecuación (4-4).

Establecido esta relación analítica, es posible, a través de los estadísticos de la distribución de las magnitudes, determinar un estimador de la magnitud mínima, y del exponente *b* de la distribución. Para ello, tomando como parámetros de la función de distribución el exponente *b* y la magnitud mínima, *F(u)* es de la forma:

$$F(u) = 1 - \left(\frac{u_{min}}{u}\right)^b \tag{4-5}$$

habiendose aplicado en (4-5) el cambio $U = Log\ M$, donde *u* es la energía y u_{min} es la energía mínima, según la magnitud mínima $M_{min} > 0$ corresponde con el valor de $10^{U_{min}}$. Entonces la función de densidad de probabilidad *f(u)* de tipo hiperbólico, en función de los dos parámetros establecidos *b* y u_{min}, es:

$$f(u) = \frac{\partial F(u)}{\partial u} = \frac{b}{u}\left(\frac{u_{min}}{u}\right)^b \tag{4-6}$$

Si de ésta función de densidad se determinan sus momentos de primer y segundo orden respecto al origen, la esperanza será:

$$E[U] = \int uf(u)du = \frac{b}{b-1}u_{min} \tag{4-7}$$

y la varianza como momento de segundo orden de la distribución respecto a la media, puede escribirse en función del momento de segundo orden respecto al origen:

$$Var[U] = E[U^2] - (E[U])^2 = \int u^2 f(u)du - \left(\frac{b}{b-1}u_{min}\right)^2 = \frac{b}{b-2}\left(\frac{u_{min}}{b-1}\right)^2 \tag{4-8}$$

Ambos estimadores forman un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, b y u_{min}:

$$\mu = E[U] = \frac{b}{b-1}u_{min} \tag{4-9}$$

$$\sigma^2 = Var[U] = \frac{b}{b-2}\left(\frac{u_{min}}{b-1}\right)^2 \tag{4-10}$$

Y resolviendo dicho sistema, se llega a que:

$$u_{min} = \frac{b-1}{b}\mu \quad \rightarrow \quad M_{min} = 10^{X_{min}} \tag{4-11}$$

$$b = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2} \tag{4-12}$$

habiéndose tomado la parte positiva de la raíz ya que debe de ser $b > 1$ (condición de estacionariedad de primer orden), y siendo:

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} u_i \tag{4-13}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(u_i - \mu)^2 \qquad (4\text{-}14)$$

para una muestra de n logaritmos de magnitudes $\{u_i\}_{i=1}^{n} = \{LogM_i\}_{i=1}^{n}$

4.1.3.1 Estimación paramétrica de la ley de G-R

Como bien se sabe, la ley de Gutenberg-Richter(1941), introducida en el capítulo 2, presenta la relación magnitud-frecuencia encontrada sobre los eventos sísmicos registrados instrumentalmente, históricamente y paleosísmicamente. El comportamiento semilogarítmico que dicta la ley de Gutenberg-Richter, puede asociarse con la función de probabilidad empírica F(M) = Prob[M≤m], atendiendo a que:

$$\log N[M>m] \propto -bM \qquad (4\text{-}15)$$

por lo tanto, si se verifican las relaciones entre el número de sismos con magnitud M mayor que una dada m y su probabilidad de ocurrencia:

$$N[M>m] \propto Prob[M>m] = 1 - Prob[M\leq m] \qquad (4\text{-}16)$$

y que:

$$\log CF(M) = \log (1 - F(M)) = \log (1- Prob[M\leq m]) \qquad (4\text{-}17)$$

entonces puede decirse que:

$$\log CF(M) \propto \log N[M>m] \propto -bM \qquad (4\text{-}18)$$

Es decir, la función complementaria de la de probabilidad empírica *CF(M),* se comporta como una función de potencia, con exponente *b* (habitualmente constante), de la magnitud *M*, ecuación (4-18).

El comportamiento de la ley de G-R puede explicarse gracias a una simple consideración geométrica. Supóngase para ello una zona de tamaño Σ, en la que se producen *N[M]* terremotos de magnitud *M* sobre un área de fractura de tamaño S[M]. Como para una magnitud *M*, cuanto menor sea *S[M]* un mayor número de fracturas provocan los terremotos en la zona, parece razonable escribir que:

$$N[M]S[M] \propto \Sigma = cte \qquad (4\text{-}19)$$

y despejando:

$$\log N[M] \propto -\log S[M] \qquad (4\text{-}20)$$

y teniendo en cuenta la relación entre magnitud y superficie de fractura generadora del sismo:

$$\log S[M] \propto M \qquad (4\text{-}21)$$

luego:

$$\log N[M] \propto M \qquad (4\text{-}22)$$

con lo que cabe señalar que el valor de b debe de ser muy próximo a la unidad, si se compara (4-22) con (4-15). El tiempo de recurrencia de un terremoto de magnitud *M* es proporcional a N^{-1}, así $t \propto N^{-1} \propto S \propto L^2$. Esto implica que la tasa de algunos de los procesos asociados con los terremotos como puedan ser los desplazamientos o caídas de esfuerzos, es uniforme.

Establecida esta relación analítica, es posible, a través de los estadísticos de la distribución de las magnitudes, determinar un estimador de la magnitud mínima, y del exponente *b* de la distribución. Para ello, tomando como parámetros de la función de distribución el exponente *b* y la magnitud mínima, *F(u)* es de la forma:

$$F(u) = 1 - \left(\frac{u_{min}}{u}\right)^b \qquad (4\text{-}23)$$

habiéndose aplicado en (4-23) el cambio $M = log\ U$, según la magnitud *mínima* $M_{min} > 0$ corresponde con una energía disipada u_{min}, por el menor sismo proporcional al valor de $10^{M_{min}}$. Entonces la función de densidad de probabilidad $f(u)$ de tipo hiperbólico, en función de los dos parámetros establecidos b y u_{min}, es:

$$f(u) = \frac{\partial F(u)}{\partial u} = \frac{b}{u}\left(\frac{u_{min}}{u}\right)^{b} \qquad (4\text{-}24)$$

El cambio aplicado en (4-23) supone la existencia de una relación entre la magnitud y la energía total de la onda sísmica. Esta ha sido estudiada por muchos investigadores, entre otros Gutemberg y Richter (1956) y Bath (1958), de tal forma que tras una serie de revisiones de las conclusiones obtenidas en el primer trabajo, se llega a la expresión:

$$log\ \ u = 1{,}5\ M_S + 11{,}8 \qquad (4\text{-}25)$$

o bien:

$$log\ u = 2{,}4\ m_b + 5{,}8 \qquad (4\text{-}26)$$

según el trabajo de Bath, que es muy semejante a la primera. Aunque estas relaciones son absolutamente empíricas, y basadas en la equivalencia o condición de semejanza por la que la densidad espectral energética (entendido como el espectro de densidad de varianza o de frecuencias de los trenes de ondas superficiales producidos en un terremoto) hasta el periodo de 20 *s* puede representar todo el espectro, o al menos la integral del espectro. Tanto una como otra relación implican que, aproximadamente, se verifica:

$$u \propto 10^{1.5 M_s} \qquad (4\text{-}27)$$

La relación empírica presentada puede ser deducida analíticamente basándose en el modelo de dislocación simple mostrado en Haskell (1964), sobre el que se aplican las condiciones de semejanza en la fractura que se mueve. Esto es, suponiendo que son constantes su ratio de aspecto ($w/L = cte._1$) razonable para la mayoría de los terremotos, su ratio de caída de tensión ($\delta/L = cte._2$) válido para la mayoría de los grandes terremotos, y su semejanza dinámica que

implica un esfuerzo efectivo constante ($vt/L = cte._3$); para una fractura de longitud L, anchura w, y que tras el sismo se ha desplazado una distancia δ, en un tiempo t, luego según una velocidad v; entonces se puede afirmar que:

$$u \propto L^3 \tag{4-28}$$

Expresión que se conoce como ley de autosemejanza o ley de Aki (Aki,1981). Si además resulta que la relación para la magnitud con el tamaño de la fractura es:

$$M \propto \log L^2 \tag{4-29}$$

aunque se reconoce que $M \propto \log L^3$ para los terremotos muy pequeños, entonces se cumple la ecuación (4-27).

Señalar finalmente que se han propuesto y encontrado en la literatura otros modelos para definir la relación frecuencia-magnitud, que en suma lo que tratan es de recoger con mayor precisión el hecho de que los terremotos menos frecuentes y de mayor magnitud generan una deformación no lineal en el diagrama de log frecuencia vs. magnitud. En definitiva, se han propuesto muchos modelos que tratan de corregir la considerable desviación encontrada en muchos sobre los gráficos semilogarítmicos. Los modelos encontrados pueden clasificarse en dos tipos fundamentales: aquellos que muestran una relación de tipo cóncava ($\eta > 2$); y aquellos para los que la relación es de tipo convexa ($\eta < 2$) (ver figura 4-5).

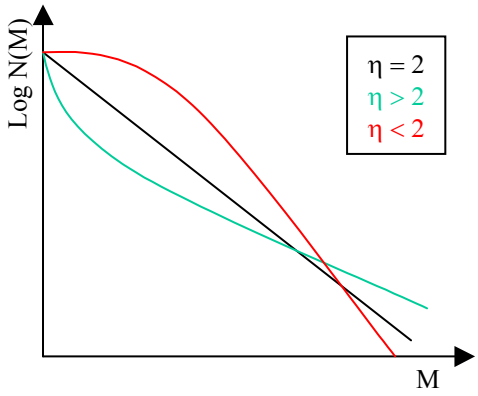


Figura 4-5: Diagrama de las posibles funciones cóncavas, convexas o lineales, que definen la relación semilogarítmica de frecuencia-magnitud.

Se define el valor de η, según Utsu (1978), por el cociente entre la esperanza de las diferencias cuadráticas entre las magnitudes y la magnitud umbral M_{min}, y la esperanza al cuadrado de estas diferencias:

$$\eta = E[X^2] / E[X]^2 \quad ; \quad X = M - M_{min} \tag{4-30}$$

En el caso de la ley de G-R es fácil comprobar que el valor de η = 1.

Una recopilación extensa y reciente de las aproximaciones históricamente propuestas a esta relación puede encontrarse en Utsu (1999).

4.1.3.2 Método de los momentos (MOM)

Si de la función de densidad se determinan sus momentos de primer y segundo orden respecto al origen, la esperanza será:

$$E[U] = \int u f(u) du = \frac{b}{b-1} u_{min} \tag{4-31}$$

y la varianza como momento de segundo orden de la distribución respecto a la media, puede escribirse en función del momento de segundo orden respecto al origen:

$$Var[U] = E[U^2] - (E[U])^2 = \int u^2 f(u) du - \left(\frac{b}{b-1} u_{min}\right)^2 = \frac{b}{b-2}\left(\frac{u_{min}}{b-1}\right)^2 \tag{4-32}$$

Ambos estimadores forman un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, b y u_{min}:

$$\mu = E[U] = \frac{b}{b-1} u_{min} \tag{4-33}$$

$$\sigma^2 = Var[U] = \frac{b}{b-2}\left(\frac{u_{min}}{b-1}\right)^2 \tag{4-34}$$

Y resolviendo dicho sistema, se llega a que:

$$u_{min} = \frac{b-1}{b}\mu \quad \rightarrow \quad m_{bmin} = (\log u_{min} + 1{,}2)/2{,}4 \tag{4-35}$$

$$b = 1 + \sqrt{1 + \left(\frac{\mu}{\sigma}\right)^2} \tag{4-36}$$

habiéndose tomado la parte positiva de la raíz ya que debe de ser b > 2 (condición de estacionariedad de segundo orden), y siendo:

$$\mu = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} u_i \tag{4-37}$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (u_i - \mu)^2 \tag{4-38}$$

para una muestra de n magnitudes $\{1.5M_i + 12\}_{i=1}^{n} = \{\log u_i\}_{i=1}^{n}$, relacionadas con la energía disipada u_i en cada i-ésimo evento.

El valor del exponente b que se estima con la expresión (4-36) es una primera aproximación obtenida a partir de los estadísticos de la muestra (4-37) y (4-38). En el caso de que los datos procedan de un sistema sísmico, que se distribuye en magnitudes según la ley de G-R y, habida cuenta de que es ampliamente reconocido, los valores habituales del parámetro b se encuentran en el intervalo [0,75,1,5], es decir, valores próximos a la unidad. De esta forma, ya sea en los casos más extremos como en los habituales, y salvo en casos excepcionales de fenómenos volcánicos, no es posible aplicar el método de los momentos ya que la ecuación (4-34) proporcionaría un valor de la varianza de la energía negativa, lo cual no es ni estadística ni físicamente plausible.

4.1.3.3 Método de máxima verosimilitud (MLM)

La utilización del método de máxima verosimilitud para determinar los parámetros de la ley de G-R de distribución de frecuencias de terremotos precisa de la construcción de la función de verosimilitud que, por definición, es:

$$L(u_i;u_{min},b)=\prod_{i=1}^{n} f(u_i) \tag{4-39}$$

Sustituyendo la función de densidad de probabilidad (4-25) para un conjunto de n datos de energía liberada en el proceso sísmico (o momento sísmico) u_i, relacionada con la magnitud del evento mediante la expresión (4-28):

$$L(u_i;u_{min},b)=\prod_{i=1}^{n}\frac{b}{u_i}\left(\frac{u_{min}}{u_i}\right)^b \tag{4-40}$$

Habitualmente, y por motivos que facilitan en cálculo, suele tomarse el logaritmo de esta función de verosimilitud (hecho que facilita el tratamiento de las derivadas), con lo que:

$$\log L(u_i;u_{min},b)=\log\prod_{i=1}^{n}\frac{b}{u_i}\left(\frac{u_{min}}{u_i}\right)^b=\sum_{i=1}^{n}\log\left[\frac{b}{u_i}\left(\frac{u_{min}}{u_i}\right)^b\right] \tag{4-41}$$

A partir de la función logaritmo de la verosimilitud, se estiman los parámetros derivando (4-41) respecto a cada uno de ellos e igualando a cero. Así, derivando respecto a *b*:

$$\begin{gathered}\frac{\partial \log L(u_i;u_{min},b)}{\partial b}=0\\ \sum_{i=1}^{n}\frac{\partial}{\partial b}\left[\log\left(\frac{b}{u_i}\left(\frac{u_{min}}{u_i}\right)^b\right)\right]=\sum_{i=1}^{n}\frac{1+b\log\left(\frac{u_{min}}{u_i}\right)}{b}=\frac{n}{b}+\sum_{i=1}^{n}\log\left(\frac{u_{min}}{u_i}\right)=0\end{gathered} \tag{4-42}$$

despejando el parámetro:

$$b = -\frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \log \frac{u_{min}}{u_i}} \tag{4-43}$$

Expresión que puede ser transformada a otra más asequible de utilizar, teniendo en cuenta la información que habitualmente proporcionan las bases de datos sísmicas (y en concreto la del IGN). Para ello, operando:

$$b = \frac{n}{\sum_{i=1}^{n} \log u_i - \sum_{i=1}^{n} \log u_{min}} = \frac{1}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} \log u_i - \log u_{min}} = \frac{0{,}666}{E[M_s] - M_{smin}} \tag{4-44}$$

donde se ha llamado magnitud promedio a la esperanza E[M], y se ha aplicado la relación (4-28).

Ahora, derivando respecto a u_{min}, e igualando a cero:

$$\begin{gathered} \frac{\partial \log L(u_i; u_{min}, b)}{\partial u_{min}} = 0 \\ \sum_{i=1}^{n} \frac{\partial}{\partial u_{min}} \left[\log \left(\frac{b}{u_i} \left(\frac{u_{min}}{u_i} \right)^b \right) \right] = \sum_{i=1}^{n} \frac{b}{u_{min}} = n \frac{b}{u_{min}} = 0 \end{gathered} \tag{4-45}$$

Como puede apreciarse se llega a que:

$$\frac{nb}{u_{min}} = 0 \tag{4-46}$$

Donde ni n ni b son nulos, lo que presenta un inconveniente que la máxima verosimilitud no salva. Para ello es preciso acudir a la teoría de estadísticos ordenados, que nos permitirá estimar un valor de u_{min}. De ésta se obtiene que:

$$u_{min} = \min_{i=1,n} \{u_i\} \tag{4-47}$$

Es decir, el mínimo de los momentos sísmicos registrados, o lo que es lo mismo, la estimación de la magnitud mínima resulta ser la menor de las registradas:

$$M_{min} = \min_{i=1,n}\{M_i\} \tag{4-48}$$

habida cuenta del carácter no decreciente de la transformación logarítmica de (4-28).

4.1.3.4 Método de mínimos cuadrados (MSM)

La tercera posibilidad que se plantea es aproximar el parámetro *b* de la ley de G-R mediante el método de mínimos cuadrados lineales, o lo que es más concretamente mediante una regresión lineal simple. Para ello se propone un modelo del tipo:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x \tag{4-49}$$

Del que se supone que la distribución de cada uno de los estimadores de los coeficientes es normal y de media el valor del parámetro. Suponiendo que se establece la equivalencia entre la ley del G-R y el modelo (4-49) propuesto, entonces el valor de:

$$\begin{aligned} y &\equiv \log N[M>m] \\ \beta_1 &\equiv -b \\ x &\equiv M \end{aligned} \tag{4-50}$$

por lo que se parte de una situación en la que se dispone de parejas de valores (x_i,y_i), o lo que es lo mismo, se ha determinado el diagrama de frecuencia-magnitud por puntos (log $N[M>m]_i$,M_i), del que se desea saber si poseen una relación lineal y con que grado de significación; y en caso afirmativo estimar el valor del parámetro *b*.

A continuación se establece el contraste o test de hipótesis, que no solo establece si es posible aceptar dicha relación lineal, sino con qué grado de certidumbre o significación α:

$$\begin{cases} H_0 : \beta_1 = 0 \\ H_1 : \beta_1 \neq 0 \end{cases} \leftrightarrow \begin{cases} H_0 : b = 0 \\ H_1 : b \neq 0 \end{cases} \tag{4-51}$$

Para el conjunto de k datos disponibles, se calculan sus estadísticos de primer y segundo orden (media y varianza) y coeficiente r de correlación:

$$\begin{aligned} \overline{M} &= k^{-1} \sum_{i=1}^{k} M_i \\ \overline{N} &= k^{-1} \sum_{i=1}^{k} \log N[M > m]_i \end{aligned} \tag{4-52}$$

$$\begin{aligned} s_{MN}^2 &= k^{-1} \sum_{i=1}^{k} (M_i - \overline{M})(\log N[M > m] - \overline{N}) \\ s_M^2 &= k^{-1} \sum_{i=1}^{k} (M_i - \overline{M})^2 \\ s_N^2 &= k^{-1} \sum_{i=1}^{k} (\log N[M > m] - \overline{N})^2 \end{aligned} \tag{4-53}$$

$$r = \frac{s_{MN}^2}{s_M s_N} \tag{4-54}$$

con los que se calcula el estadístico t del test de contraste:

$$t = \frac{r\sqrt{k-2}}{\sqrt{1-r^2}} \sim t_{k-2} \tag{4-55}$$

cuya distribución es una t-Student de *k-2* grados de libertad. Si tras la evaluación del contraste resulta que:

$$|t| > t_{\alpha/2,k-2} \tag{4-56}$$

Entonces se rechaza H_0 para un 1 - α de confianza (ver figura 4-6). Al haberse aceptado la hipótesis H_1, el valor del parámetro b estimado se obtiene a partir de:

$$b = \frac{s_{MN}^2}{s_M^2} = r\frac{s_N}{s_M} \tag{4-57}$$

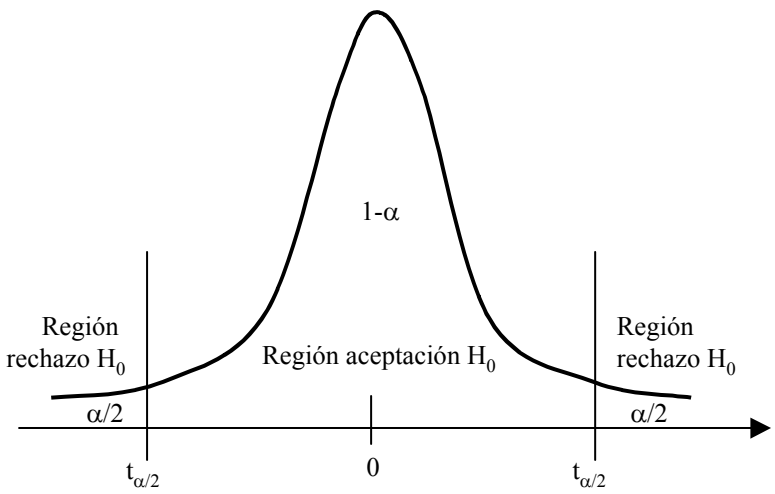


Figura 4-6: Distribución t-Student y zonas de aceptación y rechazo de H_0 para un grado α de significación.

Con lo que el valor del estadístico esta relacionado con el estimador de b mediante:

$$t = \frac{b}{s_R / \sqrt{n} s_M} \tag{4-58}$$

para una varianza residual de:

$$s_R^2 = (1 - r^2)\frac{n}{n-2}s_N^2 \tag{4-59}$$

El contraste puede simplificarse comprobándose si el valor absoluto:

$$|r| > \frac{2}{\sqrt{n}} \tag{4-60}$$

entonces la relación es significativa.

4.1.3.5 Estimación paramétrica sobre la base de datos del IGN

El valor del exponente b que se estima con la expresión (4-57) es una primera aproximación obtenida a partir de los estadísticos de la muestra (4-52) y (4-53). De esta forma se han ajustado las correspondientes leyes de G - R hasta el valor que marca la magnitud mínima (4-48) hasta la cual la distribución de los valores es de tipo hiperbólico, para cada uno de los periodos reconocidos:

Sobre los 10755 datos del año 1985 al 2000 (figura 4-7 ○)

Parámetros del ajuste: M_{min} = 2,25, b = 1,11±0,013,

ρ = 0,9977±0,011, D-W = 0,329

Sobre los 7659 datos del año 1985 al 1997 (figura 4-7 □)

Parámetros del ajuste: M_{min} = 2,47, b = 1,12±0,011,

ρ = 0,9984±0,010, D-W = 0,781

Sobre los 3097 datos del año 1997 al 2000 (figura 4-7 ◆)

Parámetros del ajuste: M_{min} = 1,88, b = 0,97±0,016,

ρ = 0,9952±0,016, D-W = 0,502

Claramente se observa una diferencia apreciable entre los comportamientos registrados, lo que supone que al disminuir el parámetro *b* aumenta la relación del número de terremotos grandes respecto al número de pequeños.

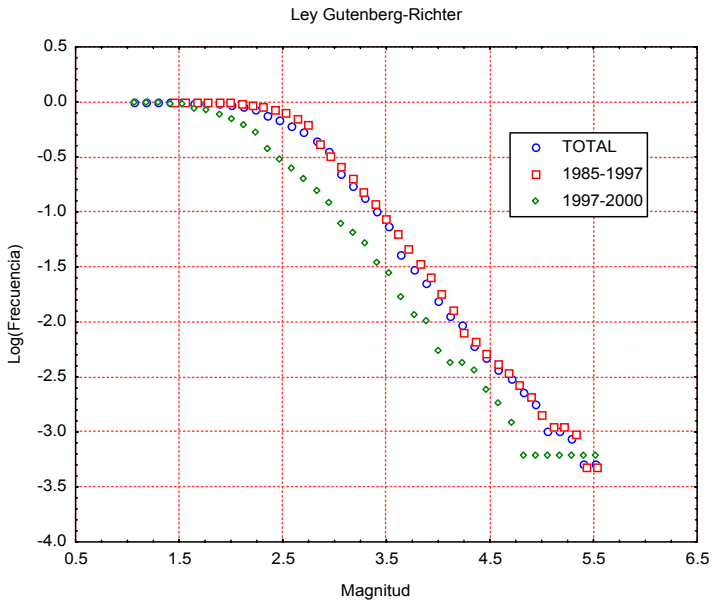


Figura 4-7: Ajustes de la ley de G-R, a los 10755 datos preseleccionados.

De los resultados obtenidos sobre la magnitud mínima para cada tramo se tomará el promedio de las mismas como magnitud de corte a partir de la cual, dado que los datos son insuficientes, según los estadísticos de la muestra, éstos no se comportan según la ley de G - R. Este valor es una magnitud de 2,2.

4.1.4 Estudio del comportamiento de los errores RMS y ERH

Se presenta en las figuras 4-8 a y b los datos de errores de localización para los 10755 antes seleccionados, con la intención de realizar un análisis más profundo sobre ellos.

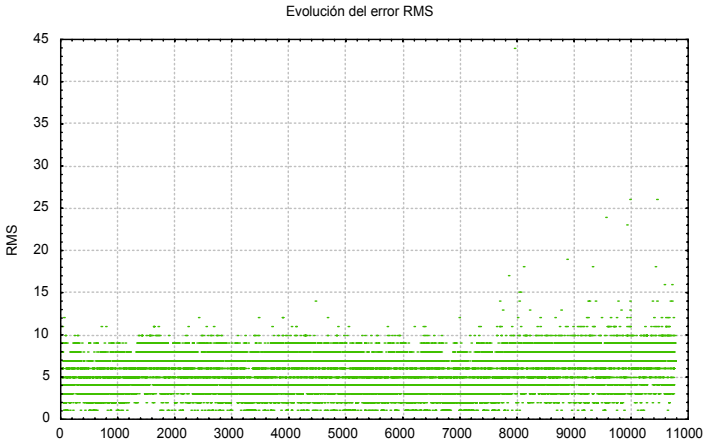


Figura 4-8a: Evolución temporal de los errores RMS para los 10755 datos.

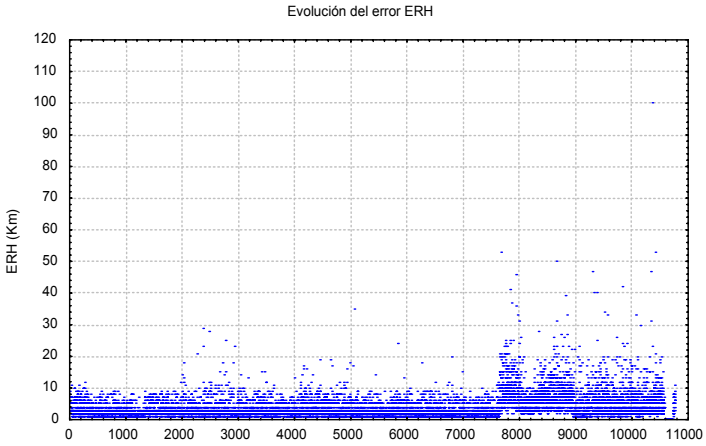


Figura 4-8b: Evolución temporal de los errores ERH para los 10755 datos.

Se observa que si bien el comportamiento de los errores temporales RMS es muy semejante en los dos períodos considerados, no ocurre así para los errores espaciales ERH. Esta afirmación puede corroborarse si se interpretan los estadísticos correspondientes a cada error, comparándose un período con otro (tabla 4-3). El uso de estos estadísticos solo pretende dar una idea de cómo las correspondientes funciones de distribución sufren un desplazamiento hacia valores superiores de la variable aleatoria cuando se pasa del primer período al siguiente, lo que permite poner en evidencia la peor calidad de los datos durante esta segunda época. Este hecho supondrá un detrimento en el número final de sismos considerados como útiles durante el tramo 1997 - 2000 ya que muchos de ellos (en proporción comparativa al tramo 1995 - 1997), están recogidos con unos errores superiores a los admisibles.

A propósito del ERH y, en primer lugar, con respecto a los valores de la media, comparativamente con la global (de 1985 al 2000) son mucho más próximos a éste durante el primer período que durante el segundo, que aún siendo más corto (y con menos datos) su media aumenta considerablemente. Además este hecho se refleja en la mediana, dado que el rango de valores ha aumentado de un valor de 53 Km hasta un valor de 100 Km, con una dispersión en los valores más que considerable frente al período anterior. El sesgo de la función de distribución es un indicador de la asimetría de la misma. Si se analiza este parámetro sobre las funciones de distribución obtenidas se puede afirmar que tanto la moda como los valores para el período 1997-2000 aumentan, extendiéndose la cola de la distribución hacia valores mayores. De esta forma, al desplazarse la moda hacia valores más altos, la asimetría debe disminuir, como efectivamente ocurre de un período a otro en el ERH, reduciéndose el valor del sesgo.

Tabla 4-3: Estadísticos muestrales sobre la distribución de ERH y RMS para diferentes ventanas temporales. Elaboración Propia.

Estadístico	RMS (s)			ERH (km)		
	1985-2000	1985-1997	1997-2000	1985-2000	1985-1997	1997-2000
Media	5.64	5.29	6.52	3.96	2.99	6.37
Mediana	6	5	7	3	2	5
Mínimo	0	0	0	0	0	0
Máximo	44	14	44	100	53	100
Varianza	5.26	4.46	6.15	14.99	5.36	30.64
Des. Std.	2.29	2.11	2.48	3.87	2.31	5.53
Sesgo	0.81±0.023	0.06±0.027	1.80±0.043	4.73±0.023	4.15±0.027	3.72±0.043
Kurtosis	8.93±0.04	-0.45±0.05	20.57±0.08	56.57±0.04	45.86±0.05	35.65±0.08

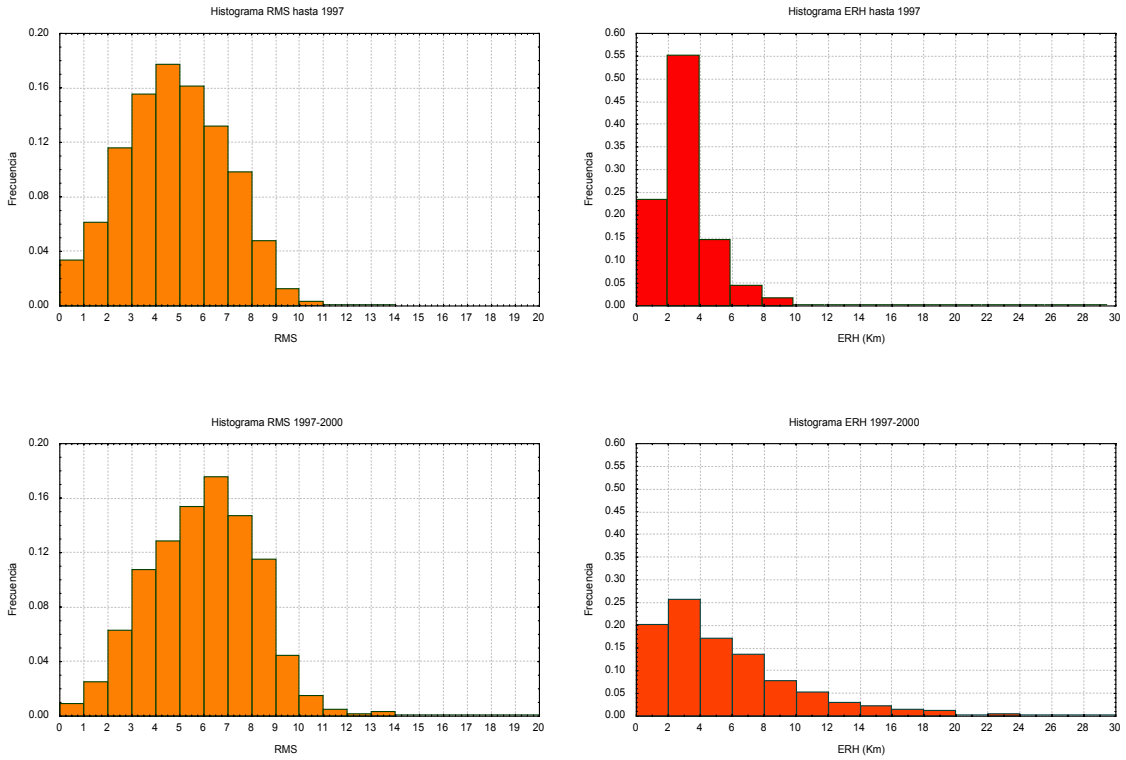


Figura 4-9: Estimadores de las funciones de densidad de probabilidad para los errores RMS y ERH sobre los dos períodos considerados.

A la vista de estos resultados estadísticos se sugiere que se restrinjan los valores de ERH a un valor máximo de 10 Km, valor para el cual una gran parte de los datos del período 1985 – 1997 se encuentran, y se eliminarán aquellos que en el período siguiente poseen un error de localización considerable.

4.1.4.1 Estudio de la correlación y distribución de RMS y ERH con la magnitud

Se entiende que bajo las mismas condiciones una estación detecta mejor un sismo cuanto mayor sea su magnitud, lo cual traducido a toda la red puede suponer que aquellos terremotos de baja magnitud posean un error de localización elevado y recíprocamente. Para aseverar esta afirmación se presenta un estudio breve sobre las correlaciones univariantes entre los errores y las magnitudes de los 10755 terremotos.

a) b)

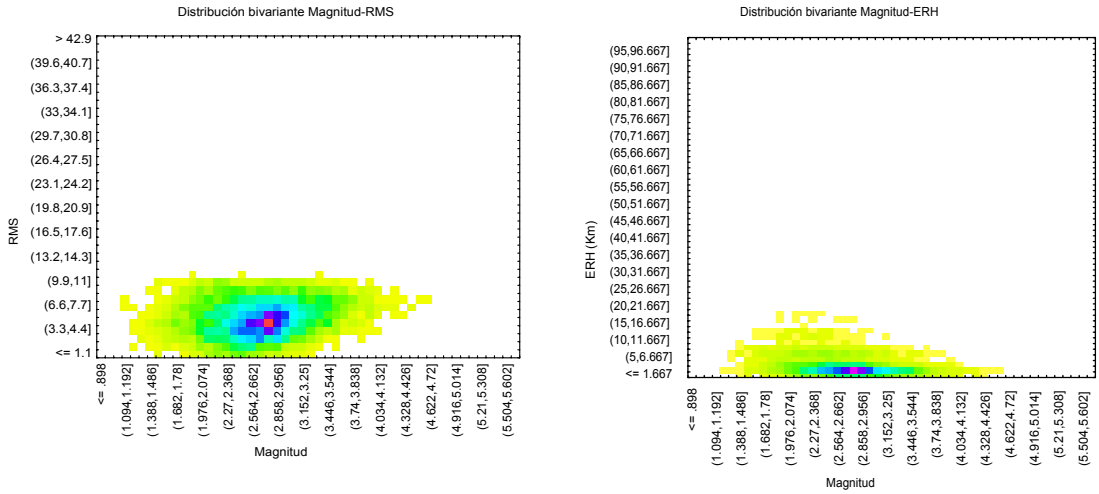


Figura 4-10: Distribuciones bivariantes entre, a) RMS y magnitud, b) ERH y magnitud.

Sobre la figura 4-10, se interpreta que si bien el comportamiento es como se ha mencionado, tal que las magnitudes bajas, en general alrededor de magnitudes entre 1.5 y 3 son las que poseen errores de localización más altos, centrándose la moda alrededor de 2.1 a 2.3. Por ello se considera que al hacer la eliminación de los datos con ERH > 10 Km, también se suprimirán aquellos cuya magnitud se encuentra por debajo de 2.2, con lo que los sismos más probables, los que se encuentran en las celdas rojas y azul oscuro, no son eliminados.

4.1.4.2 Criterios de filtrado según los errores

En función de los resultados obtenidos en los análisis precedentes se considera realizar un filtrado de los 10755 datos que forman la base entre 1985 y 2000 según:

Tomando aquellos cuya magnitud sea superior a 2.2
Tomando aquellos cuyo error de localización ERH sea inferior a 10 Km

4.1.5 Distribución útil de sismos

De esta forma la base que se configura como útil, para los propósitos marcados como objetivos de esta línea de investigación para el análisis de lineamientos, esta formada por un total de 8732 datos, cuya distribución de magnitudes en el tiempo se refleja en la figura 4-11. Las propiedades estadísticas de los errores asociados a los mismos se presentan en la tabla 4.
Los valores recogidos del parámetro b, de la ley de Gutenberg – Richter (4-1) se mantienen dentro de los valores apropiados para la sismicidad reconocida para el territorio español, comparativamente con los de la figura 4-7:

Sobre los 8732 datos del año 1985 al 2000 (figura 13LT ○)

Parametros del ajuste: M_{min} = 2,48, b = 1,14±0,013,

ρ = 0,9980±0,011, D-W = 0,390

Sobre los 7138 datos del año 1985 al 1997 (figura 13LT □)

Parametros del ajuste: M_{min} = 2,53, b = 1,17±0,013,

ρ = 0,9982±0,011, D-W = 0,747

Sobre los 1594 datos del año 1997 al 2000 (figura 13LT ◆)

Parametros del ajuste: M_{min} = 2,28, b = 1,01±0,022,

ρ = 0,9924±0,021, D-W = 0,334

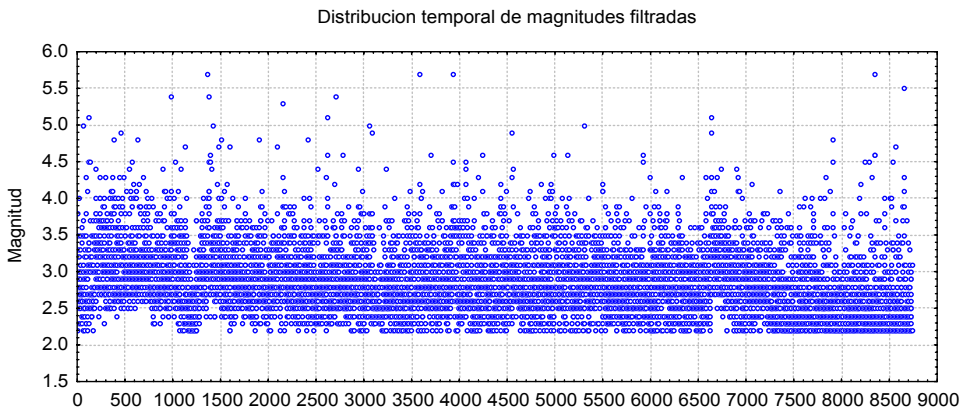


Figura 4-11: Distribución secuencial de los 8732 datos filtrados de magnitudes.

Los valores de magnitudes mínimas para cada período ahora se encuentran muy próximos entre sí, además de ser semejantes a los del filtro impuesto de 2,2. De manera semejante se comportan los valores del exponente *b* de la ley de G-R, haciéndose todos ellos muy próximos a 1,1, tras el filtrado.

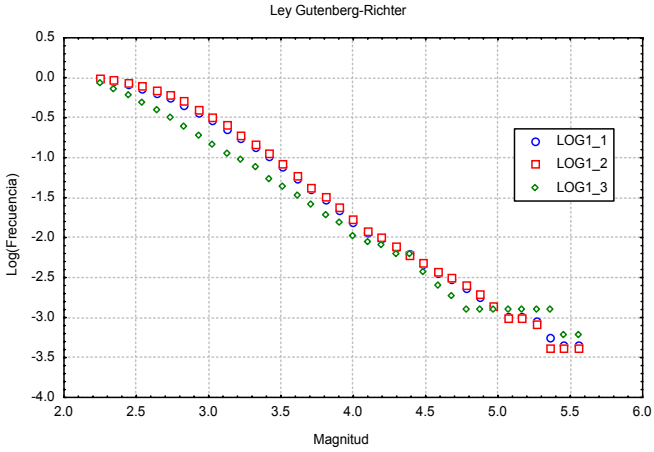
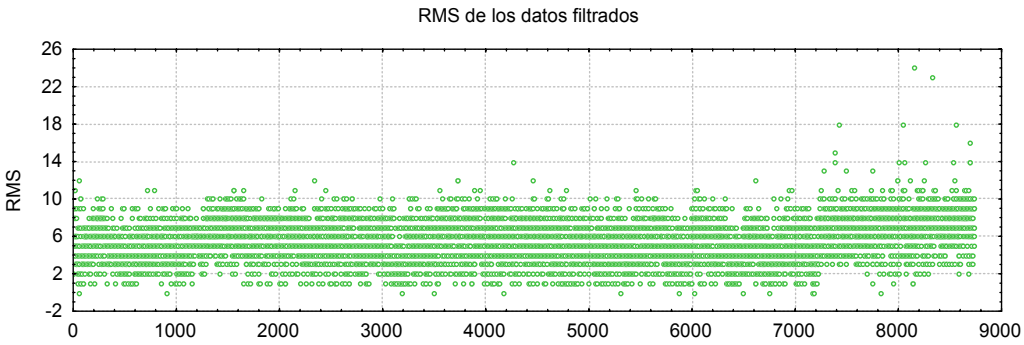


Figura 4-12: Ajustes de la ley de G-R, a los datos filtrados.

Sobre la figura 4-13 puede apreciarse como tras el filtrado se suprimen las partes horizontales que aportan poca frecuencia a la curva, para magnitudes muy bajas, y cómo se recuperan, en especial las frecuencias del tramo 1997 - 2000, aproximándose a la global.

A continuación se estudia el efecto producido por el filtrado sobre los errores asociados a la determinación de la posición del sismo, en cuanto a sus estadísticos univariantes.



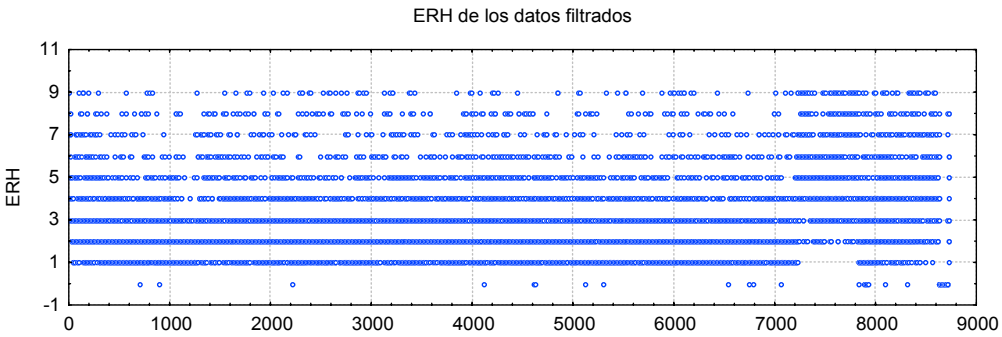


Figura 4-13: Series de los errores RMS y ERH tras el filtrado.

Cuyos histogramas (figura 4-14) pueden compararse con los de la figura 4-9, apreciándose cómo se reducen las extensiones de las colas en las funciones.

Tabla 4-4: Estadísticos univariantes de los errores RMS y ERH, según los períodos de muestreo, tras el filtrado propuesto.

Estadístico	RMS (s)			ERH (km)		
	1985-2000	1985-1997	1997-2000	1985-2000	1985-1997	1997-2000
Media	5.62	5.35	6.82	3.06	2.81	4.15
Mediana	6	5	7	3	2	4
Mínimo	0	0	0	0	0	0
Máximo	24	14	24	9	9	9
Varianza	4.85	4.37	5.23	3.82	3.06	5.70
Desv. Std.	2.20	2.09	2.29	1.95	1.75	2.38
Sesgo	0.24±0.026	0.04±0.028	0.62±0.061	1.12±0.026	1.35±0.028	0.24±0.061
Kurtosis	0.93±0.052	-0.46±0.057	4.34±0.122	0.77±0.052	1.68±0.058	-0.72±0.123

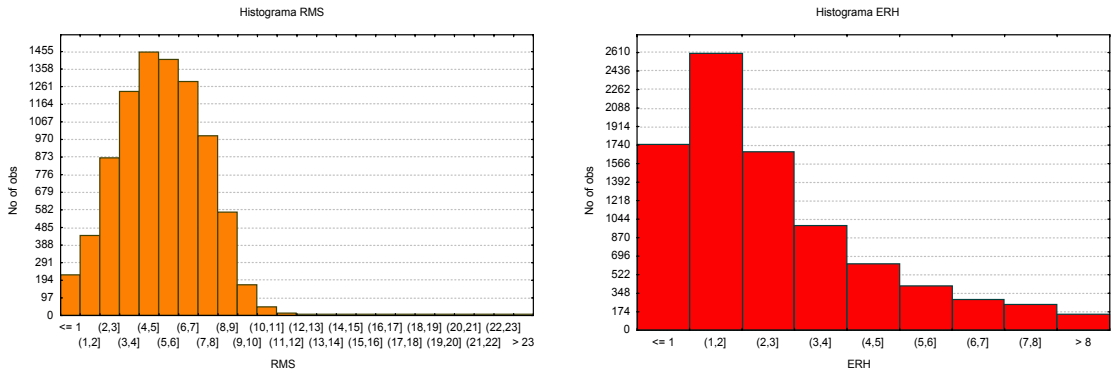


Figura 4-14: Estimadores de las funciones de densidad de probabilidad para los errores RMS y ERH sobre los dos períodos considerados, tras el filtrado.

4.1.6 Análisis espacial de errores: áreas de sombra

El análisis que a continuación se presenta no proporcionará información alguna sobre criterios adicionales para filtrar la base de datos. Si, por el contrario, permitirá identificar las áreas sobre las que, aún habiendo eliminado aquellos datos que daban lugar a valores anormalmente altos de ERH y que contribuyen a introducir ruido sobre la base neta, se mantienen con los valores más altos y próximos a los límites del filtrado.

Dichas regiones definen las zonas donde la red sísmica no identifica eficientemente los terremotos acaecidos. Se denominará pues a éstas áreas de sombra, o áreas no cubiertas eficientemente, siendo aquellas que se encuentran con valores altos de error antes del filtrado y con valores próximos al límite de filtrado después.

Para su obtención se define un criterio de operación booleana entre imágenes, cuyo resultado proporciona las regiones con valores comunes entre las imágenes. Se tratará entonces de una operación lógica de tipo .AND. entre los pixeles de cada imagen.

De esta forma si, para un punto, o pixel en particular, que posee un valor estandarizado alto de ERH, y además, para todo el período considerado de 1985 al 2000, y para cada período particular, de 1995 a 1997, y de 1997 a 2000, se encuentra en este pixel también una valor alto, entonces se define a éste como perteneciente a un área de sombra.

Así las cosas, las áreas que están en sombra para la red sísmica española del IGN son:

- Oeste de la Cordillera Cantabrica
- Costa de Cartagena y Murcia
- Golfo de Cádiz
- Costa de Lisboa (Portugal)
- Proximidades de Oporto (Portugal)
- Norte de Argelia
- Norte de Marruecos

Este análisis no tiene como objeto una depuración adicional de la base de datos disponible, sino que proporciona una herramienta para el control de la calidad de los datos obtenidos por

la red de detección, identificando las zonas que presentan valores elevados de ERH tanto antes como después del filtrado.

Es precisamente en esas zonas de ERH elevado (a las que denominaremos áreas de sombra) donde la red no detecta de forma adecuada la localización de los sismos, siendo por tanto estas áreas de sombra las que introducen mayor ruido en la localización espacial de los sismos.

Para determinar la situación de las áreas de sombra se necesita comparar datos de ERH, aquellas regiones que tengan valores de ERH altos tanto antes como después del filtrado, serán consideradas como áreas de sombra. Para llegar a obtener un mapa de áreas de sombra necesitamos partir de los mapas de ERH presentados en el pasado informe (primer trimestre del segundo año), si entre estos mapas efectuamos una operación lógica tipo AND, en el mapa resultante tendremos las áreas con valores de ERH siempre bajos o siempre elevados y por tanto tendremos identificadas las zonas de sombra.

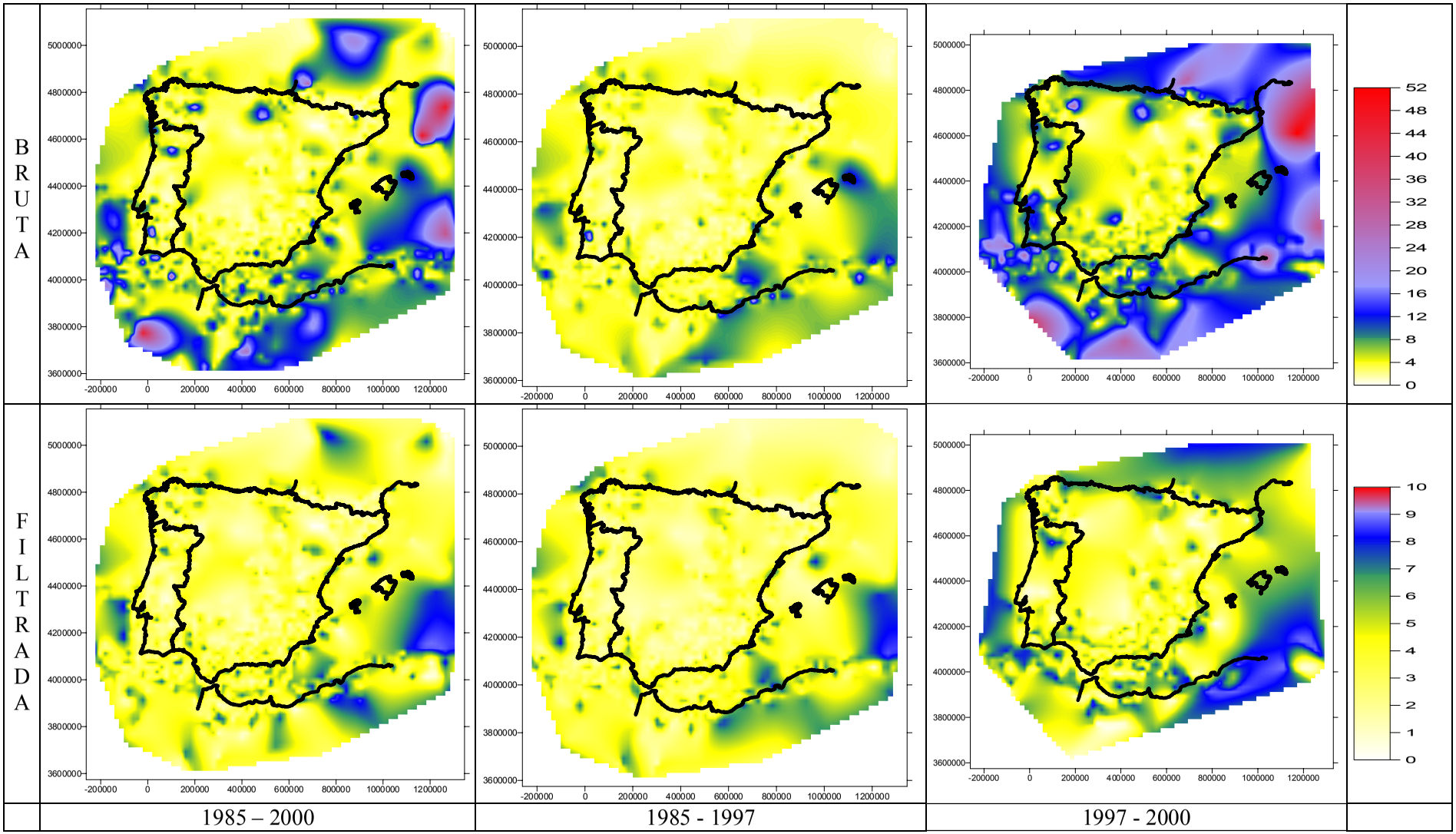


Figura 4-15:Variabilidad del error ERH antes y después del filtrado.

De forma más concreta, para la obtención de los mapas de sombra, se siguió el proceso descrito gráficamente en la figura 4-16, primero se estandarizaron los valores de ERH en cada uno de los seis mapas, para que los valores fueran comparables entre todos los mapas, a continuación se efectúo la operación AND con una tolerancia determinada, de manera que con un valor bajo de esta, sólo se aceptaran valores extremadamente parecidos de ERH con lo cual el mapa resultante reflejará solo las zonas de sombra más significativas, a medida que se aumenta la tolerancia irán apareciendo zonas de sombra menos severas.

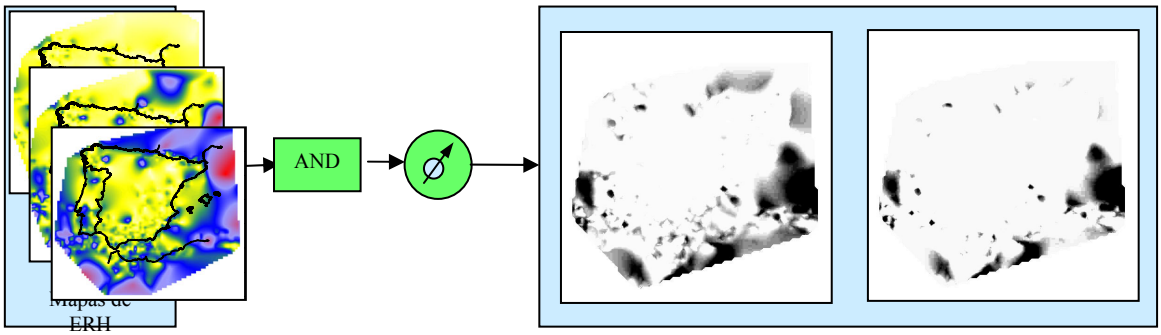
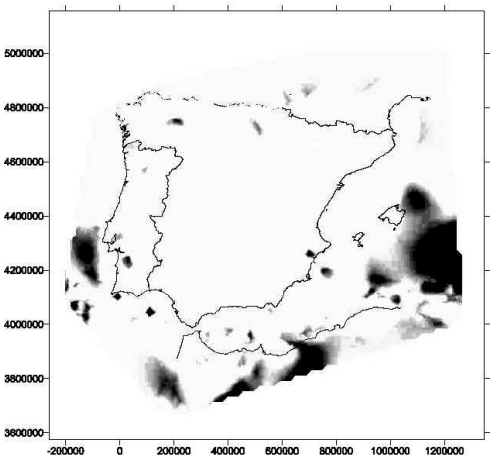


Figura 4-16: Procedimiento de obtención de las áreas de sombra mediante tratamiento de imagen.

Los resultados se presentan georeferenciados en las figuras 4-17a (para una baja tolerancia) y 4-17 b (para una alta tolerancia).

a)



b)

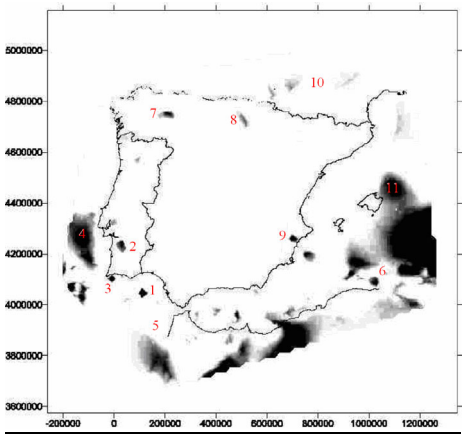


Figura 4-17: Resultado georeferenciado de las áreas de sombra para la base de datos del IGN filtrada.

Como se aprecia en las imágenes, hay zonas bastante extensas donde los terremotos están sistemáticamente mal localizados por una cobertura inadecuada de la red, las zonas donde hay áreas de sombra más significativas son tal y como se numeran en la figura 4-17 b son:

1) Golfo de Cádiz
2) Évora (Portugal)
3) Cabo de San Vicente
4) Costa de Lisboa
5) Norte y costa de Marruecos
6) Norte y costa de Argelia
7) Frontera Leon-Galicia
8) Norte de Burgos
9) Murcia
10) Norte de la frontera con Francia
11) Este y Sudeste de Mallorca

4.1.7 Definición del conjunto de datos útil

El conjunto de datos epicentrales a los que se ha aplicado la metodología descrita en los párrafos anteriores consta de 8732 sismos entre las fechas 07/01/1985 al 15/10/2000, con una magnitud m_b mínima de 2,2, siendo el parámetro b de ajuste de la ley de Gutenberg y Richter de 1,1 y con un error de localización en el plano (ERH) menor de 10 Km. Este procede de una base de 20235 datos proporcionada por el IGN, sobre la que se ha realizado un proceso de filtrado. Los criterios aplicados se resumen a continuación:

- Año igual o superior al 1985 y área de trabajo comprendida entre las coordenadas UTM Xmin: -263695, Xmax: 1347356, Ymin: 3561905, Ymax: 5172956: A partir del año 1985 cuando es posible realizar una apropiada ubicación de los terremotos con cierta confianza dentro del área de interés considerada para este estudio. Del conjunto resultante de sismos considerados a partir de 1985, que suponen un total de 11503 datos, se han seleccionado aquellos que se encuentran dentro de la mencionada ventana, resultando una base de 11008 datos. De estos 11008 datos se eligen aquellos que presentan todos los parámetros (campos de la base relevantes) completos, dando lugar a un total de 10755.

- Estudio del parámetro b de la ley de Gutenberg – Richter: Sobre la función de probabilidad empírica F(M) = Prob[M≤m], se estudia el comportamiento semilogarítmico que dicta la ley de Gutenberg - Richter: $Log\ N[M>m] \propto -bM$. De los resultados obtenidos

sobre la magnitud mínima para cada tramo se tomará el promedio de las mismas como magnitud de corte a partir de la cual, dado que los datos son insuficientes, según los estadísticos de la muestra, éstos no se comportan según la ley de G - R. Este valor es una magnitud de : 2,2

- Estudio del comportamiento de los errores RMS y ERH: Se observa que si bien el comportamiento de los errores temporales RMS es muy semejante en los dos períodos considerados, no ocurre así para los errores espaciales ERH. Esta afirmación puede corroborarse si se interpretan los estadísticos correspondientes a cada error, comparándose un período con otro. Según los estadísticos univariantes, y de las funciones de distribución se induce que los valores de ERH se limiten a un valor máximo de 10 Km, valor para el cual una gran parte de los datos del período 1985 – 1997 se encuentran, y se eliminarán aquellos que en el período siguiente poseen un error de localización considerable. Por ello se considera que al hacer la eliminación de los datos con ERH > 10 Km, también se suprimirán aquellos cuya magnitud se encuentra por debajo de 2,2.

Tras la aplicación de estos filtros, la distribución geométrica, georreferenciada sobre sistema de coordenadas UTM, de los sismos seleccionados se presenta en la Fig. 4-18.

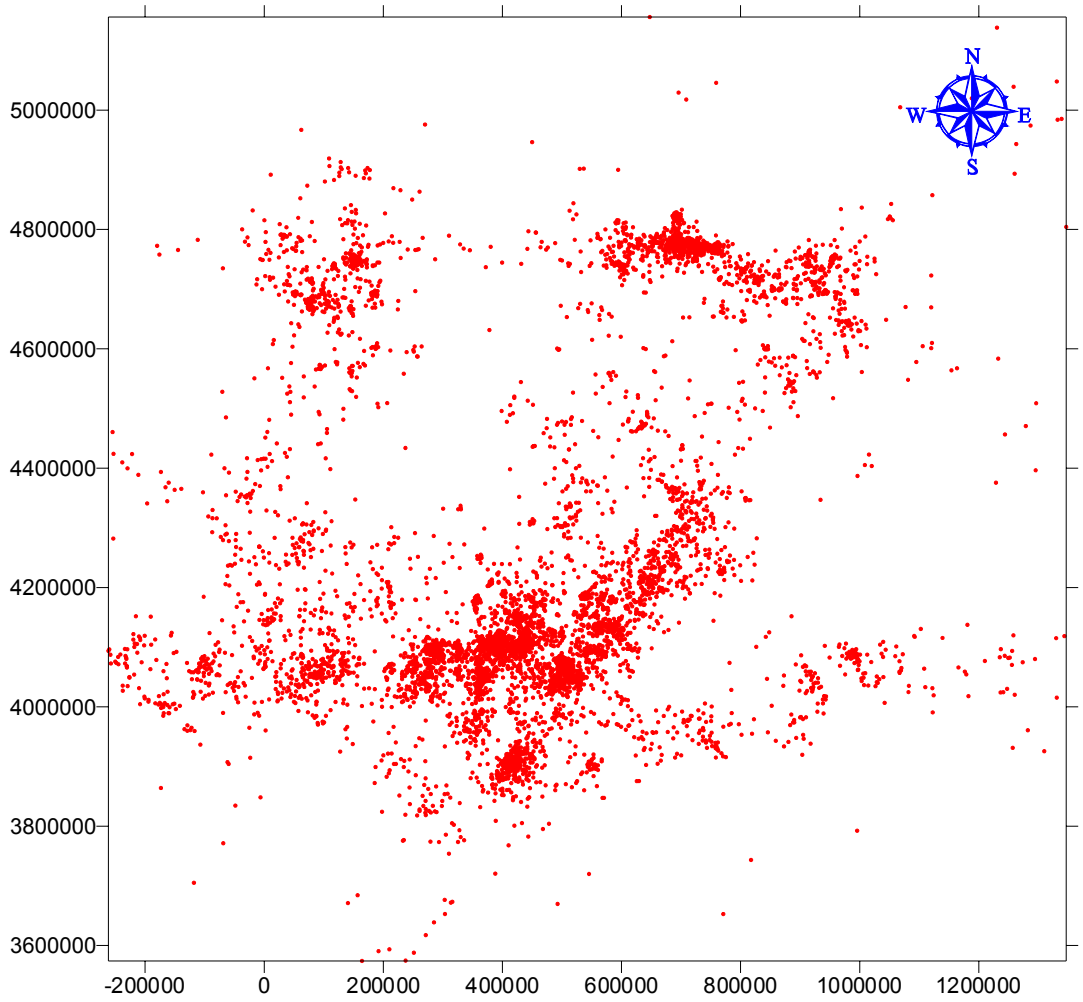


Figura 4-18: Conjunto de 8732 epicentros que constituyen la base filtrada y utilizada en los análisis coordenadas UTM en metros.

4.2 Análisis entrópico de la distribución de terremotos

En capítulos anteriores se ha desarrollado una técnica de análsisi que se basa en la teoría de información. Como vimos, esta técnica no solo permite extraer conclusiones acerca del comportamiento de la distribución analizada, sino que también permite obtener un valor concreto de escala optima de discrtetización.

La metodología anteriormente expuesta ha sido aplicada para determinar la escala óptima, en el sentido de la información, de muestreo de la distribución de sismos resultante de filtrar la base de datos del IGN. De esta forma es posible pasar de un campo estocástico de puntos

sobre el plano IR^2, a una función de medida (probabilística o no según se vio en el apartado 3.1) cuyo soporte sea el campo de epicentros.

Para ello, resumidamente, se realiza un estudio del comportamiento de la entropía de configuración según la escala de muestreo para detectar el máximo de la misma. Donde se encuentre dicho máximo se determina su correspondiente escala, que será la de máxima información y mínima redundancia.

4.2.1 Epicentros sin etiqueta

En primer lugar efectuaremos el estudio para la medida probabilística de ocurrencia de un terremoto sin tener en cuenta su tamaño. La escala obtenida para el campo de epicentros es de 19,21 Km aproximadamente, según se aprecia en la figura 4-18.

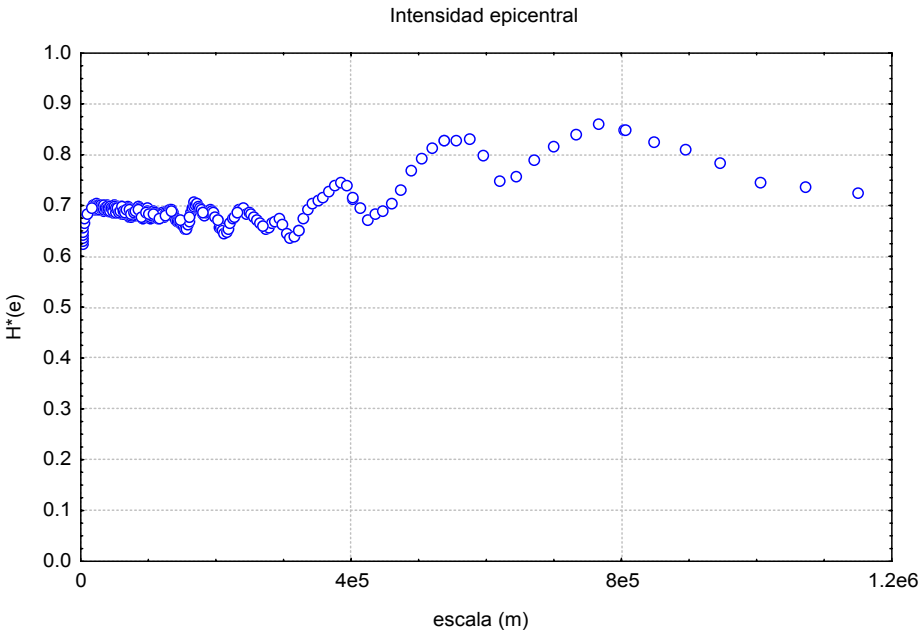


Figura 4-19: Entropía de configuración para el total de sismos considerados en función de la escala.

En la figura 4-20 se representa la densidad de sismos (en tanto por uno) a la escala de discrtetización antes obtenida.

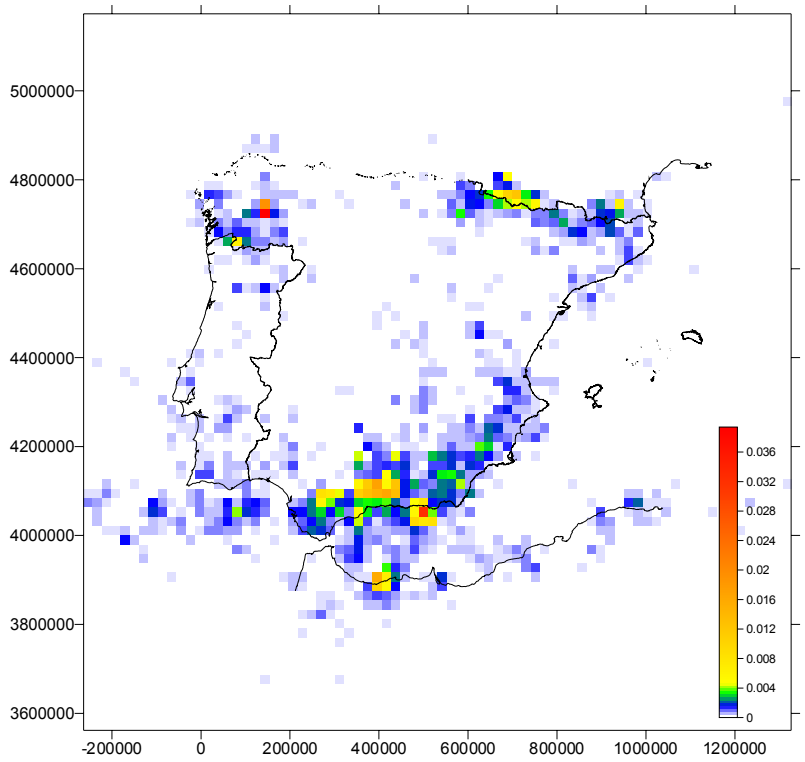


Figura 4-20: Distribución espacial de la medida intensidad sísmica discretizada a la escala que marca H*(ε), georreferenciadas según coordenadas UTM.

4.2.2 Epicentros con magmitud asociada

El mismo cálculo fue llevado a cabo con la medida de densidad energética definida en 3.1.1. Los resultados de la entropía de configuración en función de la escala se presentan en la figura 4-21.

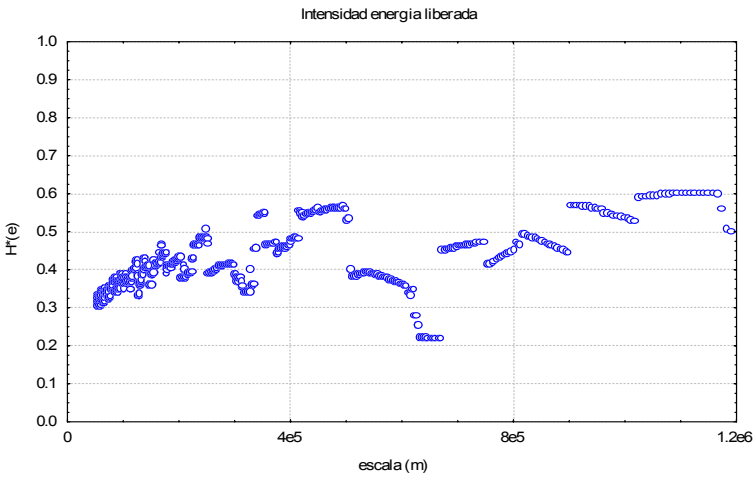


Figura 4-21: Entropía de configuración para la medida de soporte epicentral de densidad energética.

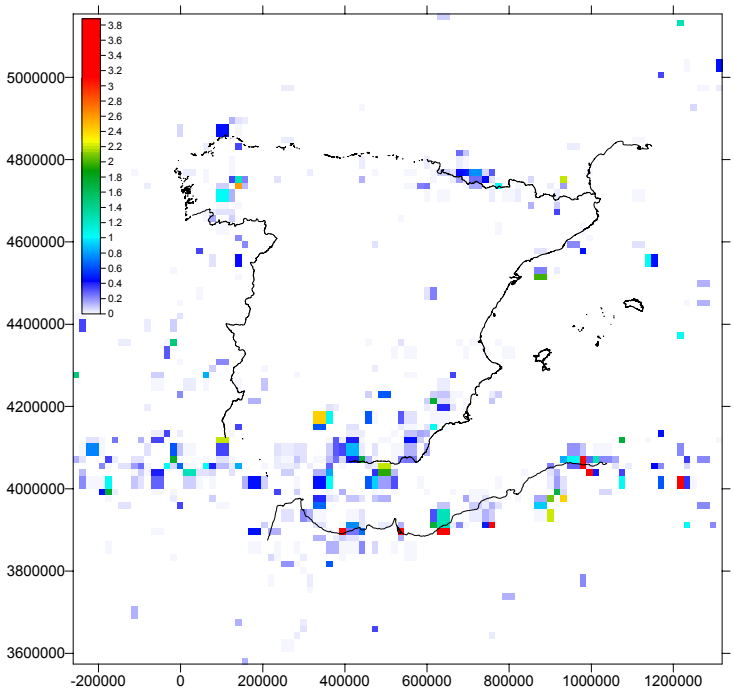


Figura 4-22: Distribución espacial de la medida densidad de energía sísmica discretizada a la escala que marca H*(ε).

Es sobre la entropía estándar calculada donde se determina que la escala de máxima información, donde se ubica el máximo según es a los 19,21 Km. aproximadamente para ambas medidas de soporte geométrico. Esta escala es utilizada a posteriori para el diseño del mapa (campo de la función estocástica o variable regionalizada) de intensidad de epicentros.

Señalar adicionalmente que los comportamientos estructurales oscilatorios, para el conjunto de escalas sobre las que se hace el cálculo, y que son fácilmente observables, son muy semejantes entre sí. Este hecho permite suponer que si bien la ubicación geométrica de los valores más elevados para ambas medidas, que corresponderían con una alta concentración de epicentros o con una elevada emisión de energía sísmica, respectivamente, no es la misma, la variabilidad espacial de cada una es muy semejante a la de la otra, en lo que a periodicidad respecta. Aunque, como se aprecia, si bien la regularidad del campo de intensidad epicentral es mayor como corresponde a una función de entropía de configuración contínua, no es así para la densidad de energía sísmica, que posee una función de entropía plagada de discontinuidades en forma de saltos finitos o, al menos, con un valor de las derivadas de la función muy altos, y que se refleja en la escasa regularidad de la distribución espacial de esta medida.

4.3 Análisis geoestadístico de las distribuciones discretizadas

Como se destacó en los objetivos del proyecto, hay muchas técnicas que deben aplicarse sobre un conjunto de datos distribuidos según un mallado, de ahí el interés del desarrollo de una técnica que permita escoger el mallado más adecuado.

Una de las técnicas de análisis que necesita de una distribución en malla de los datos es el análisis geoestadístico. Esta herramienta como hemos visto permite la detección de tendencias y anisotropías en los datos, cosa fundamental en el análisis de terremotos, que puede detectar lineamientos o direccionabilidad en los datos.

4.3.1 Distribución de intensidad epicentral

Sobre esta distribución se llevó a cabo un análisis correlatorio espectral geoestadístico, se calculó el variograma y el espectro de densidad de varianza multidimensional y el variograma total. Debe tenerse en cuenta que esta distribución es la distribución de medida en la que se discretizo el total de 8732 sismos en una distribución de probabilidad mediante la aplicación de una de las medidas anteriormente descritas sobre una malla de 19,21 km. Los resultados se presentan a continuación agrupados en la figura 4-23.

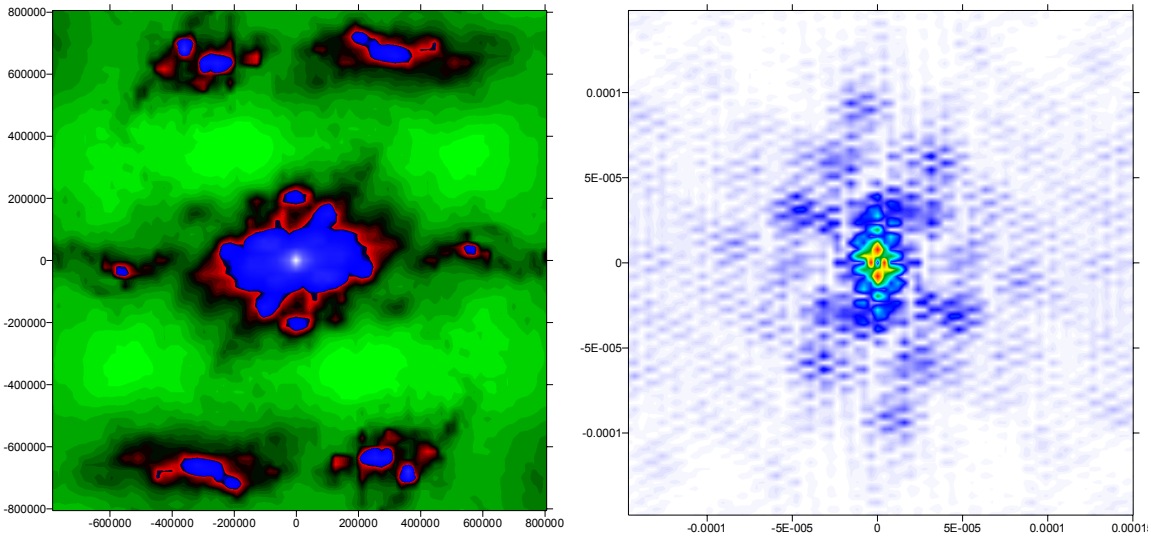


Figura 4-23: Análisis correlatorio espectral geoestadístico sobre la medida de intensidad sísmica. Variograma y espectro de densidad de varianza multidimensional.

4.3.2 Distribución de intensidad energética

Se efectuarán los mismos cálculos para la distribución de probabilidad obtenida de la aplicación de la medida de intensidad energética (véase capitulo 3), los resultados se presentan en las figura 4-24.

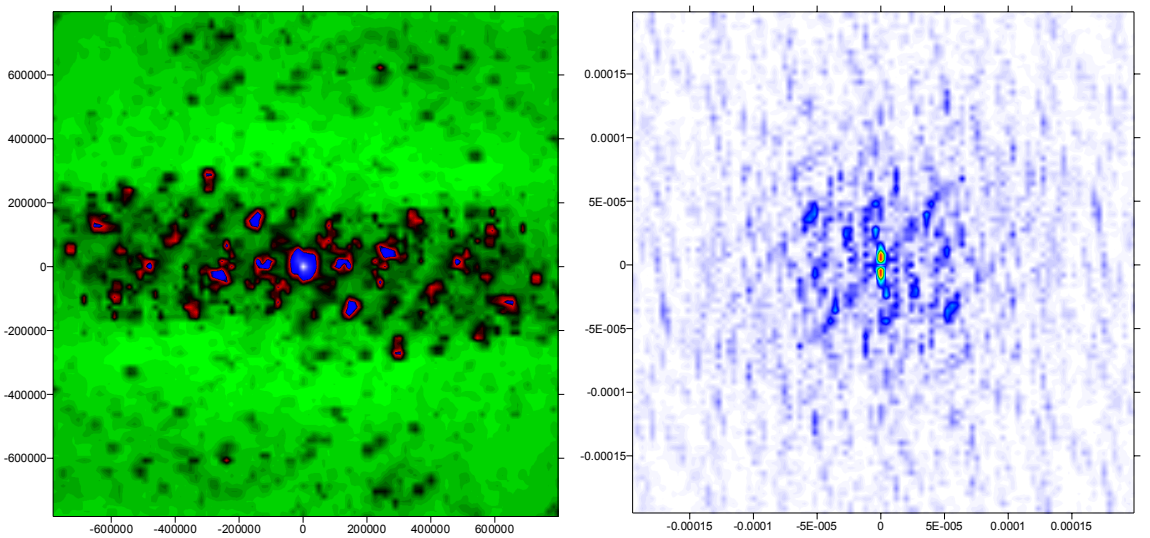


Figura 4-24: Variograma y espectro de densidad de varianza multidimensional.

4.3.3 Resultados del análisis geoestadístico al total de la base

Señalar de la revisión inicial de los resultados obtenidos que se obtienen sobre la medida de densidad epicentral:

- Como direcciones de anisotropía se detecta al superposición de dos procesos con características correlatorias diferentes. A saber, el primero con una dirección de máxima correlación a N105ºE, y con una correlación máxima de unos 210 a 220 Km. El segundo con una distancia de máxima correlación de 200 Km. en la dirección N20ºE, además presentando un efecto pozo o periodicidad a muy largo plazo.

- A mucho más corto plazo se detectan igualmente comportamientos periódicos en dirección N y en dirección N85ºE. Si bien el primero con una recurrencia de 270Km. el segundo con un longitud de onda mayor de unos 600 Km.

- De destacar igualmente dos pozos de varianza en direcciones N20ºE y N160ºE, ambas a una distancia de 600 Km. de espaciado.

- Los comportamientos periódicos son igualmente detectables sobre el espectro de densidad de varianza, en el que los picos en las amplitudes cuantifican la varianza aportada por cada una de ellas.

Para la densidad energética, se ha identificado un comportamiento en irregularidad de características generales muy semejantes, pero matizadas por la discontinuidad espacial de su variabilidad:

- Una anisotropía generalizada de las periodicidades dirección N105ºE, aunque éstas a más pequeña escala se reparten sobre la dirección próxima a los N45ºE.

- Todas ellas muestran una considerable reducción en la longitud de correlación, siendo ésta próxima a los 100 Km. o inferior.

- Son las periodicidades en la dirección N45ºE las que aparentemente aportan más varianza al campo estocástico de densidad energética.

Desde una perspectiva global cualitativa, el variograma muestra un máximo de varianza a los 400 Km de espaciado, para ambas medidas regionales, siendo de notable importancia el efecto pozo de varianza que se reconoce en la dirección N90º±10ºE para ambos campos.

5 APLICACIÓN SOBRE LINEAMIENTOS

En el presente capítulo se va a aplicar el análisis entrópico a ciertas bases de datos disponibles. Pretende demostrarse con esto la utilidad de la técnica expuesta no sólo para el análisis de terremotos sino también para otros tipos de datos, se extraerán asimismo conclusiones sobre los resultados obtenidos.

Se analizarán dos conjuntos de datos, uno procedente de la zona del Berrocal obtenidos a partir de los mapas disponibles del proyecto Hidrobap (Hidrobap, 2000), los otros son también de disposición pública y pertenecen al total de la península ibérica, proyecto (referencia)

5.1 Análisis sobre la base de datos del berrocal.

Sobre esta localización se dispone de tres conjuntos de datos: a escalas 1:500000, 1:10000 y otro a escala 1:2000.

Los conjuntos de datos se encontraban en sendos archivos ASCII organizados en cuatro columnas. La primera columna contiene la coordenada UTM X de inicio de una fractura, la segunda la coordenada UTM Y de inicio de la fractura; las dos siguientes columnas contienen las coordenadas de final de la misma fractura.

Una vez vista la tipología de los datos, se procede a describir su análisis. En primer lugar recordemos que para aplicar esta técnica, es necesario mallar el conjunto y sobre cada una de las celdas aplicar una medida de probabilidad para calcular la entropía asociada.

Para aclarar esto con un ejemplo, imaginemos que tenemos un capo de fracturas como el representado en 5-1 y que lo mallamos a la escala dibujada (tamaño 0,5).

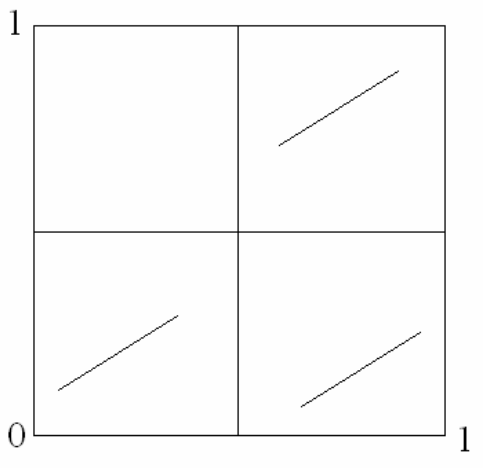


Figura 5-1: Ejemplo de un sencillo campo de fracturas.

Calculemos la probabilidad asociada a cada celda con la medida definida en el capítulo 2 μ^l.

Esta medida define la probabilidad como la longitud contenida en la celda dividida por la longitud total del campo de fracturas. Así, a cada celda le corresponde una probabilidad que se indica en la tabla 5-1.

Tabla 5-1: Probabilidad asociada a cada celda. Elaboración propia.

Celda	Probabilidad
1	0
2	1/3
3	1/3
4	1/3

La entropía a escala 0,5 será aplicando 2-13:

$$H(0{,}5) = 3 \cdot \left(-1/3 \cdot \log(1/3)\right) = \log 3 = 0{,}477 \tag{5-1}$$

Teniendo en cuenta que la entropía máxima es el logaritmo del numero de celdas (sucesos) se tiene que la entropía de configuración es:

$$H^*(0{,}5) = \frac{\log 3}{\log 4} = 0{,}7925 \tag{5-2}$$

Ya tenemos calculada la entropía de configuración a escala 0,5, si esto se repite para varias escalas será posible representar gráficas de *H* vs escala*, en estos diagramas se identificará el máximo, este maximo nos indica la escala más representativa del suceso desde el punto de vista de la entropía de Shannon.

Como se aprecia, en el esquema presentado se debe conocer la cantidad de fractura que contiene una celda en concreto. Este problema no es del todo trivial y se resuelve aplicando diversos algoritmos de 'clipping'. En el caso concreto de este proyecto se utilizó un algoritmo modificado del Cohen-Sutherland, que devuelve la longitud de fractura contenida en una celda identificada por las coordenadas de su vertice inferior izquierdo y la longitud de su lado.

5.1.1 Base 1:500 000

La base de datos, que contiene un total de 720 Lineamientos, se analizará para extraer la escala de máxima información con el esquema ilustrado anteriormente y utilizando la misma medida de probabilidad.

El resultado de aplicar la entropía de configuración a este campo es el presentado en la figura 5-2.

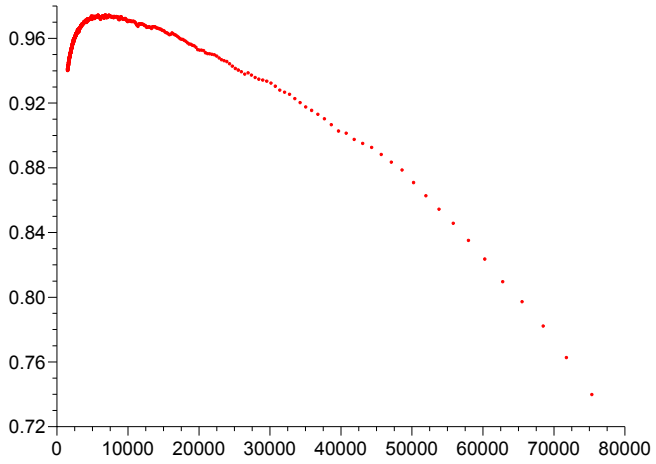


Figura 5-2: Curva de entropía para el campo de fracturas 1:500000, ordenadas adimensionales, abscisas en metros.

Observese que el máximo queda perfectamente localizado a una escala ε^* de 6583 m, lo cual nos indica que es esa la escala a la que se debe discretizar el campo de fracturación a fin de realizar sobre él cualquier tipo de análisis posterior (en este caso un análisis variográfico). En la figura 5-3 se presenta el campo discretizado a la escala ε^* junto con los lineamientos (figura 5-3 a) y el campo de densidad interpolado con un 'kriging' (figura 5-3 b)

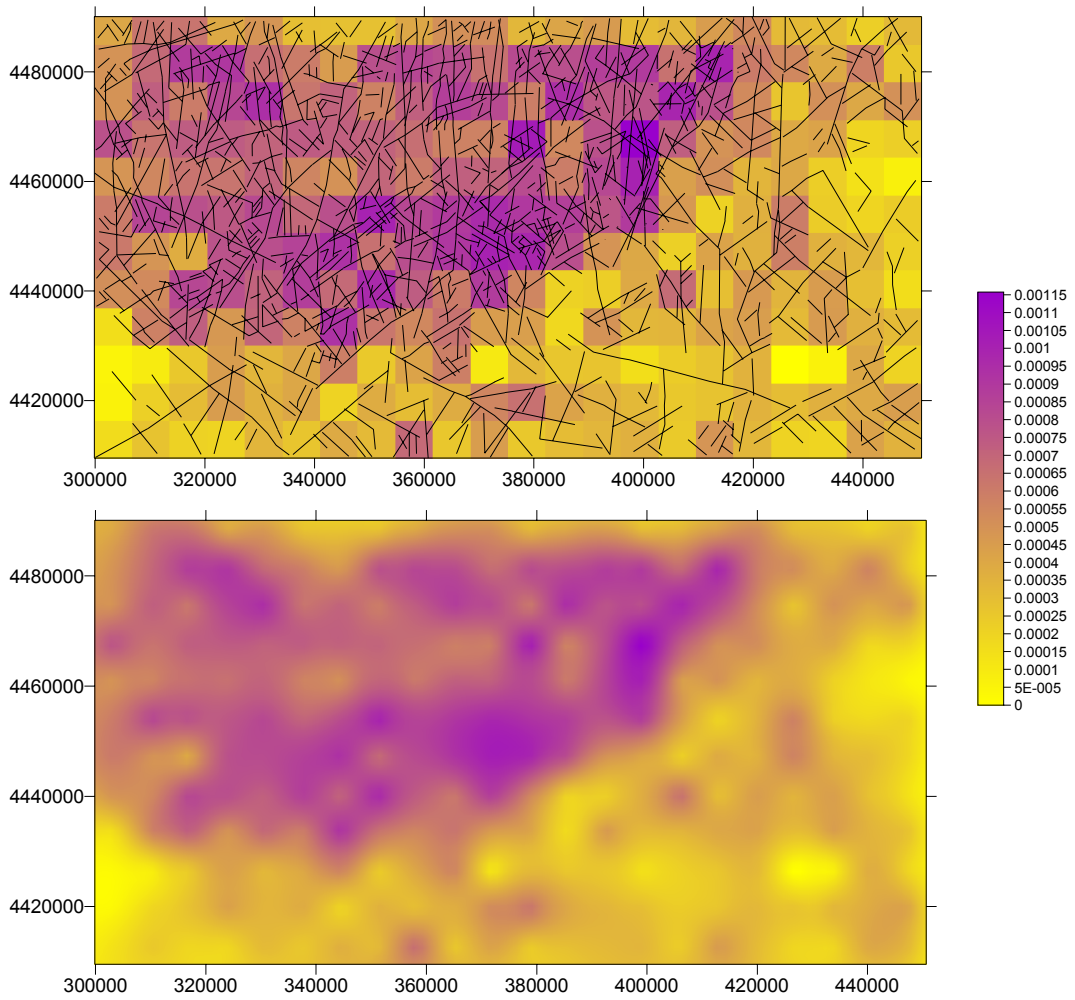


Figura 5-3: a) Campo discretizado a escala de 6583 m junto con los lineamientos. b) Campo de densidad interpolado con una técnica de krigeado. Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.

Obsérvese que el mapa obtenido no disgrega la información ni tampoco la acumula demasiado, siendo este el objetivo buscado. Sobre este mapa se efectuará el análisis geoestadístico, arrojando un variograma que se presenta en la figura 5-4.

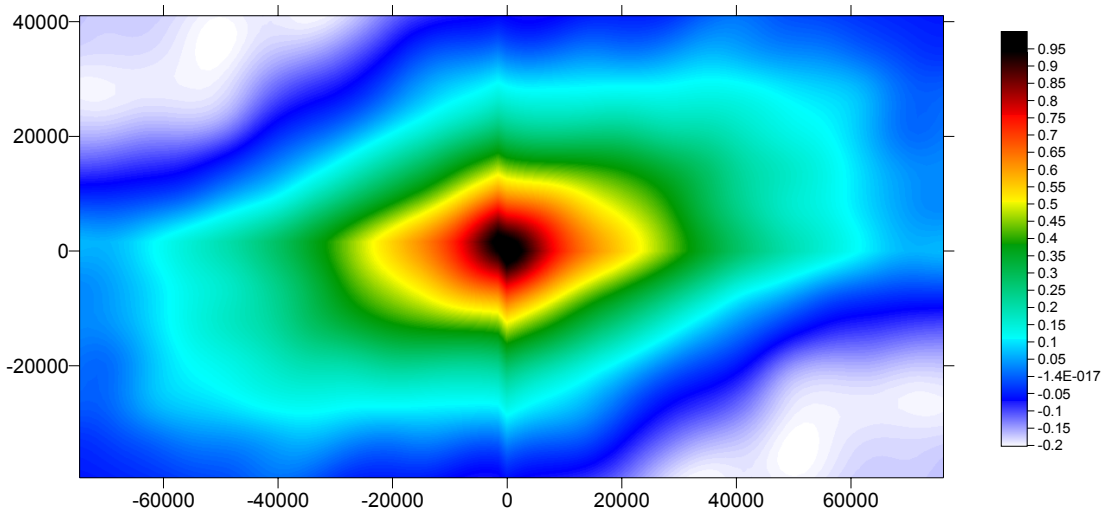


Figura 5-4: Variograma de la distribución de medida representada en 5-3, la escala del mapa es en metros, la gráfica es m^2.

En el variograma de la figura 5-4 se aprecia en primer lugar una correlación más alta de los datos en la dirección N 60º E que en el resto de las direcciones y una menor correlación de los datos en la dirección N –30º E, no se aprecian en ningún caso periodicidad ni siquiera a muy largo plazo.

5.1.2 Base 1:10 000

En este caso las fracturas se filtraron por el evento tectónico que las había generado, a saber, alpino o pérmico. Se realizaron tres análisis, uno a la base completa, otro a la alpina y otro a la pérmica y cuyos resultados se exponen agrupados en la figura 5-5.

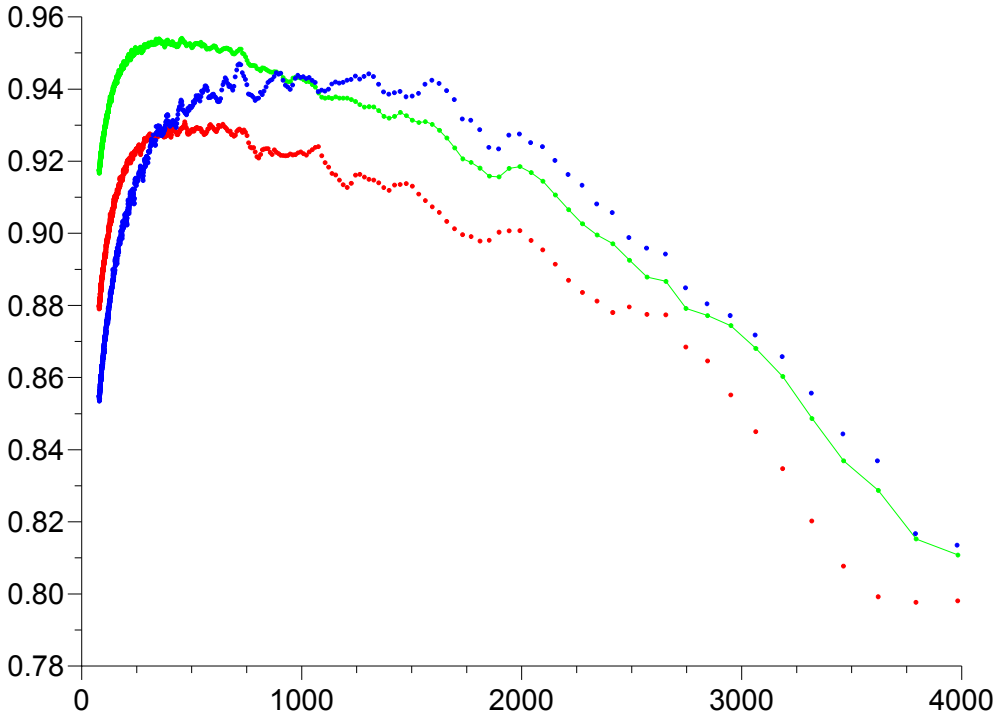


Figura 5-5: Curva de entropía para los datos totales en verde, en rojo para el pérmico y en azul para el alpino, abscisas en metros, ordenadas adimensionales.

Obsérvese el cambio de la escala característica para los tres fenómenos, estando para el total en 455 m, para el pérmico en 468 m y para el alpino en 717 m. Cada uno de los eventos será analizado por separado a su escala característica.

En la figura 5-6 se presenta el resultado del mallado del campo total a 455m.

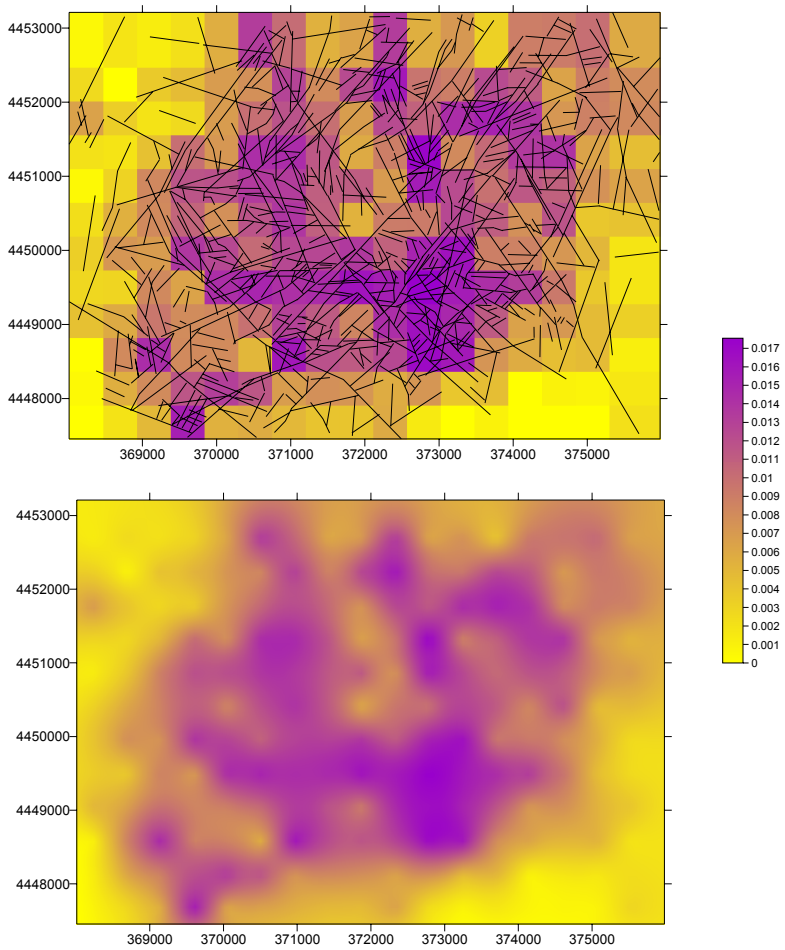


Figura 5-6: Mapas de intensidad de fracturación para el total de los lineamientos, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es en adimensional.

Una vez obtenido esto se procede a calcular su variograma, cuya representación está en la figura 5-7.

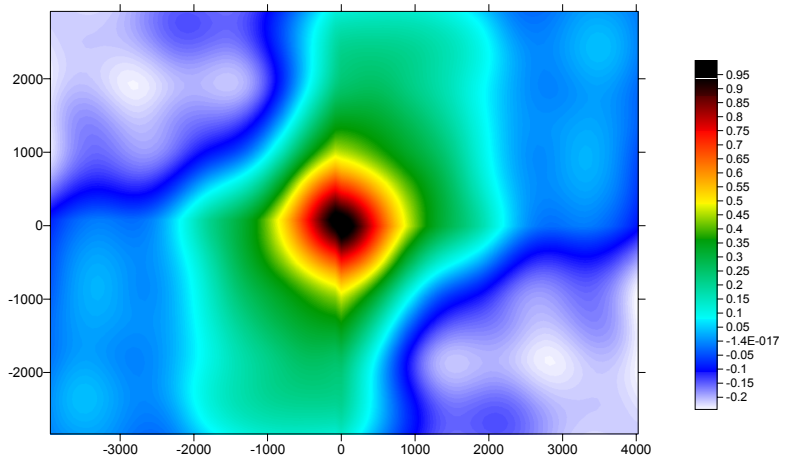


Figura 5-7: Variograma de la distribución total de fracturas a escala 455 m, escala en m, la escala gráfica es en m^2.

Como se aprecia, la correlación es grande a corta distancia y disminuye rápidamente en la dirección N –45º E, siendo máxima en el abanico de direcciones de N a N 30º E. En ningún caso se aprecian periodicidades a corta ni larga distancia.

Se discretizan las fracturas correspondientes al alpino y al pérmico, representadas en la figuras 5-8 y 5-9 respectivamente.

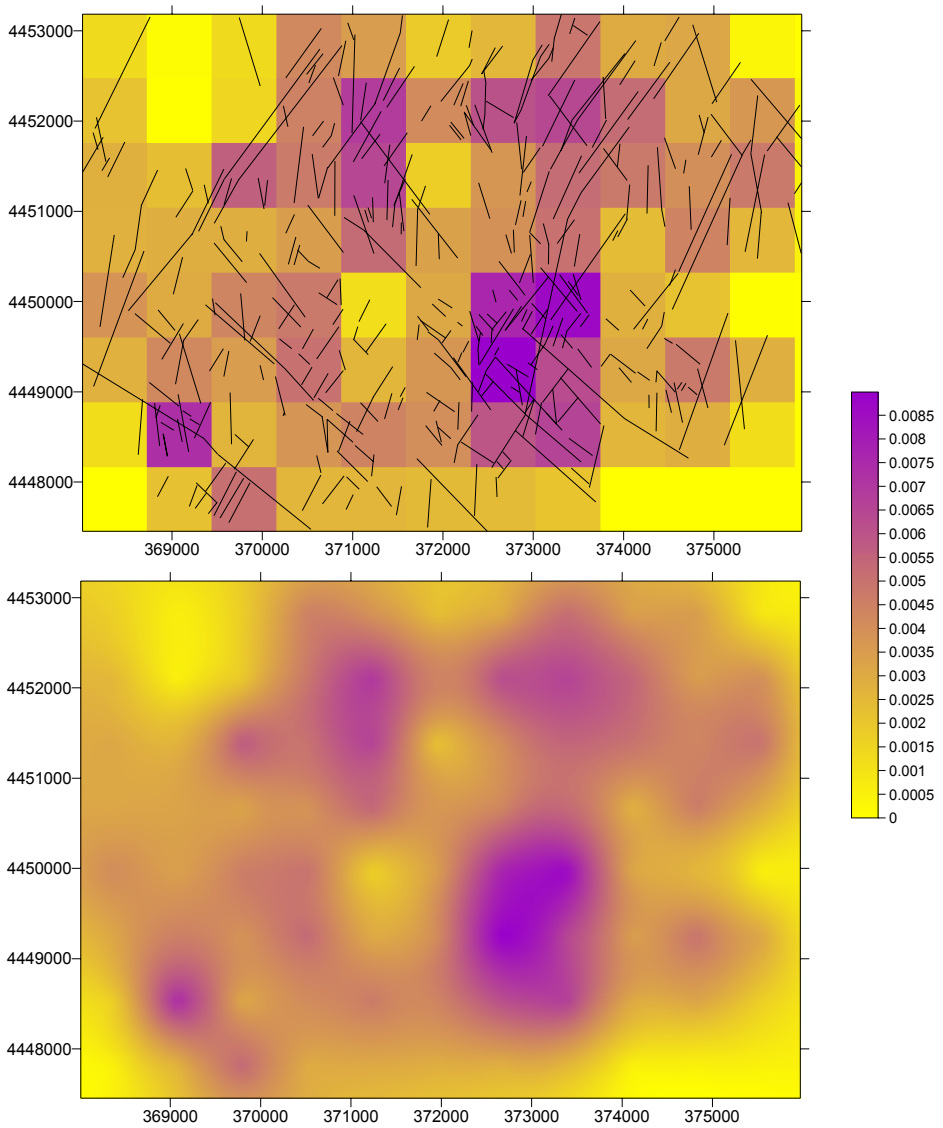


Figura 5-8: Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del alpino, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.

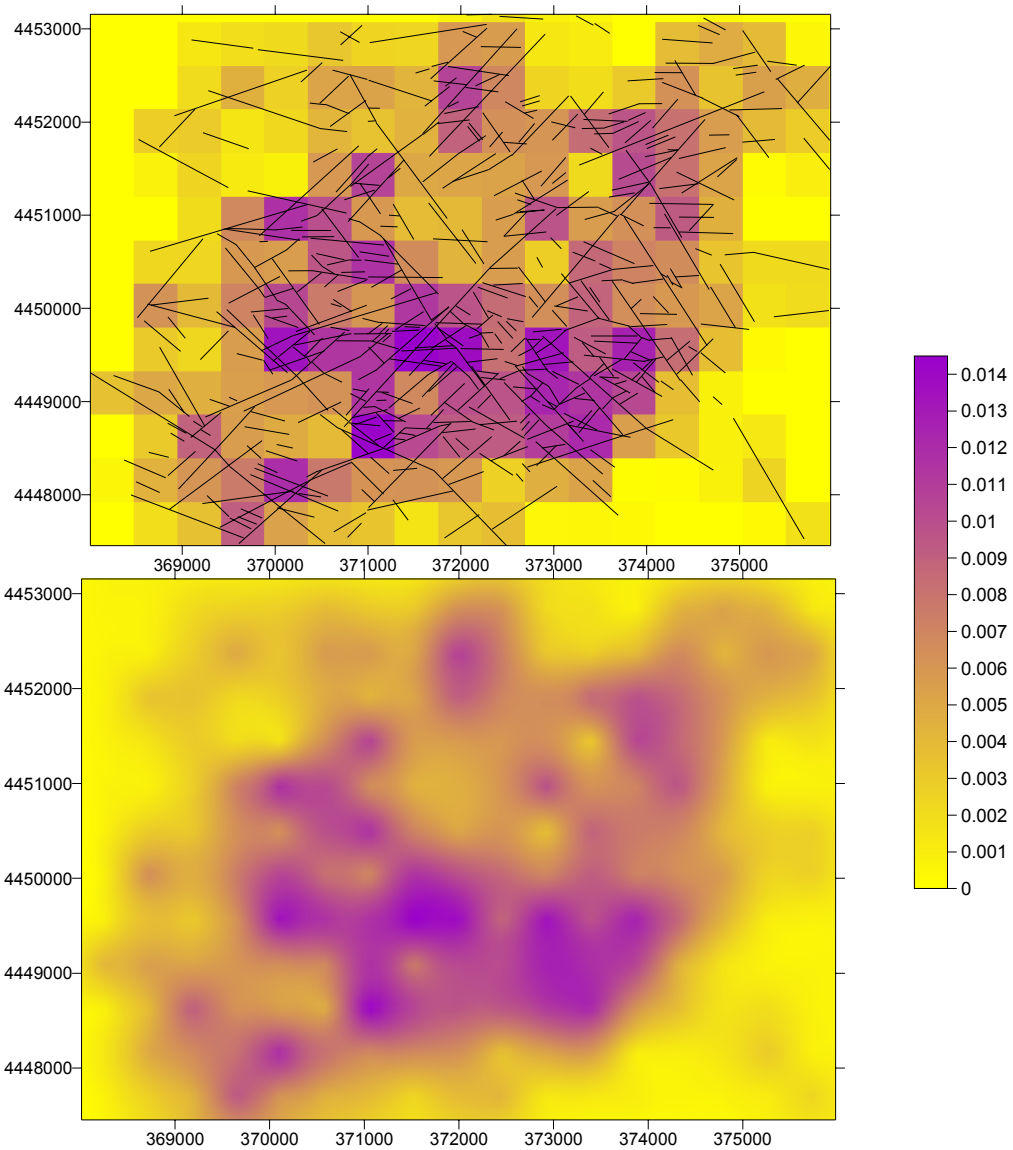


Figura 5-9: Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del pérmico, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.

Al igual que en los casos tratados anteriormente, se presentan a continuación los variogramas correspondientes a las distribuciones discretizadas, en la figura 5-10 para el alpino y en la 5-11 para el evento pérmico.

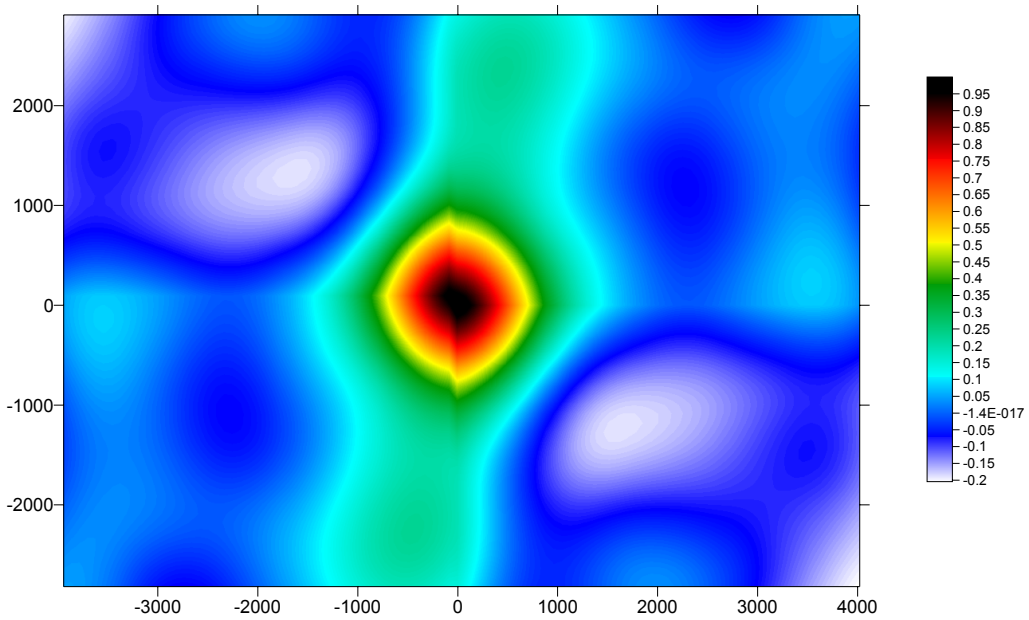


Figura 5-10: Variograma sobre los datos del evento alpino. La escala del variograma es en metros la escala gráfica es en m^2.

En este caso se observa una correlación acusadamente más elevada en la dirección N 10º E que en el resto de direcciones a larga distancia, siendo el campo mas o menos isótropo a cortas distancias. Se observa un poxo de varianza a una distancia de 2 km en dirección N-O. Tambien se observan unas periodicidade muy débiles en las direcciones N-O y N-E con longitudes de onda bastante elevadas.

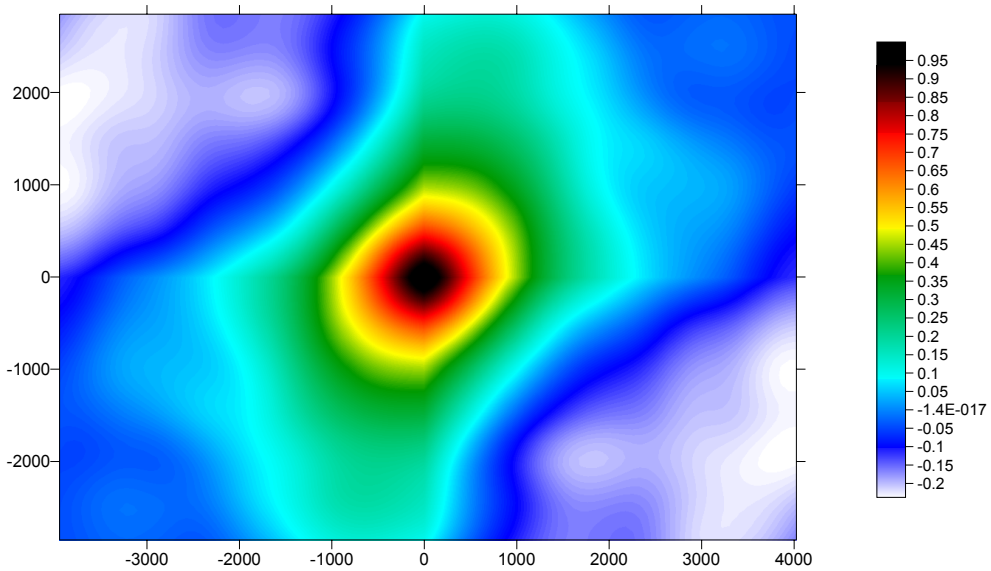


Figura 5-11: Variograma sobre los datos del evento pérmico. La escala del variograma es en metros la escala gráfica es en m^2.

Como se aprecia, la correlación es grande a corta distancia en todas direcciones y disminuye rápidamente en la dirección N –45º E, siendo máxima en el abanico de direcciones de N a N 30º E. En ningún caso se aprecian periodicidades a corta ni larga distancia.

5.1.3 Base 1:2 000

Se estudia al igual que en el caso anterior por separado la base total de los eventos alpinos y pérmicos. A continuación, en la figura 5-12, se presentan las curvas de entropía para los tres casos antes citados.

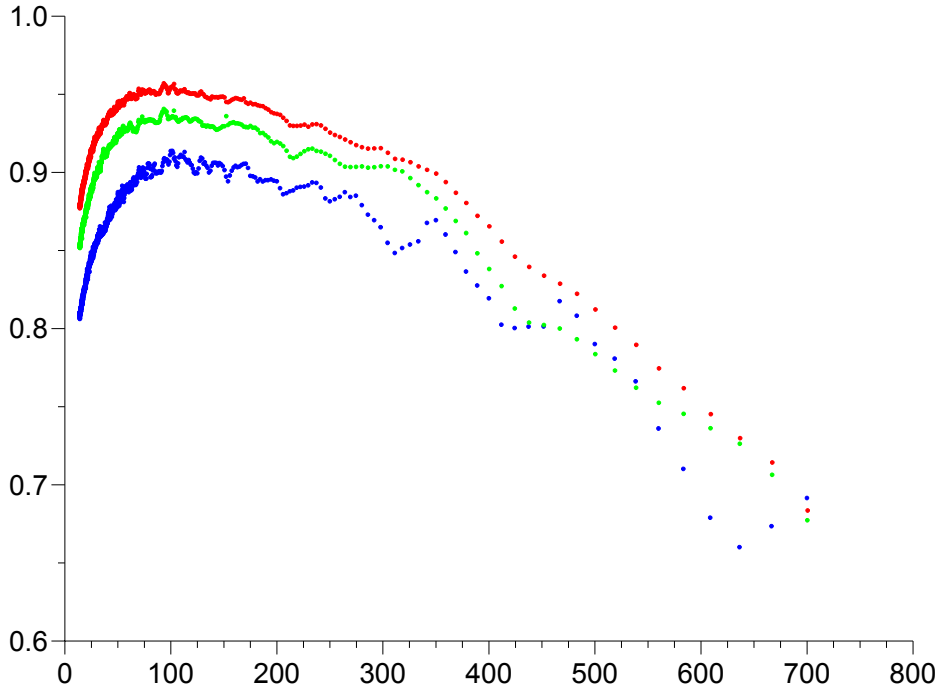


Figura 5-12: Curva de entropía para los datos totales en rojo, en verde para el pérmico y en azul para el alpino, abscisas en metros, ordenadas adimensionales.

Los máximos están localizados en la curva total en 93,4 m para el total y el pérmico y en 101 m para el alpino.

Desglosaremos el análisis como en el anterior caso, en primer lugar se presenta el campo de fracturas total discretizado, a una escala de 93,4 m, en la figura 5-13.

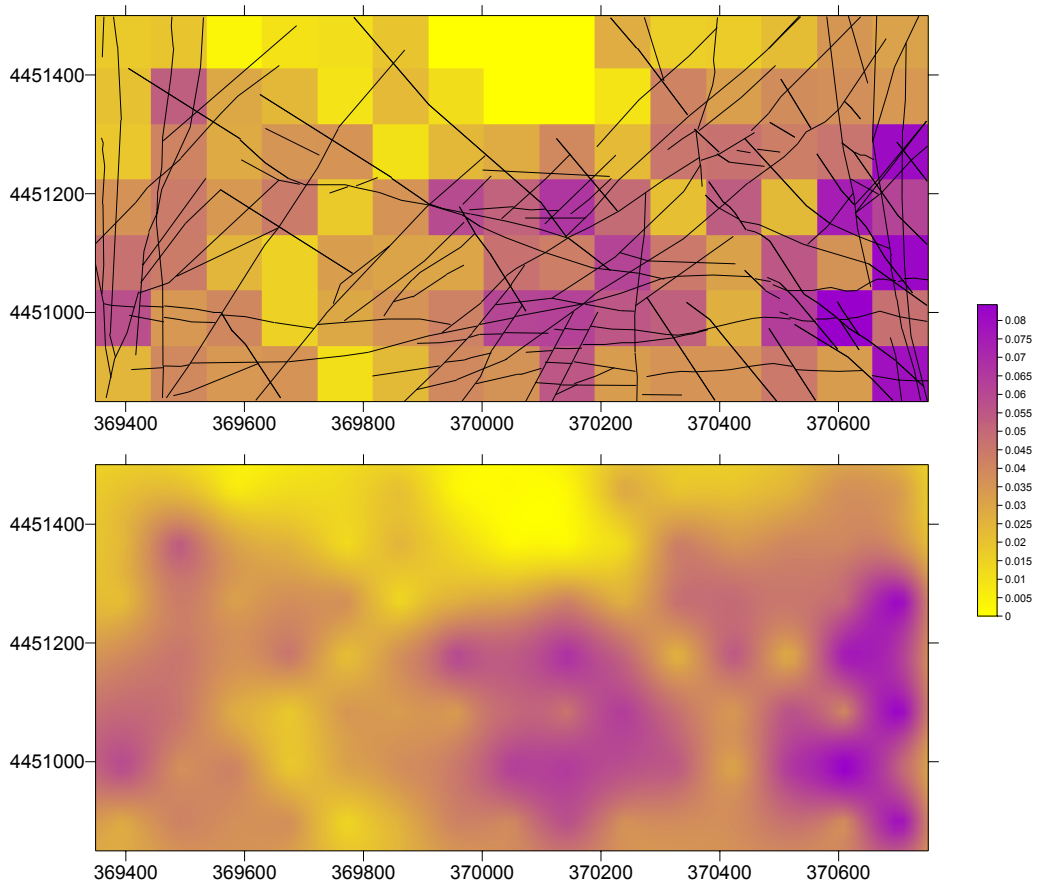


Figura 5-13: Mapas de intensidad de fracturación para el total de los lineamientos, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.

Sobre estos datos se calcula el variograma que se presenta en la figura 5-14.

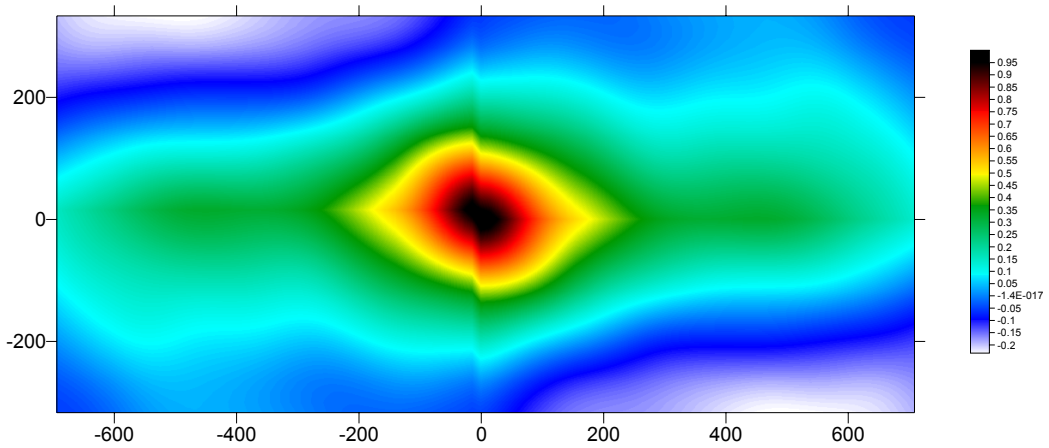


Figura 5-14: Variograma del total de la base a escala 1:2000. La escala del mapa está en m la gráfica es en m^2.

En este caso se presenta una alta correlación de los valores en todas las direcciones a cortas distancias, disminuyendo esta correlación muy rápidamente en la dirección N –10º E, y siendo máxima la correlación en la dirección E-O.

A continuación se presentan los mapas discretizados de los campos de fracturas del evento alpino y el pérmico, a sus respectivas escalas de máxima información, en las figuras 5-15 y 5-16.

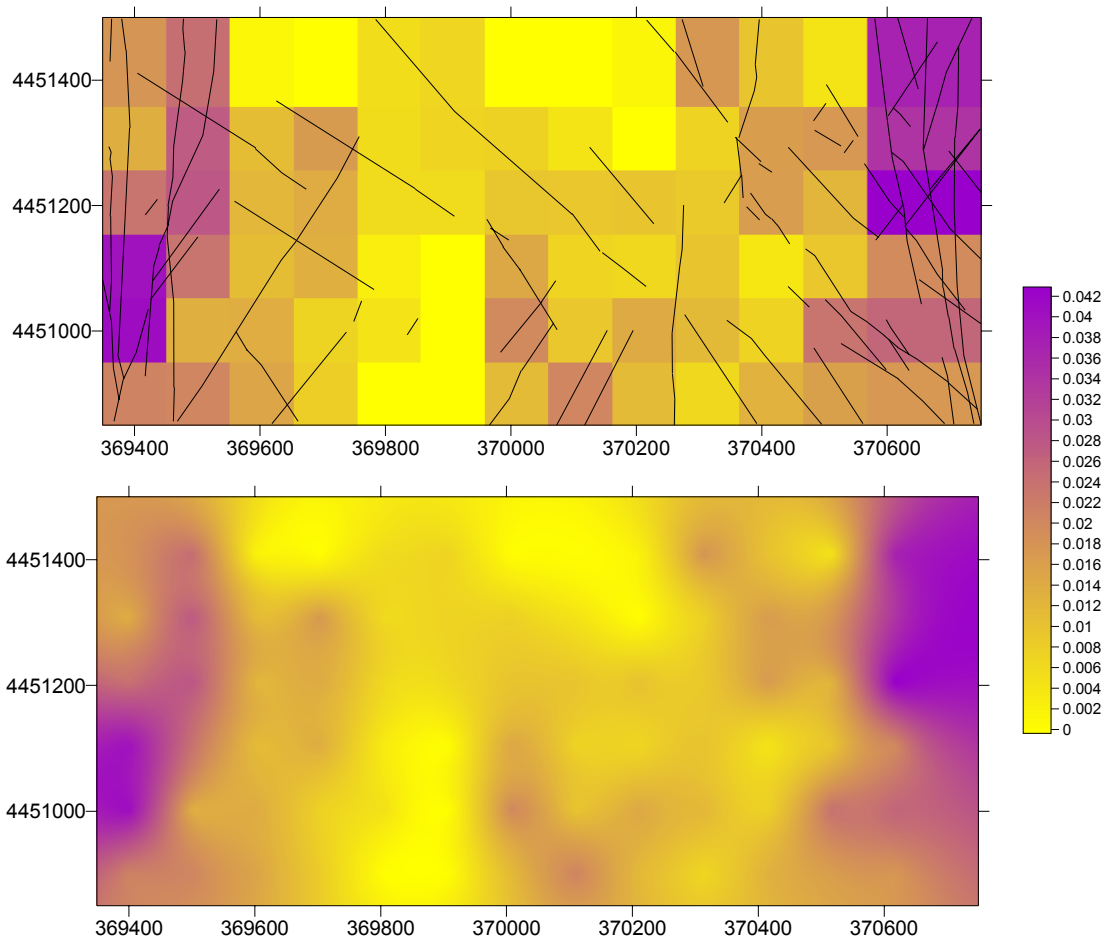


Figura 5-15: Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del alpino, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.

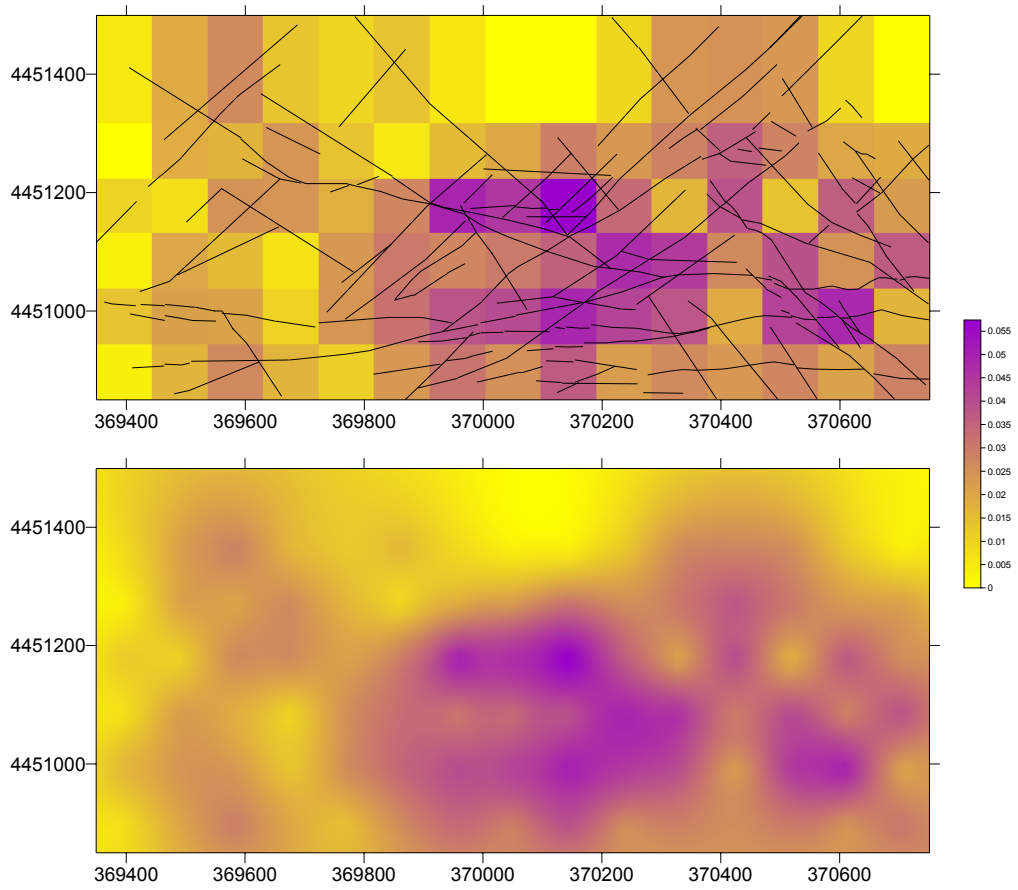


Figura 5-16: Mapas de intensidad de fracturación para los lineamientos del pérmico, el primero está sin interpolar (a), el segundo es una interpolación mediante krigeado (b). Las coordenadas de los mapas son UTM en metros, la escala gráfica es adimensional.

Sobre estos mapas, una vez más, se efectuaron los cálculos necesarios para obtener los variogramas que se presentan en 5-17 y 5-18.

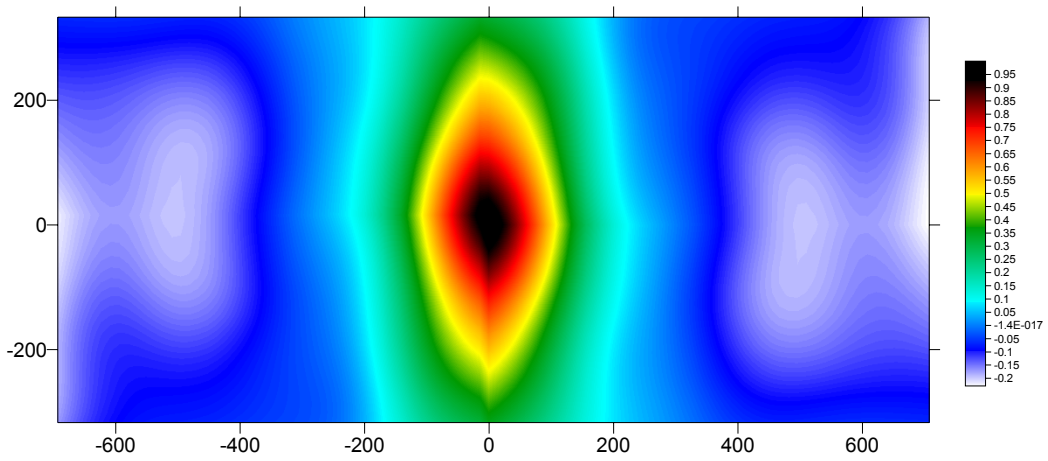


Figura 5-17: Variograma sobre la distribución de probabilidad del alpino, escala del mapa en m, la escala gráfica es en m^2.

Sobre este variograma se aprecia una alta correlación a corta distancia, una bajada brusca de esta en la dirección E-O. La correlación es máxima en la dirección N-S. Se observan asimismo pozos de varianza en las direcciones N 80º E y N 100º E.

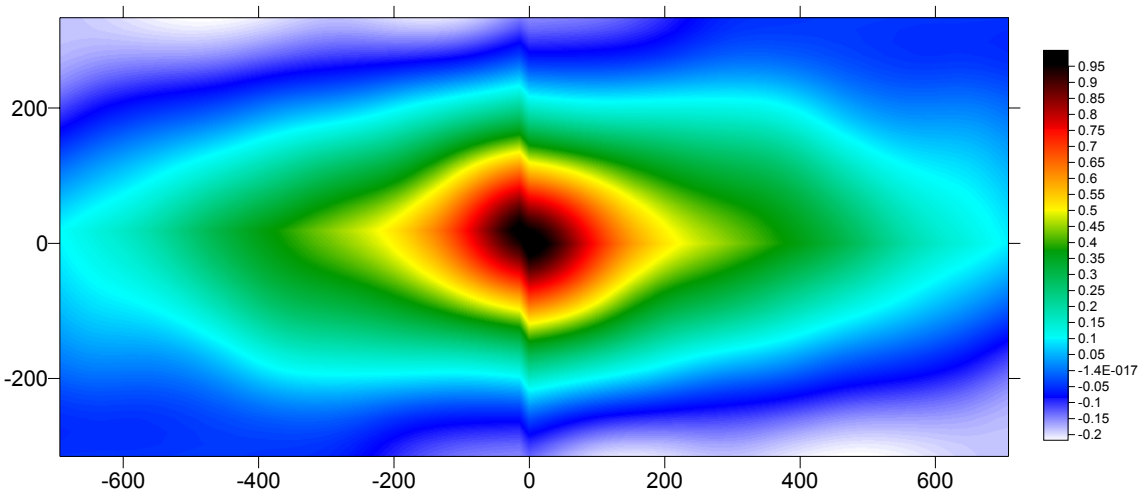


Figura 5-18: Variograma de la distribución de fracturas alpinas, escala del mapa en m, la escala gráfica es en m^2.

Este si lo comparamos con la figura 3-14 vemos que es el fenomeno predominante en los esquemas de fracturación del berrocal. Presenta una fuerte correlación de los datos a cortas distancias, un mínimo de relación entre estos en la dirección norte sur y una máxima correlación en la dirección E-O.

5.2 Análisis sobre el total de la Península Ibérica

Una vez visto el funcionamiento de la técnica aplicada a lineamientos, se analizará la base global de morfolineamientos pertenecientes al total de la península ibérica (véase figura 5-19). Este análisis, como veremos en el capítulo de conclusiones, tiene importantes consecuencias en relacion con los análisis efectuados a los campos de epicentros.

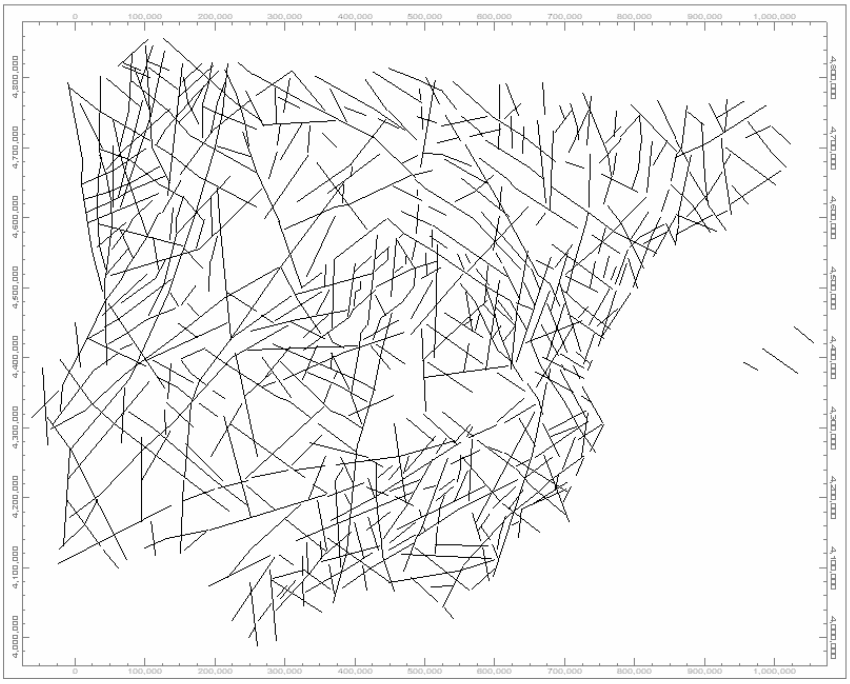


Figura 5-19: Representación de los 720 lineamientos de la base de datos.

El protocolo es el mismo que en los anteriores casos, primero se calcula la curva de entropía, luego se discretiza el campo a la escala dada por el máximo, por último se calcula el variograma de la distribución. En la figura 5-20 se presenta la curva de entropía para el total de los 720 lineamientos contenidos en la base.

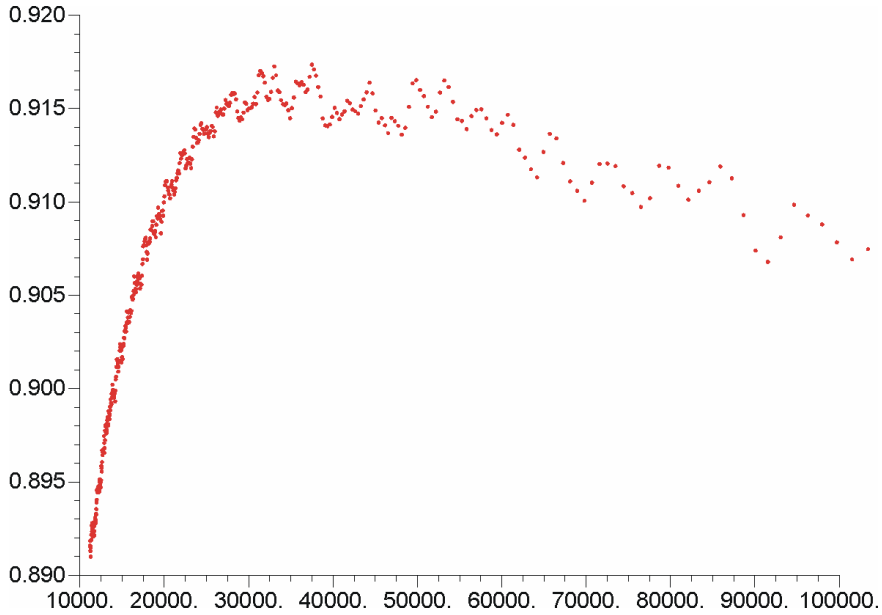


Figura 5-20: Entropía de configuración para los 720 lineamientos. Abscisas en metros, ordenadas adimensionales.

El máximo de la curva se detecta a 32,6 km, por lo que se discretizará el campo a dicha escala, el resultado se presenta en la figura 5-21 georreferenciado al perfil de la Península Ibérica , Islas Baleares y norte de África.

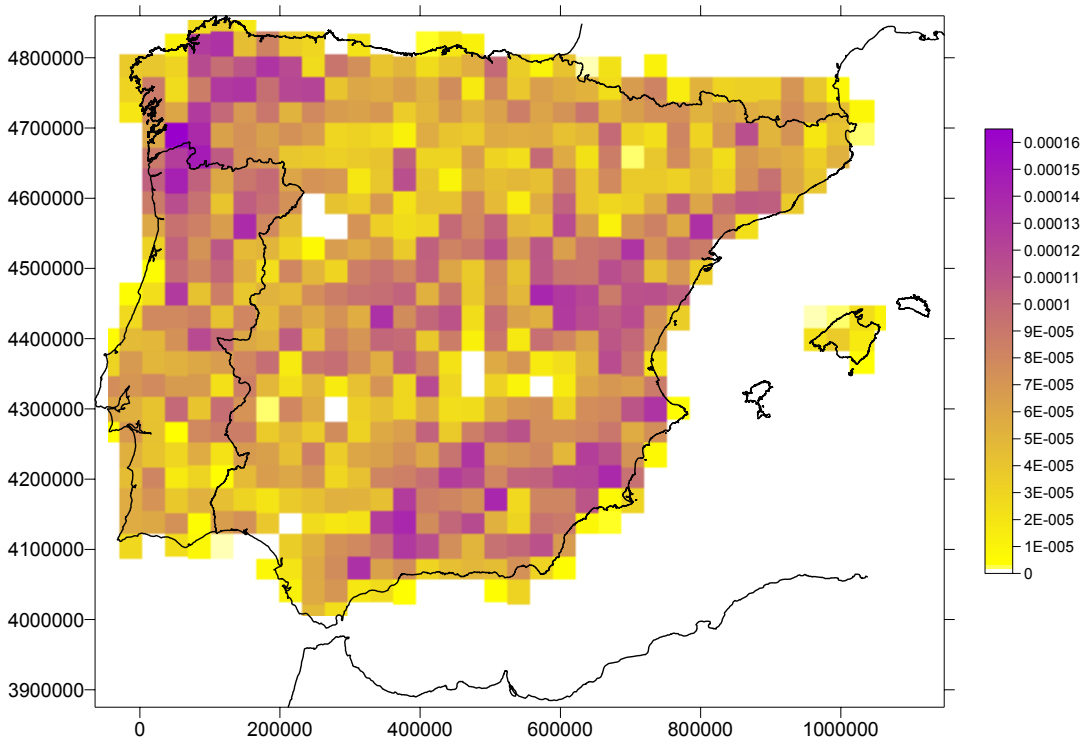


Figura 5-21: Mapa de intensidad de fracturación para la península ibérica, el mapa está en coordenadas UTM en metros. La escala gráfica es adimensional.

Sobre esta distribución se calcula el variograma al igual que en los casos anteriormente expuestos, los resultados se presentan en la figura 5-22.

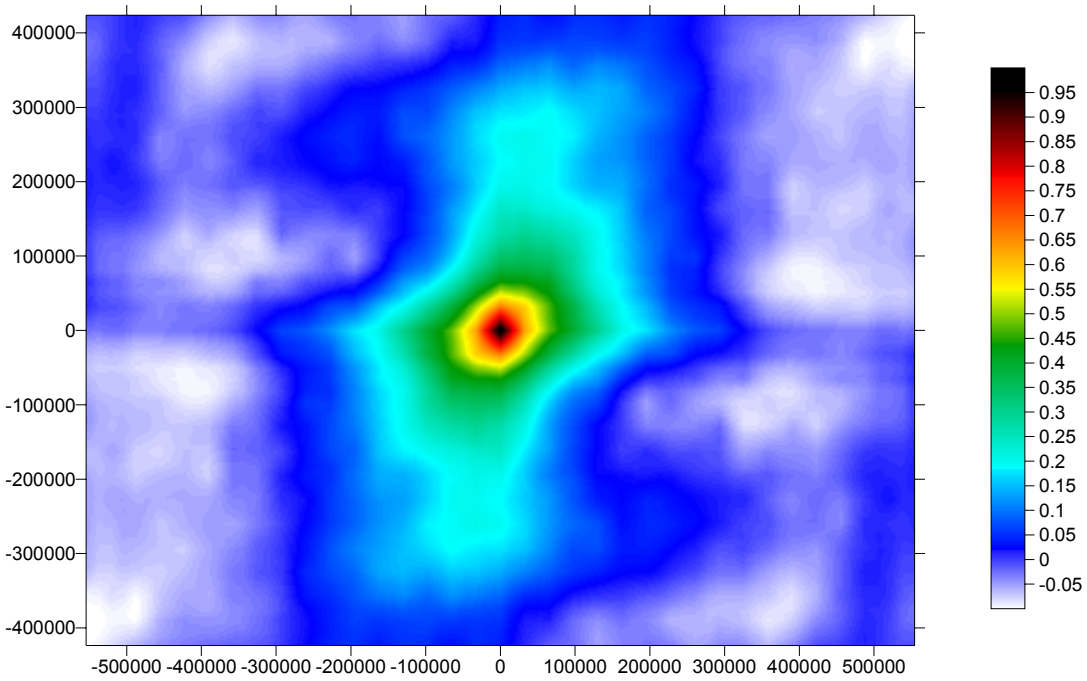


Figura 5-22: Variograma de la distribución presentada en 5-21. Unidades en metros, escala gáfica en m^2.

Se aprecian anisotropía importantes en las direcciones N 5º E, E-O, así como también en la dirección N 45º E. Se aprecian pozos de varianza en las direcciones N-O y S-E.

6 CONCLUSIONES

6.1 Conclusiones metodológicas

La técnica desarrollada por este Proyecto de Fin de Carrera consiste en transformar una distribución de masa en una distribución de probabilidad. Esta transformación se hace para diferentes tamaños de la ventana observacional (tamaño de malla). Para cada una de estas distribuciones se calcula la entropía de configuración. La que resulte tener (de entre todas la escalas) un valor de entropía de configuración máximo, por lo expuesto se establece esta como valor de escala de máxima información.

Este valor es de gran utilidad a la hora de aplicar otras técnicas que requieran de un mallado de la geometría del conjunto, ya que el mallado a esa escala garantiza la máxima calidad (información) en el muestreo y por lo tanto de los resultados obtenidos; como se ha aplicado en el análisis de la distribución de sismos y fracturas en el espacio. El análisis de las bases de datos de terremotos y lineamientos, desde un punto de vista geoestadístico, se hace con la garantía de que el análisis es lo más representativo posible.

Por otra parte, esta técnica tiene fuertes implicaciones a la hora de contrastar ciertos métodos de evaluación del riego sísmico. El mapa de riesgo sísmico vigente (Anexo A), tal y como dice la norma, se ha calculado basándose en las aceleraciones que sufrirían las construcciones en caso de producirse un terremoto de intensidad determinada. El problema que ocupa al presente Proyecto de Fin de Carrera, es el cálculo de la malla sobre la que se realiza la evaluación de las aceleraciones (y sobre la que luego se interpolarán los datos para dar lugar al mapa de isolíneas de la norma) que es según esta de 0,5 grados de lado. La elección de esta malla, no está justificada y es ciertamente subjetiva su elección. Una malla inadecuada presenta errores de localización en la asignación de normas de construcción sismorresitente aplicada en obra civil.

La técnica aquí presentada mejora la confección y evaluación de los mapas de riesgo sísmico vigentes actualmente en España como un método eficaz de la elección del tamaño de malla adecuado a cada caso.

6.2 Conclusiones a los resultados

- El análisis estructural variográfico, muestreado a escala de máxima información, de la ubicación epicentral (Figura 6-1a) de los terremotos contenidos en la base digital del IGN presenta tres direcciones principales de anisotropía: NNE-SSO, E-O, NNO-SSE véase la figura 6-1 b.

a) b)

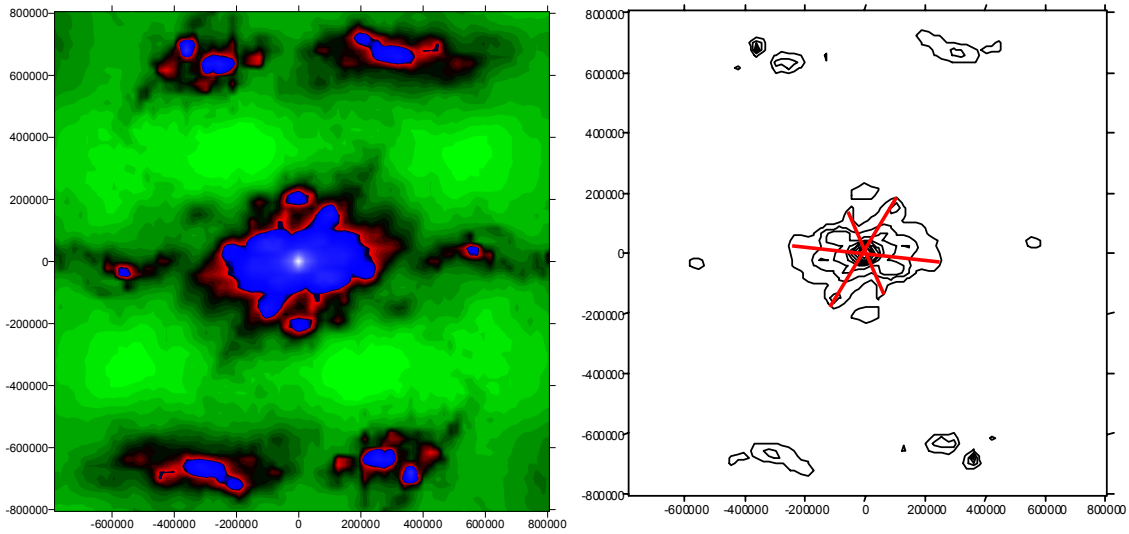


Figura 6-1: a)Variograma de la distribución de epicentros. b)Isolíneas del variograma con las anisotropías señaladas en rojo.

- El análisis estructural variográfico de la energía liberada por los terremotos (Figura 6-2a), muestreados a escala de máxima información, de la base digital del IGN; presenta tres direcciones principales de anisotropía: NNE-SSO, E-O, NO-SE véase la figura 6-2 b.

a) b)

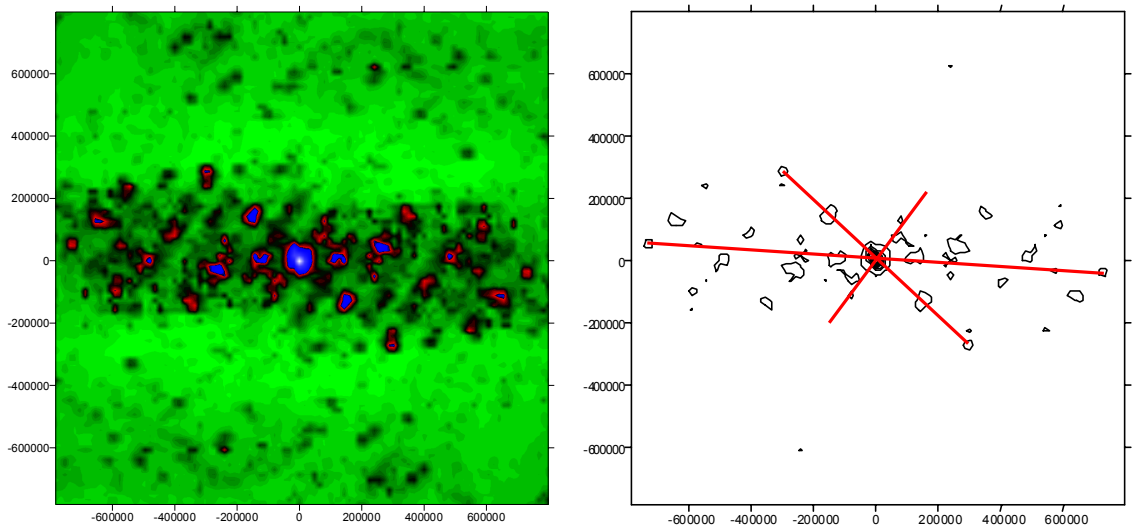


Figura 6-2: a)Variograma de la distribución de energía. b)Isolíneas del variograma con las anisotropías señaladas en rojo.

- El análisis variográfico del mapa de morfolineaminetos de la Península Ibérica, muestreado a escala de máxima información (Figura 6-3 a), presenta cuatro direcciones de anisotropía que son: NNE-SSO, NE-SO, E-O y NO-SE, véase figura 6-3b.

a) b)

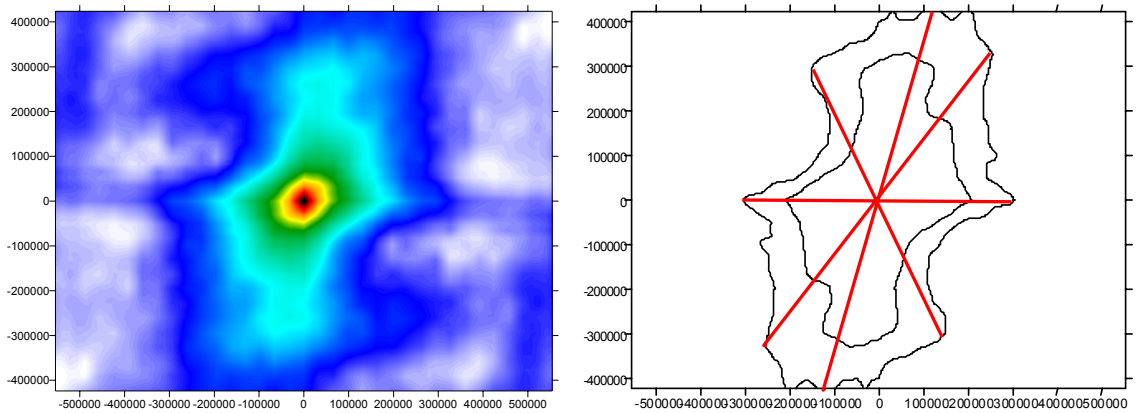


Figura 6-3: a)Variograma de la distribución de lineamientos. b)Isolíneas del variograma con las anisotropías señaladas en rojo.

- Hay direcciones de anisotropía comunes entre el patrón de liberación de energía y la distribución de fracturas, esto nos indica, a nivel global de toda la península, que direcciones de fracturación son preferentes en la liberación de energía sísmica.

- Existe una anisotropía en la fracturación N-S que no aparece en los patrones de liberación de energía ni en la ubicación de epicentros. Esto indica que las fracturas de orientaciones próximas a dicha dirección (véanse figuras 6-4 a y b) liberan poca energía y por tanto podrían descartarse como fracturas de primer orden. En las figuras 6-5 a y b se presentan dos rosas de orientaciones donde se han eliminado estas fracturas. Este histograma de direcciones podría considerarse como la primera aproximación a una identificación de las fracturas de primer orden dentro de la península ibérica.

a) b)

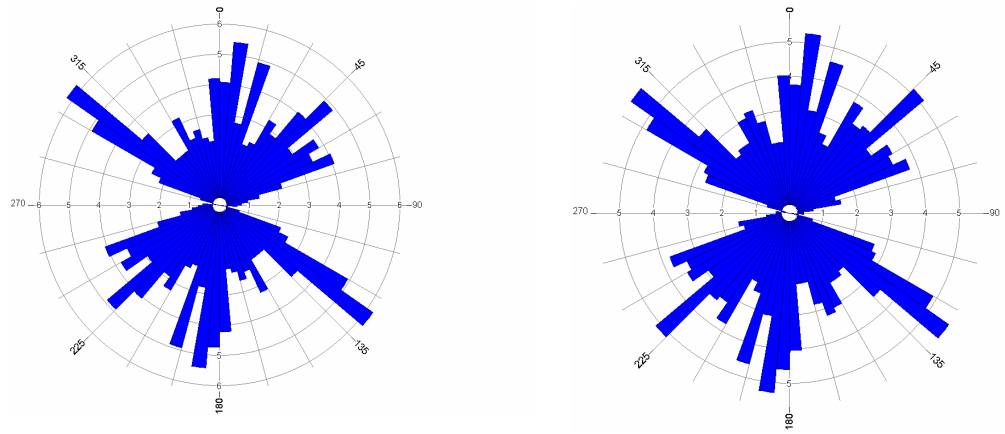


Figura 6-4: Histograma de distribución de fracturas en dirección según frecuencia (a) y según tamaños (b).

a) b)

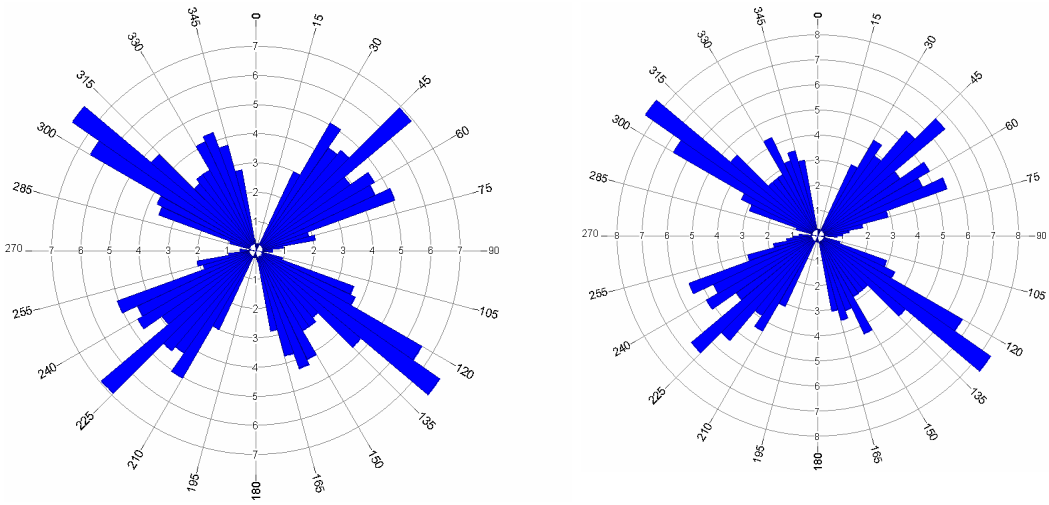


Figura 6-5: Histograma de distribución de fracturas en dirección según frecuencia (a) y según tamaños (b) para los lineamientos filtrados.

- La red de detección sísmica tiene zonas donde los terremotos son sistemáticamente localizados con elevados errores en posición. Dichas zonas se denominan áreas de sombra y están referenciadas en el capítulo 4.

7 REFERENCIAS

Alonso, M. y Finn, E.J. (1995) Física. *Addison-Wesley Iberoamericana.*

Aki, K. (1966) Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16, 1964. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ*. 44: 23-88.

Aki, K. (1967a) Scaling law of seismic spectrum. *J. Geophys. Res*. 72: 1217-1231.

Aki, K. (1967b) Maximum Likelihood Estimate of b in the formula *logN=a-bM* and its confidence limits. *Bull. Earthquake Res. Inst*. **43**: 237-239.

Aki, K. (1981) A probabilistic synthesis of precursory phenomena. In*: Earthquake Prediction: An international Review, Maurice Ewing Ser. vol 4,* edited by D.W. Simpsom & P.G. Richards, pp. 566-574. AGU, Washington D.C.

Båth, M. and Duda, S.J. (1964) Earthquake volume, fault plane area, seismic energy, strain, deformation and related quantities. *Ann. Geofis. (Rome)* **17**: 353-368.

Box, G.E.P.; Jenkins, G.M. (1976) Time series analysis, forecasting and control. *Holden Day.*

Bras, R. L. and I. Rodriguez-Iturbe (1985) Random Functions and Hydrology. *Addison-Wesley, Reading, MA, 559 p.*

Brune, J. (1970) Tectonic strain and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. *J. Geophys. Res*. **75**: 4997-5009.

Burridge, R. and Knopoff, L. (1964) Body force equivalents for seismic dislocations. *Bull. Seismol. Soc. Am*. 54: 1875-1888.

Christakos, G. (1992) Random model fields in earth sciences. *Academic Press Inc. San Diego.*

Dershowitz, W. S.; Herda, H. H. (1992) Interpretation of fracture spacing and intensity. En: Tillerson & Wawersik Eds. *Rock Mechanics*. Balkema, Rotterdam. 757-766

Dersowitz, W. S.; Lee, G.; Geier, J.; Foxford, T.; La Pointe, P.; Thomas, A. (1998) *FRACMAN. Interactive fracture data analysis, geometric modeling, and exploration simulation. User documentation, version 2.6*. Golder Associates Inc. Washington.

Falconer, K. (1990) Fractal Geometry. Mathematical foundatiosn and applications. *John Willey & Sons. Chichester.*

Frohlich, C. and Davis, S.S. (1993) Teleseismic b-Values; or, Much Ado About 1.0. *J. Geophys. Res.* **98**: 631-644.

Goltz, C. (1997) *Fractal and Chaotic properties of Earthquakes*. Springer-Verg. Berlin.

Gutenberg, B. & Richter, C.F. (1944) Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **34**: 184-188.

Haskell, N. (1964) Total energy and energy spectral density of elastic wave radiation from propagating faults. *Bull. Seismol. Soc. Am*. 56:1811-1842.

Herráiz Sarachaga, M. (1997) Conceptos básicos de sismología para ingenieros. *CISMID. Perú.*

Hidrobap, P. (2000) Hidrogeología de medios de baja permeabilidad. Colección Otros Documentos 20.2000.ODE-04.12. Consejo de Seguridad Nuclear - ENRESA. 2000. Madrid. 238 pp

Imoto, M. (1987) A Bayesian Method for Estimating Earthquake Magnitude Distribution and Change in the Distribution with Time and Space in New Zealand. *New Zealand J. Geol. Geophys* **30**: 1063-1116.

Isaacs, E.H.; Srivastava, R.M. (1989) An introduction to applied geostatistics. *Oxford University Press. Oxford.*

Ishimoto, M. and Ida, K. (1939) Observations sur les séism enregistrés par le microseismograph construit dernièrement (I). *Bull. Earthquake Res. Inst*. **17**: 443-478.

Journel,A.G. and Huighbregts, CH.J. (1978) Mining Geostatistics. *Academic Press. Londres.*

Kagan, Y.Y. (1997) Seismic moment-frequency relation for shallow earthquakes: Regional comparison. *J. Geophys. Res*. **102**: 2835-2852.

Kanamori, H. and Anderson, D. (1975) Theoretical basis of some empirical relation in seismology. *Bull. Seism. Soc. Am*. 65 (5): 1073-1095.

Kanamori, H. (1977) The energy released in great earthquakes. *J. Geophys. Res*. **82**: 2981-2987.

Karnik, V. and Klima, K. (1993) Magnitude-frequency Distribution in the European-Mediterranean Earthquakes Regions. *Tectonophysics* **220**: 309-323.

King, G. (1983). The Accommodation of Large Strains in the Upper Lithosphere of the Earth and Other Solids by Self-similar Fault System: the Geometrical Origin of b-Value. *Pure App. Geophys*. **121**: 761-815.

Laslett, G. M. (1982) Censoring and edge effects in areal and line transect sampling of rock joint traces. *Mathematical Geology*. **14 (2).** 125-140.

Malamud, B.D. and Turcotte, D.L. (1999) Self-affine time series: measures of weak and strong persistence. *Journal of Statistical Planning and Inference* **80**:173-196

Mangin, A. (1981) Apports des analyses correlatoire et spectrale croisses dans la connoissance des systemes hidrologiques. *Comptes Rendus Academie Sciences Paris* **293**: 1011-1414

Mangin, A. (1986) Reflexion sur l'approche el la modelisation des aquifers karstiques. *Proceedings Joranadas sobre el karst en Euskadi. San sebastián*: 11-30

Maruyama, T. (1963) On the force equivalents of dynamic elastic dislocations with reference to the earthquake mechanism. *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo Univ*. 46: 223-269.

McConnell, K.I. and Lee, M.P. (1994) Staff Technical Position on Consideration of Fault Displacement Hazards in Geologic Repository Design. *NUREG-1494. Washington, D.C.: U.S. Nuclear Regulatory Commission.* TIC: 212360.

Mogi, K. (1962) Study of the elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relations to the earthquake phenomena. *Bull. Earthquake Res. Inst*. **40**: 125-173.

Ogata, Y. and Abe, K. (1991) Some Statistical Features of the Long-term Variations of the Global and Regional Seismic Activity. *Inst. Statist. Rev*. **59**: 139-161.

Ogata, Y., Imoto, M. and Katsura, K. (1991) 3-D Spatial Variations of b Values of Magnitude-frequency Distribution Beneath the Kanto District, Japan. *Geophys. J. Int*. **104**:135-146.

Okal, E.A. and Kirby, S.H. (1995) Frequency-moment Distribution of Deep Earthquakes; Implications for the Seismogenetic Zone at the Bottom of Slabs. *Phys. Earth Planet. Inter*. **92**: 169-187.

Okal, E. A. and Romanowicz, B.A. (1994) On the variation of *b*-values with earthquake size. *Phys. Earth Planet. Interiors* **87**: 55-76.

Pacheco, J.F., Scholz, Ch. H. and Sykes, L.R. (1992) Changes in frequency-size relationship from small to large earthquakes. *Nature* 355: 71-73.

Pahl, P. J. (1981) Estimate the mean length of discontinuity traces. *International Journal of Rock Mechanics, Min. Sci. & Geomech. Abstr*. 18. 221-228.

Paredes, C.; Elorza, F. J. (1999) Fractal and multifractal analysis of fractured geological media: surface subsurface correlation. *Computers & Geosciences*. 25. 1081-1096.

Priest, S. D.; Hudson, J. A. 1981. Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline surveys. *International Journal of Rock Mechanics, Min. Sci. & Geomech. Abstr*. 18. 183-197.

A. Renyi (1961) On measures of entropy and information. *Proc. 4-th Berkeley Symp. Math. Stat. Probab.*, vol. 1, 547--561

Richter, C.F. (1958) *Elementary Seismology*. W.H. Freeman. San Francisco

Rockworks. (1999) *ROCKWARE. Instruction manual*. Rockware Inc. Colorado

Samper, J. y Carrera, J. (1990) Geoestadística. Aplicaciones a la hidrología subterránea. *CIMNE-UPC. Barcelona.*

Santalo, L. A. (1976). *Integral geometry and geometric probability*. Addison Wesley Publishing Co. Reading, Ma. 404 pp.

Scholz, C.H. (1968) The frequency magnitude of microfracturing in rock and it relation to earthquakes. *Bull. Seismol. Soc. Am.* **58**: 399-416.

Shannon, C. E. (1948a) A mathematical theory of communication. *Bell Sys. Tech. Journ. XXVII (3)*: 379-423.

Smith, W.D. (1986) Evidence for Precursory Changes in the Frequency-magnitude b Value. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc*. **86**: 815-838.

Steketee, J.A. (1958) Volterra's dislocations in a semi-infinite medium. *Can. J. Phys*. 36: 192-205.

Stoyan, D.; Kendall, W. S.; Mecke, J. (1987). *Stochastic geometry and its applications*. John Wiley & Sons. Berlin. 345 pp.

Trifu, C.I. and Shumila, V.I. (1996) A Method foe Multidimensional Analysis of Earthquakes Frequency-magnitude Distribution with an Application to the Vrancea Region of Romania. *Tectonophysics* **261**: 9-22.

Tsallis, C. (1988) Possible generalization of Boltzmann-Gibbs statistics. *J. Stat. Phys*., *52*, 479-487.

Underwood, E. E. (1970). *Quantitative stereology*. Addison Wesley Publishing Co. Reading, Ma. 275 pp.

Utsu, T. and Seki, A. (1954) A relation between the area of aftershock region and the energy of main shock. *J. Seism. Soc. Japan* **7**: 233-240.

Utsu, T. (1978) Estimation of parameter values in formulas for magnitude frecuency relation of earthquake ocurrence. Zisin (J. Seism. Soc. Japan). 2(31). 367-382. (en japonés).

Vanmarcke, E. (1988) Random field, analysis and syntesis. *MIT*.

Visser, C. A.; Chessa, A. G. (2000) A new method for estimating lengths for partially exposed features. *Mathematical Geology*. 32. 109-126.

Voss, R.F. (1985) Random fractal forgeries. Fundamental algorithms for computer grafics. *NATO ASI Series F17 133:1-11*

Wadati, K. (1928) Shallow and deep earthquakes. *Geophys. Mag*. 1: 161-202.

Wells, D.L. and K.J. Coppersmith (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, and surface displacement. *Bull. Seism. Soc. Am*., v. 84, pp. 974-1002.

Wyss, M. Shimazaki, K. and Wiemer, S. (1997) Mapping Active Magma Chamber by b Values Beneath the Off-Ito Volcano, Japan. *J. Geophys. Res*. **102**: 15,115-15,128.

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA
APLICADA Y MÉTODOS INFORMÁTICOS

LA ENTROPÍA DE INFORMACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SISMOTECTÓNICO DE LA PENÍSULA IBÉRICA

DOCUMENTO Nº 2 ESTUDIO ECONÓMICO

Ignacio Vélez Pérez Noviembre de 2002

ESTUDIO ECONÓMICO

1 GENERALIDADES

Debido a que el enfoque del proyecto es fundamentalmente de investigación científica, su desarrollo no esta guiado criterios económicos que caracterizan a la mayoría de los trabajos de ingeniería. Sin embargo, esta circunstancia no impide que el presente proyecto tenga un interés económico relevante.

En primer lugar, como se ha visto, existen ciertas entidades dispuestas a pagar por el desarrollo de proyectos que se enmarcan dentro de este arrea de conocimiento, por ser de interés en el diseño, conservación y vigilancia de construcciones estratégicas de gran importancia como son las centrales nucleares o los cementerios de residuos radioactivos. Esta circunstancia justifica sobradamente el interés económico de este proyecto, por tratarse de un estudio previo sobre el que se apoyarán futuros trabajos de ingeniería.

Por otra parte está la pequeña aportación que espero que este proyecto haga al conocimiento del que disponemos de la sísmica en la península ibérica, y esto pueda ayudar a identificar las zonas de mayor peligrosidad sísmica, con la consiguiente activación de un plan de prevención que ayude a paliar los daños en dichas zonas en caso de la ocurrencia de un sismo de magnitud elevada.

Nuestro país, en comparación con otras regiones del Globo, no destaca por su nivel de sismicidad, pero desde luego no es un riesgo que deba menospreciarse, teniendo en cuenta que en el pasado histórico no son desconocidos en España los terremotos de intensidad IX. El ultimo de tal intensidad afectó a varios municipios de las provincias de Granada y Málaga en la Navidad de 1884. En Arenas de Rey (Granada) el sismo alcanzó una intensidad X. En las zonas mas afectadas (Arenas, Albunuelas, Alcaucin, Alhama, Zafarraya, etc.) el terremoto dejó alrededor de 800 víctimas mortales y unos 1.500 heridos. Cerca de 4.500 casas quedaron destruidas, siendo gravemente dañadas otras 13.000. Por poner otro ejemplo de manifestación sísmica de consideración, tomemos la ocurrida en febrero de 1999 en la región de Murcia, en la zona de Mula, con una magnitud de 4,8 y una intensidad VI-VII. Los daños económicos producidos por el evento se estimaron en 7.000 millones de pesetas, lo cual, teniendo en cuenta que se trata de una zona de poca concentración de personas y bienes, invita a pensar en

la gravedad de los efectos potenciales de un terremoto semejante en la propia capital de Murcia o en otra concentración urbana de igual o mayor población. Desde el punto de vista tanto humano como económico es una perspectiva preocupante.

Estos dos casos aclaran de forma total el interés (que no enfoque) económico del presente proyecto, dado que la metodología aquí presentada puede ayudar en gran manera al establecimiento de una identificación de las zonas potencialmente más peligrosas desde el punto de vista sísmico dentro de la península ibérica.

El beneficio económico que se puede extraer de la aplicación de esta metodología es muy difícil de cuantificar y por tanto no se va a incluir una partida de beneficios en el estudio de costes que a continuación se detalla.

2 ESTRUCTURA DE COSTES

2.1 Equipos.

En la tabla 2-1 se desglosan todas las partidas procedentes de la adquisición de los equipos informáticos necesarios para el desarrollo del proyecto en la UPM, tal y como se describió en el capítulo 0 de la memoria.

Tabla 2-1: Costes de la partida de equipos.

Cantidad	Concepto	Precio (EUR)	Amortización (EUR)
1	Ordenador	1500	375
1	Impresora	250	37,5
1	Tableta digitalizadora	500	125
	Total	**2250**	**537,5**

La amortización se hará dentro de los límites establecidos por el ministerio de hacienda en las tablas de amortización vigentes y mediante una fórmula de amortización lineal. En concreto, a los equipos informáticos de tratamiento de información, se les aplicará la amortización máxima permitida (25 %), así como a las máquinas copiadoras (15 %), haciéndose el supuesto

de que el valor residual de estos equipos al final de su vida útil es nulo. Por tanto, la amortización vendrá dada por el producto entre el valor de adquisición por la tasa de amortización.

2.2 Personal.

En el proyecto suscrito por la politécnica han trabajado el director del proyecto, un licenciado y un becario, cuyos sueldos se detallan en la tabla 2-2.

Tabla 2-2: Costes de la partida de personal.

Puesto	**Meses trabajados**	**Sueldo (EUR/mes)**	**Coste total (EUR)**
Director	12	250	3000
Licenciado	12	500	6000
Becario	12	300	3600
		Total	**12600**

2.3 Fungibles.

En esta partida se incluye el papel, cartuchos de tinta, carpetas y demás material de oficina utilizado, cuyo coste se estima en 650 euros a lo largo de una año de proyecto.

2.4 Resumen de costes.

En la tabla 2-3 se presentan agrupadas todas las partidas anteriormente citadas y se extraen los costes económicos totales del proyecto a lo largo de un año de trabajo.

Tabla 2-3: Resumen de costes.

Partida	**Coste (EUR)**
Equipos	2787,5
Personal	12600
Fungibles	650
Total	16037,5

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE
INGENIEROS DE MINAS

DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICA
APLICADA Y MÉTODOS INFORMÁTICOS

LA ENTROPÍA DE INFORMACIÓN Y SU APLICACIÓN EN EL ANÁLISIS SISMOTECTÓNICO DE LA PENÍSULA IBÉRICA

DOCUMENTO Nº 3 ANEXOS

Ignacio Vélez Pérez Noviembre de 2002

ANEXO A

NORMA DE CONSTRUCCIÓN SISMORRESISTENTE

NORMA DE CONSTRUCCION SISMORRESISTENTE

(PARTE GENERAL Y EDIFICACION)
NCSE-94

REAL DECRETO 2543/1994 de 29 de Diciembre

BOE 8 de Febrero de 1995 – Pág. 3935-3980

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. Objeto

La presente Norma tiene como objeto proporcionar los criterios que han de seguirse dentro del territorio español para la consideración de la acción sísmica en el proyecto, construcción, reforma y conservación de aquellas edificaciones y obras a las que le sea aplicable de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 1.2.

1.2. Aplicación de la Norma

1.2.1. Ámbito de aplicación.

Esta Norma es de aplicación al proyecto, construcción y explotación de edificaciones de nueva planta. En los casos de reforma o rehabilitación se tendrá en cuenta a fin de que los niveles de seguridad de los elementos afectados sean superiores a los que poseían en su concepción original.

Las prescripciones de índole general del apartado 1.2.4 serán de aplicación a todo tipo de construcciones, además de las disposiciones o normas específicas de sismorresistencia que les afecten. Cuando las prescripciones de estas normas específicas sean más exigentes que las de índole general, prevalecerán aquellas.

El proyectista o director de obra podrá adoptar, bajo su responsabilidad, criterios distintos a los que se establecen en esta norma, siempre que el nivel de seguridad y de servicio de la construcción no sea menor al fijado por la norma, debiéndolo justificar en el proyecto.

1.2.2. Clasificación de las construcciones.

A los efectos de esta norma, de acuerdo con el uso a que se destinan e independientemente del tipo de obra de que se trate, las construcciones se clasifican en:

1 De moderada importancia

Aquellas con probabilidad despreciable de que su destrucción por el terremoto pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio primario, o producir daños económicos significativos a terceros.

2 De normal importancia

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

3 De especial importancia

Aquellas cuya destrucción por el terremoto, pueda interrumpir un servicio imprescindible o dar lugar a efectos catastróficos. En este grupo se incluyen, al menos, las siguientes construcciones:

- Hospitales, centros o instalaciones sanitarias de cierta importancia.
- Edificios e instalaciones básicas de comunicaciones, radio, televisión, centrales telefónicas y telegráficas.
- Edificios para centros de organización y coordinación de funciones para casos de desastre.
- Edificios para personal y equipos de ayuda, como cuarteles de bomberos, policía, fuerzas armadas y parques de maquinaria y ambulancias.
- Las construcciones para instalaciones básicas de las poblaciones como depósitos de agua, gas, combustibles, estaciones de bombeo, redes de distribución, centrales eléctricas y centros de transformación.
- Las infraestructuras básicas como puentes y principales vías de comunicación de las poblaciones.
- Edificios e instalaciones vitales de los medios de transporte en las estaciones de ferrocarril, aeropuertos y puertos.
- Edificios e instalaciones industriales como las contempladas en el Real Decreto 886/1988 y las que alberguen materias tóxicas, inflamables o peligrosas.
- Las grandes construcciones de Ingeniería Civil como centrales nucleares o térmicas, presas, etc.
- Las construcciones catalogadas como monumentos históricos o artísticos, o bien de interés cultural o similar, por los Órganos competentes de las Administraciones Públicas.
- Las construcciones que así se consideren en el planeamiento urbanístico y documentos públicos análogos.

1.2.3. Criterios de aplicación de la Norma.

No es obligatoria la aplicación de esta Norma:

- En las construcciones de moderada importancia.
- En las demás construcciones cuando la aceleración sísmica de cálculo, a_c, (artículo 2.2) sea inferior a 0,06 g, siendo g la aceleración de la gravedad.

Si la aceleración sísmica de cálculo es superior a 0,08 g., no se utilizarán estructuras de mampostería en seco en las edificaciones de normal o de especial importancia.

Si la aceleración sísmica de cálculo es igual o mayor de 0,08 g. e inferior a 0,12 g. las edificaciones de fábricas de ladrillo, bloques de mortero o similares poseerán un máximo de cuatro alturas, y si dicha aceleración sísmica de cálculo es igual o superior a 0,12 g. un máximo de dos.

La aplicación de esta Norma debe hacerse calculando la estructura para la acción sísmica definida en los capítulos 2 y 3 y respetando las reglas de proyecto y las prescripciones constructivas indicadas en el capítulo 4.

1.2.4. Prescripciones de índole general.

Se consideran prescripciones de índole general los apartados siguientes:

1.2.2. Clasificación de las construcciones
2.1. Mapa de peligrosidad sísmica. Aceleración sísmica básica
2.2. Aceleración sísmica de cálculo

CAPITULO 2

INFORMACIÓN SÍSMICA

2.1. Mapa de peligrosidad sísmica. Aceleración sísmica básica.

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio del mapa de peligrosidad sísmica de la fig. 2.1. Dicho mapa suministra - para cada punto del territorio y expresada en relación al valor de la gravedad - la aceleración sísmica básica, a_b, un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno, correspondiente a un período de retorno de quinientos años.

El mapa suministra además los valores del coeficiente de contribución K, definido en el apartado 2.3.

La lista del anejo 1 detalla por municipios los valores de la aceleración sísmica básica iguales o superiores a 0,04 *g*, junto con los del coeficiente de contribución K.

2.2. Aceleración sísmica de cálculo.

La aceleración sísmica de cálculo, a_c, se define como el producto:

$$a_c = \rho a_b$$

donde:

a_b: es la aceleración sísmica básica definida en 2.1.

ρ: es un coeficiente adimensional de riesgo cuyo valor, en función del período de vida en años, t, para el que se proyecta la construcción, viene dado por:

$$\rho = (t/50)^{0,37}$$

siendo, a efectos de cálculo:

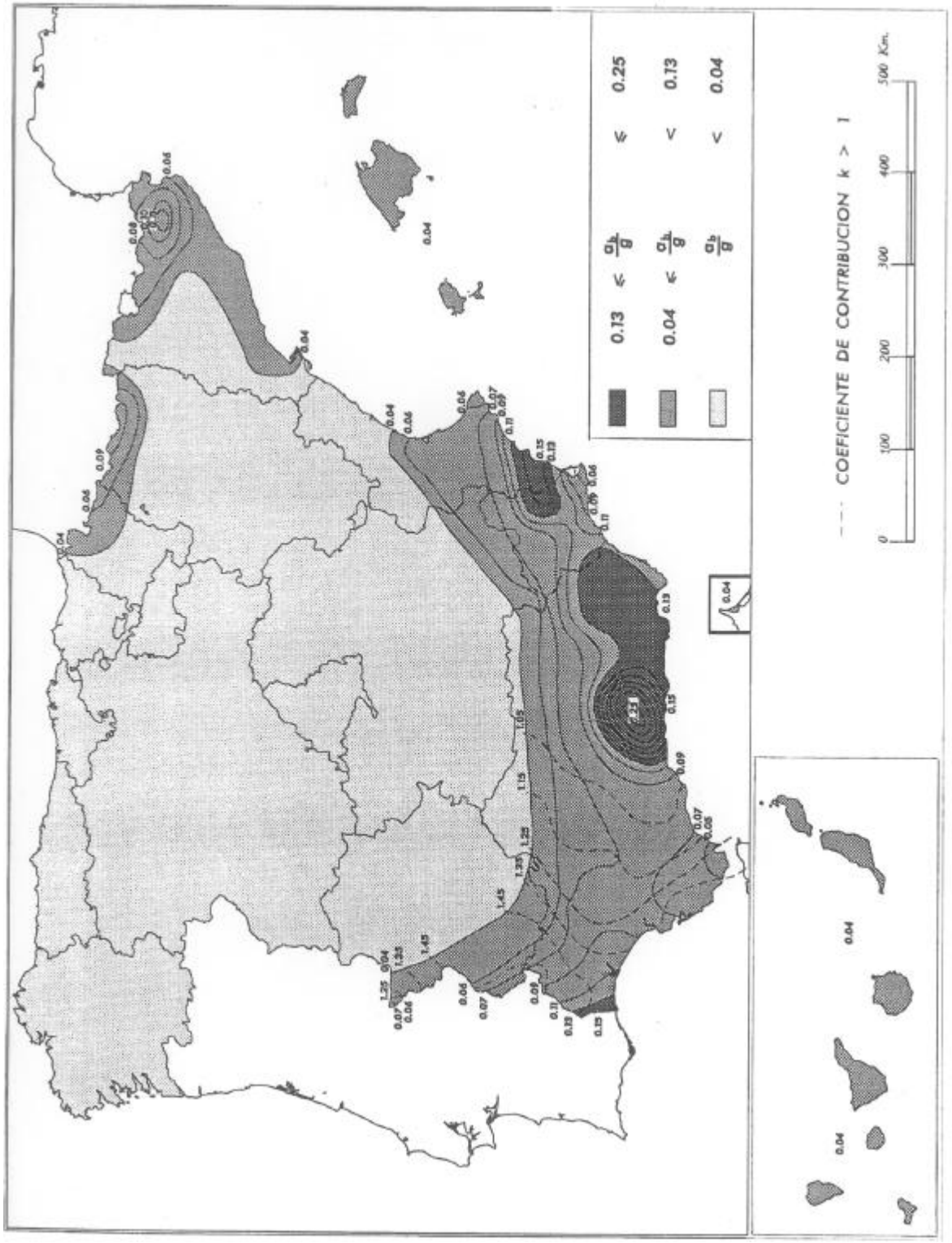


FIGURA 2.1. Mapa de Peligrosidad Sísmica

t≥ 50 *años* para construcciones de normal importancia.
t≥ 100 *años* para construcciones de especial importancia.

En la tabla 2.1, se recogen los valores más usuales del coeficiente de riesgo ρ.

TABLA 2.1

COEFICIENTE DE RIESGO ρ

PERIODO DE VIDA	ρ
t= 50 años	1
t= 100 años	1,30

2.3. Espectro elástico de respuesta.

Esta norma establece un espectro elástico de respuesta, para movimientos horizontales, correspondiente a un oscilador lineal simple con un amortiguamiento de referencia del 5% respecto al crítico, que consta de tres tramos definidos por las siguientes ordenadas espectrales:

- Tramo de períodos bajos ($T < T_0$):

$$\alpha(T) = 1{,}0 + [\alpha(T_o) - 1{,}0]\ T / T_o$$

- Tramo de períodos intermedios ($T_0 \leq T \leq T_1$):

$$\alpha(T) = \alpha(T_0)$$

- Tramo de períodos altos ($T > T_1$):

$$\alpha(T) = \alpha(T_0)\ T_1/T$$

siendo:

$$\alpha(T_o) = (3C - 3{,}8)\ (K - 1{,}25) + 2{,}30$$

$$T_o = 0{,}125\ C + 0{,}2\ K - 0{,}175$$

$$T_1 = \frac{0{,}215\ K\ (5C - 1)}{\alpha\ (T_o)}$$

y donde:

- T: Período considerado en segundos
- C: Coeficiente de suelo -definido en 2.3.1.- dependiente de las características del terreno existente en los primeros treinta metros bajo la estructura.
- K: Coeficiente de contribución, que tiene en cuenta la influencia en la peligrosidad sísmica de cada punto de los distintos tipos de terremotos considerados en el cálculo de la misma. Sus valores se establecen en la lista del anejo 1 y en el Mapa de peligrosidad sísmica de la figura 2.1.

La tabla 2.2. proporciona T_0, T_1 y $\alpha(T_0)$ para valores seleccionados de los coeficientes C y K.

TABLA 2.2

VALORES SIGNIFICATIVOS DE DISTINTOS ESPECTROS DE RESPUESTA.

	C	K					
		1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
T_o	1,0 1,4 1,8	0,15 0,20 0,25	0,17 0,22 0,27	0,19 0,24 0,29	0,21 0,26 0,31	0,23 0,28 0,31	0,25 0,30 0,35
T_1	1,0 1,4 1,8	0,34 0,59 0,91	0,39 0,63 0,92	0,44 0,68 0,93	0,50 0,72 0,94	0,55 0,77 0,95	0,61 0,81 0,96
$\alpha(T_o)$	1,0 1,4 1,8	2,50 2,20 1,90	2,42 2,24 2,06	2,34 2,28 2,22	2,26 2,32 2,38	2,18 2,36 2,54	2,10 2,40 2,70

2.3.1. Clasificación del terreno. Coeficiente de suelo.

A los efectos de esta norma, los terrenos se clasifican en los siguientes tipos:

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

- Terreno tipo II: Terrenos granulares o cohesivos de compacidad media a dura. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla 750 *m/s* ≥ V_s >400 *m/s*.

- Terreno tipo III: Suelo granular suelto a medio, o suelo cohesivo medio a blando. Velocidad de propagación de las ondas elásticas transversales o de cizalla V_s ≤ 400 *m/s*.

El coeficiente de suelo C se obtiene de la tabla 2.3. en función del tipo de terreno existente en una profundidad no menor de 30 metros por debajo de la cimentación.

Las formaciones de suelo se supone que deben ser extensas en relación con las dimensiones de la estructura. Cuando el terreno no sea homogéneo en profundidad, y esté formado por n estratos distintos, se adoptará como valor de C el valor medio obtenido al ponderar los coeficientes C_i de cada estrato con su espesor, e_i, mediante la expresión:

$$C = \sum_{i=1}^{n} C_i \; e_i \; / \; \sum_{i=1}^{n} e_i$$

Si el valor de C_i correspondiente a un determinado estrato fuese mayor que el del estrato superior, se considerará un único estrato del espesor de ambos, al que se le asignará el valor más elevado de C_i.

La profundidad del terreno por debajo del edificio, se considerará a partir del nivel de cimentación, salvo en los edificios con sótanos cerrados por un muro perimetral continuo de forma rígida, en los que se medirá a partir del forjado de nivel más alto que se enlaza con el muro.

TABLA 2.3.

COEFICIENTE DE SUELO

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

2.3.2. Modificación del espectro elástico de respuesta en función del amortiguamiento.

Para valores Ω, en %, del amortiguamiento en relación al crítico de la estructura diferentes del 5 %, las ordenadas del espectro para períodos $T \geq T_0$ se multiplicarán por el factor

$$n = (5 \; / \; \Omega)^{0,4}$$

Para períodos $T < T_0$, las ordenadas espectrales se interpolarán linealmente entre los valores correspondientes a $T = 0$ y $T = T_0$

2.4. Espectro elástico de respuesta para movimientos verticales.

Cuando sea preciso considerar movimientos verticales, se adoptará un espectro elástico de respuesta cuyas ordenadas espectrales sean el 70% de los valores correspondientes a las del espectro para movimientos horizontales definido en 2.3.

CAPITULO 3

ACCIONES Y CALCULO

3.1. Generalidades.

El objeto del cálculo sismorresistente es verificar la seguridad de las construcciones ante las acciones sísmicas que puedan actuar sobre ellas durante su período de vida útil.

A tal efecto, la norma proporciona los criterios para la determinación de:

- las masas y rigideces de la estructura
- los períodos y modos de vibración de la estructura
- la respuesta de la estructura ante las acciones sismicas resultantes de la aplicación de la información del capitulo 2
- la verificación de la seguridad de la estructura

3.2. Masas que intervienen en el cálculo.

A los efectos de esta norma se considerarán las masas correspondientes a la propia estructura, las masas permanentes, y una fracción de la de las restantes masas - siempre que éstas tengan un efecto desfavorable sobre la estructura- de valor:

- en viviendas, hoteles y residencias	0,3
- en edificios públicos, oficinas, comercios	0,6
- en locales de aglomeración y espectáculos	0,6
- para sobrecarga de nieve, si ésta permanece menos de 30 días al año	0,3
- para sobrecargas de uso en almacenes, archivos, etc.	1,0

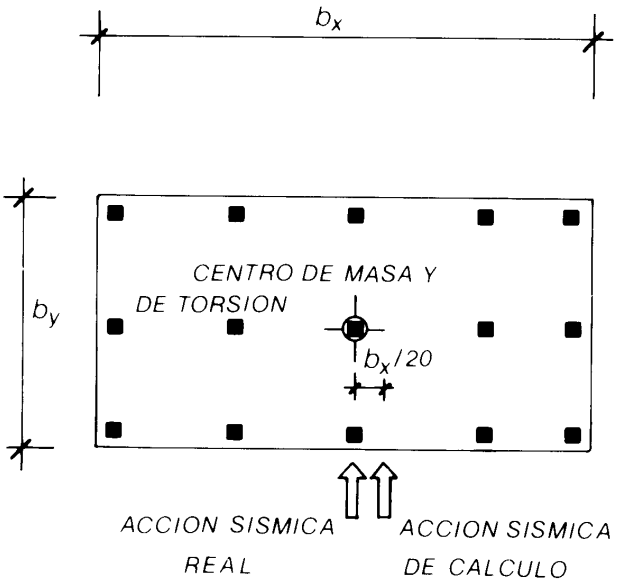


FIGURA 3.1. Excentricidad mínima para masas uniformemente repartidas.

En las estructuras en que no coinciden el centro de masas y el de torsión, bien por irregularidad geométrica y mecánica, o bien por una distribución no uniforme de las masas, habrá que tener en cuenta el efecto de torsión que se produce. No obstante, en las estructuras de edificación se deberá considerar una excentricidad adicional de la acción sísmica en cada planta, no menor de 1/20 de la mayor dimensión de la planta en el sentido perpendicular a la dirección del sismo, siempre que las cargas -supuestas de distribución uniforme en el cálculo- pudieran ocupar sólo una parte de la superficie. (Fig. 3.1)

3.3. Acciones que se consideran en el cálculo.

Las acciones sísmicas se considerarán actuando simultáneamente con las acciones que se señalan a continuación:

I/ <u>Acciones gravitatorias</u>

a) Con carga (peso propio y cargas permanentes)
b) Sobrecargas de uso
c) Sobrecarga de nieve

II/ <u>Acciones horizontales</u>

d) Acción del viento. No es preceptiva, salvo en los casos de situación topográfica expuesta.
e) Empujes del terreno, agua y materiales sueltos en contacto o contenidos en la estructura.

III/ Otras acciones

f) Acciones térmicas. Afectadas con su valor característico.
g) Acciones de retracción. Afectadas con su valor característico.
h) Acciones de pretensado. Afectadas con su valor característico.

3.4. Verificación de la seguridad.

Para la verificación de la estructura bajo las acciones sísmicas se comprobará que para la combinación más desfavorable de acciones contemplada en el apartado 3.3. anterior, los coeficientes globales de seguridad corresponden a los que fijan las diferentes Instrucciones, Normas y Reglamentos cuando se consideran las acciones sísmicas.

En el caso de que dichos coeficientes de seguridad no estén fijados expresamente en las citadas Instrucciones, Normas y Reglamentos, para la combinación de la acción sísmica con las restantes acciones se considerará la hipótesis sísmica como una situación accidental, ponderando para el cálculo de los estados límites últimos todas las acciones variables desfavorables y permanentes con coeficientes de mayoración iguales a la unidad, y las variables favorables con cero.

Con la acción sísmica no es preceptivo considerar como estados límites los de utilización, salvo casos especiales en los que la durabilidad de la estructura o de otros elementos constructivos dependientes de ella sea extremadamente importante, o pueda dar lugar a efectos catastróficos. En particular deberán calcularse los desplazamientos que puedan ocasionar choques con estructuras o construcciones colindantes.

En los casos en que la importancia de la obra lo justifique, podrá hacerse un estudio específico para considerar la interacción suelo- estructura sin que con ello pueda reducirse la acción sísmica más de un 30% del valor que se obtendría con la estructura supuesta sobre base rígida.

3.5. Métodos de cálculo.

Esta norma establece como método usual de cálculo el análisis modal de la estructura. Se permite el estudio dinámico directo con las condiciones establecidas en el apartado 3.6.1.

La Norma desarrolla además, en el apartado 3.7, un método simplificado de cálculo para los casos más usuales de edificación, cuya aplicación se autoriza, sólo y exclusivamente, a las construcciones que cumplan la totalidad de los siguientes requisitos:

(1) El número de plantas es inferior a veinte.

(2) La altura del edificio sobre rasante es inferior a sesenta metros.

(3) Existe regularidad en planta, sin entrantes ni salientes importantes.

(4) Dispone de soportes continuos hasta cimentación, uniformemente distribuidos en planta y sin cambios bruscos en su rigidez.

(5) Dispone de regularidad geométrica en planta y altura y de regularidad mecánica en la distribución de rigideces, resistencias y masas, de modo que los centros de masa, rigidez y torsión de todas las plantas están situados, aproximadamente, en la misma vertical.

(6) La excentricidad del centro de las masas que intervienen en el cálculo sísmico respecto al de torsión es inferior al 10% de la dimensión en planta del edificio en cada una de las direcciones principales.

3.6. Procedimientos generales de cálculo.

3.6.1. Estudio dinámico directo.

El estudio dinámico directo, realizado en el dominio del tiempo o de la frecuencia, debe hacerse a partir de acelerogramas representativos del movimiento del suelo. Para ello, se requiere escalar convenientemente los acelerogramas elegidos -en tiempo y amplitudes- de forma que el acelerograma modulado sea compatible con la información sísmica del capítulo 2. En concreto lo ha de ser con el espectro elástico de respuesta y con la aceleración sísmica de cálculo.

La respuesta de la estructura se determinará, para un modelo elástico lineal equivalente o para un modelo no lineal. En ambos casos deberán justificarse debidamente las leyes de comportamiento adoptadas para los materiales.

Pueden utilizarse tanto acelerogramas reales como artificiales, justificando en todo caso su estructura en el dominio del tiempo, su contenido en frecuencias y su duración, de acuerdo con las caracteristicas del sismo de cálculo.

Si se trata de acelerogramas reales, los resultados de los esfuerzos o desplazamientos obtenidos a partir de cada acelerograma se mayorarán con un factor de 1,35 para obtener los valores característicos. En este caso los cálculos deberán realizarse para un mínimo de tres acelerogramas diferentes, adoptando como solicitación de cálculo el promedio de los valores característicos obtenidos con cada uno.

3.6.2. Análisis modal espectral

Este método está basado en el empleo del espectro de respuesta, y requiere la combinación ponderada de las solicitaciones provenientes de cada modo de vibración de la estructura.

3.6.2.1. Modelo de estructura

Para el análisis modal se establecerá un modelo discreto de estructura en el que se planteen los grados de libertad que mejor representen el comportamiento de la estructura real.

Los edificios de pisos con soportes continuos hasta la cimentación pueden analizarse a partir de sólo tres grados de libertad por planta, suponiendo en ésta los movimientos del sólido rígido en su plano: dos traslaciones y una rotación.

Si el edificio es:

(1) De planta regular y
(2) Con excentricidad de masas respecto al centro de torsión inferior al 10% de la dimensión en planta, en cada una de las dimensiones principales.

puede analizarse a través de dos modelos planos ortogonales independientes, cada uno de ellos con un solo grado de libertad por planta. En este caso, para cada hipótesis sísmica se combinarán las acciones pésimas de cada modelo con el 30% de las acciones pésimas del otro modelo ortogonal.

3.6.2.2. Desplazamientos modales máximos equivalentes.

Debidos a la acción sísmica, los desplazamientos máximos $u_{ij,max}$ para el modo de vibración i, correspondiente a cada grado de libertad j, supuesto en el modelo lineal equivalente de la estructura, vienen dados por:

$$u_{i\,j,\,max} = a_{i\,j,\,max} / w_i^2$$

donde: $a_{i\,j,max} = a(T_i)\ n\ h_{i\,j}\ k_i\ a_c / m \quad ,, \quad m \leq 4$

siendo:

ω_i: Frecuencia propia del modo de vibración i ($\omega_i = 2\pi/T_i$)

$a_{ij,max}$: Componente del vector aceleración asociado al modo de vibración i, correspondiente al grado de libertad j.

a_c: Aceleración sísmica de cálculo, definida en 2.2. expresada en m/s^2.

μ: Coeficiente de comportamiento por ductilidad de la estructura.

$\alpha(T_i)$: Ordenada del espectro definido en 2.3 -ó 2.4 en su caso- para el período del modo considerado.

ν: Coeficiente, dependiente del amortiguamiento, definido en 2.3.2.

η_{ij}: Factor de distribución del modo de vibración i, correspondiente a la masa m, y grado de libertad j.

κ_i: Coeficiente que adopta los siguientes valores:

$$k_i = m/n \quad ,, \quad para \quad T_i = 0$$
$$k_i = 1 \quad ,, \quad para \quad T_i \geq T_0$$

$$k_i = \frac{1}{b.a(T_i)}\{1 + \frac{T_i}{T_0}[b\,.\,a\ (T_0) - 1\ ]\} \qquad \text{para} \qquad 0 < T_i < T_0$$

donde T_0 tiene el significado especificado en 2.3 y $\beta = \nu/\mu$.

3.6.2.3. Modos de vibración.

3.6.2.3.1. Número mínimo de modos a considerar.

En cada caso se considerará el número r de modos de vibración con contribución significativa en el resultado, y como mínimo se considerarán

- tres modos en el caso de modelos planos de estructura (Fig 3.2)
- cuatro modos en el caso de modelos espaciales de estructura, dos traslacionales y otros dos rotacionales.
- todos los modos de período superior a T_o (apartado 2.3).

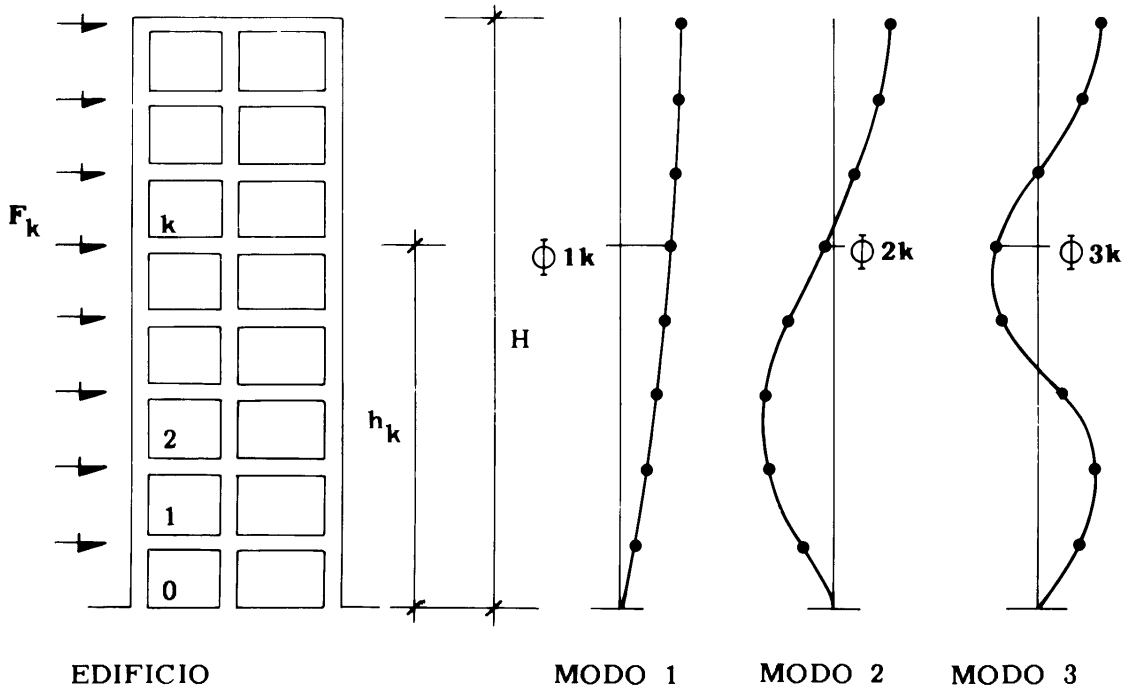


FIGURA 3.2. Modos de vibración en modelos de planos de estructuras de pisos.

3.6.2.3.2. Cálculo del período fundamental de los modos de vibración de la estructura.

El período fundamental de la estructura se determinará por alguno de los siguientes procedimientos, por orden de preferencia:

- Ensayos sobre construcciones de características iguales o semejantes a las que se considera.
- Ensayos sobre modelos de la construcción considerada.
- Procedimientos teóricos de la Mecánica y de la Elasticidad.

- Fórmulas aproximadas o empíricas, siempre que se cumplan las condiciones de regularidad indicadas en el epígrafe 3.7.2.2.

3.6.2.4. Combinación de los resultados obtenidos para los diferentes modos.

La combinación de los resultados obtenidos en el análisis de los diferentes modos de vibración, debe efectuarse para toda variable asociada a cada grado de libertad supuesto (desplazamientos, solicitaciones, tensiones, etc). Si S representa la variable a calcular y S_i su valor en el modo i, la regla de combinación -en la hipótesis de que los períodos de los modos difieren en más de un 10%- es:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{r} S_i^2}$$

siendo r el número de modos que suponen una contribución significativa al resultado.

Para aquellos modos de vibración cuyos períodos difieren en cambio menos del 10%, puede adoptarse para ellos la suma de los valores absolutos S_i, correspondientes a cada modo i, o bien la fórmula indicada en los comentarios a este artículo.

3.6.2.5. Cálculo de las solicitaciones.

El método requiere la combinación ponderada de las solicitaciones provenientes de cada modo de vibración de la estructura.

La distribución de las solicitaciones -y consecuentemente de las tensiones- se obtiene a partir de las variables S, obtenidas de la combinación de modos, de acuerdo con el modelo discreto que traduce la estructura real.

En particular, en edificios de pisos en los que se haya adoptado tres grados de libertad por planta, las solicitaciones globales de planta se asignarán a cada elemento en proporción a las componentes utilizadas para la determinación del centro de torsión.

Si se han utilizado dos modelos planos ortogonales, la asignación de las solicitaciones se hará teniendo en cuenta las torsiones provocadas por la excentricidad de las masas definidas en 3.2.

Deberá considerarse la pertinencia del análisis de los efectos de segundo orden, de acuerdo con la importancia de los desplazamientos obtenidos.

3.7. Método simplificado de cálculo para los casos más usuales de edificación

3.7.1. Modelo de la estructura.

Las construcciones que reúnan los requisitos establecidos en el epígrafe 3.5 se podrán asimilar a un modelo unidimensional constituido por un oscilador múltiple con un sólo grado de libertad por planta. Su análisis se podrá realizar a partir de un sistema equivalente de fuerzas horizontales que produzcan

en los distintos puntos de las construcciones los mismos efectos que las fuerzas de inercia desarrolladas en ellas a causa de los terremotos.

La comprobación de la estructura se llevará a cabo, al menos,para dos direcciones ortogonales independientes.

3.7.2. Modos de vibración.

3.7.2.1. Número de modos a considerar.

Los modos a considerar en función del período fundamental de la construcción, T_F, serán los siguientes:

(1) El primer modo, si $T_F \leq 0{,}75s$
(2) El primero y segundo modo, si $0{,}75s < T_F \leq 1{,}25s$
(3) Los tres primeros modos, si $T_F > 1{,}25s$

Para la consideración de los efectos de los distintos modos, se aceptan las siguientes relaciones entre los períodos del modo i, T_i, y del modo fundamental,T_F:

$$T_i = T_F/(2i-1)$$

3.7.2.2. Cálculo del período fundamental de los edificios.

Para edificios (Fig 3.3) que reúnen los requisitos del apartado 3.5, el período fundamental T_F, en *segundos*, puede determinarse mediante las expresiones:

(1) Edificios con muros de fábrica de ladrillo o bloques

$$T_F = 0{,}06H \sqrt{(H/(2L+H))} \;/\; \sqrt{L}$$

(2) Edificios con pórticos de hormigón armado sin la colaboración de pantallas rigidizadoras

$$T_F = 0{,}09\, n$$

(3) Edificios con pórticos de hormigón armado con la colaboración de pantallas rigidizadoras.

$$T_F = 0{,}07 \;\; n \;\; \sqrt{H/(B+H)}$$

(4) Edificios de pórticos rígidos de acero laminado.

$$T_F = 0{,}11\, n$$

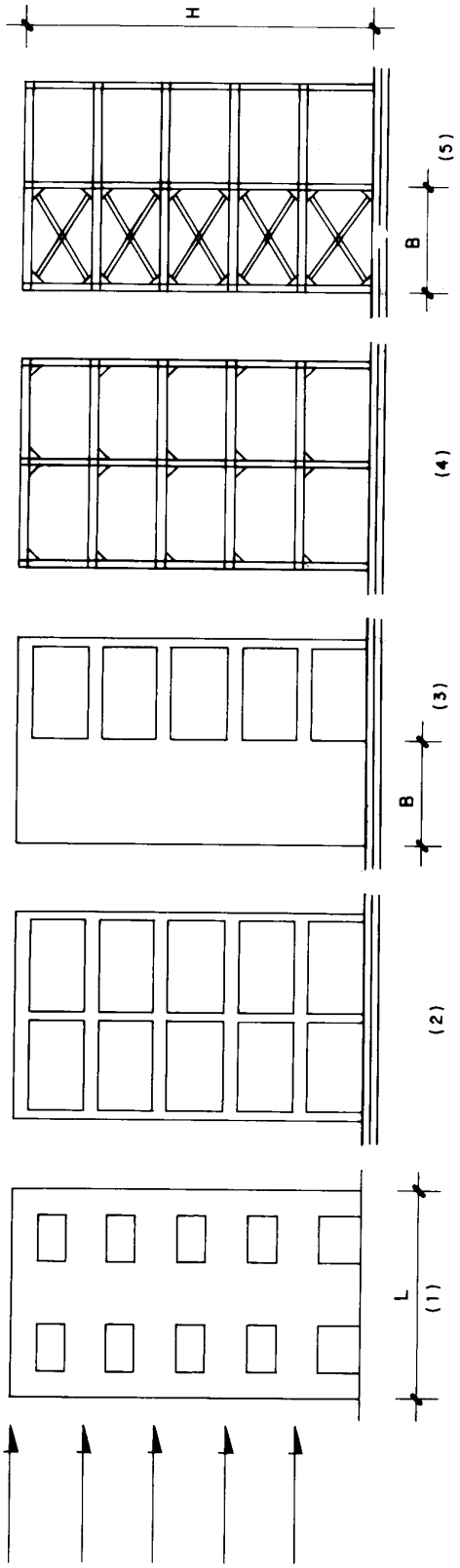


FIGURA 3.3. Esquema de los diferentes tipos de estructuras

(5) Edificios de pórticos de acero laminado con planos triangulados resistentes.

$$T_F = 0{,}085\, n \sqrt{H / (B + H)}$$

Siendo:

H: Altura de la edificación, sobre rasante, en *metros.*

n: Número de plantas sobre rasante.

B: Dimensión de las pantallas rigidizadoras, o de los planos triangulados, en el sentido de la oscilación, en *metros*.

L: Dimensión en planta de la edificación, en el sentido de la oscilación, en *metros.*

3.7.3. Cálculo de las fuerzas sísmicas

La fuerza sísmica estática equivalente, F_{ik} correspondiente a la planta k y modo de vibración i, viene dado por

$$F_{ik} = s_{ik} P_{ik}$$

donde:

P_k: Peso correspondiente a las masas,m_k, de la planta k, definidas en el apartado 3.2.

s_{ik}: Coeficiente sísmico correspondiente a la planta k en el modo i, de valor:

$$s_{ik} = (a_c / g).\ \alpha_1(T_i)\ \beta\ \eta_{ik}$$

Siendo:

a_c: Aceleración sísmica de cálculo determinada en el apartado 2.2, expresada en *m/s*^{2}.

g: Aceleración de la gravedad.

α_1 (T_i): Ordenada espectral de cálculo correspondiente al período T_i del modo i considerado. Para movimientos horizontales, adopta los siguientes valores en relación con el espectro elástico de respuesta.

$$\alpha_1 (T) = \alpha(T) \quad ,, \quad \text{Si } T \geq T_o$$
$$\alpha_1 (T) = \alpha(T_o) \quad ,, \quad \text{Si } T < T_o$$

β: Coeficiente de respuesta, definido en el apartado 3.7.3.1.

η_{ik}: Factor de distribución correspondiente a la planta k, en el modo i, definido en el apartado 3.7.3.2.

3.7.3.1. Coeficiente de respuesta β

Viene expresado por:

$$\beta = \nu/\mu$$

siendo:

ν: Factor de modificación del espectro en función del amortiguamiento, definido en el apartado 2.3.2.

μ: Coeficiente de comportamiento por ductilidad, definido en el apartado 3.6.2.2.

El coeficiente de respuesta, β, se obtiene en la tabla 3.1 en función del tipo de estructura, grado de compartimentación de las plantas, amortiguamiento y ductilidad de las estructuras. A estos efectos:

a) Para considerar una estructura como de ductilidad MUY ALTA (μ = 4), la resistencia a las acciones horizontales debe obtenerse mediante pórticos planos o espaciales de nudos rígidos dúctiles. Si existen elementos o núcleos de rigidización, como planos triangulados o pantallas, éstos deben diseñarse de forma que tomen menos del 50% de la carga horizontal total que actúa sobre el edificio. En el caso de estructura de hormigón, las vigas deben ser de canto y deben existir -en las condiciones anteriores- pantallas acopladas unidas por vigas cortas muy dúctiles, con estudio especial de los nudos.

b) Si en el caso anterior, los planos o pantallas toman más del 50% de la carga horizontal, o en el caso de hormigón armado, si las pantallas no están acopladas pero se mantienen las vigas de canto, la estructura se deberá suponer sólo de ductilidad ALTA (μ = 3).

c) Si la estructura posee los soportes de acero u hormigón y no satisface los requisitos anteriores, en particular, si está formada por losas, forjados sin vigas, forjados reticulares, o forjados unidireccionales con vigas planas, la estructura debe suponerse -a lo sumo- como de ductilidad BAJA (μ = 2).

d) Las estructuras de muros de hormigón o de bloques de mortero, armados vertical y horizontalmente, con una cierta capacidad de deformación plástica estable ante acciones laterales cíclicas y alternadas, pueden considerarse también como de ductilidad BAJA (μ= 2).

e) Las estructuras no incluidas en los grupos anteriores -en particular las de muros de mampostería o ladrillo- aún cuando incluyan en su interior entramados de madera, o estén reforzadas o armadas solo en puntos críticos, deben considerarse como estructuras SIN DUCTILIDAD (μ = 1).

En la evaluación de la componente vertical de la acción sísmica se adoptara siempre un coeficiente de comportamiento por ductilidad μ= 1, salvo que se justifique un valor superior mediante el correspondiente análisis.

Los diferentes tipos estructurales, para poseer la ductilidad definida, deben cumplir además los requisitos en cuanto a tipos de sección, excentricidades en la unión viga-soporte, armaduras, etc., que se establecen en el capítulo 4. Si existen dudas acerca de la capacidad plástica de las secciones, ya que éstas no verifican alguna de las condiciones señaladas en dicho capítulo, deberá tomarse un valor prudente por exceso del coeficiente β.

Cuando se proyecta para valores elevados de ductilidad se comprobará que las deformaciones correspondientes son admisibles para la estructura, para los elementos secundarios y para las juntas con estructuras contiguas.

TABLA 3.1

VALORES DEL COEFICIENTE DE RESPUESTA β

TIPO DE ESTRUCTURA SOPORTE	TIPO DE PLANTA	Ω (%)	DUCTILIDAD			SIN DUCTI-LIDAD (μ =1)
			MUY ALTA (μ =4)	ALTA (μ =3)	BAJA (μ =2)	
ACERO LAMINADO	Diáfana	4	0,27	0,36	0,55	1,09
	Compartimentada	5	0,25	0,33	0,50	1,00
HORMIGON ARMADO	Diáfana	6	0,23	0,31	0,46	0,93
	Compartimentada	7	0,22	0,29	0,44	0,87
MUROS Y TIPOS SIMILARES	Compartimentada	10			0,38	0,76

3.7.3.2. Factor de distribución η

El valor del factor de distribución, η_{ik}, correspondiente a la planta k en el modo de vibración i toma el valor:

$$\boldsymbol{h}_{i\,k} = \varnothing_{i\,k} \frac{\sum_{k=1}^{n} m_k \ \varnothing_{i\,k}}{\sum_{k=1}^{n} m_k \ \varnothing_{i\,k}^2}$$

Siendo (ver figura 3.2):

n: Número de plantas
m_k: Masa de la planta k, definida en 3.2.
$\varnothing_{ik}$: Coeficiente de forma correspondiente a la planta k en el modo i, para el que puede adoptarse la siguiente expresión aproximada

$$\varnothing_{i\,k} = \text{sen}[(2\,i - 1)\ \pi\ h_k\ /\ 2\,H]$$

donde:

h_k: Altura sobre cimentación -o rasante- de la planta k.
H: Altura total de la estructura del edificio.

3.7.3.3. Desplazamientos.

El desplazamiento, u, en la dirección que pueda significar choque con estructuras colindantes se determinará por la expresión:

$$u = u_e\ \mu$$

donde:

u_e: Desplazamiento lineal equivalente, calculado en régimen elástico.
μ: Coeficiente de comportamiento por ductilidad definido en el apartado 3.6.2.2.

3.7.4. Sistema de fuerzas estáticas equivalentes.

El sistema de fuerzas estáticas equivalentes F_k necesario para el análisis de la estructura frente al sismo en la dirección considerada, se obtiene a partir de las fuerzas F_{ik}, como sigue:

- Obtención de los cortantes V_{ik} de cada planta k en el modo i, como suma de las F_{ik} existentes entre la última planta y la planta k considerada.

- Obtención del cortante combinado V_k de la planta k para los distintos modos i considerados,mediante la expresión:

$$V_k = \sqrt{\sum_{i=1}^{r} V_{i\,k}^2}$$

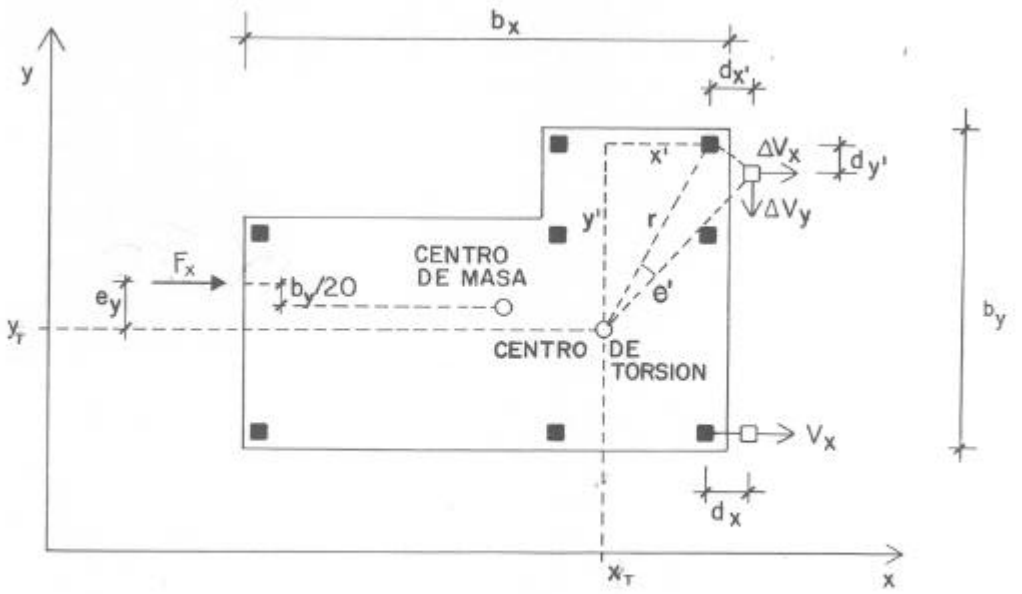
- Obtención del sistema de fuerzas estáticas equivalentes F_k para cada planta k, por diferencia entre los valores del cortante V_k y del cortante de la planta superior V_{k+1}.

Las fuerzas F_k constituyen el sistema equivalente de acciones sísmicas de cálculo que permite proceder al análisis completo de la estructura para la dirección considerada.

3.7.5. Compatibilidad en planta.

El análisis de la estructura deberá tener en cuenta la compatibilidad de deformaciones en planta de todos los elementos estructurales, a partir del análisis de traslación y torsión combinadas de una planta respecto a la siguiente, para equilibrar la acción sísmica aplicada en el centro de masas de cada una, teniendo en cuenta la excentricidad accidental de las mismas según se define en el artículo 3.2.

Si el análisis se realiza para el conjunto de pórticos paralelos a traslación simple, las solicitaciones, teniendo en cuenta la compatibilidad en planta a torsión, se obtendrán en general a partir de los cortantes en los soportes, de valor: (figura 3.4)



V_x, V_y = Cortante por movimiento de traslación.
$\Delta V_x, \Delta V_y$ = Cortante por movimiento de rotación.

FIGURA 3.4. Cortantes en los soportes

$$V'_x = V_x \left(1 + \frac{y' \, F_x \, e_y}{K_T \, d_x} \right)$$

$$V'_y = -V_y \, \frac{x' \, F_x \, e_y}{K_T \, d_y}$$

Siendo

V'_x, V'_y: Cortantes simultáneos en las direcciones x e y, teniendo en cuenta la compatibilidad en planta para sismo en dirección x.

V_x, V_y: Cortantes obtenidos en el análisis de traslación independiente para las direcciones x e y.

F_x: Acción horizontal total sobre el conjunto de pórticos paralelos en la dirección x, por encima de la planta considerada, actuando en la vertical del centro de masas de dicho conjunto de plantas.

x', y': Coordenadas de cada soporte relativas al centro de torsión, definido por:

$$x_T = \sum V_y \, x / \sum V_y$$
$$y_T = \sum V_x \, y / \sum V_x$$

e_y: Excentricidad de la acción sísmica horizontal F_x respecto al centro de torsión, que se obtiene incrementando la excentricidad real en el sentido desfavorable un valor $b_y/20$, siendo b_y la mayor dimensión de la planta en la dirección y.

K_T: Constante de torsión de la planta, de valor:

$$K_T = \sum (V_x \, y'^2 / d_x + V_y \, x'^2 / d_y)$$

el sumatorio se extiende a todos los soportes.

d_x, d_y: Desplazamientos relativos entre la base y el pie de los soportes de la planta considerada, determinados por un análisis a traslación conjunta e independientemente para las direcciones x e y, de todos los pórticos.

Para el análisis de la acción del sismo en la dirección perpendicular se adoptarán las mismas expresiones intercambiando x por y.

3.7.6. Efectos de torsión por excentricidad accidental.

En edificios simétricos (Fig 3.5) podrá sustituirse la excentricidad accidental (apartado 3.2) y el consiguiente análisis de compatibilidad en planta, por la aplicación a cada elemento estructural, de un coeficiente de mayoración adicional γ_n, de valor:

$$g_{nx} = 1 + 0{,}6 \, y / b_y \qquad \text{para sismo en dirección y}$$
$$g_{ny} = 1 + 0{,}6 \, x / b_x \qquad \text{para sismo en dirección x}$$

siendo b_x: Dimensión de la planta en dirección x.
b_y: Dimensión de la planta en dirección y.
x : Distancia del elemento al eje de simetría en dirección x.
y : Distancia del elemento al eje de simetría en dirección y.

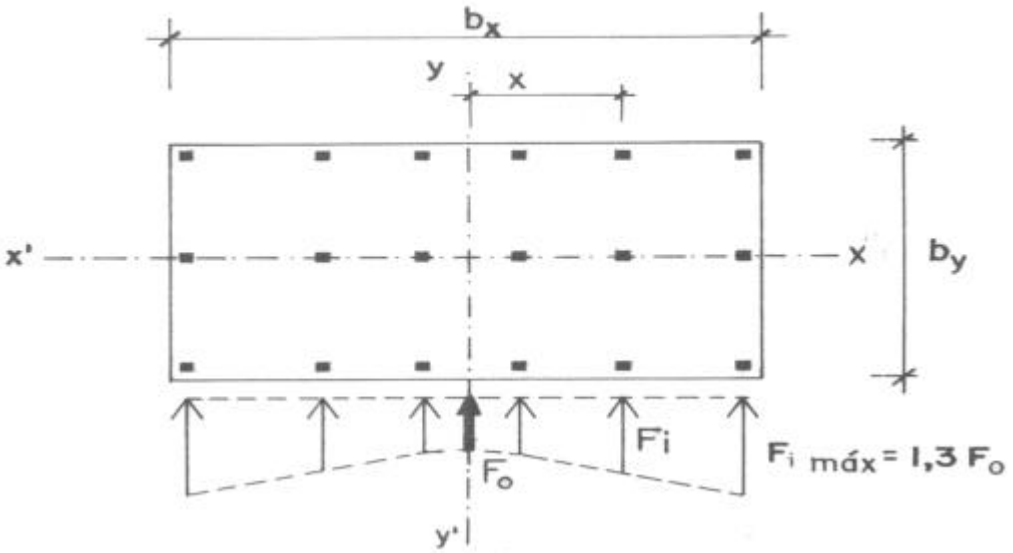


FIGURA 3.5. Excentricidad en planta de la acción sísmica.

3.7.7. Efectos de segundo orden.

Mientras el desplome de la cabeza del edificio no supere el dos por mil de la altura, no será necesario considerar los efectos de segundo orden

También se podrán despreciar los efectos de segundo orden, cuando en cada planta se verifique:

$$Pd < 0{,}10\ Fh$$

siendo P: Peso total por encima de la planta
d: Desplazamiento relativo entre la base y pie del soporte en la planta considerada, en análisis lineal
F: Acción horizontal total por encima de la planta
h: Altura entre plantas

3.8. Muros de contención.

Los empujes sobre muros se calcularán con un valor del coeficiente sísmico horizontal igual a la aceleración sísmica de cálculo

CAPITULO 4

REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS EN ZONAS SISMICAS

4.1. De índole general

4.1.1. Forma del edificio.

En zonas con una $a_g \geq 0{,}12g$ deben cumplirse las condiciones que a continuación se exponen, salvo estudios que justifiquen lo contrario. En los demás casos, sin ser obligatorio su cumplimiento deben considerarse como recomendaciones.

Debe procurarse una disposición geométrica en planta tan simétrica como sea posible, tratando de conseguir en el edificio, en los elementos resistentes, y en los arriostramientos, una composición con dos ejes de simetría ortogonales. (Fig 4.1.)

Son desaconsejables disposiciones en plantas rectangulares no regulares o en forma de L, U, T, Z. En estos casos se puede descomponer la estructura mediante juntas verticales en cuerpos independientes.

Igualmente debe procurarse una disposición geométrica regular en alzado. Deben evitarse las transiciones bruscas de forma o rigidez entre un piso y el siguiente. La reducción de dimensiones en cualquier planta no debe ser mayor del 20% de la dimensión de la planta inferior, si se mantiene el centro de gravedad y del 10% si no se mantiene. Esta reducción puede llegar al 50% en el 15% superior del edificio.

4.1.2. Disposición de masas

La masa total de un piso no debe exceder del 15% de los contiguos ni el 50% de la media.

Si existen zonas que deban soportar cargas que excedan en un 25% a la carga general, deben situarse en torno al centro de la planta.

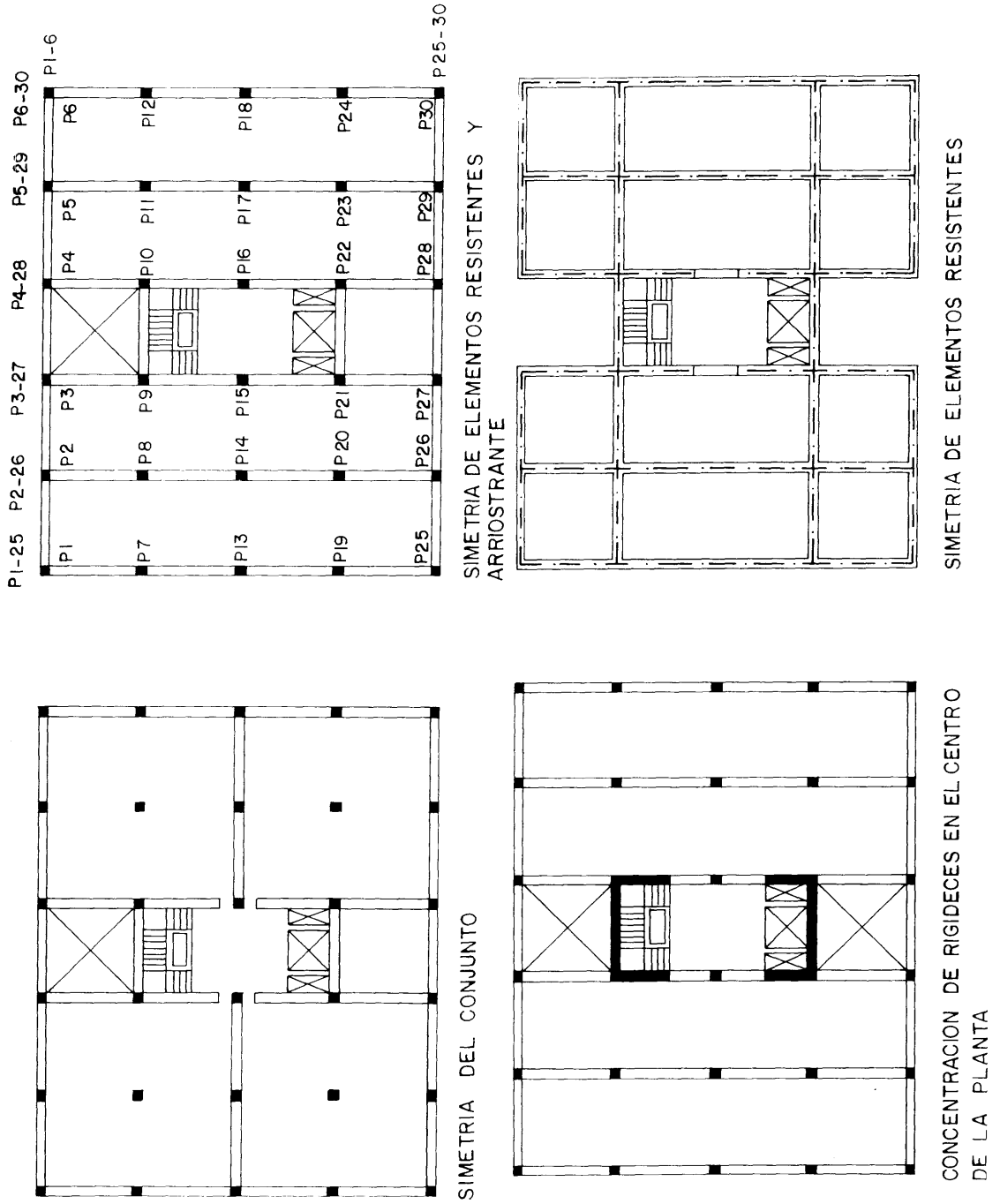


FIGURA 4.1. Disposiciones simétricas, geométrica y mecánica

4.1.3. Disposición de elementos estructurales

Debe procurarse una distribución uniforme y simétrica de rigideces en planta y una variación gradual de rigideces a lo largo de la altura. Ningún elemento estructural debe cambiar bruscamente de rigidez.

Si se confía la resistencia de los esfuerzos horizontales a elementos de gran rigidez como pantallas, muros, triangulaciones, etc, estos deben colocarse en dos direcciones ortogonales, en posición simétrica y preferiblemente en el perímetro exterior de la planta o en caso contrario en posición central.

Si no se colocan elementos de gran rigidez, y siempre que $a_c \geq 0{,}16g$, los elementos resistentes a sismo serán redundantes, de forma que el fallo de uno de ellos no implique grandes cambios en la posición del centro de rigidez, y por lo tanto, de la excentricidad de masas. (Fig 4.2.)

Si se dejan plantas diáfanas, sea en niveles bajos o intercaladas, en edificios con el resto de las plantas muy compartimentadas, debe tenerse en cuenta la contribución de las particiones en la rigidez del conjunto, salvo que se tomen medidas para evitar su participación.

Debe evitarse que se produzca una concentración de esfuerzos en alguna planta o elemento estructural.

Para garantizar la transmisión de momentos de vigas a pilares, los ejes geométricos de las vigas y de los pilares serán coincidentes, admitiéndose una excentricidad no mayor de b/4, siendo b el ancho del pilar en la dirección transversal a la directriz de la viga.

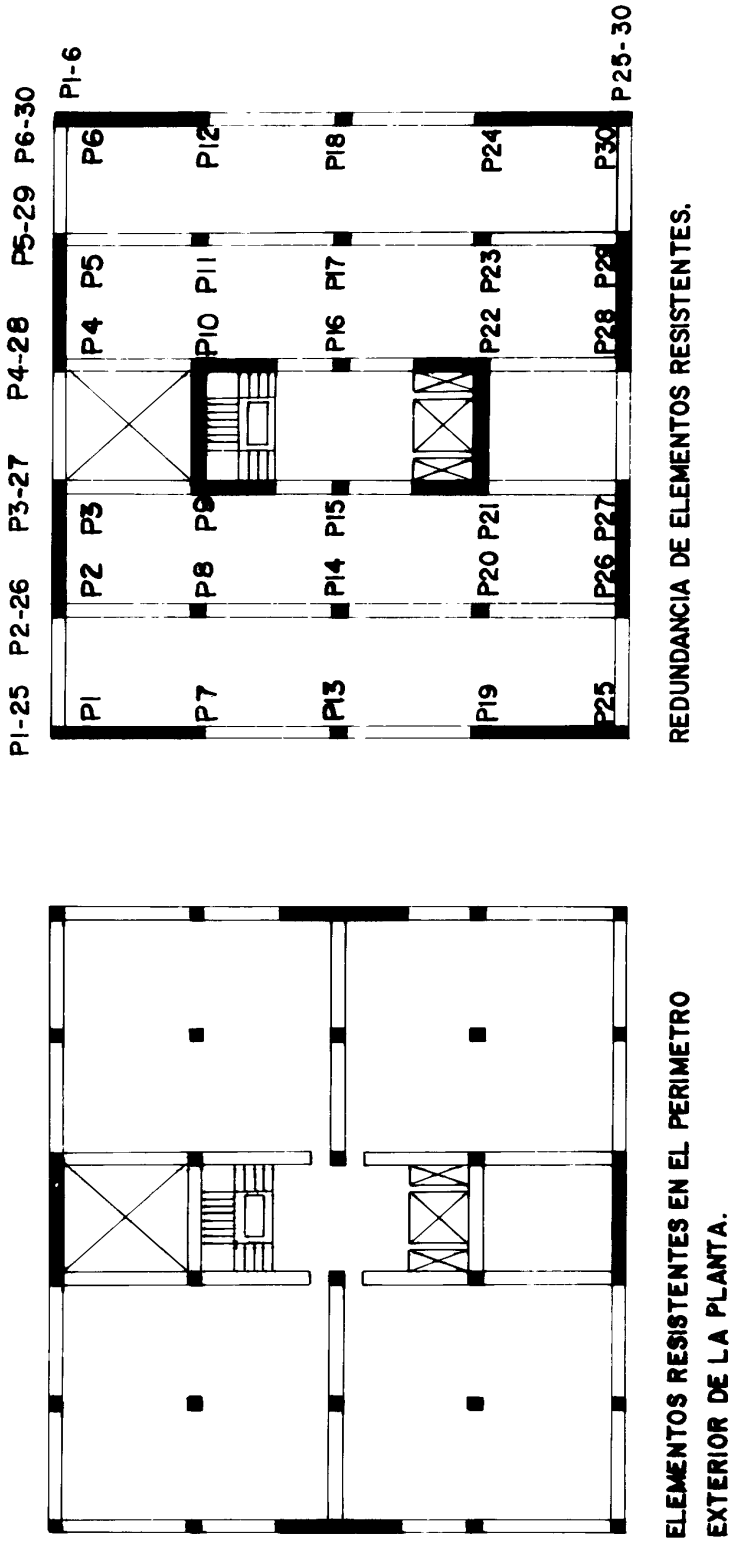
Se evitará en lo posible que descansen sobre las vigas elementos resistentes principales de la estructura, tales como otras vigas o soportes. Cuando no pueda evitarse, el modelo de la estructura incluirá en ese nudo un grado de libertad vertical, se contemplarán las acciones sísmicas verticales, y -debido a la fragilidad- se mayorarán las solicitaciones de cortante de las vigas que acometan al nudo con el valor $\gamma_n=\mu$, siendo μ el coeficiente de comportamiento por ductilidad utilizado en el análisis de la estructura.

Debe procurarse que el coeficiente de seguridad de los soportes sea superior al de las vigas, y en éstas el coeficiente de seguridad al esfuerzo cortante sea superior al del momento.

Los elementos estructurales no considerados en el modelo de estructura adoptado para el análisis, tendrán la capacidad suficiente para admitir los desplazamientos que se produzcan en ellos.

4.1.4. Elementos no estructurales

Los elementos no estructurales, como muros de cerramiento, tabiquerías, etc., que puedan desarrollar rigidez y resistencia suficientes para alterar las condiciones en la estructura, se tendrán en cuenta para la confección del modelo de análisis estructural y se comprobarán para las acciones que se deriven del cálculo. Alternativamente, podrán adoptarse soluciones constructivas que garanticen la no participación resistente de estos elementos



..**FIGURA 4.2.** Disposiciones recomendadas de los elementos resistentes a las acciones horizontales

Las vías generales de evacuación, especialmente los huecos verticales de comunicación, como las escaleras, estarán dotadas de resistencia y ductilidad adicional, para facilitar su utilización, aún en el caso de sismos importantes.

4.1.5. Juntas entre construcciones.

Las juntas deben ser preferentemente planos verticales.

Para zonas con $a_c \geq 0{,}16g$ no son recomendables las juntas de apoyo en libre dilatación.

El ancho de la junta en cada nivel no debe ser inferior a la suma de los desplazamientos laterales máximos de las construcciones colindantes, calculados para dichos niveles.

La anchura mínima de las juntas debe ser, salvo justificación contraria:

$$e = 4\,(a_c/g) \cdot h$$

donde h es la altura total del edificio en *metros* y e el espesor en *cm.*

Las conducciones generales que atraviesen planos de junta, deben disponer de enlaces flexibles adecuados.

4.2. De la cimentación

4.2.1. Criterio general de diseño

Debe evitarse la coexistencia, en una misma unidad estructural, de sistemas de cimentación superficiales y profundos.

Es recomendable que la cimentación se disponga sobre un terreno de características geotécnicas homogéneas. Si el terreno de apoyo presenta discontinuidades o cambios sustanciales en sus características, se fraccionará el conjunto de la construcción de manera que las partes situadas a uno y otro lado de la discontinuidad constituyan unidades independientes.

Cuando existan suelos susceptibles de licuefacción, deberán adoptarse las medidas oportunas. En concreto, no se considerará la resistencia de fuste de los pilotes en la zona de éstos colindante con estratos susceptibles de licuarse durante un sismo.

4.2.2. Atado de la cimentación.

Cuando $a_c \geq 0{,}08g$ los elementos de cimentación situados en el perímetro deberán enlazarse entre sí, siguiendo éste, mediante vigas de atado capaces de resistir un esfuerzo axial de valor a_c veces la carga vertical transmitida en cada punto.

Cuando $a_c \geq 0{,}16g$ el atado debe afectar a todos los elementos y ser en dos direcciones. (Fig 4.3.)

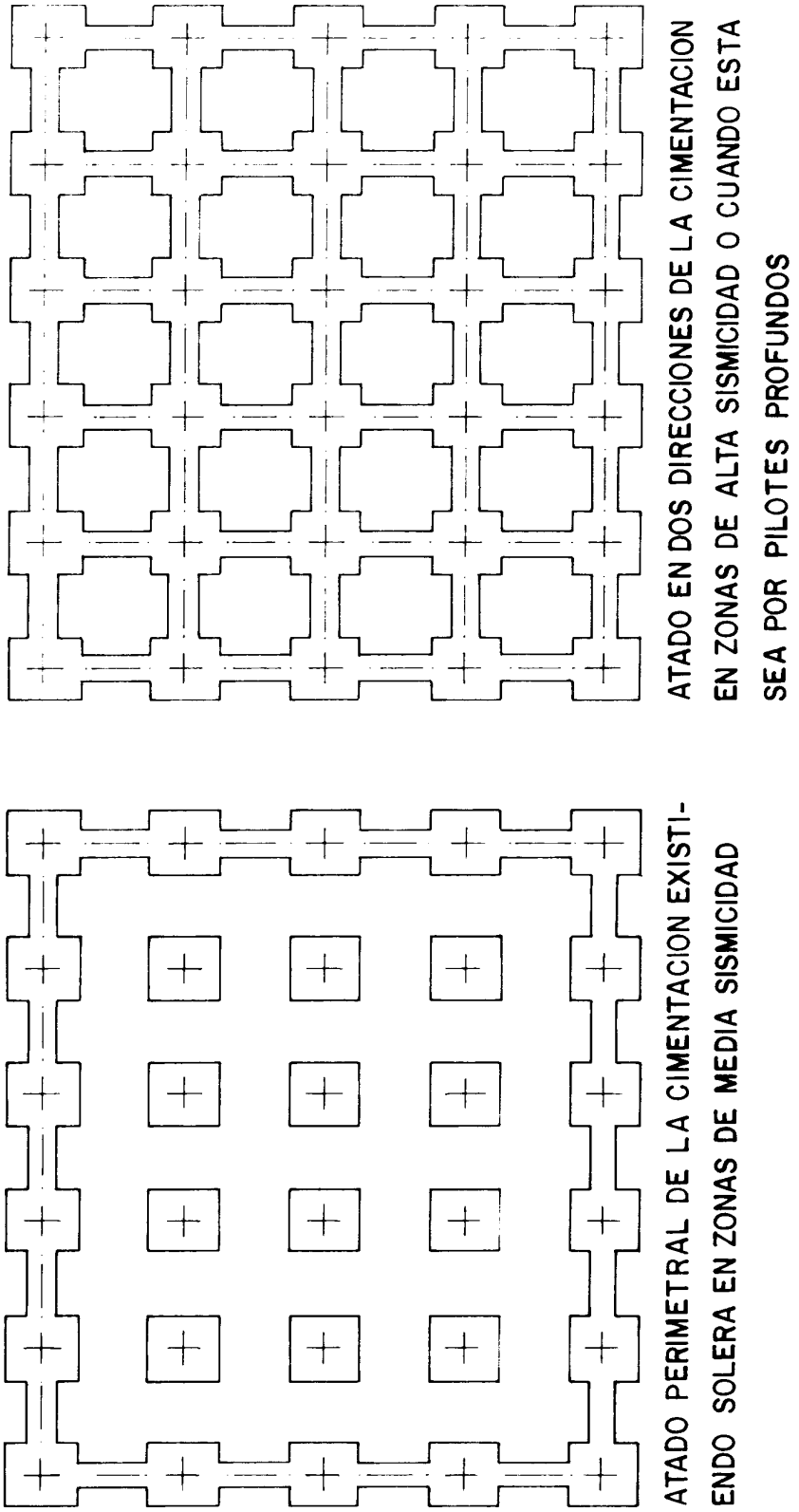


FIGURA 4.3. Disposición de vigas de atado

4.3. De las estructuras de muros de fábrica

4.3.1. Criterio general de diseño.

Deben disponerse muros en las dos direcciones en planta de la manera más uniforme y simétrica posible, preferentemente formando cajones rectangulares continuos en toda su altura.

Se evitarán cambios bruscos de rigidez producidos por cambios en los materiales, en las dimensiones o en la disposición de los huecos. Al pasar de una planta a otra, no se producirán cambios de espesor superiores a medio canto del forjado que acomete en dicho punto. (Fig 4.4.)

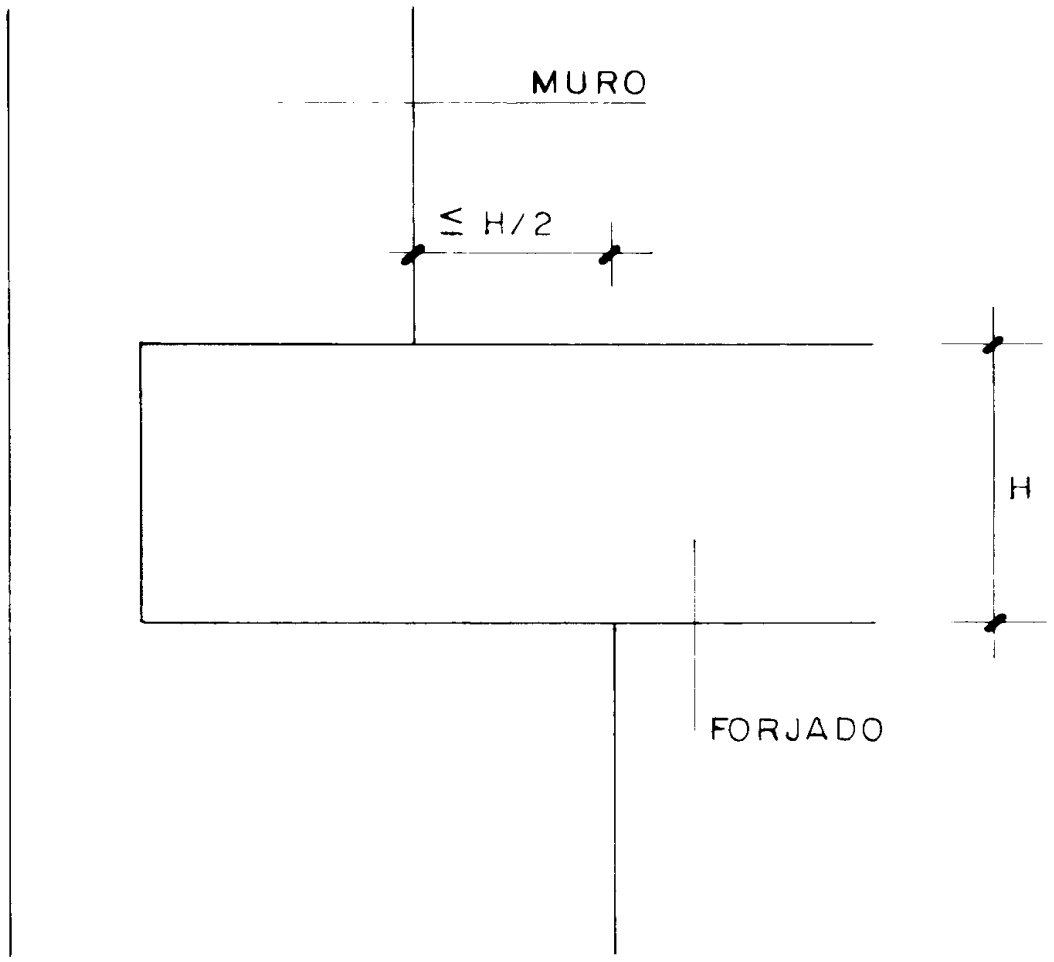


FIGURA 4.4. Variaciones de espesor de los muros

Si un paño se realiza en hormigón armado, deberá ser del mismo material desde la cimentación

4.3.2. Espesor mínimo.

El espesor mínimo de los muros exteriores de una hoja será de 24 *cm*, si son de material cerámico, y de 20 *cm* si están constituidos de bloques de mortero. Si se trata de muros interiores estos espesores serán de 19 y de 15 *cm* respectivamente.

En el caso de muros exteriores capuchinos, ambas hojas estarán construidas con el mismo material y dimensiones, con espesor mínimo de cada hoja de 14 *cm* e intervalo entre armaduras de atado o anclajes inferior a 35 *cm* en todas las direcciones.

4.3.3. Huecos, entrepaños y rozas.

Es recomendable que los huecos de paso, puertas y ventanas en los muros resistentes estén distribuidos en planta del modo más regular posible, superponiéndose los correspondientes a los distintos niveles del edificio.

La distancia entre huecos no será menor de 60 *cm* y la existente entre un hueco y una esquina ha de ser mayor de 80 *cm.* En caso contrario los paños entre ellos no se considerarán resistentes.

Si la longitud del entrepaño es inferior a la quinta parte de la longitud de los huecos contiguos, éstos deberán enmarcarse con un refuerzo de hormigón armado o de fábrica armada.

Si se realizan rozas en los muros de carga, estarán separadas entre sí al menos 2 *metros* y su profundidad no excederá de la quinta parte del espesor del muro.

4.3.4. Enlace de los forjados al muro.

El enlace de todo forjado al muro se realizará con los encadenados que se definen en su reglamentación específica.

Los forjados de viguetas sueltas, de madera o metálicas deberán atarse en todo su perímetro a encadenados horizontales situados al mismo nivel o al inmediatamente inferior al plano de apoyo de los mismos. El atado de las viguetas que discurran paralelas al muro, se extenderá al menos a las tres viguetas más próximas. La separación entre elementos de atado no excederá de 2 *metros*, y cuando $a_c \geq 0{,}16\ g$ se atarán todas y cada una de las viguetas.

4.3.5. Refuerzos en muros.

Cuando $a_c \geq 0{,}16\ g$, en los muros de fábrica debe haber refuerzos verticales y horizontales a distancias menores de 5 *m* y la diagonal de un paño entre refuerzos debe ser menor 40 veces el espesor del muro.

Cuando los refuerzos se realicen en hormigón, la sección transversal será de 15 *cm* de altura, al menos, por la anchura del muro, reducida esta última, en su caso, la cantidad mínima que se precise para la continuidad de los paramentos vistos. El armado será, al menos, de 4 ϕ 10 longitudinal más un ϕ 6 cada 25 *cm* como armadura transversal.

4.4. De las estructuras de hormigón armado

4.4.1. Criterios generales.

La estructura debe resistir la acción horizontal del sismo en todas las direcciones en planta, pudiéndose comprobar -si reúne las condiciones especificadas en el artículo 3.6.2.1- para dos modelos planos ortogonales independientes.

Si la estructura resistente está formada sólo por pórticos, para poder considerarla como de ductilidad alta o muy alta, se debe cumplir que:

- Las vigas no sean planas.
- Las secciones extremas de las vigas se plastifiquen antes que las del soporte.
- Las secciones extremas de vigas y soportes se plastifiquen antes de que se produzca la rotura del nudo.
- Se alcance antes la cedencia a flexión en el acero de armar que la rotura de la sección por cortante, tanto en vigas como en soportes.

En los casos en que $a_c \geq 0{,}16\ g$ el hormigón utilizado en la estructura debe tener una resistencia característica a compresión de, al menos, 200 kp/cm^2 (20 MPa), así como el acero de las armaduras ha de ser de alta adherencia, de dureza natural, y de límite elástico no superior a 5100 kp/cm^2 (500 MPa); además, la longitud de anclaje de las barras será 10 ϕ mayor de lo indicado para acciones estáticas.

4.4.2. Vigas de hormigón.

- Disposición de armaduras

En soportes exteriores, las armaduras superiores de las vigas planas o en T se distribuirán en las proximidades de los nudos de encuentro con los pilares, en una banda del ancho del citado soporte cuando no haya vigas que acometan transversalmente al pilar. Esta banda será del ancho del soporte más dos veces el canto de la viga si acometen vigas transversales de dimensiones similares o si se trata de soportes interiores (Fig 4.5.).

- Anclaje y solapes de las armaduras.

Las longitudes de anclaje de las armaduras longitudinales de las vigas se aumentarán un 15% en los nudos extremos de la estructura.

El 75% de la armadura longitudinal que llega a un nudo se anclará en el soporte o se pasará al otro lado del nudo una distancia no menor de 1,5 veces el canto de la viga.

Los empalmes de las armaduras, se alejarán en lo posible de la zona inmediata al nudo.

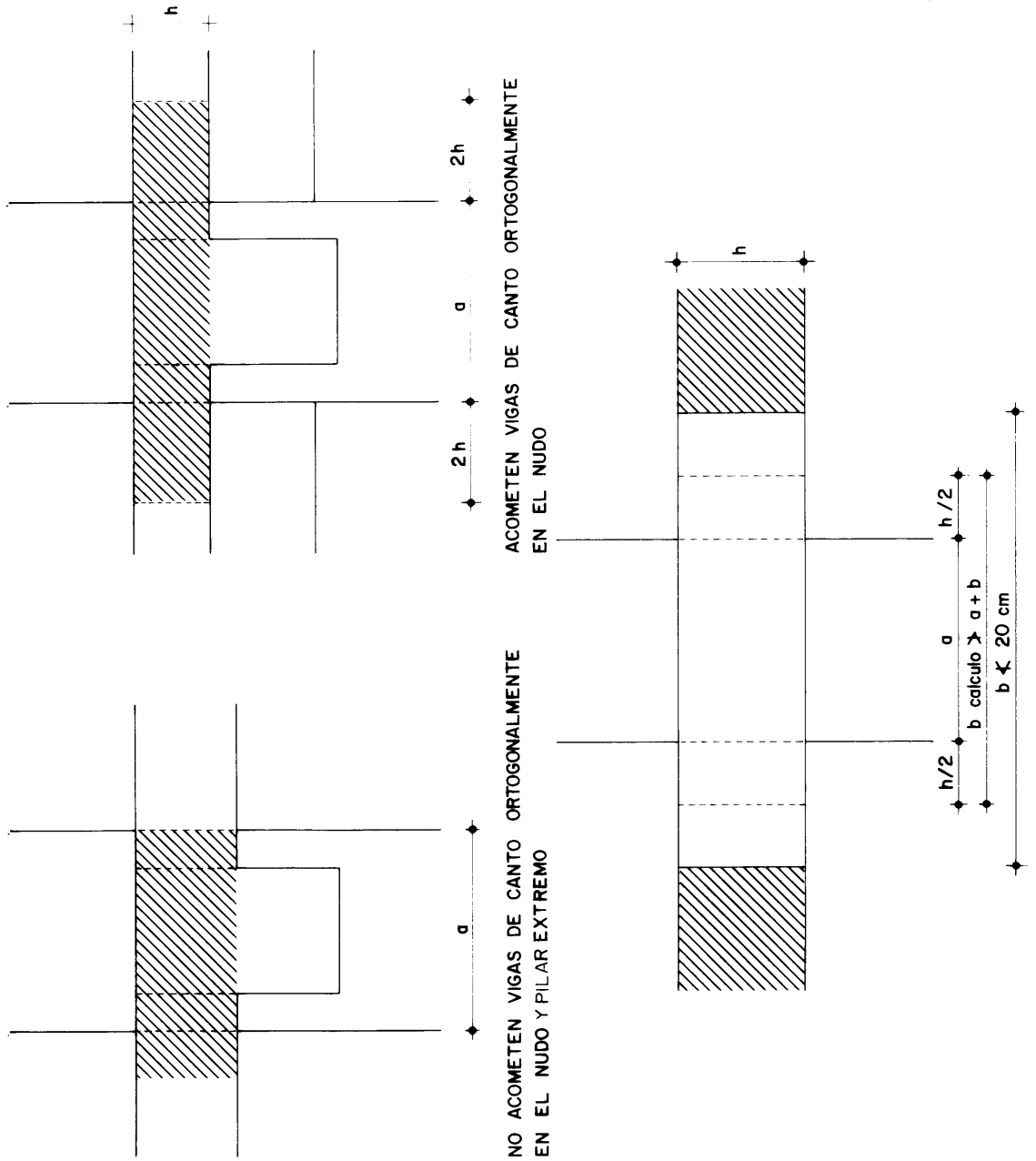


FIGURA 4.5. Distribución de armaduras de vigas.

En estructuras de ductilidad muy alta, la armadura longitudinal mínima en cada cara de la viga debe ser 2ϕ14. Además se dispondrán en cada nudo y en las zonas de empalme y solape, cercos (Fig 4.6.) de ϕ≥6 *mm*, en una longitud mayor de dos veces el canto de la viga y con una separación inferior al menor de los valores determinados (Fig 4.7.) por:

- 6 veces el diámetro más pequeño de las armaduras de compresión.
- Un cuarto del canto de la viga.
- 15 *cm.*

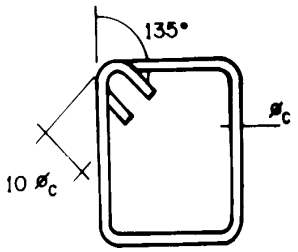


FIGURA 4.6. Cercos en vigas.

En estructuras de ductilidad alta se dispondrán cercos de forma análoga a lo dispuesto para las estructuras de ductilidad muy alta viniendo su separación limitada (fig. 4.8), por:

- 8 veces el diámetro más pequeño de las armaduras de compresión
- un cuarto del canto de la viga
- 20 *cm.*

Cuando $a_c \geq 0{,}16\ g$

- No se utilizarán vigas planas.
- La armadura longitudinal mínima en cada cara de la viga debe ser 2ϕ16.
- La cuantía mínima de la sección se extenderá a lo largo de toda la viga en sus dos caras.
- La cuantía de armadura comprimida en los extremos de las vigas no será inferior a la mitad de la traccionada.
- La cuantía de los cercos, se aumentará un 25% y su separación máxima será de 10 *cm* en una longitud igual a dos veces el canto de la viga a ambos lados de cada nudo y en las zonas de empalme o solape.

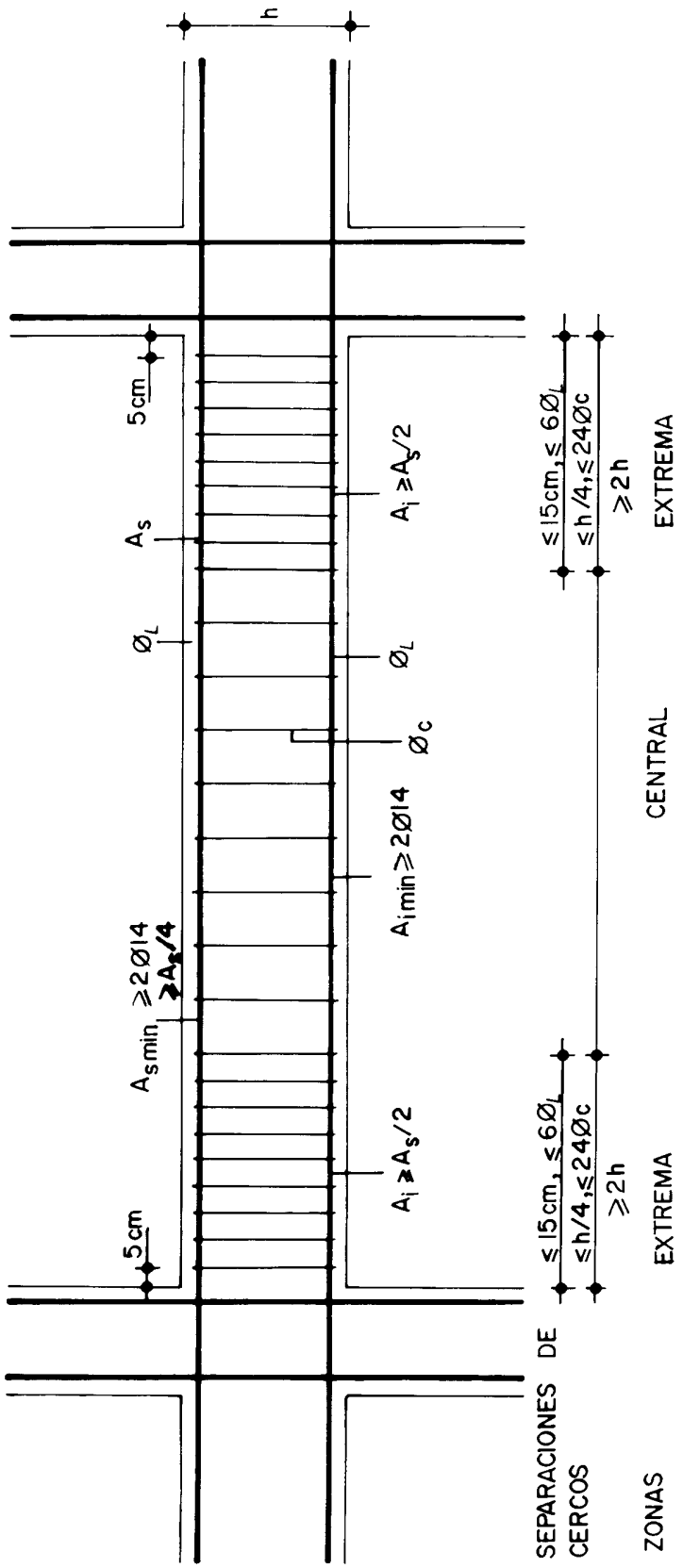


FIGURA 4.7. Viga de hormigón armado ductilidad muy alta. Armaduras mínimas.

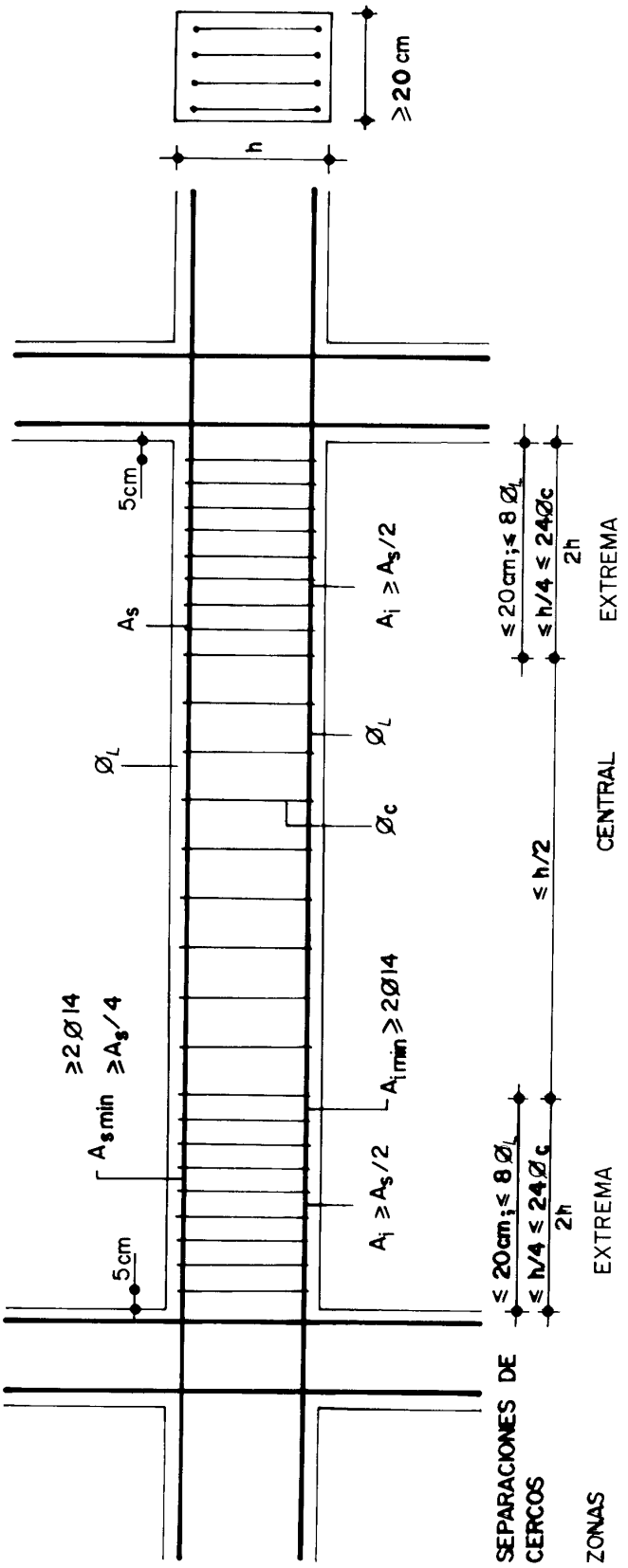


FIGURA 4.8. Viga de hormigón armado de ductilidad alta. Armaduras mínimas.

4.4.3. Soportes de hormigón.

Cuando $a_c \geq 0{,}16\ g$

- La dimensión mínima de los soportes será de 25 *cm* si la estructura es de ductilidad alta y de 30 *cm* si es de ductilidad muy alta.

- Debe aumentarse la cuantía mínima de la armadura longitudinal un 25%, respecto a lo indicado en la vigente Instrucción del Hormigón.

- El número mínimo de barras longitudinales en cada cara del soporte debe ser de tres y la separación máxima entre ellos 15 *cm*.

- Los solapes entre un tramo y el sucesivo se situarán a media altura del soporte, fuera de la zona tupida de cercos.

- Se colocarán junto a los nudos, en una longitud superior a dos veces el lado menor del soporte y en las zonas de empalme y solapes, cercos ($\phi_c \geq 6$ *mm*) en una cuantía un 25% superior a la indicada en la vigente Instrucción del Hormigón y con una separación máxima de 15 *cm*, e inferior a un tercio del lado menor del soporte si se trata de un pilar de ductilidad alta. Estos valores serán respectivamente 10 *cm* y un cuarto del lado menor del soporte si la estructura es de ductilidad muy alta (Fig 4.9 y 4.10).

- Se dispondrán cercos en la zona del soporte includa en el nudo

4.4.4. Pantallas de rigidización

Se recomienda que las pantallas que se utilicen como elementos de rigidización y resistencia ante acciones horizontales, sean continuas en toda la altura de la construcción llegando hasta la cimentación sin cambios importantes ni en el ancho, ni en el espesor. Si existen huecos, estos estarán alineados verticalmente.

En estructuras de ductilidad alta o cuando $a_c \geq 0{,}16$ g

- Se dispondrán (Fig 4.11.) cercos adicionales de $\phi \geq 8$ *mm* en los dos bordes de la pantalla, en una altura igual al mayor de los siguientes valores:

  - el ancho de la pantalla.
  - la altura de la planta baja.
  - la sexta parte de la altura de la pantalla.

- La parte reforzada con estos cercos tendrá un ancho de al menos la quinta parte de ancho de la pantalla o del duplo del espesor de la pantalla.

- La separación entre cercos será inferior a:

  - la tercera parte del espesor del núcleo de hormigón.
  - diez veces el diámetro de la barra longitudinal más delgada.

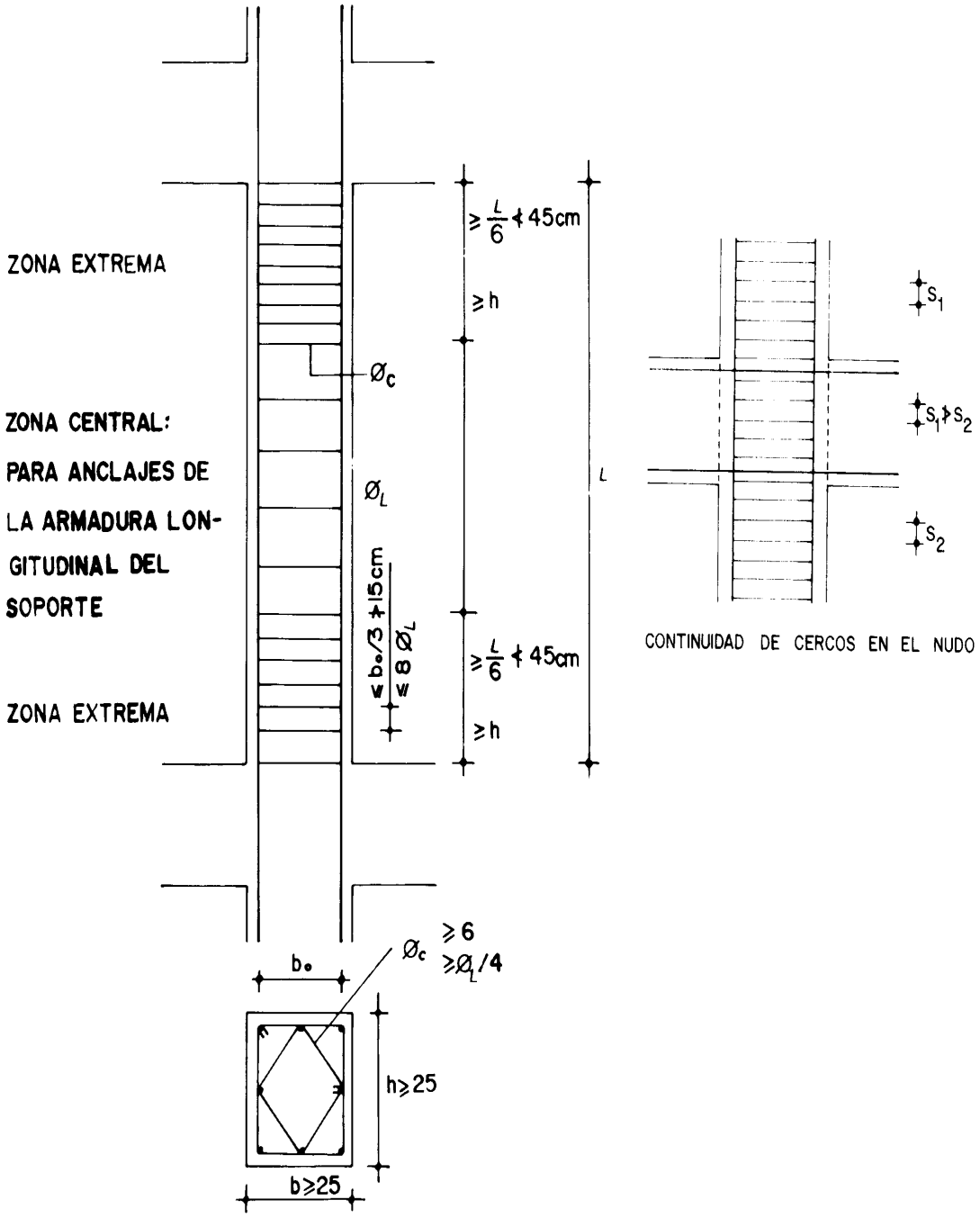


FIGURA 4.9. Ejemplo de armado de soporte de hormigón de ductilidad alta.

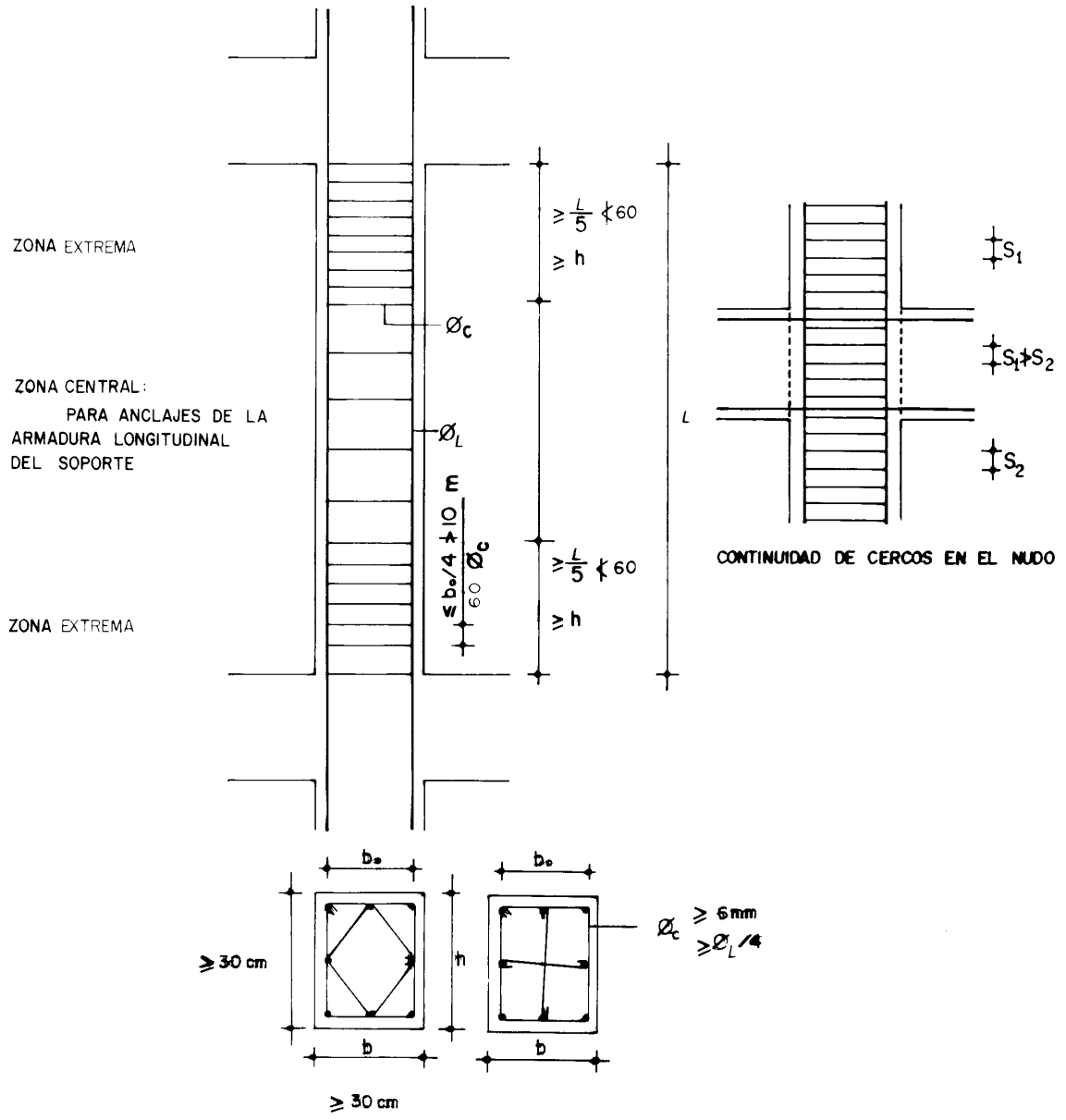


FIGURA 4.10. Ejemplo de armado de soporte de hormigón de ductilidad muy alta.

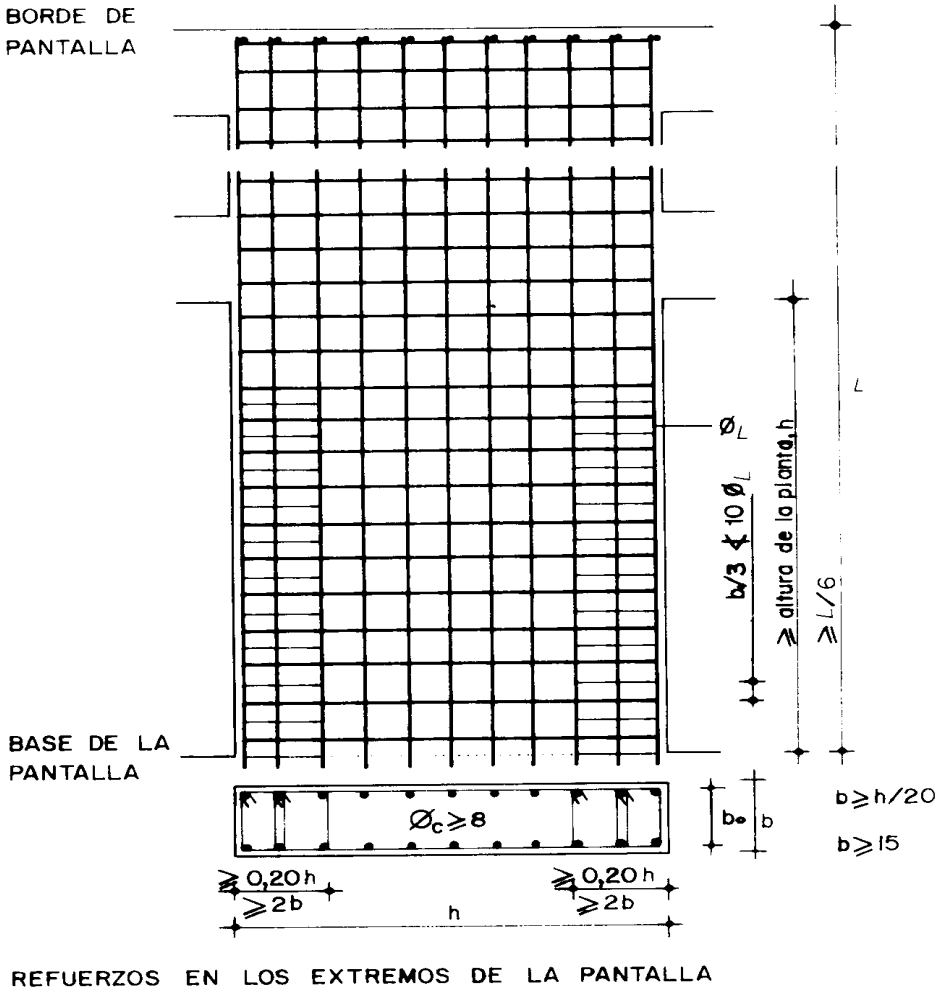


FIGURA 4.11. Muros pantalla de hormigón armado

4.4.5. Encuentros y nudos

Cuando exista entre los ejes de la viga y del soporte una excentricidad superior a la cuarta parte del lado del soporte, deberá estudiarse el nudo para la torsión que resulta.

Para el diseño de las uniones, se tendrán en cuenta los problemas derivados de la inversión de signo de las solicitaciones que puede provocar la acción del sismo.

Tanto en los nudos interiores como en los extremos, el anclaje de las armaduras de las vigas se realizará a partir de la cara opuesta del soporte al que acomete.

Los cercos del soporte se prolongarán dentro del nudo.

4.4.6. Elementos prefabricados de hormigón.

Las estructuras resueltas con elementos prefabricados lineales o superficiales, se considerarán en general como estructuras sin ductilidad, salvo si la unión está diseñada especialmente para suministrar la suficiente rigidez al encuentro.

Para considerar la estructura como de alta ductilidad, debe garantizarse la absoluta rigidez de los nudos. Para ello, las zonas más próximas a los extremos de cada elemento estructural estarán armadas y zunchadas y la superficie de contacto entre el elemento prefabricado y el hormigón puesto en obra presentará suficiente rugosidad, y estará cosida con armadura adecuada a uno y otro lado de dicha superficie.

4.4.7. Forjados

Cuando $a_c \geq 0{,}16g$ deberá aumentarse el espesor de la losa superior en un 25% y la armadura de reparto en un 50%, si se confía al forjado la distribución horizontal de los esfuerzos. Se cuidará especialmente el anclaje de las viguetas en las vigas.

4.5. De las estructuras de acero

4.5.1. Criterios generales.

La estructura debe resistir la acción horizontal del sísmo en todas las direcciones en planta, pudiéndose comprobar -si reúne las condiciones especificadas en el artículo 3.6.2.1.- para dos modelos planos ortogonales independientes.

Si la estructura resistente está formada sólo por pórticos, para poder considerarla como de ductilidad alta o muy alta, se debe cumplir que:

- las secciones extremas de las vigas se plastifiquen antes que las del soporte.
- las secciones extremas de vigas y soportes se plastifiquen antes de que se produzca la rotura del nudo.

4.5.2. Vigas y soportes de acero.

Cuando $a_c \geq 0{,}16g$ se adoptará la solución de nudos rígidos. Es preferible la fabricación en taller de los nudos, uniendo posteriormente en obra las piezas en puntos alejados del encuentro al menos dos cantos.

Para los soportes y vigas, sólo podrán utilizarse, secciones de perfil doblemente simétrico de alma llena, bien realizadas con perfiles laminados, o bien formadas por chapas que suministren a la sección deformabilidad y ductilidad suficientes y tengan el espesor adecuado para evitar la abolladura local.

La viga deberá acometer centrada al soporte.

En los nudos de acero se cuidará especialmente la continuidad de toda chapa traccionada y la garantía de no abollamiento de la comprimida.

4.5.3. Triangulaciones y arriostramientos.

Se cuidará especialmente la simetría de la sección de los elementos secundarios de arriostramiento, y su enlace centrado con respecto al soporte que arriostran, sobre todo si éste es metálico.

4.6. De otros elementos de la construcción

4.6.1. Cerramientos y particiones

En estructuras de pórticos, los paños de cerramientos de fachada y de medianería, deben enlazarse correctamente en su perímetro a los elementos estructurales, especialmente si se ha supuesto que la ductilidad de la estructura es alta o muy alta.

Cuando $a_c \geq 0{,}16g$ los paños que superen los 3 *m* de longitud o los 10 m^2 de superficie deberán subdividirse enlazándolos a elementos secundarios intermedios. Si $0{,}16g > a_c \geq 0{,}08g$ el tamaño crítico de los paños será 5*m* de longitud o 20 m^2 de superficie.

La separación entre cercos será inferior a:

- la tercera parte del espesor de la jaula de armaduras.
- diez veces el diámetro de la barra longitudinal más delgada.

4.6.2. Antepechos, parapetos y cercas

Cuando $a_c \geq 0{,}16\ g$ los muros con el borde superior libre y con más de un *metro* de altura, se rematarán con un encadenado de coronación, disponiendo refuerzos verticales anclados a la estructura o a la cimentación.

4.6.3. Escaleras.

Cuando $a_c \geq 0{,}16g$ en los edificios de uso público no son recomendables las escaleras construidas sobre bóvedas tabicadas ni las formadas por peldaños en voladizo empotrados en muros de fábrica.

4.6.4. Carpinterías exteriores.

Cuando $a_c \geq 0{,}16\ g$, en construcciones de gran altura con grandes superficies acristaladas y, sobre todo, cuando la estructura resistente no esté formada por núcleos rígidos en posición centrada, deberán dimensionarse la altura de galce, los calzos y las juntas del acristalado de las ventanas con capacidad para absorber los movimientos que se produzcan en la carpintería por las oscilaciones de la construcción.

4.6.5. Revestimientos y aplacados.

La fijación de los revestimientos y el anclaje de los aplacados u otros elementos de fachada o zonas de tránsito se realizará con materiales de alta durabilidad y mediante técnicas apropiadas para evitar el desprendimiento de piezas en caso de sismo.

4.6.6. Instalaciones y acometidas.

Las acometidas de las instalaciones de gas, electricidad y saneamiento, deberán realizarse de forma que permitan los movimientos diferenciales previsibles en su punto de entronque con la construcción.

CAPITULO 5

CUMPLIMIENTO Y CONTROL DE LA APLICACIÓN DE LA NORMA

5.1. Cumplimiento de la Norma en la fase de proyecto

En la Memoria de todo proyecto de obras se incluirá preceptivamente un apartado específico con el título de "Acciones Sísmicas".

La inclusión del apartado de "Acciones Sísmicas" será requisito necesario para el visado del Proyecto por parte del Colegio Profesional correspondiente, así como para la expedición de la licencia municipal y demás autorizaciones y trámites por parte de las distintas Administraciones Públicas.

En la tramitación para la aprobación de los proyectos de obras de Organismos Públicos se hará declaración expresa por la correspondiente oficina de supervisión o gestión de proyectos sobre la inclusión del apartado de "Acciones Sísmicas" en aquellos.

Cuando de acuerdo con el artículo 1.2.3, sea de aplicación esta Norma, figurarán en este apartado los valores, hipótesis y conclusiones adoptadas en relación con dichas acciones y su incidencia en el proyecto, cálculo y disposición de los elementos estructurales y constructivos de la obra. Además, en los planos de la estructura se hará constar el nivel de ductilidad para el que dicha estructura ha sido proyectada.

5.2. Cumplimiento de la Norma en la fase de construcción

Si el director de obra no estuviese conforme con el contenido del apartado de Acciones Sísmicas dará cuenta a la Propiedad, y en su caso, redactará las modificaciones que estime oportunas, las cuales someterá para su aprobación al mismo procedimiento que siguió el proyecto original.

En las obras importantes con fases de ejecución muy prolongada, el director de obra debe tener en cuenta las acciones sísmicas en aquellas partes o elementos que, en caso de destrucción o daño por sismo, pudieran dar lugar a graves daños o pérdidas económicas.

El director de la obra comprobará que las prescripciones y los detalles estructurales mostrados en los planos satisfacen el nivel de ductilidad especificado y se cumplen durante la ejecución de la obra.

5.3. Cumplimiento de la Norma durante el período de vida útil

Cuando se registre un terremoto de intensidad igual o superior a VII (escala M.S.K.) se deberá realizar un informe en el que se analicen las consecuencias del sismo sobre la construcción y el tipo de medidas que proceda adoptar.

La responsabilidad de la confección de este informe recaerá en el técnico encargado de la conservación y explotación, o bien, en caso de no existir éste, en la propiedad o entidad explotadora, que deberá requerir la elaboración del citado informe a un profesional competente.

ANEJO 1

Listado de los términos municipales con los valores de la aceleración sísmica básica iguales o superiores a 0,04 g, junto con los valores del coeficiente de contribución K.

LISTADO DE TERMINOS MUNICIPALES POR PROVINCIAS DEL VALOR a_b/g y K CORRESPONDIENTE AL ANEJO I DE LA NORMA DE CONSTRUCCION SISMORRESISTENTE (PARTE GENERAL Y EDIFICACION) NCSE-94. REAL DECRETO 2543/1994 DE 29 DE DICIEMBRE. BOE 8 DE FEBRERO DE 1995

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
PROVINCIA DE ALBACETE		
ALATOZ	0.04	(1.0)
ALBATANA	0.06	(1.0)
ALCADOZO	0.04	(1.0)
ALMANSA	0.06	(1.0)
ALPERA	0.06	(1.0)
AYNA	0.05	(1.0)
BONETE	0.06	(1.0)
CARCELEN	0.04	(1.0)
CAUDETE	0.06	(1.0)
CORRAL-RUBIO	0.06	(1.0)
ELCHE DE LA SIERRA	0.06	(1.0)
FEREZ	0.06	(1.0)
FUENTE-ALAMO	0.06	(1.0)
HELLIN	0.06	(1.0)
HIGUERUELA	0.05	(1.0)
HOYA-GONZALO	0.04	(1.0)
LETUR	0.06	(1.0)
LIETOR	0.05	(1.0)
MOLINICOS	0.04	(1.0)
MONTEALEGRE DEL CASTILLO	0.06	(1.0)
NERPIO	0.05	(1.0)
ONTUR	0.06	(1.0)
PETROLA	0.05	(1.0)
POZOHONDO	0.04	(1.0)
SOCOVOS	0.06	(1.0)
TOBARRA	0.06	(1.0)
YESTE	0.04	(1.0)
PROVINCIA DE ALICANTE		
ADSUBIA	0.06	(1.0)
AGOST	0.10	(1.0)
AGRES	0.06	(1.0)
AIGÜES	0.10	(1.0)
ALACANT	0.13	(1.0)
ALBATERA	0.15	(1.0)
ALCALALI	0.06	(1.0)
ALCOCER DE PLANES	0.06	(1.0)
ALCOI	0.07	(1.0)
ALCOLEJA	0.07	(1.0)
ALFAFARA	0.06	(1.0)
ALFAS DEL PI (L')	0.08	(1.0)
ALGORFA	0.15	(1.0)
ALGUEÑA	0.11	(1.0)
ALMORADI	0.15	(1.0)
ALMUDAINA	0.06	(1.0)
ALQUERIA D'ASNAR (L')	0.06	(1.0)
ALTEA	0.07	(1.0)
ASPE	0.12	(1.0)
BALONES	0.07	(1.0)
BANYERES DE MARIOLA	0.06	(1.0)
BENASAU	0.07	(1.0)
BENEJAMA	0.06	(1.0)
BENEJUZAR	0.15	(1.0)
BENFERRI	0.15	(1.0)
BENIARBEIG	0.06	(1.0)
BENIARDA	0.07	(1.0)
BENIARRES	0.06	(1.0)
BENICHEMBLA	0.06	(1.0)
BENIDOLEIG	0.06	(1.0)
BENIDORM	0.09	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
BENIFALLIM	0.07	(1.0)
BENIFATO	0.07	(1.0)
BENIJOFAR	0.15	(1.0)
BENILLOBA	0.07	(1.0)
BENILLUP	0.06	(1.0)
BENIMANTELL	0.07	(1.0)
BENIMARFULL	0.06	(1.0)
BENIMASSOT	0.06	(1.0)
BENIMELI	0.06	(1.0)
BENISSA	0.06	(1.0)
BENITACHEL	0.05	(1.0)
BIAR	0.07	(1.0)
BIGASTRO	0.15	(1.0)
BOLULLA	0.07	(1.0)
BUSOT	0.10	(1.0)
CALP	0.06	(1.0)
CALLOSA D'EN SARRIA	0.07	(1.0)
CALLOSA DE SEGURA	0.15	(1.0)
CAMP DE MIRRA (EL)	0.06	(1.0)
CAMPELLO (EL)	0.12	(1.0)
CAÑADA	0.06	(1.0)
CASTALLA	0.07	(1.0)
CASTELL DE CASTELLS	0.07	(1.0)
CATRAL	0.15	(1.0)
COCENTAINA	0.06	(1.0)
CONFRIDES	0.07	(1.0)
COX	0.15	(1.0)
CREVILLENTE	0.14	(1.0)
DAYA NUEVA	0.15	(1.0)
DAYA VIEJA	0.15	(1.0)
DENIA	0.05	(1.0)
DOLORES	0.15	(1.0)
ELDA	0.08	(1.0)
ELX	0.14	(1.0)
FACHECA	0.07	(1.0)
FAMORCA	0.07	(1.0)
FINESTRAT	0.08	(1.0)
FORMENTERA DEL SEGURA	0.15	(1.0)
GATA DE GORGOS	0.05	(1.0)
GAIANES	0.06	(1.0)
GORGA	0.07	(1.0)
GRANJA DE ROCAMORA	0.15	(1.0)
GUADALEST	0.07	(1.0)
GUARDAMAR DEL SEGURA	0.15	(1.0)
HODON DE LAS NIEVES	0.13	(1.0)
HODON DE LOS FRAILES	0.13	(1.0)
IBI	0.07	(1.0)
JACARILLA	0.15	(1.0)
LLIBER	0.06	(1.0)
MILLENA	0.06	(1.0)
MONOVER	0.09	(1.0)
MONTESINOS (LOS)	0.15	(1.0)
MONTFORTE DEL CID	0.11	(1.0)
MURLA	0.06	(1.0)
MURO DE ALCOY	0.06	(1.0)
MUTXAMEL	0.12	(1.0)
NOVELDA	0.11	(1.0)
NUCIA (LA)	0.07	(1.0)
ONDARA	0.06	(1.0)
ONIL	0.07	(1.0)
ORBA	0.06	(1.0)
ORIHUELA	0.15	(1.0)
ORXA (L')	0.06	(1.0)
ORXETA	0.08	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
PARCENT	0.06	(1.0)
PEDREGUER	0.06	(1.0)
PEGO	0.06	(1.0)
PENAGUILA	0.07	(1.0)
PETRER	0.08	(1.0)
PILAR DE LA HORADADA	0.11	(1.0)
PINOSO	0.09	(1.0)
PLANES	0.06	(1.0)
POBLETS (ELS)	0.06	(1.0)
POLOP	0.07	(1.0)
QUATRETONDETA	0.07	(1.0)
RAFAL	0.15	(1.0)
RAFOL DE ALMUNIA	0.06	(1.0)
REDOVAN	0.15	(1.0)
RELLEU	0.08	(1.0)
ROJALES	0.15	(1.0)
ROMANA (LA)	0.11	(1.0)
SAGRA	0.06	(1.0)
SALINAS	0.07	(1.0)
SAN FULGENCIO	0.15	(1.0)
SAN ISIDRO	0.15	(1.0)
SAN JUAN DE ALICANTE	0.12	(1.0)
SAN MIGUEL DE SALINAS	0.14	(1.0)
SANET Y NEGRALS	0.06	(1.0)
SANT VICENT DEL RASPEIG	0.12	(1.0)
SANTA POLA	0.15	(1.0)
SAX	0.07	(1.0)
SELLA	0.08	(1.0)
SENIJA	0.06	(1.0)
TARBENA	0.07	(1.0)
TEULADA	0.05	(1.0)
TIBI	0.08	(1.0)
TOLLOS	0.06	(1.0)
TORMOS	0.06	(1.0)
TORRE DE LES MAÇANES (LA)	0.07	(1.0)
TORREVIEJA	0.13	(1.0)
VALL D'ALCALA (LA)	0.06	(1.0)
VALL DE EBO	0.06	(1.0)
VALL DE GALLINERA	0.06	(1.0)
VALL DE LAGUART	0.06	(1.0)
VERGER (EL)	0.06	(1.0)
VILA JOIOSA (LA)	0.10	(1.0)
VILLENA	0.07	(1.0)
XABIA	0.05	(1.0)
XALO	0.06	(1.0)
XIXONA	0.08	(1.0)

PROVINCIA DE ALMERIA

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
ABLA	0.13	(1.0)
ABRUCENA	0.13	(1.0)
ADRA	0.13	(1.0)
ALBANCHEZ	0.14	(1.0)
ALBOLODUY	0.14	(1.0)
ALBOX	0.14	(1.0)
ALCOLEA	0.14	(1.0)
ALCONTAR	0.13	(1.0)
ALCUDIA DE MONTEAGUD	0.14	(1.0)
ALHABIA	0.14	(1.0)
ALHAMA DE ALMERIA	0.14	(1.0)
ALICUN	0.14	(1.0)
ALMERIA	0.13	(1.0)
ALMOCITA	0.14	(1.0)
ALSODUX	0.14	(1.0)
ANTAS	0.13	(1.0)
ARBOLEAS	0.14	(1.0)
ARMUÑA DE ALMANZORA	0.14	(1.0)
BACARES	0.14	(1.0)
BAYARCAL	0.14	(1.0)
BAYARQUE	0.14	(1.0)
BEDAR	0.13	(1.0)
BEIRES	0.14	(1.0)
BENAHADUX	0.14	(1.0)
BENITAGLA	0.14	(1.0)
BENIZALON	0.14	(1.0)
BENTARIQUE	0.14	(1.0)
BERJA	0.13	(1.0)
CANJAYAR	0.14	(1.0)
CANTORIA	0.14	(1.0)
CARBONERAS	0.12	(1.0)
CASTRO DE FILABRES	0.14	(1.0)
COBDAR	0.14	(1.0)
CUEVAS DEL ALMANZORA	0.13	(1.0)
CHERCOS	0.14	(1.0)
CHIRIVEL	0.13	(1.0)
DALIAS	0.13	(1.0)
DARRICAL	0.14	(1.0)
EJIDO (EL)	0.13	(1.0)
ENIX	0.13	(1.0)
FELIX	0.13	(1.0)
FINES	0.14	(1.0)
FIÑANA	0.13	(1.0)
FONDON	0.14	(1.0)
GADOR	0.14	(1.0)
GALLARDOS (LOS)	0.13	(1.0)
GARRUCHA	0.12	(1.0)
GERGAL	0.14	(1.0)
HUECIJA	0.14	(1.0)
HUERCAL DE ALMERIA	0.13	(1.0)
HUERCAL-OVERA	0.13	(1.0)
ILLAR	0.14	(1.0)
INSTINCION	0.14	(1.0)
LAROYA	0.14	(1.0)
LAUJAR DE ANDARAX	0.14	(1.0)
LIJAR	0.14	(1.0)
LUBRIN	0.13	(1.0)
LUCAINENA DE LAS TORRES	0.14	(1.0)
LUCAR	0.14	(1.0)
MACAEL	0.14	(1.0)
MARIA	0.12	(1.0)
MOJACAR	0.12	(1.0)
MOJONERA (LA)	0.13	(1.0)
NACIMIENTO	0.14	(1.0)
NIJAR	0.13	(1.0)
OHANES	0.14	(1.0)
OLULA DE CASTRO	0.14	(1.0)
OLULA DEL RIO	0.14	(1.0)
ORIA	0.14	(1.0)
PADULES	0.14	(1.0)
PARTALOA	0.14	(1.0)
PATERNA DEL RIO	0.14	(1.0)
PECHINA	0.13	(1.0)
PULPI	0.13	(1.0)
PURCHENA	0.14	(1.0)
RAGOL	0.14	(1.0)
RIOJA	0.14	(1.0)
ROQUETAS DE MAR	0.13	(1.0)
SANTA CRUZ DE MARCHENA	0.14	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
SANTA FE DE MONDUJAR	0.14	(1.0)
SENES	0.14	(1.0)
SERON	0.14	(1.0)
SIERRO	0.14	(1.0)
SOMONTIN	0.14	(1.0)
SORBAS	0.13	(1.0)
SUFLI	0.14	(1.0)
TABERNAS	0.14	(1.0)
TABERNO	0.14	(1.0)
TAHAL	0.14	(1.0)
TERQUE	0.14	(1.0)
TIJOLA	0.14	(1.0)
TRES VILLAS (LAS)	0.14	(1.0)
TURRE	0.13	(1.0)
TURRILLAS	0.14	(1.0)
ULEILA DEL CAMPO	0.14	(1.0)
URRACAL	0.14	(1.0)
VELEFIQUE	0.14	(1.0)
VELEZ-BLANCO	0.12	(1.0)
VELEZ-RUBIO	0.13	(1.0)
VERA	0.13	(1.0)
VIATOR	0.13	(1.0)
VICAR	0.13	(1.0)
ZURGENA	0.14	(1.0)

PROVINCIA DE BADAJOZ

ACEUCHAL	0.04	(1.5)
ALBUERA (LA)	0.05	(1.5)
ALBURQUERQUE	0.04	(1.5)
ALCONCHEL	0.06	(1.4)
ALCONERA	0.05	(1.5)
ALMENDRAL	0.05	(1.5)
ATALAYA	0.05	(1.5)
BADAJOZ	0.05	(1.5)
BARCARROTA	0.05	(1.5)
BIENVENIDA	0.04	(1.4)
BODONAL DE LA SIERRA	0.05	(1.5)
BURGUILLOS DEL CERRO	0.05	(1.5)
CABEZA LA VACA	0.05	(1.5)
CALERA DE LEON	0.05	(1.4)
CALZADILLA DE LOS BARROS	0.04	(1.4)
CASAS DE REINA	0.04	(1.4)
CODOSERA (LA)	0.05	(1.5)
CORTE DE PELEAS	0.04	(1.5)
CHELES	0.07	(1.4)
ENTRIN BAJO	0.04	(1.5)
FERIA	0.04	(1.5)
FREGENAL DE LA SIERRA	0.05	(1.5)
FUENTE DE CANTOS	0.04	(1.4)
FUENTE DEL ARCO	0.04	(1.4)
FUENTE DEL MAESTRE	0.04	(1.5)
FUENTES DE LEON	0.05	(1.5)
HIGUERA DE VARGAS	0.06	(1.5)
HIGUERA LA REAL	0.06	(1.5)
JEREZ DE LOS CABALLEROS	0.05	(1.5)
LAPA (LA)	0.05	(1.5)
LOBON	0.04	(1.5)
LLERENA	0.04	(1.4)
MALCOCINADO	0.04	(1.3)
MEDINA DE LAS TORRES	0.05	(1.5)
MONESTERIO	0.04	(1.4)
MONTEMOLIN	0.04	(1.4)
MORERA (LA)	0.05	(1.5)
NOGALES	0.05	(1.5)
OLIVA DE LA FRONTERA	0.06	(1.5)
OLIVENZA	0.05	(1.5)
PARRA (LA)	0.05	(1.5)
PUEBLA DE SANCHO PEREZ	0.04	(1.5)
PUEBLA DEL MAESTRE	0.04	(1.4)
REINA	0.04	(1.4)
SALVALEON	0.05	(1.5)
SALVATIERRA DE LOS BARROS	0.05	(1.5)
SAN VICENTE DE ALCANTARA	0.04	(1.5)
SANTA MARTA	0.04	(1.5)
SANTOS DE MAIMONA (LOS)	0.04	(1.5)
SEGURA DE LEON	0.05	(1.5)
SOLANA DE LOS BARROS	0.04	(1.5)
TALAVERA LA REAL	0.04	(1.5)
TALIGA	0.06	(1.5)
TORRE DE MIGUEL SESMERO	0.05	(1.5)
TRASIERRA	0.04	(1.4)
VALENCIA DEL MOMBUEY	0.08	(1.4)
VALENCIA DEL VENTOSO	0.05	(1.5)
VALVERDE DE BURGUILLOS	0.05	(1.5)
VALVERDE DE LEGANES	0.05	(1.5)
VALLE DE MATAMOROS	0.05	(1.5)
VALLE DE SANTA ANA	0.05	(1.5)
VILLALBA DE LOS BARROS	0.04	(1.5)
VILLANUEVA DEL FRESNO	0.07	(1.4)
VILLAR DEL REY	0.04	(1.5)
ZAFRA	0.04	(1.5)
ZAHINOS	0.06	(1.5)

PROVINCIA DE BALEARES

ALAIOR	0.04	(1.0)
ALARO	0.04	(1.0)
ALCUDIA	0.04	(1.0)
ALGAIDA	0.04	(1.0)
ANDRAITX	0.04	(1.0)
ARIANY	0.04	(1.0)
ARTA	0.04	(1.0)
BAÑALBUFAR	0.04	(1.0)
BINISSALEM	0.04	(1.0)
BUGER	0.04	(1.0)
BUNYOLA	0.04	(1.0)
CALVIA	0.04	(1.0)
CAMPANET	0.04	(1.0)
CAMPOS	0.04	(1.0)
CAPDEPERA	0.04	(1.0)
CASTELL (ES)	0.04	(1.0)
CIUTATDELLA DE MENORCA	0.04	(1.0)
CONSELL	0.04	(1.0)
COSTITX	0.04	(1.0)
DEYA	0.04	(1.0)
ESCORCA	0.04	(1.0)
ESPORLES	0.04	(1.0)
ESTELLENCHS	0.04	(1.0)
FELANITX	0.04	(1.0)
FERRERIES	0.04	(1.0)
FORMENTERA	0.04	(1.0)
FORNALUTX	0.04	(1.0)
EIVISSA	0.04	(1.0)
INCA	0.04	(1.0)
LLORET DE VISTA ALEGRE	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
LLOSETA	0.04	(1.0)
LLUBI	0.04	(1.0)
LLUCMAJOR	0.04	(1.0)
MAHON	0.04	(1.0)
MANACOR	0.04	(1.0)
MANCOR DE LA VALL	0.04	(1.0)
MARIA DE LA SALUD	0.04	(1.0)
MARRATXI	0.04	(1.0)
MERCADAL (ES)	0.04	(1.0)
MIGJORN GRAN (ES)	0.04	(1.0)
MONTUIRI	0.04	(1.0)
MURO	0.04	(1.0)
PALMA DE MALLORCA	0.04	(1.0)
PETRA	0.04	(1.0)
POBLA (SA)	0.04	(1.0)
POLLENÇA	0.04	(1.0)
PORRERES	0.04	(1.0)
PUIGPUNYENT	0.04	(1.0)
SALINES (SES)	0.04	(1.0)
SAN JOSE	0.04	(1.0)
SANT ANTONI DE PORTMANY	0.04	(1.0)
SANT JOAN	0.04	(1.0)
SANT JOAN DE LABRITJA	0.04	(1.0)
SANT LLORENÇ DES CARDASSAR	0.04	(1.0)
SANT LLUIS	0.04	(1.0)
SANTA EUGENIA	0.04	(1.0)
SANTA EULALIA DEL RIO	0.04	(1.0)
SANTA MARGALIDA	0.04	(1.0)
SANTA MARIA DEL CAMI	0.04	(1.0)
SANTANYI	0.04	(1.0)
SELVA	0.04	(1.0)
SENCELLES	0.04	(1.0)
SINEU	0.04	(1.0)
SOLLER	0.04	(1.0)
SON SERVERA	0.04	(1.0)
VALLDEMOSA	0.04	(1.0)
VILAFRANCA DE BONANY	0.04	(1.0)

PROVINCIA DE BARCELONA

ABRERA	0.04	(1.0)
ALELLA	0.04	(1.0)
ALPENS	0.06	(1.0)
AMETLLA DEL VALLES (L')	0.04	(1.0)
ARENYS DE MAR	0.04	(1.0)
ARENYS DE MUNT	0.04	(1.0)
ARGENTONA	0.04	(1.0)
ARTES	0.04	(1.0)
AVIA	0.04	(1.0)
AVINYO	0.04	(1.0)
AVINYONET DEL PENEDES	0.04	(1.0)
AIGUAFREDA	0.04	(1.0)
BADALONA	0.04	(1.0)
BADIA	0.04	(1.0)
BAGA	0.06	(1.0)
BALENYA	0.04	(1.0)
BARBERA DEL VALLES	0.04	(1.0)
BARCELONA	0.04	(1.0)
BEGUES	0.04	(1.0)
BERGA	0.04	(1.0)
BIGUES I RIELLS	0.04	(1.0)
BORREDA	0.06	(1.0)
BRUC (EL)	0.04	(1.0)
BRULL (EL)	0.05	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
CABANYES (LES)	0.04	(1.0)
CABRERA DE MAR	0.04	(1.0)
CABRERA D'IGUALADA	0.04	(1.0)
CABRILS	0.04	(1.0)
CALDES D'ESTRAC	0.04	(1.0)
CALDES DE MONTBUI	0.04	(1.0)
CALDERS	0.04	(1.0)
CALELLA	0.04	(1.0)
CALLDETENES	0.06	(1.0)
CAMPINS	0.04	(1.0)
CANET DE MAR	0.04	(1.0)
CANOVELLES	0.04	(1.0)
CANOVES I SAMALUS	0.04	(1.0)
CANYELLES	0.04	(1.0)
CAPELLADES	0.04	(1.0)
CARDEDEU	0.04	(1.0)
CARME	0.04	(1.0)
CASTELL DE L'ARENY	0.06	(1.0)
CASTELLAR DE N'HUG	0.06	(1.0)
CASTELLAR DEL RIU	0.04	(1.0)
CASTELLAR DEL VALLES	0.04	(1.0)
CASTELLBELL I EL VILAR	0.04	(1.0)
CASTELLBISBAL	0.04	(1.0)
CASTELLCIR	0.04	(1.0)
CASTELLDEFELS	0.04	(1.0)
CASTELLET I LA GORNAL	0.04	(1.0)
CASTELLGALI	0.04	(1.0)
CASTELLOLI	0.04	(1.0)
CASTELLTERÇOL	0.04	(1.0)
CASTELLVI DE LA MARCA	0.04	(1.0)
CASTELLVI DE ROSANES	0.04	(1.0)
CENTELLES	0.04	(1.0)
CERCS	0.05	(1.0)
CERDANYOLA DEL VALLES	0.04	(1.0)
CERVELLO	0.04	(1.0)
COLLBATO	0.04	(1.0)
COLLSUSPINA	0.04	(1.0)
CORBERA DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
CORNELLA DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
CUBELLES	0.04	(1.0)
DOSRIUS	0.04	(1.0)
ESPARREGUERA	0.04	(1.0)
ESPLUGUES DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
ESTANY (L')	0.04	(1.0)
FIGOLS	0.05	(1.0)
FOGARS DE MONTCLUS	0.04	(1.0)
FOGARS DE TORDERA	0.05	(1.0)
FOLGUEROLES	0.06	(1.0)
FONT-RUBI	0.04	(1.0)
FRAQUESES DEL VALLES (LES)	0.04	(1.0)
GALLIFA	0.04	(1.0)
GARRIGA (LA)	0.04	(1.0)
GAVA	0.04	(1.0)
GELIDA	0.04	(1.0)
GIRONELLA	0.04	(1.0)
GISCLARENY	0.05	(1.0)
GRANADA (LA)	0.04	(1.0)
GRANERA	0.04	(1.0)
GRANOLLERS	0.04	(1.0)
GUALBA	0.05	(1.0)
GUARDIOLA DE BERGUEDA	0.06	(1.0)
GURB	0.06	(1.0)
HOSPITALET DE LLOBREGAT (L')	0.04	(1.0)
HOSTALETS DE PIEROLA (ELS)	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
IGUALADA	0.04	(1.0)
LLACUNA (LA)	0.04	(1.0)
LLAGOSTA (LA)	0.04	(1.0)
LLINARS DEL VALLES	0.04	(1.0)
LLIÇA D'AMUNT	0.04	(1.0)
LLIÇA DE VALL	0.04	(1.0)
MALGRAT DE MAR	0.04	(1.0)
MALLA	0.05	(1.0)
MANLLEU	0.07	(1.0)
MARGANELL	0.04	(1.0)
MARTORELL	0.04	(1.0)
MARTORELLES	0.04	(1.0)
MASIES DE VOLTREGA (LES)	0.07	(1.0)
MASNOU (EL)	0.04	(1.0)
MASQUEFA	0.04	(1.0)
MATADEPERA	0.04	(1.0)
MATARO	0.04	(1.0)
MEDIONA	0.04	(1.0)
MOIA	0.04	(1.0)
MOLINS DE REI	0.04	(1.0)
MOLLET DEL VALLES	0.04	(1.0)
MONTCADA I REIXAC	0.04	(1.0)
MONISTROL DE CALDERS	0.04	(1.0)
MONISTROL DE MONTSERRAT	0.04	(1.0)
MONTESQUIU	0.08	(1.0)
MONTGAT	0.04	(1.0)
MONTMANY-FIGARO	0.04	(1.0)
MONTMELO	0.04	(1.0)
MONTORNES DEL VALLES	0.04	(1.0)
MONTSENY	0.05	(1.0)
MUNTANYOLA	0.05	(1.0)
MURA	0.04	(1.0)
NAVARCLES	0.04	(1.0)
NOU DE BERGUEDA (LA)	0.05	(1.0)
OLVAN	0.04	(1.0)
OLESA DE BONESVALLS	0.04	(1.0)
OLESA DE MONTSERRAT	0.04	(1.0)
OLIVELLA	0.04	(1.0)
OLOST	0.05	(1.0)
ORIS	0.07	(1.0)
ORISTA	0.04	(1.0)
ORPI	0.04	(1.0)
ORRIUS	0.04	(1.0)
PACS DEL PENEDES	0.04	(1.0)
PALAFOLLS	0.04	(1.0)
PALLEJA	0.04	(1.0)
PAPIOL (EL)	0.04	(1.0)
PARETS DEL VALLES	0.04	(1.0)
PERAFITA	0.06	(1.0)
PIERA	0.04	(1.0)
PINEDA DE MAR	0.04	(1.0)
PLA DEL PENEDES (EL)	0.04	(1.0)
POBLA DE CLARAMUNT (LA)	0.04	(1.0)
POBLA DE LILLET (LA)	0.06	(1.0)
POLINYA	0.04	(1.0)
PONTONS	0.04	(1.0)
PRAT DE LLOBREGAT (EL)	0.04	(1.0)
PRATS DE LLUÇANES	0.05	(1.0)
PREMIA DE DALT	0.04	(1.0)
PREMIA DE MAR	0.04	(1.0)
PUIGDALBER	0.04	(1.0)
QUAR (LA)	0.05	(1.0)
RELLINARS	0.04	(1.0)
RIPOLLET	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
ROCA DEL VALLES (LA)	0.04	(1.0)
RODA DE TER	0.07	(1.0)
RUBI	0.04	(1.0)
RUPIT I PRUIT	0.09	(1.0)
SABADELL	0.04	(1.0)
SAGAS	0.05	(1.0)
SALDES	0.05	(1.0)
SANT ADRIA DE BESOS	0.04	(1.0)
SANT AGUSTI DE LLUÇANES	0.06	(1.0)
SANT ANDREU DE LA BARCA	0.04	(1.0)
SANT ANDREU DE LLAVANERES	0.04	(1.0)
SANT ANTONI DE VILAMAJOR	0.04	(1.0)
SANT BARTOMEU DEL GRAU	0.05	(1.0)
SANT BOI DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
SANT BOI DE LLUÇANES	0.06	(1.0)
SANT CEBRIA DE VALLALTA	0.04	(1.0)
SANT CELONI	0.04	(1.0)
SANT CLIMENT DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
SANT CUGAT DEL VALLES	0.04	(1.0)
SANT CUGAT SESGARRIGUES	0.04	(1.0)
SANT ESTEVE DE PALAUTORDERA	0.04	(1.0)
SANT ESTEVE SESROVIRES	0.04	(1.0)
SANT FOST DE CAMPSENTELLES	0.04	(1.0)
SANT FELIU DE CODINES	0.04	(1.0)
SANT FELIU DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
SANT FELIU SASSERRA	0.04	(1.0)
SANT HIPOLIT DE VOLTREGA	0.07	(1.0)
SANT ISCLE DE VALLALTA	0.04	(1.0)
SANT JAUME DE FRONTANYA	0.06	(1.0)
SANT JOAN DESPI	0.04	(1.0)
SANT JULIA DE CERDANYOLA	0.06	(1.0)
SANT JUST DESVERN	0.04	(1.0)
SANT LLORENÇ D'HORTONS	0.04	(1.0)
SANT LLORENÇ SAVALL	0.04	(1.0)
SANT MARTI D'ALBARS	0.05	(1.0)
SANT MARTI DE CENTELLES	0.04	(1.0)
SANT MARTI SARROCA	0.04	(1.0)
SANT PERE DE RIBES	0.04	(1.0)
SANT PERE DE RIUDEBITLLES	0.04	(1.0)
SANT PERE DE TORELLO	0.08	(1.0)
SANT PERE DE VILAMAJOR	0.04	(1.0)
SANT POL DE MAR	0.04	(1.0)
SANT QUINTI DE MEDIONA	0.04	(1.0)
SANT QUIRZE DE BESORA	0.08	(1.0)
SANT QUIRZE DEL VALLES	0.04	(1.0)
SANT QUIRZE SAFAJA	0.04	(1.0)
SANT SADURNI D'ANOIA	0.04	(1.0)
SANT SADURNI D'OSORMORT	0.06	(1.0)
SANT VICENÇ DE CASTELLET	0.04	(1.0)
SANT VICENÇ DE MONTALT	0.04	(1.0)
SANT VICENÇ DE TORELLO	0.08	(1.0)
SANT VICENÇ DELS HORTS	0.04	(1.0)
SANTA CECILIA DE VOLTREGA	0.06	(1.0)
SANTA COLOMA DE CERVELLO	0.04	(1.0)
SANTA COLOMA DE GRAMENET	0.04	(1.0)
SANTA EUGENIA DE BERGA	0.05	(1.0)
SANTA EULALIA DE RIUPRIMER	0.05	(1.0)
SANTA EULALIA DE RONÇANA	0.04	(1.0)
SANTA FE DEL PENEDES	0.04	(1.0)
SANTA MARGARIDA DE MONTBUI	0.04	(1.0)
SANTA MARGARIDA I ELS MONJOS	0.04	(1.0)
SANTA MARIA DE CORCO	0.09	(1.0)
SANTA MARIA DE MERLES	0.04	(1.0)
SANTA MARIA DE MARTORELLES	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
SANTA MARIA D'OLO	0.04	(1.0)
SANTA MARIA DE PALAUTORDERA	0.04	(1.0)
SANTA PERPETUA DE MOGODA	0.04	(1.0)
SANTA SUSANNA	0.04	(1.0)
SENTMENAT	0.04	(1.0)
SEVA	0.05	(1.0)
SITGES	0.04	(1.0)
SOBREMUNT	0.06	(1.0)
SORA	0.07	(1.0)
SUBIRATS	0.04	(1.0)
TAGAMANENT	0.04	(1.0)
TALAMANCA	0.04	(1.0)
TARADELL	0.05	(1.0)
TAVERNOLES	0.06	(1.0)
TAVERTET	0.08	(1.0)
TERRASSA	0.04	(1.0)
TEIA	0.04	(1.0)
TIANA	0.04	(1.0)
TONA	0.05	(1.0)
TORDERA	0.04	(1.0)
TORELLO	0.08	(1.0)
TORRE DE CLARAMUNT (LA)	0.04	(1.0)
TORRELAVIT	0.04	(1.0)
TORRELLES DE FOIX	0.04	(1.0)
TORRELLES DE LLOBREGAT	0.04	(1.0)
ULLASTRELL	0.04	(1.0)
VACARISSES	0.04	(1.0)
VALLBONA D'ANOIA	0.04	(1.0)
VALLCEBRE	0.05	(1.0)
VALLGORGUINA	0.04	(1.0)
VALLIRANA	0.04	(1.0)
VALLROMANES	0.04	(1.0)
VIC	0.05	(1.0)
VILADA	0.05	(1.0)
VILADECANS	0.04	(1.0)
VILADECAVALLS	0.04	(1.0)
VILAFRANCA DEL PENEDES	0.04	(1.0)
VILALBA SASSERRA	0.04	(1.0)
VILANOVA DE SAU	0.07	(1.0)
VILANOVA DEL CAMI	0.04	(1.0)
VILANOVA DEL VALLES	0.04	(1.0)
VILANOVA I LA GELTRU	0.04	(1.0)
VILASSAR DE DALT	0.04	(1.0)
VILASSAR DE MAR	0.04	(1.0)
VILOBI DEL PENEDES	0.04	(1.0)

PROVINCIA DE CACERES

CARBAJO	0.04	(1.3)
CEDILLO	0.07	(1.2)
HERRERA DE ALCANTARA	0.06	(1.2)
MEMBRIO	0.04	(1.3)
SANTIAGO DE ALCANTARA	0.05	(1.3)
VALENCIA DE ALCANTARA	0.04	(1.3)

PROVINCIA DE CADIZ

ALCALA DE LOS GAZULES	0.05	(1.4)
ALCALA DEL VALLE	0.07	(1.2)
ALGAR	0.06	(1.2)
ALGECIRAS	0.04	(1.3)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
ALGODONALES	0.07	(1.2)
ARCOS DE LA FRONTERA	0.06	(1.2)
BARBATE	0.05	(1.4)
BARRIOS (LOS)	0.04	(1.3)
BENALUP	0.05	(1.4)
BENAOCAZ	0.07	(1.1)
BORNOS	0.07	(1.2)
BOSQUE (EL)	0.07	(1.2)
CADIZ	0.07	(1.4)
CASTELLAR DE LA FRONTERA	0.05	(1.2)
CONIL DE LA FRONTERA	0.05	(1.4)
CHICLANA DE LA FRONTERA	0.05	(1.4)
CHIPIONA	0.08	(1.4)
ESPERA	0.07	(1.2)
GASTOR (EL)	0.07	(1.1)
GRAZALEMA	0.07	(1.2)
JEREZ DE LA FRONTERA	0.06	(1.4)
JIMENA DE LA FRONTERA	0.06	(1.2)
LINEA DE LA CONCEPCION (LA)	0.04	(1.3)
MEDINA-SIDONIA	0.05	(1.4)
OLVERA	0.07	(1.2)
PATERNA DE RIVERA	0.05	(1.4)
PRADO DEL REY	0.07	(1.1)
PUERTO DE SANTA MARIA (EL)	0.07	(1.4)
PUERTO REAL	0.06	(1.4)
PUERTO SERRANO	0.08	(1.1)
ROTA	0.07	(1.4)
SAN FERNANDO	0.06	(1.4)
SAN ROQUE	0.04	(1.3)
SANLUCAR DE BARRAMEDA	0.08	(1.4)
SETENIL DE LAS BODEGAS	0.07	(1.2)
TARIFA	0.04	(1.3)
TORRE ALHAQUIME	0.07	(1.2)
TREBUJENA	0.07	(1.3)
UBRIQUE	0.07	(1.2)
VEJER DE LA FRONTERA	0.05	(1.4)
VILLALUENGA DEL ROSARIO	0.07	(1.2)
VILLAMARTIN	0.07	(1.1)
ZAHARA	0.07	(1.2)

CEUTA

CEUTA	0.05	(1.3)

PROVINCIA DE CORDOBA

ADAMUZ	0.05	(1.1)
AGUILAR DE LA FRONTERA	0.07	(1.1)
ALMEDINILLA	0.11	(1.0)
ALMODOVAR DEL RIO	0.06	(1.1)
BAENA	0.07	(1.0)
BENAMEJI	0.08	(1.0)
BUJALANCE	0.06	(1.0)
CABRA	0.08	(1.0)
CAÑETE DE LAS TORRES	0.06	(1.0)
CARCABUEY	0.09	(1.0)
CARLOTA (LA)	0.06	(1.1)
CARPIO (EL)	0.05	(1.1)
CASTRO DEL RIO	0.06	(1.0)
CORDOBA	0.06	(1.1)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
DOÑA MENCIA	0.07	(1.0)
ENCINAS REALES	0.09	(1.0)
ESPEJO	0.06	(1.1)
FERNAN -NUÑEZ	0.06	(1.1)
FUENTE PALMERA	0.06	(1.1)
FUENTE-TOJAR	0.09	(1.0)
GUADALCAZAR	0.06	(1.1)
HORNACHUELOS	0.06	(1.1)
IZNAJAR	0.11	(1.0)
LUCENA	0.08	(1.0)
LUQUE	0.08	(1.0)
MONTALBAN DE CORDOBA	0.06	(1.1)
MONTEMAYOR	0.06	(1.1)
MONTILLA	0.06	(1.1)
MONTORO	0.05	(1.1)
MONTURQUE	0.07	(1.0)
MORILES	0.07	(1.0)
NUEVA CARTEYA	0.07	(1.0)
OBEJO	0.04	(1.1)
PALENCIANA	0.08	(1.0)
PALMA DEL RIO	0.06	(1.1)
PEDRO ABAD	0.05	(1.1)
POSADAS	0.06	(1.1)
PRIEGO DE CORDOBA	0.10	(1.0)
PUENTE GENIL	0.07	(1.1)
RAMBLA (LA)	0.06	(1.1)
RUTE	0.09	(1.0)
SAN SEBASTIAN DE LOS BALLESTEROS	0.06	(1.1)
SANTAELLA	0.06	(1.1)
VALENZUELA	0.07	(1.0)
VICTORIA (LA)	0.06	(1.1)
VILLA DEL RIO	0.05	(1.0)
VILLAFRANCA DE CORDOBA	0.05	(1.1)
VILLAHARTA	0.04	(1.2)
VILLAVICIOSA DE CORDOBA	0.04	(1.2)
ZUHEROS	0.08	(1.0)

PROVINCIA DE GIRONA

AGULLANA	0.07	(1.0)
AIGUAVIVA	0.08	(1.0)
ALBANYA	0.09	(1.0)
ALBONS	0.07	(1.0)
ALP	0.06	(1.0)
AMER	0.09	(1.0)
ANGLES	0.08	(1.0)
ARBUCIES	0.05	(1.0)
ARGELAGUER	0.10	(1.0)
ARMENTERA (L')	0.07	(1.0)
AVINYONET DE PUIGVENTOS	0.08	(1.0)
BANYOLES	0.11	(1.0)
BASCARA	0.09	(1.0)
BEGUR	0.05	(1.0)
BELLCAIRE D'EMPORDA	0.07	(1.0)
BESALU	0.11	(1.0)
BESCANO	0.08	(1.0)
BEUDA	0.10	(1.0)
BISBAL D'EMPORDA (LA)	0.06	(1.0)
BIURE	0.08	(1.0)
BLANES	0.04	(1.0)
BOADELLA D'EMPORDA	0.08	(1.0)
BOLVIR	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
BORDILS	0.09	(1.0)
BORRASSA	0.09	(1.0)
BREDA	0.05	(1.0)
BRUNYOLA	0.07	(1.0)
CABANES	0.07	(1.0)
CABANELLES	0.09	(1.0)
CADAQUES	0.05	(1.0)
CALDES DE MALAVELLA	0.05	(1.0)
CALONGE	0.05	(1.0)
CAMOS	0.10	(1.0)
CAMPDEVANOL	0.08	(1.0)
CAMPELLES	0.07	(1.0)
CAMPLLONG	0.06	(1.0)
CAMPRODON	0.08	(1.0)
CANET D'ADRI	0.10	(1.0)
CANTALLOPS	0.07	(1.0)
CAPMANY	0.07	(1.0)
CASSA DE LA SELVA	0.06	(1.0)
CASTELLFOLLIT DE LA ROCA	0.10	(1.0)
CASTELLO D'EMPURIES	0.07	(1.0)
CASTELL-PLATJA D'ARO	0.05	(1.0)
CELLERA DE TER (LA)	0.08	(1.0)
CELRA	0.09	(1.0)
CERVIA DE TER	0.09	(1.0)
CISTELLA	0.09	(1.0)
COLERA	0.06	(1.0)
COLOMERS	0.08	(1.0)
CORNELLA DEL TERRI	0.10	(1.0)
CORÇA	0.07	(1.0)
CRESPIA	0.10	(1.0)
DARNIUS	0.08	(1.0)
DAS	0.06	(1.0)
ESCALA (L')	0.07	(1.0)
ESPINELVES	0.06	(1.0)
ESPOLLA	0.06	(1.0)
ESPONELLA	0.10	(1.0)
FAR D'EMPORDA (EL)	0.08	(1.0)
FIGUERES	0.08	(1.0)
FLAÇA	0.09	(1.0)
FOIXA	0.08	(1.0)
FONTANALS DE CERDANYA	0.06	(1.0)
FONTANILLES	0.06	(1.0)
FONTCOBERTA	0.10	(1.0)
FORALLAC	0.06	(1.0)
FORNELLS DE LA SELVA	0.07	(1.0)
FORTIA	0.07	(1.0)
GARRIGAS	0.09	(1.0)
GARRIGOLES	0.08	(1.0)
GARRIGUELLA	0.06	(1.0)
GER	0.06	(1.0)
GIRONA	0.09	(1.0)
GOMBREN	0.07	(1.0)
GUALTA	0.07	(1.0)
GUILS DE CERDANYA	0.06	(1.0)
HOSTALRIC	0.05	(1.0)
ISOVOL	0.06	(1.0)
JAFRE	0.08	(1.0)
JONQUERA (LA)	0.07	(1.0)
JUIA	0.09	(1.0)
LLADO	0.09	(1.0)
LLAGOSTERA	0.05	(1.0)
LLAMBILLES	0.07	(1.0)
LLANARS	0.08	(1.0)
LLANÇA	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
LLERS	0.08	(1.0)
LLIVIA	0.06	(1.0)
LLORET DE MAR	0.04	(1.0)
LLOSSES (LES)	0.07	(1.0)
MADREMANYA	0.08	(1.0)
MAIA DEL MONTCAL	0.10	(1.0)
MERANGES	0.06	(1.0)
MAÇANET DE CABRENYS	0.08	(1.0)
MAÇANET DE LA SELVA	0.05	(1.0)
MASARAC	0.07	(1.0)
MASSANES	0.05	(1.0)
MIERES	0.11	(1.0)
MOLLET DE PERALADA	0.07	(1.0)
MOLLO	0.08	(1.0)
MONTAGUT	0.10	(1.0)
MONT-RAS	0.05	(1.0)
NAVATA	0.09	(1.0)
OGASSA	0.08	(1.0)
OLOT	0.10	(1.0)
ORDIS	0.09	(1.0)
OSOR	0.08	(1.0)
PALAFRUGELL	0.05	(1.0)
PALAMOS	0.04	(1.0)
PALAU DE SANTA EULALIA	0.08	(1.0)
PALAU-SATOR	0.06	(1.0)
PALAU-SAVERDERA	0.06	(1.0)
PALOL DE REVARDIT	0.10	(1.0)
PALS	0.05	(1.0)
PARDINES	0.07	(1.0)
PARLAVA	0.07	(1.0)
PAU	0.06	(1.0)
PEDRET I MARZA	0.06	(1.0)
PERA (LA)	0.08	(1.0)
PERALADA	0.07	(1.0)
PLANES D'HOSTOLES (LES)	0.10	(1.0)
PLANOLES	0.07	(1.0)
PONT DE MOLINS	0.08	(1.0)
PONTOS	0.09	(1.0)
PORQUERES	0.11	(1.0)
PORTBOU	0.06	(1.0)
PORT DE LA SELVA (EL)	0.05	(1.0)
PRESES (LES)	0.10	(1.0)
PUIGCERDA	0.06	(1.0)
QUART	0.08	(1.0)
RABOS	0.06	(1.0)
REGENCOS	0.05	(1.0)
RIBES DE FRESER	0.07	(1.0)
RIELLS I VIABREA	0.05	(1.0)
RIPOLL	0.08	(1.0)
RIUDARENES	0.05	(1.0)
RIUDAURA	0.10	(1.0)
RIUDELLOTS DE LA SELVA	0.06	(1.0)
RIUMORS	0.07	(1.0)
ROSES	0.06	(1.0)
RUPIA	0.08	(1.0)
SALES DE LLIERCA	0.10	(1.0)
SALT	0.08	(1.0)
SANT ANDREU SALOU	0.06	(1.0)
SANT CLIMENT SESCEBES	0.07	(1.0)
SANT FELIU DE BUIXALLEU	0.05	(1.0)
SANT FELIU DE GUIXOLS	0.04	(1.0)
SANT FELIU DE PALLEROLS	0.10	(1.0)
SANT FERRIOL	0.11	(1.0)
SANT GREGORI	0.09	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
SANT HILARI SACALM	0.06	(1.0)
SANT JAUME DE LLIERCA	0.10	(1.0)
SANT JOAN DE LES ABADESSES	0.09	(1.0)
SANT JOAN DE MOLLET	0.09	(1.0)
SANT JORDI DESVALLS	0.09	(1.0)
SANT JULIA DE RAMIS	0.09	(1.0)
SANT LLORENÇ DE LA MUGA	0.08	(1.0)
SANT MARTI DE LLEMENA	0.10	(1.0)
SANT MARTI VELL	0.09	(1.0)
SANT MIQUEL DE CAMPMAJOR	0.11	(1.0)
SANT MIQUEL DE FLUVIA	0.08	(1.0)
SANT MORI	0.08	(1.0)
SANT PAU DE SEGURIES	0.09	(1.0)
SANT PERE PESCADOR	0.07	(1.0)
SANT ANIOL DE FINESTRES	0.11	(1.0)
SANT JOAN LES FONTS	0.10	(1.0)
SANT JULIA DEL LLOR I BONMATI	0.08	(1.0)
SANTA COLOMA DE FARNERS	0.06	(1.0)
SANTA CRISTINA D'ARO	0.05	(1.0)
SANTA LLOGAIA D'ALGUEMA	0.08	(1.0)
SANTA PAU	0.11	(1.0)
SARRIA DE TER	0.09	(1.0)
SAUS	0.09	(1.0)
SELVA DE MAR (LA)	0.05	(1.0)
SERINYA	0.11	(1.0)
SERRA DE DARO	0.07	(1.0)
SETCASES	0.07	(1.0)
SILS	0.05	(1.0)
SIURANA	0.08	(1.0)
SUSQUEDA	0.08	(1.0)
TALLADA D'EMPORDA (LA)	0.08	(1.0)
TERRADES	0.08	(1.0)
TORRENT	0.05	(1.0)
TORROELLA DE FLUVIA	0.08	(1.0)
TORROELLA DE MONTGRI	0.06	(1.0)
TORTELLA	0.10	(1.0)
TOSES	0.06	(1.0)
TOSSA DE MAR	0.04	(1.0)
ULTRAMORT	0.08	(1.0)
ULLA	0.07	(1.0)
ULLASTRET	0.07	(1.0)
URUS	0.06	(1.0)
VAJOL (LA)	0.07	(1.0)
VALL DE BIANYA (LA)	0.10	(1.0)
VALL D'EN BAS (LA)	0.10	(1.0)
VALLFOGONA DE RIPOLLES	0.09	(1.0)
VALL-LLOBREGA	0.05	(1.0)
VENTALLO	0.08	(1.0)
VERGES	0.08	(1.0)
VIDRA	0.09	(1.0)
VIDRERES	0.05	(1.0)
VILABERTRAN	0.07	(1.0)
VILABLAREIX	0.08	(1.0)
VILADASENS	0.09	(1.0)
VILADAMAT	0.07	(1.0)
VILADEMULS	0.10	(1.0)
VILADRAU	0.05	(1.0)
VILAFANT	0.08	(1.0)
VILAUR	0.09	(1.0)
VILAJUIGA	0.06	(1.0)
VILALLONGA DE TER	0.08	(1.0)
VILAMACOLUM	0.07	(1.0)
VILAMALLA	0.08	(1.0)
VILAMANISCLE	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
VILANANT	0.09	(1.0)
VILA-SACRA	0.07	(1.0)
VILOBI D'ONYAR	0.06	(1.0)
VILOPRIU	0.08	(1.0)

PROVINCIA DE GRANADA

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
AGRON	0.25	(1.0)
ALAMEDILLA	0.09	(1.0)
ALBOLOTE	0.23	(1.0)
ALBONDON	0.14	(1.0)
ALBUÑAN	0.13	(1.0)
ALBUÑOL	0.13	(1.0)
ALBUÑUELAS	0.22	(1.0)
ALDEIRE	0.13	(1.0)
ALFACAR	0.22	(1.0)
ALGARINEJO	0.12	(1.0)
ALHAMA DE GRANADA	0.24	(1.0)
ALHENDIN	0.25	(1.0)
ALICUN DE ORTEGA	0.09	(1.0)
ALMEGIJAR	0.15	(1.0)
ALMUÑECAR	0.16	(1.0)
ALPUJARRA DE LA SIERRA	0.14	(1.0)
ALQUIFE	0.13	(1.0)
ARENAS DEL REY	0.25	(1.0)
ARMILLA	0.24	(1.0)
ATARFE	0.24	(1.0)
BAZA	0.12	(1.0)
BEAS DE GRANADA	0.21	(1.0)
BEAS DE GUADIX	0.13	(1.0)
BENALUA DE GUADIX	0.11	(1.0)
BENALUA DE LAS VILLAS	0.16	(1.0)
BENAMAUREL	0.12	(1.0)
BERCHULES	0.14	(1.0)
BUBION	0.17	(1.0)
BUSQUISTAR	0.16	(1.0)
CACIN	0.24	(1.0)
CADIAR	0.14	(1.0)
CAJAR	0.24	(1.0)
CALAHORRA (LA)	0.13	(1.0)
CALICASAS	0.22	(1.0)
CAMPOTEJAR	0.13	(1.0)
CANILES	0.13	(1.0)
CAÑAR	0.18	(1.0)
CAPILEIRA	0.17	(1.0)
CARATAUNAS	0.17	(1.0)
CASTARAS	0.15	(1.0)
CASTILLEJAR	0.11	(1.0)
CASTRIL	0.09	(1.0)
CENES DE LA VEGA	0.23	(1.0)
CIJUELA	0.23	(1.0)
COGOLLOS DE GUADIX	0.13	(1.0)
COGOLLOS DE LA VEGA	0.21	(1.0)
COLOMERA	0.18	(1.0)
CORTES DE BAZA	0.10	(1.0)
CORTES Y GRAENA	0.12	(1.0)
CUEVAS DEL CAMPO	0.10	(1.0)
CULLAR	0.13	(1.0)
CULLAR VEGA	0.25	(1.0)
CHAUCHINA	0.24	(1.0)
CHIMENEAS	0.24	(1.0)
CHURRIANA DE LA VEGA	0.24	(1.0)
DARRO	0.13	(1.0)
DEHESAS DE GUADIX	0.09	(1.0)
DEIFONTES	0.20	(1.0)
DIEZMA	0.14	(1.0)
DILAR	0.24	(1.0)
DOLAR	0.13	(1.0)
DUDAR	0.21	(1.0)
DURCAL	0.22	(1.0)
ESCUZAR	0.25	(1.0)
FERREIRA	0.13	(1.0)
FONELAS	0.11	(1.0)
FREILA	0.10	(1.0)
FUENTE VAQUEROS	0.23	(1.0)
GABIAS (LAS)	0.25	(1.0)
GALERA	0.11	(1.0)
GOBERNADOR	0.11	(1.0)
GOJAR	0.24	(1.0)
GOR	0.11	(1.0)
GORAFE	0.10	(1.0)
GRANADA	0.24	(1.0)
GUADAHORTUNA	0.10	(1.0)
GUADIX	0.12	(1.0)
GUAJARES (LOS)	0.19	(1.0)
GUALCHOS	0.13	(1.0)
GÜEJAR SIERRA	0.20	(1.0)
GÜEVEJAR	0.22	(1.0)
HUELAGO	0.11	(1.0)
HUENEJA	0.13	(1.0)
HUESCAR	0.10	(1.0)
HUETOR DE SANTILLAN	0.21	(1.0)
HUETOR TAJAR	0.19	(1.0)
HUETOR VEGA	0.24	(1.0)
ILLORA	0.20	(1.0)
ITRABO	0.18	(1.0)
IZNALLOZ	0.16	(1.0)
JAYENA	0.24	(1.0)
JEREZ DEL MARQUESADO	0.13	(1.0)
JETE	0.18	(1.0)
JUN	0.23	(1.0)
JUVILES	0.15	(1.0)
LACHAR	0.23	(1.0)
LANJARON	0.19	(1.0)
LANTEIRA	0.13	(1.0)
LECRIN	0.21	(1.0)
LENTEGI	0.20	(1.0)
LOBRAS	0.14	(1.0)
LOJA	0.17	(1.0)
LUGROS	0.14	(1.0)
LUJAR	0.14	(1.0)
MALAHA (LA)	0.25	(1.0)
MARACENA	0.24	(1.0)
MARCHAL	0.12	(1.0)
MOCLIN	0.19	(1.0)
MOLVIZAR	0.17	(1.0)
MONACHIL	0.23	(1.0)
MONTEFRIO	0.16	(1.0)
MONTEJICAR	0.10	(1.0)
MONTILLANA	0.13	(1.0)
MORALEDA DE ZAFAYONA	0.21	(1.0)
MORELABOR	0.11	(1.0)
MOTRIL	0.15	(1.0)
MURTAS	0.14	(1.0)
NEVADA	0.14	(1.0)
NIGUELAS	0.22	(1.0)
NIVAR	0.22	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
OGIJARES	0.24	(1.0)
ORCE	0.12	(1.0)
ORGIVA	0.17	(1.0)
OTIVAR	0.19	(1.0)
OTURA	0.25	(1.0)
PADUL	0.24	(1.0)
PAMPANEIRA	0.17	(1.0)
PEDRO MARTINEZ	0.10	(1.0)
PELIGROS	0.23	(1.0)
PEZA (LA)	0.14	(1.0)
PINOS GENIL	0.22	(1.0)
PINOS PUENTE	0.22	(1.0)
PINAR (EL)	0.19	(1.0)
PIÑAR	0.13	(1.0)
TAHA (LA)	0.16	(1.0)
POLICAR	0.13	(1.0)
POLOPOS	0.14	(1.0)
PORTUGOS	0.16	(1.0)
PUEBLA DE DON FADRIQUE	0.07	(1.0)
PULIANAS	0.23	(1.0)
PURULLENA	0.12	(1.0)
QUENTAR	0.21	(1.0)
RUBITE	0.14	(1.0)
SALAR	0.19	(1.0)
SALOBREÑA	0.15	(1.0)
SANTA CRUZ DEL COMERCIO	0.23	(1.0)
SANTA FE	0.24	(1.0)
SOPORTUJAR	0.17	(1.0)
SORVILAN	0.13	(1.0)
TORRE-CARDELA	0.10	(1.0)
TORVIZCON	0.15	(1.0)
TREVELEZ	0.16	(1.0)
TURON	0.13	(1.0)
UGIJAR	0.14	(1.0)
VALOR	0.14	(1.0)
VALLE DEL ZALABI	0.12	(1.0)
VALLE (EL)	0.21	(1.0)
VEGAS DEL GENIL	0.24	(1.0)
VELEZ DE BENAUDALLA	0.17	(1.0)
VENTAS DE HUELMA	0.25	(1.0)
VILLAMENA	0.23	(1.0)
VILLANUEVA DE LAS TORRES	0.09	(1.0)
VILLANUEVA MESIA	0.19	(1.0)
VIZNAR	0.22	(1.0)
ZAFARRAYA	0.20	(1.0)
ZAGRA	0.14	(1.0)
ZUBIA (LA)	0.24	(1.0)
ZUJAR	0.11	(1.0)

PROVINCIA DE HUELVA

ALAJAR	0.06	(1.4)
ALJARAQUE	0.11	(1.4)
ALMENDRO (EL)	0.11	(1.5)
ALMONASTER LA REAL	0.07	(1.5)
ALMONTE	0.09	(1.3)
ALOSNO	0.10	(1.5)
ARACENA	0.06	(1.4)
AROCHE	0.07	(1.5)
ARROYOMOLINOS DE LEON	0.05	(1.4)
AYAMONTE	0.15	(1.4)
BEAS	0.09	(1.4)
BERROCAL	0.07	(1.3)
BOLLULLOS PAR DEL CONDADO	0.09	(1.3)
BONARES	0.09	(1.4)
CABEZAS RUBIAS	0.09	(1.5)
CALA	0.05	(1.4)
CALAÑAS	0.08	(1.4)
CAMPILLO (EL)	0.07	(1.4)
CAMPOFRIO	0.06	(1.4)
CAÑAVERAL DE LEON	0.05	(1.5)
CARTAYA	0.11	(1.4)
CASTAÑO DEL ROBLEDO	0.06	(1.5)
CERRO DE ANDEVALO (EL)	0.08	(1.5)
CORTECONCEPCION	0.06	(1.4)
CORTEGANA	0.07	(1.5)
CORTELAZOR	0.06	(1.4)
CUMBRES DE ENMEDIO	0.06	(1.5)
CUMBRES DE SAN BARTOLOME	0.06	(1.5)
CUMBRES MAYORES	0.06	(1.5)
CHUCENA	0.08	(1.3)
ENCINASOLA	0.06	(1.5)
ESCACENA DEL CAMPO	0.08	(1.3)
FUENTEHERIDOS	0.06	(1.4)
GALAROZA	0.06	(1.5)
GIBRALEON	0.10	(1.4)
GRANADA DE RIO-TINTO (LA)	0.06	(1.4)
GRANADO (EL)	0.13	(1.4)
HIGUERA DE LA SIERRA	0.06	(1.4)
HINOJALES	0.06	(1.5)
HINOJOS	0.08	(1.3)
HUELVA	0.10	(1.4)
ISLA CRISTINA	0.14	(1.4)
JABUGO	0.06	(1.5)
LEPE	0.12	(1.4)
LINARES DE LA SIERRA	0.06	(1.4)
LUCENA DEL PUERTO	0.09	(1.4)
MANZANILLA	0.08	(1.3)
MARINES (LOS)	0.06	(1.4)
MINAS DE RIOTINTO	0.07	(1.4)
MOGUER	0.10	(1.4)
NAVA (LA)	0.06	(1.5)
NERVA	0.07	(1.4)
NIEBLA	0.09	(1.4)
PALMA DEL CONDADO (LA)	0.09	(1.3)
PALOS DE LA FRONTERA	0.10	(1.4)
PATERNA DEL CAMPO	0.08	(1.3)
PAYMOGO	0.11	(1.5)
PUEBLA DE GUZMAN	0.10	(1.5)
PUERTO MORAL	0.06	(1.4)
PUNTA UMBRIA	0.11	(1.4)
ROCIANA DEL CONDADO	0.09	(1.3)
ROSAL DE LA FRONTERA	0.09	(1.5)
SAN BARTOLOME DE LA TORRE	0.10	(1.4)
SAN JUAN DEL PUERTO	0.10	(1.4)
SAN SILVESTRE DE GUZMAN	0.13	(1.4)
SANLUCAR DE GUADIANA	0.14	(1.4)
SANTA ANA LA REAL	0.06	(1.4)
SANTA BARBARA DE CASA	0.09	(1.5)
SANTA OLALLA DEL CALA	0.05	(1.3)
TRIGUEROS	0.09	(1.4)
VALDELARCO	0.06	(1.5)
VALVERDE DEL CAMINO	0.08	(1.4)
VILLABLANCA	0.13	(1.4)
VILLALBA DEL ALCOR	0.08	(1.3)
VILLANUEVA DE LAS CRUCES	0.09	(1.5)
VILLANUEVA DE LOS CASTILLEJOS	0.11	(1.5)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
VILLARRASA	0.09	(1.3)
ZALAMEA LA REAL	0.07	(1.4)
ZUFRE	0.06	(1.3)

PROVINCIA DE HUESCA

AINSA-SOBRARBE	0.04	(1.0)
AISA	0.05	(1.0)
ANSO	0.05	(1.0)
ARAGUES DEL PUERTO	0.05	(1.0)
BENASQUE	0.04	(1.0)
BIELSA	0.09	(1.0)
BIESCAS	0.06	(1.0)
BOLTAÑA	0.05	(1.0)
BORAU	0.05	(1.0)
BROTO	0.07	(1.0)
CANAL DE BERDUN	0.04	(1.0)
CANFRANC	0.06	(1.0)
CASTEJON DE SOS	0.04	(1.0)
CASTIELLO DE JACA	0.05	(1.0)
CHIA	0.04	(1.0)
FAGO	0.05	(1.0)
FANLO	0.08	(1.0)
FISCAL	0.05	(1.0)
GISTAIN	0.05	(1.0)
HOZ DE JACA	0.08	(1.0)
JACA	0.04	(1.0)
JASA	0.05	(1.0)
LABUERDA	0.05	(1.0)
LASPUÑA	0.06	(1.0)
PANTICOSA	0.09	(1.0)
PLAN	0.07	(1.0)
PUERTOLAS	0.07	(1.0)
PUEYO DE ARAGUAS (EL)	0.05	(1.0)
SABIÑANIGO	0.04	(1.0)
SAHUN	0.05	(1.0)
SALLENT DE GALLEGO	0.09	(1.0)
SAN JUAN DE PLAN	0.07	(1.0)
SEIRA	0.04	(1.0)
SESUE	0.04	(1.0)
SALILLAS	0.08	(1.0)
TORLA	0.08	(1.0)
VALLE DE HECHO	0.05	(1.0)
VILLANOVA	0.05	(1.0)
VILLANUA	0.05	(1.0)
YEBRA DE BASA	0.04	(1.0)
YESERO	0.07	(1.0)

PROVINCIA DE JAEN

ALBANCHEZ DE UBEDA	0.07	(1.0)
ALCALA LA REAL	0.12	(1.0)
ALCAUDETE	0.08	(1.0)
ANDUJAR	0.05	(1.0)
ARJONA	0.06	(1.0)
ARJONILLA	0.06	(1.0)
ARQUILLOS	0.05	(1.0)
BAEZA	0.06	(1.0)
BAILEN	0.05	(1.0)
BAÑOS DE LA ENCINA	0.04	(1.0)
BEAS DE SEGURA	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
BEDMAR Y GARCIEZ	0.07	(1.0)
BEGIJAR	0.06	(1.0)
BELMEZ DE LA MORALEDA	0.08	(1.0)
CABRA DEL SANTO CRISTO	0.08	(1.0)
CAMBIL	0.08	(1.0)
CAMPILLO DE ARENAS	0.11	(1.0)
CANENA	0.06	(1.0)
CARBONEROS	0.04	(1.0)
CARCHELES	0.09	(1.0)
CASTELLAR	0.04	(1.0)
CASTILLO DE LOCUBIN	0.10	(1.0)
CAZALILLA	0.06	(1.0)
CAZORLA	0.06	(1.0)
CHILLUEVAR	0.06	(1.0)
ESCAÑUELA	0.06	(1.0)
ESPELUY	0.05	(1.0)
FRAILES	0.12	(1.0)
FUENSANTA DE MARTOS	0.08	(1.0)
FUERTE DEL REY	0.06	(1.0)
GUARDIA DE JAEN (LA)	0.08	(1.0)
GUARROMAN	0.04	(1.0)
HIGUERA DE ARJONA	0.06	(1.0)
HIGUERA DE CALATRAVA	0.07	(1.0)
HINOJARES	0.08	(1.0)
HORNOS	0.04	(1.0)
HUELMA	0.08	(1.0)
HUESA	0.07	(1.0)
IBROS	0.06	(1.0)
IRUELA (LA)	0.06	(1.0)
IZNATORAF	0.05	(1.0)
JABALQUINTO	0.06	(1.0)
JAEN	0.07	(1.0)
JAMILENA	0.07	(1.0)
JIMENA	0.07	(1.0)
JODAR	0.07	(1.0)
LARVA	0.07	(1.0)
LINARES	0.05	(1.0)
LOPERA	0.06	(1.0)
LUPION	0.06	(1.0)
MANCHA REAL	0.07	(1.0)
MARMOLEJO	0.05	(1.0)
MARTOS	0.07	(1.0)
MENGIBAR	0.06	(1.0)
NAVAS DE SAN JUAN	0.05	(1.0)
NOALEJO	0.12	(1.0)
PEAL DE BECERRO	0.06	(1.0)
PEGALAJAR	0.08	(1.0)
PORCUNA	0.06	(1.0)
POZO ALCON	0.08	(1.0)
QUESADA	0.07	(1.0)
RUS	0.06	(1.0)
SABIOTE	0.06	(1.0)
SANTIAGO DE CALATRAVA	0.07	(1.0)
SANTIAGO-PONTONES	0.05	(1.0)
SANTISTEBAN DEL PUERTO	0.04	(1.0)
SANTO TOME	0.06	(1.0)
SORIHUELA DEL GUADALIMAR	0.04	(1.0)
TORREBLASCOPEDRO	0.06	(1.0)
TORRE DEL CAMPO	0.07	(1.0)
TORREDONJIMENO	0.07	(1.0)
TORREPEROGIL	0.06	(1.0)
TORRES	0.07	(1.0)
UBEDA	0.06	(1.0)
VALDEPEÑAS DE JAEN	0.10	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
VILCHES	0.04	(1.0)
VILLACARRILLO	0.05	(1.0)
VILLANUEVA DE LA REINA	0.06	(1.0)
VILLANUEVA DEL ARZOBISPO	0.05	(1.0)
VILLARDOMPARDO	0.06	(1.0)
VILLARES (LOS)	0.08	(1.0)
VILLATORRES	0.06	(1.0)

PROVINCIA DE LLEIDA

ALAS I CERC	0.05	(1.0)
ALINS	0.05	(1.0)
ALT ANEU	0.04	(1.0)
ARRES	0.04	(1.0)
ARSEGUEL	0.05	(1.0)
BAUSEN	0.04	(1.0)
BELLVER DE CERDANYA	0.06	(1.0)
BORDES (ES)	0.04	(1.0)
BOSSOST	0.04	(1.0)
CANEJAN	0.04	(1.0)
CAVA	0.05	(1.0)
COMA I LA PEDRA (LA)	0.04	(1.0)
ESPOT	0.04	(1.0)
ESTERRI D'ANEU	0.04	(1.0)
ESTERRI DE CARDOS	0.05	(1.0)
ESTAMARIU	0.05	(1.0)
FARRERA	0.05	(1.0)
GOSOL	0.05	(1.0)
GUINGUETA D'ANEU (LA)	0.04	(1.0)
GUIXERS	0.04	(1.0)
JOSA I TUIXEN	0.04	(1.0)
LES	0.04	(1.0)
LLADORRE	0.05	(1.0)
LLAVORSI	0.04	(1.0)
LLES DE CERDANYA	0.06	(1.0)
MONTELLA I MARTINET	0.06	(1.0)
MONTFERRER I CASTELLBO	0.05	(1.0)
PONT DE BAR (EL)	0.06	(1.0)
PRATS I SANSOR	0.06	(1.0)
PRULLANS	0.06	(1.0)
RIBERA D'URGELLET	0.04	(1.0)
SEU D'URGELL (LA)	0.05	(1.0)
TIRVIA	0.05	(1.0)
VALL DE CARDOS	0.05	(1.0)
VALLS D'AGUILAR (LES)	0.04	(1.0)
VALLS DE VALIRA (LES)	0.05	(1.0)
VANSA I FORNOLS (LA)	0.04	(1.0)
VILAMOS	0.04	(1.0)

PROVINCIA DE MALAGA

ALAMEDA	0.08	(1.0)
ALCAUCIN	0.21	(1.0)
ALFARNATE	0.16	(1.0)
ALFARNATEJO	0.16	(1.0)
ALGARROBO	0.18	(1.0)
ALGATOCIN	0.07	(1.1)
ALHAURIN DE LA TORRE	0.09	(1.0)
ALHAURIN EL GRANDE	0.08	(1.0)
ALMACHAR	0.17	(1.0)
ALMARGEN	0.08	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
ALMOGIA	0.10	(1.0)
ALORA	0.08	(1.0)
ALOZAINA	0.08	(1.0)
ALPANDEIRE	0.07	(1.1)
ANTEQUERA	0.09	(1.0)
ARCHEZ	0.21	(1.0)
ARCHIDONA	0.11	(1.0)
ARDALES	0.08	(1.0)
ARENAS	0.20	(1.0)
ARRIATE	0.07	(1.1)
ATAJATE	0.07	(1.1)
BENADALID	0.07	(1.1)
BENAHAVIS	0.07	(1.1)
BENALAURIA	0.07	(1.0)
BENALMADENA	0.08	(1.0)
BENAMARGOSA	0.18	(1.0)
BENAMOCARRA	0.18	(1.0)
BENAOJAN	0.07	(1.1)
BENARRABA	0.07	(1.1)
BORGE (EL)	0.16	(1.0)
BURGO (EL)	0.08	(1.0)
CAMPILLOS	0.08	(1.0)
CANILLAS DE ACEITUNO	0.21	(1.0)
CANILLAS DE ALBAIDA	0.22	(1.0)
CAÑETE LA REAL	0.08	(1.0)
CARRATRACA	0.08	(1.0)
CARTAJIMA	0.07	(1.1)
CARTAMA	0.08	(1.0)
CASABERMEJA	0.12	(1.0)
CASARABONELA	0.08	(1.0)
CASARES	0.07	(1.1)
COIN	0.08	(1.0)
COLMENAR	0.15	(1.0)
COMARES	0.17	(1.0)
COMPETA	0.21	(1.0)
CORTES DE LA FRONTERA	0.07	(1.1)
CUEVAS BAJAS	0.09	(1.0)
CUEVAS DE SAN MARCOS	0.09	(1.0)
CUEVAS DEL BECERRO	0.08	(1.0)
CUTAR	0.17	(1.0)
ESTEPONA	0.07	(1.1)
FARAJAN	0.07	(1.1)
FRIGILIANA	0.20	(1.0)
FUENGIROLA	0.07	(1.1)
FUENTE DE PIEDRA	0.08	(1.0)
GAUCIN	0.07	(1.1)
GENALGUACIL	0.07	(1.1)
GUARO	0.08	(1.0)
HUMILLADERO	0.08	(1.0)
IGUALEJA	0.07	(1.1)
ISTAN	0.07	(1.1)
IZNATE	0.17	(1.0)
JIMERA DE LIBAR	0.07	(1.1)
JUBRIQUE	0.07	(1.0)
JUZCAR	0.07	(1.1)
MACHARAVIAYA	0.16	(1.0)
MALAGA	0.11	(1.0)
MANILVA	0.06	(1.1)
MARBELLA	0.07	(1.1)
MIJAS	0.08	(1.0)
MOCLINEJO	0.15	(1.0)
MOLLINA	0.08	(1.0)
MONDA	0.08	(1.0)
MONTEJAQUE	0.07	(1.1)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
NERJA	0.18	(1.0)
OJEN	0.07	(1.1)
PARAUTA	0.07	(1.1)
PERIANA	0.19	(1.0)
PIZARRA	0.08	(1.0)
PUJERRA	0.07	(1.1)
RINCON DE LA VICTORIA	0.13	(1.0)
RIOGORDO	0.16	(1.0)
RONDA	0.07	(1.1)
SALARES	0.22	(1.0)
SAYALONGA	0.20	(1.0)
SEDELLA	0.22	(1.0)
SIERRA DE YEGUAS	0.08	(1.0)
TEBA	0.08	(1.0)
TOLOX	0.08	(1.0)
TORREMOLINOS	0.09	(1.0)
TORROX	0.18	(1.0)
TOTALAN	0.14	(1.0)
VALLE DE ABDALAJIS	0.08	(1.0)
VELEZ-MALAGA	0.18	(1.0)
VILLANUEVA DE ALGAIDAS	0.10	(1.0)
VILLANUEVA DE TAPIA	0.11	(1.0)
VILLANUEVA DEL ROSARIO	0.13	(1.0)
VILLANUEVA DEL TRABUCO	0.13	(1.0)
VIÑUELA	0.20	(1.0)
YUNQUERA	0.08	(1.0)

MELILLA

MELILLA	0.05	(1.0)

PROVINCIA DE MURCIA

ABANILLA	0.14	(1.0)
ABARAN	0.10	(1.0)
AGUILAS	0.11	(1.0)
ALBUDEITE	0.11	(1.0)
ALCANTARILLA	0.14	(1.0)
ALCAZARES (LOS)	0.07	(1.0)
ALEDO	0.10	(1.0)
ALGUAZAS	0.14	(1.0)
ALHAMA DE MURCIA	0.10	(1.0)
ARCHENA	0.13	(1.0)
BENIEL	0.15	(1.0)
BLANCA	0.11	(1.0)
BULLAS	0.07	(1.0)
CALASPARRA	0.07	(1.0)
CAMPOS DEL RIO	0.12	(1.0)
CARAVACA DE LA CRUZ	0.07	(1.0)
CARTAGENA	0.05	(1.0)
CEHEGIN	0.07	(1.0)
CEUTI	0.13	(1.0)
CIEZA	0.09	(1.0)
FORTUNA	0.14	(1.0)
FUENTE ALAMO DE MURCIA	0.11	(1.0)
JUMILLA	0.07	(1.0)
LIBRILLA	0.12	(1.0)
LORCA	0.11	(1.0)
LORQUI	0.13	(1.0)
MAZARRON	0.09	(1.0)
MOLINA DE SEGURA	0.14	(1.0)
MORATALLA	0.07	(1.0)
MULA	0.09	(1.0)
MURCIA	0.15	(1.0)
OJOS	0.11	(1.0)
PLIEGO	0.09	(1.0)
PUERTO LUMBRERAS	0.13	(1.0)
RICOTE	0.11	(1.0)
SAN JAVIER	0.10	(1.0)
SAN PEDRO DEL PINATAR	0.10	(1.0)
SANTOMERA	0.15	(1.0)
TORRE-PACHECO	0.09	(1.0)
TORRES DE COTILLAS (LAS)	0.14	(1.0)
TOTANA	0.10	(1.0)
ULEA	0.12	(1.0)
UNION (LA)	0.05	(1.0)
VILLANUEVA DEL RIO SEGURA	0.12	(1.0)
YECLA	0.06	(1.0)

PROVINCIA DE NAVARRA

ABAURREA ALTA	0.05	(1.0)
ABAURREA BAJA	0.05	(1.0)
ANUE	0.04	(1.0)
AOIZ	0.04	(1.0)
ARANTZA	0.04	(1.0)
ARANGUREN	0.04	(1.0)
ARCE	0.04	(1.0)
ARIA	0.05	(1.0)
ARIBE	0.05	(1.0)
BAZTAN	0.04	(1.0)
BEINTZA-LABAIEN	0.04	(1.0)
BERTIZARANA	0.04	(1.0)
BURGUETE	0.04	(1.0)
BURGUI	0.04	(1.0)
CASTILLONUEVO	0.04	(1.0)
DONAMARIA	0.04	(1.0)
ETXALAR	0.04	(1.0)
EGÜES	0.04	(1.0)
ELGORRIAGA	0.04	(1.0)
ERRO	0.04	(1.0)
ESPARZA DE SALAZAR	0.05	(1.0)
ESTERIBAR	0.04	(1.0)
EZCAROZ	0.05	(1.0)
GALLUES	0.04	(1.0)
GARAIOA	0.05	(1.0)
GARDE	0.05	(1.0)
GARRALDA	0.04	(1.0)
GÜESA	0.05	(1.0)
HUARTE	0.04	(1.0)
IGANTZI	0.04	(1.0)
ISABA	0.06	(1.0)
ITUREN	0.04	(1.0)
IZAGAONDOA	0.04	(1.0)
IZALZU	0.06	(1.0)
JAURRIETA	0.05	(1.0)
LANTZ	0.04	(1.0)
LESAKA	0.04	(1.0)
LIZOAIN	0.04	(1.0)
LONGUIDA	0.04	(1.0)
NAVASCUES	0.04	(1.0)
OCHAGAVIA	0.05	(1.0)
ODIETA	0.04	(1.0)
OITZ	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
OLAIBAR	0.04	(1.0)
ORBAITZETA	0.05	(1.0)
ORBARA	0.05	(1.0)
ORONZ	0.05	(1.0)
OROZ-BETELU	0.04	(1.0)
ROMANZADO	0.04	(1.0)
RONCAL	0.05	(1.0)
RONCESVALLES	0.04	(1.0)
SANTESTEBAN	0.04	(1.0)
SARRIES	0.05	(1.0)
SUNBILLA	0.04	(1.0)
ULTZAMA	0.04	(1.0)
URRAUL ALTO	0.04	(1.0)
URRAUL BAJO	0.04	(1.0)
URDAX	0.04	(1.0)
URROZ	0.04	(1.0)
URROTZ	0.04	(1.0)
URZAINQUI	0.05	(1.0)
UZTARROZ	0.06	(1.0)
VALCARLOS	0.05	(1.0)
VERA DE BIDASOA	0.04	(1.0)
VIDANGOZ	0.05	(1.0)
VILLANUEVA DE AEZCOA	0.05	(1.0)
ZUBIETA	0.04	(1.0)
ZUGARRAMURDI	0.04	(1.0)

PROVINCIA DE LAS PALMAS

AGAETE	0.04	(1.0)
AGÜIMES	0.04	(1.0)
ANTIGUA	0.04	(1.0)
ARRECIFE	0.04	(1.0)
ARTENARA	0.04	(1.0)
ARUCAS	0.04	(1.0)
BETANCURIA	0.04	(1.0)
FIRGAS	0.04	(1.0)
GALDAR	0.04	(1.0)
HARIA	0.04	(1.0)
INGENIO	0.04	(1.0)
MOGAN	0.04	(1.0)
MOYA	0.04	(1.0)
OLIVA (LA)	0.04	(1.0)
PAJARA	0.04	(1.0)
PALMAS DE GRAN CANARIA (LAS)	0.04	(1.0)
PUERTO DEL ROSARIO	0.04	(1.0)
SAN BARTOLOME	0.04	(1.0)
SAN BARTOLOME DE TIRAJANA	0.04	(1.0)
SAN NICOLAS DE TOLENTINO	0.04	(1.0)
SANTA BRIGIDA	0.04	(1.0)
SANTA LUCIA DE TIRAJANA	0.04	(1.0)
SANTA MARIA DE GUIA DE G. C.	0.04	(1.0)
TEGUISE	0.04	(1.0)
TEJEDA	0.04	(1.0)
TELDE	0.04	(1.0)
TEROR	0.04	(1.0)
TIAS	0.04	(1.0)
TINAJO	0.04	(1.0)
TUINEJE	0.04	(1.0)
VALSEQUILLO DE GRAN CANARIA	0.04	(1.0)
VALLESECO	0.04	(1.0)
VEGA DE SAN MATEO	0.04	(1.0)
YAIZA	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K

PROVINCIA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE

ADEJE	0.04	(1.0)
AGULO	0.04	(1.0)
ALAJERO	0.04	(1.0)
ARAFO	0.04	(1.0)
ARICO	0.04	(1.0)
ARONA	0.04	(1.0)
BARLOVENTO	0.04	(1.0)
BREÑA ALTA	0.04	(1.0)
BREÑA BAJA	0.04	(1.0)
BUENAVISTA DEL NORTE	0.04	(1.0)
CANDELARIA	0.04	(1.0)
FASNIA	0.04	(1.0)
FRONTERA	0.04	(1.0)
FUENCALIENTE DE LA PALMA	0.04	(1.0)
GARACHICO	0.04	(1.0)
GARAFIA	0.04	(1.0)
GRANADILLA DE ABONA	0.04	(1.0)
GUANCHA (LA)	0.04	(1.0)
GUIA DE ISORA	0.04	(1.0)
GÜIMAR	0.04	(1.0)
HERMIGUA	0.04	(1.0)
ICOD DE LOS VINOS	0.04	(1.0)
LLANOS DE ARIDANE (LOS)	0.04	(1.0)
MATANZA DE ACENTEJO (LA)	0.04	(1.0)
OROTAVA (LA)	0.04	(1.0)
PASO (EL)	0.04	(1.0)
PUERTO DE LA CRUZ	0.04	(1.0)
PUNTAGORDA	0.04	(1.0)
PUNTALLANA	0.04	(1.0)
REALEJOS (LOS)	0.04	(1.0)
ROSARIO (EL)	0.04	(1.0)
SAN ANDRES Y SAUCES	0.04	(1.0)
SAN CRISTOBAL DE LA LAGUNA	0.04	(1.0)
SAN JUAN DE LA RAMBLA	0.04	(1.0)
SAN MIGUEL DE ABONA	0.04	(1.0)
SAN SEBASTIAN DE LA GOMERA	0.04	(1.0)
SANTA CRUZ DE LA PALMA	0.04	(1.0)
SANTA CRUZ DE TENERIFE	0.04	(1.0)
SANTA URSULA	0.04	(1.0)
SANTIAGO DEL TEIDE	0.04	(1.0)
SAUZAL, EL	0.04	(1.0)
SILOS (LOS)	0.04	(1.0)
TACORONTE	0.04	(1.0)
TANQUE	0.04	(1.0)
TAZACORTE	0.04	(1.0)
TEGUESTE	0.04	(1.0)
TIJARAFE	0.04	(1.0)
VALVERDE	0.04	(1.0)
VALLE GRAN REY	0.04	(1.0)
VALLEHERMOSO	0.04	(1.0)
VICTORIA DE ACENTEJO (LA)	0.04	(1.0)
VILAFLOR	0.04	(1.0)
VILLA DE MAZO	0.04	(1.0)

PROVINCIA DE SEVILLA

AGUADULCE	0.07	(1.1)
ALANIS	0.04	(1.3)
ALBAIDA DEL ALJARAFE	0.08	(1.2)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
ALCALA DE GUADAIRA	0.07	(1.2)
ALCALA DEL RIO	0.07	(1.2)
ALCOLEA DEL RIO	0.06	(1.2)
ALGABA (LA)	0.07	(1.2)
ALGAMITAS	0.08	(1.1)
ALMADEN DE LA PLATA	0.05	(1.3)
ALMENSILLA	0.07	(1.2)
ARAHAL	0.06	(1.2)
AZNALCAZAR	0.08	(1.2)
AZNALCOLLAR	0.08	(1.2)
BADOLATOSA	0.08	(1.0)
BENACAZON	0.08	(1.2)
BOLLULLOS DE LA MITACION	0.08	(1.2)
BORMUJOS	0.07	(1.2)
BRENES	0.07	(1.2)
BURGUILLOS	0.07	(1.2)
CABEZAS DE SAN JUAN (LAS)	0.07	(1.2)
CAMAS	0.07	(1.2)
CAMPANA (LA)	0.06	(1.1)
CANTILLANA	0.07	(1.2)
CAÑADA ROSAL	0.06	(1.1)
CARMONA	0.06	(1.2)
CARRION DE LOS CESPEDES	0.08	(1.3)
CASARICHE	0.07	(1.0)
CASTILBLANCO DE LOS ARROYOS	0.06	(1.2)
CASTILLEJA DE GUZMAN	0.07	(1.2)
CASTILLEJA DE LA CUESTA	0.07	(1.2)
CASTILLEJA DEL CAMPO	0.08	(1.3)
CASTILLO DE LAS GUARDAS (EL)	0.07	(1.3)
CAZALLA DE LA SIERRA	0.05	(1.2)
CONSTANTINA	0.05	(1.2)
CORIA DEL RIO	0.07	(1.2)
CORIPE	0.07	(1.1)
CORONIL (EL)	0.07	(1.1)
CORRALES (LOS)	0.08	(1.0)
DOS HERMANAS	0.07	(1.2)
ECIJA	0.06	(1.1)
ESPARTINAS	0.07	(1.2)
ESTEPA	0.07	(1.1)
FUENTES DE ANDALUCIA	0.06	(1.1)
GARROBO (EL)	0.07	(1.2)
GELVES	0.07	(1.2)
GERENA	0.08	(1.2)
GILENA	0.07	(1.1)
GINES	0.07	(1.2)
GUADALCANAL	0.04	(1.3)
GUILLENA	0.07	(1.2)
HERRERA	0.07	(1.1)
HUEVAR	0.08	(1.2)
LANTEJUELA (LA)	0.06	(1.1)
LEBRIJA	0.07	(1.3)
LORA DE ESTEPA	0.07	(1.1)
LORA DEL RIO	0.06	(1.2)
LUISIANA (LA)	0.06	(1.1)
MADROÑO (EL)	0.07	(1.3)
MAIRENA DEL ALCOR	0.07	(1.2)
MAIRENA DEL ALJARAFE	0.07	(1.2)
MARCHENA	0.06	(1.1)
MARINALEDA	0.07	(1.1)
MARTIN DE LA JARA	0.08	(1.0)
MOLARES (LOS)	0.07	(1.2)
MONTELLANO	0.07	(1.1)
MORON DE LA FRONTERA	0.07	(1.1)
NAVAS DE LA CONCEPCION (LAS)	0.05	(1.2)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
OLIVARES	0.08	(1.2)
OSUNA	0.07	(1.1)
PALACIOS Y VILLAFRANCA (LOS)	0.07	(1.2)
PALOMARES DEL RIO	0.07	(1.2)
PARADAS	0.06	(1.2)
PEDRERA	0.07	(1.1)
PEDROSO (EL)	0.06	(1.2)
PEÑAFLOR	0.06	(1.1)
PILAS	0.08	(1.3)
PRUNA	0.07	(1.1)
PUEBLA DE CAZALLA (LA)	0.07	(1.1)
PUEBLA DE LOS INFANTES (LA)	0.06	(1.1)
PUEBLA DEL RIO (LA)	0.07	(1.2)
REAL DE LA JARA (EL)	0.05	(1.3)
RINCONADA (LA)	0.07	(1.2)
RODA DE ANDALUCIA (LA)	0.08	(1.0)
RONQUILLO (EL)	0.07	(1.3)
RUBIO (EL)	0.07	(1.1)
SALTERAS	0.07	(1.2)
SAN JUAN DE AZNALFARACHE	0.07	(1.2)
SAN NICOLAS DEL PUERTO	0.05	(1.2)
SANLUCAR LA MAYOR	0.08	(1.2)
SANTIPONCE	0.07	(1.2)
SAUCEJO (EL)	0.08	(1.1)
SEVILLA	0.07	(1.2)
TOCINA	0.06	(1.2)
TOMARES	0.07	(1.2)
UMBRETE	0.08	(1.2)
UTRERA	0.07	(1.2)
VALENCINA DE LA CONCEPCION	0.07	(1.2)
VILLAFRANCO DEL GUADALQUIVIR	0.08	(1.3)
VILLAMANRIQUE DE LA CONDESA	0.08	(1.3)
VILLANUEVA DE SAN JUAN	0.07	(1.1)
VILLANUEVA DEL ARISCAL	0.08	(1.2)
VILLANUEVA DEL RIO Y MINAS	0.06	(1.2)
VILLAVERDE DEL RIO	0.07	(1.2)
VISO DEL ALCOR (EL)	0.07	(1.2)

PROVINCIA DE TARRAGONA

AIGUAMURCIA	0.04	(1.0)
ALBINYANA	0.04	(1.0)
ALBIOL (L')	0.04	(1.0)
ALCOVER	0.04	(1.0)
ALDEA (L')	0.04	(1.0)
ALEIXAR (L')	0.04	(1.0)
ALFORJA	0.04	(1.0)
ALIO	0.04	(1.0)
ALMOSTER	0.04	(1.0)
ALTAFULLA	0.04	(1.0)
AMETLLA DE MAR (L')	0.04	(1.0)
ARBOÇ (L')	0.04	(1.0)
ARBOLI	0.04	(1.0)
ARGENTERA (L')	0.04	(1.0)
BANYERES DEL PENEDES	0.04	(1.0)
BARBERA DE LA CONCA	0.04	(1.0)
BELLMUNT DEL PRIORAT	0.04	(1.0)
BELLVEI	0.04	(1.0)
BENISSANET	0.04	(1.0)
BISBAL DEL PENEDES (LA)	0.04	(1.0)
BONASTRE	0.04	(1.0)
BORGES DEL CAMP (LES)	0.04	(1.0)
BOTARELL	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
BRAFIM	0.04	(1.0)
CABACES	0.04	(1.0)
CABRA DEL CAMP	0.04	(1.0)
CALAFELL	0.04	(1.0)
CAMARLES	0.04	(1.0)
CAMBRILS	0.04	(1.0)
CAPAFONTS	0.04	(1.0)
CAPÇANES	0.04	(1.0)
CASTELLVELL DEL CAMP	0.04	(1.0)
CATLLAR (EL)	0.04	(1.0)
COLLDEJOU	0.04	(1.0)
CONSTANTI	0.04	(1.0)
CORNUDELLA DE MONTSANT	0.04	(1.0)
CREIXELL	0.04	(1.0)
CUNIT	0.04	(1.0)
DUESAIGÜES	0.04	(1.0)
FALSET	0.04	(1.0)
FEBRO (LA)	0.04	(1.0)
FIGUERA (LA)	0.04	(1.0)
FIGUEROLA DEL CAMP	0.04	(1.0)
GARCIA	0.04	(1.0)
GARIDELLS (ELS)	0.04	(1.0)
GINESTAR	0.04	(1.0)
GRATALLOPS	0.04	(1.0)
GUIAMETS (ELS)	0.04	(1.0)
LLOAR (EL)	0.04	(1.0)
LLORENÇ DEL PENEDES	0.04	(1.0)
MARÇA	0.04	(1.0)
MASLLORENÇ	0.04	(1.0)
MASO (LA)	0.04	(1.0)
MASPUJOLS	0.04	(1.0)
MASROIG (EL)	0.04	(1.0)
MILA (EL)	0.04	(1.0)
MIRAVET	0.04	(1.0)
MOLAR (EL)	0.04	(1.0)
MONTBLANC	0.04	(1.0)
MONTBRIO DEL CAMP	0.04	(1.0)
MONTFERRI	0.04	(1.0)
MONTMELL (EL)	0.04	(1.0)
MONT-RAL	0.04	(1.0)
MONT-ROIG DEL CAMP	0.04	(1.0)
MORA D'EBRE	0.04	(1.0)
MORA LA NOVA	0.04	(1.0)
MORELL (EL)	0.04	(1.0)
MORERA DE MONTSANT (LA)	0.04	(1.0)
NOU DE GAIA (LA)	0.04	(1.0)
NULLES	0.04	(1.0)
PALLARESOS (ELS)	0.04	(1.0)
PERAFORT	0.04	(1.0)
PERELLO (EL)	0.04	(1.0)
PIRA	0.04	(1.0)
PLA DE SANTA MARIA (EL)	0.04	(1.0)
POBLA DE MAFUMET (LA)	0.04	(1.0)
POBLA DE MONTORNES (LA)	0.04	(1.0)
POBOLEDA	0.04	(1.0)
PONT D'ARMENTERA (EL)	0.04	(1.0)
PORRERA	0.04	(1.0)
PRADELL DE LA TEIXETA	0.04	(1.0)
PRADES	0.04	(1.0)
PRATDIP	0.04	(1.0)
PUIGPELAT	0.04	(1.0)
QUEROL	0.04	(1.0)
RASQUERA	0.04	(1.0)
RENAU	0.04	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
REUS	0.04	(1.0)
RIBA (LA)	0.04	(1.0)
RIERA DE GAIA (LA)	0.04	(1.0)
RIUDECANYES	0.04	(1.0)
RIUDECOLS	0.04	(1.0)
RIUDOMS	0.04	(1.0)
RODA DE BARA	0.04	(1.0)
RODONYA	0.04	(1.0)
ROURELL, (EL)	0.04	(1.0)
SALOMO	0.04	(1.0)
SALOU	0.04	(1.0)
SANT JAUME DELS DOMENYS	0.04	(1.0)
SANTA OLIVA	0.04	(1.0)
SANTA PERPETUA DE GAIA	0.04	(1.0)
SECUITA (LA)	0.04	(1.0)
SELVA DEL CAMP (LA)	0.04	(1.0)
TARRAGONA	0.04	(1.0)
TIVISSA	0.04	(1.0)
TORRE DE FONTAUBELLA (LA)	0.04	(1.0)
TORRE DE L'ESPANYOL (LA)	0.04	(1.0)
TORREDEMBARRA	0.04	(1.0)
TORROJA DEL PRIORAT	0.04	(1.0)
VALLMOLL	0.04	(1.0)
VALLS	0.04	(1.0)
VANDELLOS I L'HOSPITALET DE L'INFANT	0.04	(1.0)
VENDRELL (EL)	0.04	(1.0)
VESPELLA	0.04	(1.0)
VILABELLA	0.04	(1.0)
VILALLONGA DEL CAMP	0.04	(1.0)
VILANOVA D'ESCORNALBOU	0.04	(1.0)
VILAPLANA	0.04	(1.0)
VILA-RODONA	0.04	(1.0)
VILA-SECA	0.04	(1.0)
VILAVERD	0.04	(1.0)
VILELLA ALTA (LA)	0.04	(1.0)
VILELLA BAIXA (LA)	0.04	(1.0)
VINYOLS I ELS ARCS	0.04	(1.0)

PROVINCIA DE VALENCIA

ADOR	0.06	(1.0)
ADZANETA DE ALBAIDA	0.06	(1.0)
AGULLENT	0.06	(1.0)
AIELO DE MALFERIT	0.06	(1.0)
ALAQUAS	0.06	(1.0)
ALBAIDA	0.06	(1.0)
ALBAL	0.06	(1.0)
ALBALAT DE LA RIBERA	0.06	(1.0)
ALBALAT DELS SORELLS	0.05	(1.0)
ALBALAT DELS TARONGERS	0.04	(1.0)
ALBERIC	0.06	(1.0)
ALBORACHE	0.05	(1.0)
ALBORAYA	0.06	(1.0)
ALBUIXECH	0.05	(1.0)
ALCACER	0.06	(1.0)
ALCANTERA DE XUQUER	0.06	(1.0)
ALCUDIA DE CRESPINS (L')	0.06	(1.0)
ALCUDIA (L')	0.06	(1.0)
ALDAIA	0.06	(1.0)
ALFAFAR	0.06	(1.0)
ALFARA DEL PATRIARCA	0.05	(1.0)
ALFARP	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
ALFARRASI	0.06	(1.0)
ALFAUIR	0.06	(1.0)
ALGEMESI	0.06	(1.0)
ALGINET	0.06	(1.0)
ALMASSERA	0.06	(1.0)
ALMISERAT	0.06	(1.0)
ALMOINES	0.06	(1.0)
ALMUSSAFES	0.06	(1.0)
ALQUERIA DE LA COMTESSA (L')	0.06	(1.0)
ALZIRA	0.06	(1.0)
ANNA	0.06	(1.0)
ANTELLA	0.06	(1.0)
AYELO DE RUGAT	0.06	(1.0)
AYORA	0.06	(1.0)
BARX	0.06	(1.0)
BARXETA	0.06	(1.0)
BELGIDA	0.06	(1.0)
BELLREGUARD	0.06	(1.0)
BELLUS	0.06	(1.0)
BENAGUASIL	0.05	(1.0)
BENEIXIDA	0.06	(1.0)
BENETUSSER	0.06	(1.0)
BENIARJO	0.06	(1.0)
BENIATJAR	0.06	(1.0)
BENICOLET	0.06	(1.0)
BENIFAIRO DE LA VALLDIGNA	0.06	(1.0)
BENIFAIO	0.06	(1.0)
BENIFLA	0.06	(1.0)
BENIGANIM	0.06	(1.0)
BENIMODO	0.06	(1.0)
BENIMUSLEM	0.06	(1.0)
BENIPARRELL	0.06	(1.0)
BENIRREDRA	0.06	(1.0)
BENISANO	0.04	(1.0)
BENISODA	0.06	(1.0)
BENISUERA	0.06	(1.0)
BETERA	0.05	(1.0)
BICORP	0.06	(1.0)
BOCAIRENT	0.06	(1.0)
BOLBAITE	0.06	(1.0)
BONREPOS I MIRAMBEL	0.06	(1.0)
BUFALI	0.06	(1.0)
BUÑOL	0.05	(1.0)
BURJASSOT	0.06	(1.0)
CANALS	0.06	(1.0)
CARCAIXENT	0.06	(1.0)
CARCER	0.06	(1.0)
CARLET	0.06	(1.0)
CARRICOLA	0.06	(1.0)
CASTELLO DE LA RIBERA	0.06	(1.0)
CASTELLO DE RUGAT	0.06	(1.0)
CASTELLONET DE LA CONQUESTA	0.06	(1.0)
CATADAU	0.06	(1.0)
CATARROJA	0.06	(1.0)
CERDA	0.06	(1.0)
COFRENTES	0.05	(1.0)
CORBERA	0.06	(1.0)
CORTES DE PALLAS	0.05	(1.0)
COTES	0.06	(1.0)
CULLERA	0.06	(1.0)
CHELLA	0.06	(1.0)
CHESTE	0.05	(1.0)
CHIVA	0.05	(1.0)
DAIMUS	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
DOS AGUAS	0.06	(1.0)
ELIANA (L')	0.05	(1.0)
EMPERADOR	0.05	(1.0)
ENGUERA	0.06	(1.0)
ENOVA (L')	0.06	(1.0)
ESTIVELLA	0.04	(1.0)
ESTUBENY	0.06	(1.0)
FONTANARS DELS ALFORINS	0.06	(1.0)
FORTALENY	0.06	(1.0)
FOIOS	0.05	(1.0)
FONT D'EN CARROS (LA)	0.06	(1.0)
FONT DE LA FIGUERA (LA)	0.06	(1.0)
GANDIA	0.06	(1.0)
GAVARDA	0.06	(1.0)
GENOVES	0.06	(1.0)
GILET	0.04	(1.0)
GODELLA	0.06	(1.0)
GODELLETA	0.06	(1.0)
GRANJA DE LA COSTERA (LA)	0.06	(1.0)
GUADASEQUIES	0.06	(1.0)
GUADASSUAR	0.06	(1.0)
GUARDAMAR	0.06	(1.0)
JALANCE	0.05	(1.0)
JARAFUEL	0.06	(1.0)
LUGAR NUEVO DE FENOLLET	0.06	(1.0)
LUGAR NUEVO DE LA CORONA	0.06	(1.0)
LLANERA DE RANES	0.06	(1.0)
LLAURI	0.06	(1.0)
LLIRIA	0.04	(1.0)
LLOCNOU DE SANT JERONI	0.06	(1.0)
LLOMBAI	0.06	(1.0)
LLOSA DE RANES	0.06	(1.0)
LLUTXENT	0.06	(1.0)
MACASTRE	0.05	(1.0)
MANISES	0.06	(1.0)
MANUEL	0.06	(1.0)
MASALAVES	0.06	(1.0)
MASSALFASSAR	0.05	(1.0)
MASSAMAGRELL	0.05	(1.0)
MASSANASSA	0.06	(1.0)
MELIANA	0.05	(1.0)
MILLARES	0.06	(1.0)
MIRAMAR	0.06	(1.0)
MISLATA	0.06	(1.0)
MOIXENT	0.06	(1.0)
MONCADA	0.05	(1.0)
MONSERRAT	0.06	(1.0)
MONTABERNER	0.06	(1.0)
MONTESA	0.06	(1.0)
MONTICHELVO	0.06	(1.0)
MONTROY	0.06	(1.0)
MUSEROS	0.05	(1.0)
NAQUERA	0.05	(1.0)
NAVARRES	0.06	(1.0)
NOVETLE	0.06	(1.0)
OLIVA	0.06	(1.0)
OLLERIA (L')	0.06	(1.0)
ONTINYENT	0.06	(1.0)
OTOS	0.06	(1.0)
PAIPORTA	0.06	(1.0)
PALMA DE GANDIA	0.06	(1.0)
PALMERA	0.06	(1.0)
PALOMAR	0.06	(1.0)
PATERNA	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
PETRES	0.04	(1.0)
PICANYA	0.06	(1.0)
PICASSENT	0.06	(1.0)
PILES	0.06	(1.0)
PINET	0.06	(1.0)
POLINYA DE XUQUER	0.06	(1.0)
POTRIES	0.06	(1.0)
POBLA DE FARNALS (LA)	0.05	(1.0)
POBLA DE VALLBONA (LA)	0.05	(1.0)
POBLA DEL DUC (LA)	0.06	(1.0)
POBLA LLARGA (LA)	0.06	(1.0)
PUIG (EL)	0.05	(1.0)
PUÇOL	0.05	(1.0)
QUART DE POBLET	0.06	(1.0)
QUATRETONDA	0.06	(1.0)
QUESA	0.06	(1.0)
RAFELBUNYOL	0.05	(1.0)
RAFELCOFER	0.06	(1.0)
RAFELGUARAF	0.06	(1.0)
RAFOL DE SALEM	0.06	(1.0)
REAL DE GANDIA	0.06	(1.0)
REAL DE MONTROI	0.06	(1.0)
RIBA-ROJA DE TURIA	0.05	(1.0)
RIOLA	0.06	(1.0)
ROCAFORT	0.06	(1.0)
ROTGLA Y CORBERA	0.06	(1.0)
ROTOVA	0.06	(1.0)
RUGAT	0.06	(1.0)
SAGUNT	0.04	(1.0)
SALEM	0.06	(1.0)
SANT JUAN DE ENOVA	0.06	(1.0)
SEDAVI	0.06	(1.0)
SEGART	0.04	(1.0)
SELLENT	0.06	(1.0)

TERMINO MUNICIPAL	a_b/g	K
SEMPERE	0.06	(1.0)
SENYERA	0.06	(1.0)
SERRA	0.04	(1.0)
SILLA	0.06	(1.0)
SIMAT DE LA VALLDIGNA	0.06	(1.0)
SOLLANA	0.06	(1.0)
SUECA	0.06	(1.0)
SUMACARCER	0.06	(1.0)
TAVERNES DE LA VALLDIGNA	0.06	(1.0)
TAVERNES BLANQUES	0.06	(1.0)
TERESA DE COFRENTES	0.06	(1.0)
TERRATEIG	0.06	(1.0)
TORRELLA	0.06	(1.0)
TORRENT	0.06	(1.0)
TOUS	0.06	(1.0)
TURIS	0.06	(1.0)
VALENCIA	0.06	(1.0)
VILALLONGA	0.06	(1.0)
VILAMARXANT	0.05	(1.0)
VALLADA	0.06	(1.0)
VALLES	0.06	(1.0)
VINALESA	0.05	(1.0)
XATIVA	0.06	(1.0)
XERACO	0.06	(1.0)
XERESA	0.06	(1.0)
XIRIVELLA	0.06	(1.0)
YATOVA	0.05	(1.0)
ZARRA	0.06	(1.0)

PROVINCIA DE ZARAGOZA

SALVATIERRA DE ESCA	0.04	(1.0)
SIGUES	0.04	(1.0)

COMENTARIOS

CAPITULO C1

GENERALIDADES

C.1.1. Objeto

La presente Norma sustituye a la PDS-1 (1974), cuyos antecedentes fueron la Norma PGS-1 (1968) y las partes correspondientes de la MV-101 (1962) del Ministerio de la Vivienda y de la Instrucción para Proyecto Construcción y Explotación de Grandes Presas del Ministerio de Obras Públicas (1967).

La finalidad última de estos criterios es la de evitar la pérdida de vidas humanas, y reducir el coste económico que futuros terremotos puedan ocasionar. A tal fin se pretende evitar el colapso de las construcciones ante los mayores sismos esperables -con una probabilidad razonable- limitándose consecuentemente los daños estructurales graves ante sismos de menor tamaño, que tengan una probabilidad apreciable de ocurrir durante la vida útil de la obra. Consecuentemente cabe esperar la ocurrencia de terremotos que ocasionen daños estructurales muy importantes, que obliguen incluso a la demolición posterior de la estructura.

Las Administraciones Públicas y los Organismos competentes deberían complementar los criterios de esta norma, en base a la información sísmica que contiene, con preceptos de índole urbanística y reglamentaciones específicas para construcciones singulares.

C.1.2. Aplicación de la Norma.

C.1.2.1. Ámbito de aplicación.

Para casos de reforma o rehabilitación, lo que se prescribe en el articulado, no obsta -sino al contrario- para que el propietario o promotor pueda plantear el cumplimiento de la Norma en todos sus aspectos. A estos efectos, la obra de rehabilitación o reforma que implique modificaciones substanciales de la estructura, debe considerarse a todos los efectos como construcción de nueva planta.

C.1.2.2. Clasificación de las construcciones.

Corresponde al proyectista -o en su caso al promotor- determinar el uso previsible a lo largo de la vida útil de la construcción, con objeto de clasificarla en el grupo que corresponda de acuerdo con el articulado.

Los edificios destinados a viviendas se clasifican en general como construcciones de normal importancia pero pueden en algunos casos ser de especial importancia.

C.1.2.3. Criterios de aplicación de la Norma.

El proyectista -o en su caso el promotor- pueden decidir la aplicación de la Norma a una construcción de moderada importancia, cuando el valor económico de la misma lo aconseje.

Se considera que una aceleración sísmica de cálculo inferior a 0,06g no genera solicitaciones peores que las demás hipótesis de carga, dada la diferencia de coeficientes de seguridad y de acciones simultáneas que deben considerarse con el sismo. El proyectista puede, en todo caso, considerar la acción sísmica para el estudio de elementos o estructuras peculiares.

La prohibición de estructuras de mampostería en seco para edificaciones de normal o especial importancia, cuando la aceleración sísmica de cálculo es superior a 0,08 g, debe entenderse aplicable también a cualquier estructura de tapial o de adobe que se pretendiera construir.

La mayor imprecisión de los modelos de cálculo utilizados para las obras de fábrica y su fragilidad, aconseja restringir con carácter general la altura de estas edificaciones en zonas de elevada sismicidad. En cualquier caso se recomienda confinar la fábrica por elementos horizontales y verticales.

C.1.2.4. Prescripciones de índole general.

La adopción de la aceleración sísmica de cálculo como prescripción de índole general tiene por objeto obligar a mayorar, en las construcciones de especial importancia, la aceleración sísmica básica del mapa de peligrosidad sísmica de esta Norma.

Además de las prescripciones de índole general determinadas en el articulado, se recomienda la adopción del espectro elástico de respuesta definido en el artículo 2.3.

CAPITULO C2

INFORMACION SISMICA

C.2.1. Mapa de peligrosidad sísmica.Aceleración sísmica básica.

La aceleración sísmica básica tiene dimensiones de aceleración. Si se desea obtener su valor numérico en m/s^2 puede multiplicarse el valor que se deduce del mapa en unidades de g por g = 9,8 m/s^2.

El cálculo de la peligrosidad sísmica se ha realizado en términos de intensidad M.S.K., a partir de los datos actualizados existentes en el catálogo sísmico del Instituto Geográfico Nacional. Para determinar la aceleración horizontal característica a partir de la intensidad M.S.K., se ha empleado la correlación:

$$\log_{10} a = 0{,}30103\ I - 0{,}2321$$

donde a viene expresada en *gals* (10^{-2} m/s^2).

La aceleración horizontal correspondiente a cualquier período de retorno P_R, se obtendrá en cada punto del territorio multiplicando por $(P_R/500)^{0,37}$ el valor que se deduce del mapa de la fig. 2.1 para dicho emplazamiento.

Algunas normas e instrucciones españolas, aplicables a construcciones diferentes de las de edificación, hacen referencia a valores de la peligrosidad sísmica expresados en intensidades, generalmente al propio mapa de la anteriormente vigente Norma Sismorresistente PDS-1 (1974). En estos casos puede deducirse la intensidad, I, correspondiente a la aceleración sísmica básica, a_b, -supuesta dicha intensidad una magnitud continua- aplicando a la inversa la correlación anterior, con lo que resulta:

$$I = [3{,}2233 + \log_{10} (a_b/g)] / 0{,}30103$$

C.2.2. Aceleración sísmica de cálculo.

La aceleración sísmica de cálculo, a_c, tiene -igual que la básica- dimensiones de aceleración.

El factor ρ homogeniza la peligrosidad sísmica al igualar las probabilidades de superación de la acción para diferentes períodos de vida de la estructura. A estos efectos, el período de vida mínimo a considerar para el cálculo sismorresistente es el indicado en el articulado, de acuerdo con el uso, destino o importancia de la construcción, independientemente del período de vida funcional que puede ser inferior. Consecuentemente el factor ρ toma siempre valores iguales o superiores a la unidad.

El coeficiente ρ expresa -para el rango usual de probabilidades de superación de las acciones sísmicas a considerar en el proyecto sismorresistente- valores proporcionales a las aceleraciones resultantes del cálculo de la peligrosidad sísmica.

C.2.3. Espectro elástico de respuesta.

En esta Norma se define un espectro de respuesta de la aceleración absoluta en forma de un espectro normalizado de respuesta elástica. Las figuras C 2.1 (a,b,c,d,e,f,) representan los espectros elásticos de respuesta correspondientes a diferentes valores seleccionados de los coeficientes C y K. Este espectro se deberá modificar, en su caso, en función del amortiguamiento -para poder considerar estructuras con índices de amortiguamiento respecto al crítico distintos al 5%- y de la ductilidad, para tener en cuenta la capacidad de la estructura para soportar deformaciones plásticas.

El valor de la ordenada del espectro, $\alpha(T)$, representa el cociente entre la aceleración absoluta de un oscilador elástico lineal (S_a) y la máxima aceleración del movimiento que se aplica en su base (a).

Cuando la base del oscilador sufre un terremoto de aceleración sísmica a, la respuesta del oscilador tiene una aceleración máxima $S_a=\alpha(T)a$, siendo $\alpha(T)$una función del período propio del oscilador T.

La consideración completa de todos los factores que influyen en la forma y en las ordenadas del espectro de respuesta es muy compleja. En esta norma, se ha adoptado una formulación simplificada cuya precisión, en relación con los datos disponibles se considera suficiente. El espectro se define en función del terreno de cimentación y de las características diferenciadoras de la sismicidad de Azores-Gibraltar, cuya influencia se introduce mediante los coeficientes C y K, respectivamente.

En el rango de períodos de interés, para las construcciones más usuales, el espectro elástico de respuesta puede dividirse en tres tramos característicos:

- el tramo correspondiente a períodos altos ($T > T_1$), definido por una velocidad espectral constante, cuyo valor, en función de la aceleración sísmica, a, de la superficie del terreno es:

$$S_{vm} = \alpha(T_o)\ a\ T_1 / 2\ \rho$$

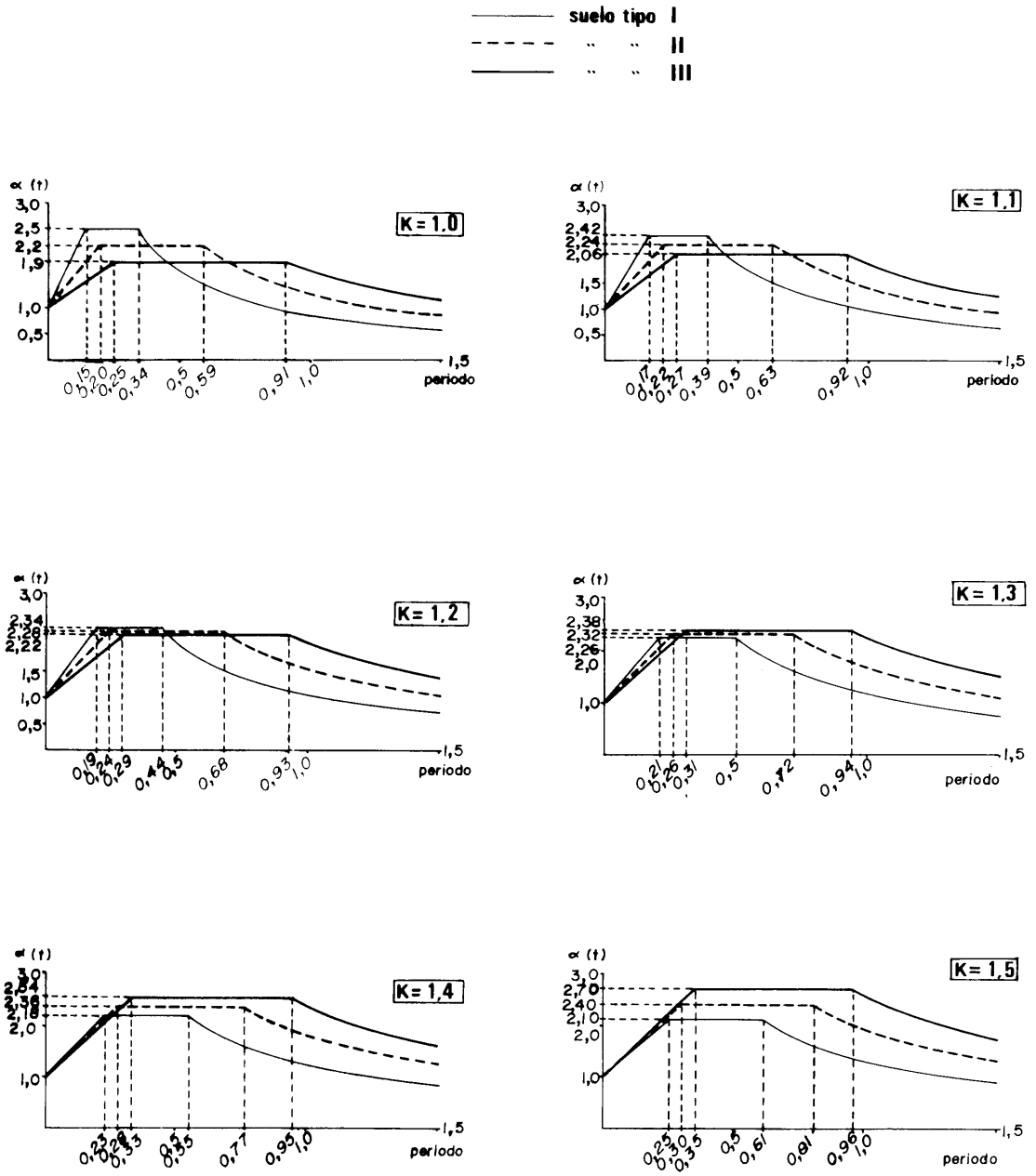


FIGURA C 2.1. Espectros elasticos de respuesta.

- el tramo intermedio ($T_0 \leq T \leq T_1$) definido por una aceleración espectral constante, fijada convencionalmente en $\alpha(T_0)$ veces la aceleración de la superficie del terreno, o sea:

$$S_{am} = \alpha(T_o)\ a$$

- el tramo correspondiente a períodos bajos ($T<T_0$), que es una transición entre $a=\alpha(T_0)$ para $T = T_0$, y a= 1,0 para T = 0.

Los coeficientes C y K afectan principalmente al tramo del espectro en el que la velocidad espectral es constante (períodos altos); los suelos blandos y la mayor distancia epicentral amplifican la velocidad espectral de este tramo y desplazan hacia períodos mayores el valor T_1 en el que éste comienza. También afectan al valor de la ordenada espectral en el tramo intermedio, pero en menor medida.

El coeficiente K tiene en cuenta la distinta contribución a la peligrosidad sísmica de cada punto del territorio nacional, de la sismicidad de la Península y áreas adyacentes, y de la más lejana, correspondiente a la falla Azores-Gibraltar. Sus valores se han calculado admitiendo que para la misma aceleración a, el valor de S_{vm} para los terremotos provenientes de la región central de la falla de Azores-Gibraltar es 1,5 veces mayor que el resultante para los terremotos de las restantes zonas sismogenéticas (continentales y marítimas colindantes).

Los valores de K están comprendidos entre 1,0 -en los puntos en la que prácticamente toda la contribución a la peligrosidad sísmica procede de terremotos continentales o de áreas marítimas adyacentes- y 1,5, en los puntos en los que la contribución a la peligrosidad sísmica procede prácticamente de terremotos de la región citada de la falla de Azores-Gibraltar.

Los valores de K se han calculado de forma que la probabilidad de ocurrencia anual de la aceleración espectral (sin contar el efecto de suelo) sea idéntica en todos los puntos del territorio, independientemente del tipo de terremoto predominante y del período que se considere.

C.2.3.1. Clasificación del terreno. Coeficiente de suelo.

Para la determinación de los espesores y la clasificación de las distintas capas del terreno puede aplicarse lo establecido en la NTE-CEG, Cimentación: Estudios Geotécnicos. Cuando las condiciones de cimentación encontradas en un lugar concreto no coincidan exactamente con ninguna de las descritas en la tabla 2.3 se aplicará la que presente mayor similitud. En caso de duda, y sobre todo con datos insuficientes, deben adoptarse los valores que correspondan del lado de la seguridad.

Para determinar el tipo de terreno, pueden emplearse los valores de ensayos de penetración estáticos o dinámicos, para los terrenos granulares; los valores de resistencia a compresión simple, para los terrenos cohesivos, y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas en todos los casos.

Los terrenos tipo I suelen poseer como características: más de 40 golpes en el ensayo SPT, nomalizado al 60% de la energía caída libre o una resistencia en punta del penetrómetro estático superior a 20 *MPa* (200 kp/cm^2).

Los terrenos tipo II suelen poseer como características: los granulares más de 10 golpes en ensayos SPT normalizado al 60% de la energía de caída libre y resistencia en punta del penetrómetro estático mayor de 8 *MPa* (80 kp/cm^2). Los cohesivos suelen tener resistencia a compresión simple superior a 200 *kpa* (2 kp/cm^2).

Al calcular el valor ponderado de C, puede prescindirse de la capa superficial del terreno -si es más blanda- siempre que su espesor no supere los dos metros.

Condiciones de cimentación particularmente desfavorables, como arcillas sensibles, terrenos loéssicos y escombreras no controladas, suelos para los que el número de golpes en ensayos SPT, normalizádos al 60% de la energía de caida libre, suele ser inferior a 10 golpes, no son aptos -en general- para la construcción y su ocupación puede requerir la utilización de un espectro de respuesta específico para el emplazamiento con mayor amplificación en los períodos próximos al período propio de la(s) capa(s) del suelo.

Por el contrario, la construcción de determinado tipo de obras -tales como presas- puede requerir terrenos de cimentación de una "dureza superior" a la de los tipos establecidos en esta norma lo que posibilita también la adopción de otros espectros elásticos de respuesta, que figurarán, en su caso, en las normas específicas correspondientes.

El coeficiente C no contempla el posible colapso del terreno bajo la estructura durante el terremoto. En concreto, habrá de analizarse la licuación de los suelos susceptibles a la misma.

C.2.3.2. Modificación del espectro elástico de respuesta en función del amortiguamiento.

C.2.4. Espectro elástico de respuesta para movimientos verticales.

CAPITULO C3

ACCIONES Y CALCULO

C.3.1. Generalidades.

C.3.2. Masas que intervienen en el cálculo.

La fracción de cargas variables corresponde a la que se espera pueda ser simultánea con el sismo en función de los coeficientes de seguridad y acciones de dicha hipótesis.

En la mayor parte del territorio, la probabilidad de coincidencia de un sismo con la sobrecarga de nieve es muy pequeña.

El coeficiente del articulado, corresponde al valor r citado en la norma NBE-MV-103/1972; (véanse los comentarios al artículo 3.4.)

C.3.3. Acciones que se consideran en el cálculo.

C.3.4. Verificación de la seguridad.

Las normas específicas actuales, indican como hipótesis sísmicas las siguientes:

1. Hormigón Armado.(EH-91. Hipótesis III:)

$$0{,}8\ (g_{fg}\ G + g_{fq}\ Q_{eq}) + F_{eq} + W_{eq}$$

donde:

- G: Valor caracteristico de las cargas permanentes, más las acciones indirectas con carácter de permanencia.
- Q_{eq}: Valor característico de las cargas variables de explotación, de nieve, del terreno, más las acciones indirectas con carácter variable durante la acción sismica.

W_{eq}: Valor característico de la carga de viento durante la acción sísmica. En general se tomará W_{eq}=0. En situación topográfica muy expuesta al viento se adoptará W_{eq}=0,25W.
F_{eq}: Valor caracteristico de la acción sísmica.
γ: Coeficiente de ponderación o seguridad. Peso especifico
γ_{fg}: Coeficiente de ponderación de la carga permanente.
γ_{fq}: Coeficiente de ponderación de la carga variable.

2. Acero laminado.(NBE-MV-103/1972)

Clase de Acción	Efectos de la Acción		
	Desfavorable		Favorable
Acciones constantes (concargas)	1,00		1,00
Sobrecarga	r	(1)	0
Viento	0,25	(2)	0
Nieve	0,50	(3)	0
Acción sísmica	1,00		0

(1) r adopta los siguientes valores:

r= 0,50 para azoteas, viviendas y hoteles
r= 0,60 para oficinas, comercios, calzadas y garajes
r= 0,80 para hospitales, cárceles, edificios docentes, de reunión y espectáculos

(2) Sólo se considerará en construcciones en situación topográfica expuesta y muy expuesta.

(3) En lugares en que la nieve permanece acumulada más de treinta días; en el caso contrario el coeficiente será cero.

3. Fábrica de ladrillo.(NBE-FL-90. Caso III, tabla 5.5)

Caso III	Coeficiente de ponderación g_w con acción	
	Desfavorable	Favorable
Con cargas	1,00	1,00
Sobrecargas de uso	1,00	0
Sobrecarga de nieve	0,50	0
Empujes del terreno	1,25	1,00
Asientos de apoyo	Discrecional	0
Acciones de viento	0,50	0
Térmicas y reológicas	Discrecional	0
Acciones sísmicas	1,00	0

C.3.5. Métodos de cálculo.

Un edificio de planta rectangular puede considerarse regular si la relación entre los lados es mayor de 0,3, los salientes y entrantes no son mayores del 20% del lado paralelo al mismo y menores de 2 m (Fig. C 3.1 y C 3.2).

En edificios cuyas plantas poseen dos ejes de simetría, el centro de torsión coincide con el centro de masas.

Para estimar la situación del centro de torsión en otros casos, se puede consultar el artículo 3.7.5.

C.3.6. Procedimientos generales de cálculo.

C.3.6.1. Estudio dinámico directo.

Corresponde al proyectista la justificación de los diagramas tensión-deformación de los materiales a utilizar en el análisis, tanto si es un modelo lineal, como si se emplean coeficientes de ductilidad o se utilizan leyes histeréticas.

Como acelerogramas reales significativos se pueden considerar aquéllos que corresponden a terremotos de la misma magnitud que el de cálculo, de similar mecanismo focal, con epicentro situado a distancias parecidas y registrados en condiciones de cimentación análogas.

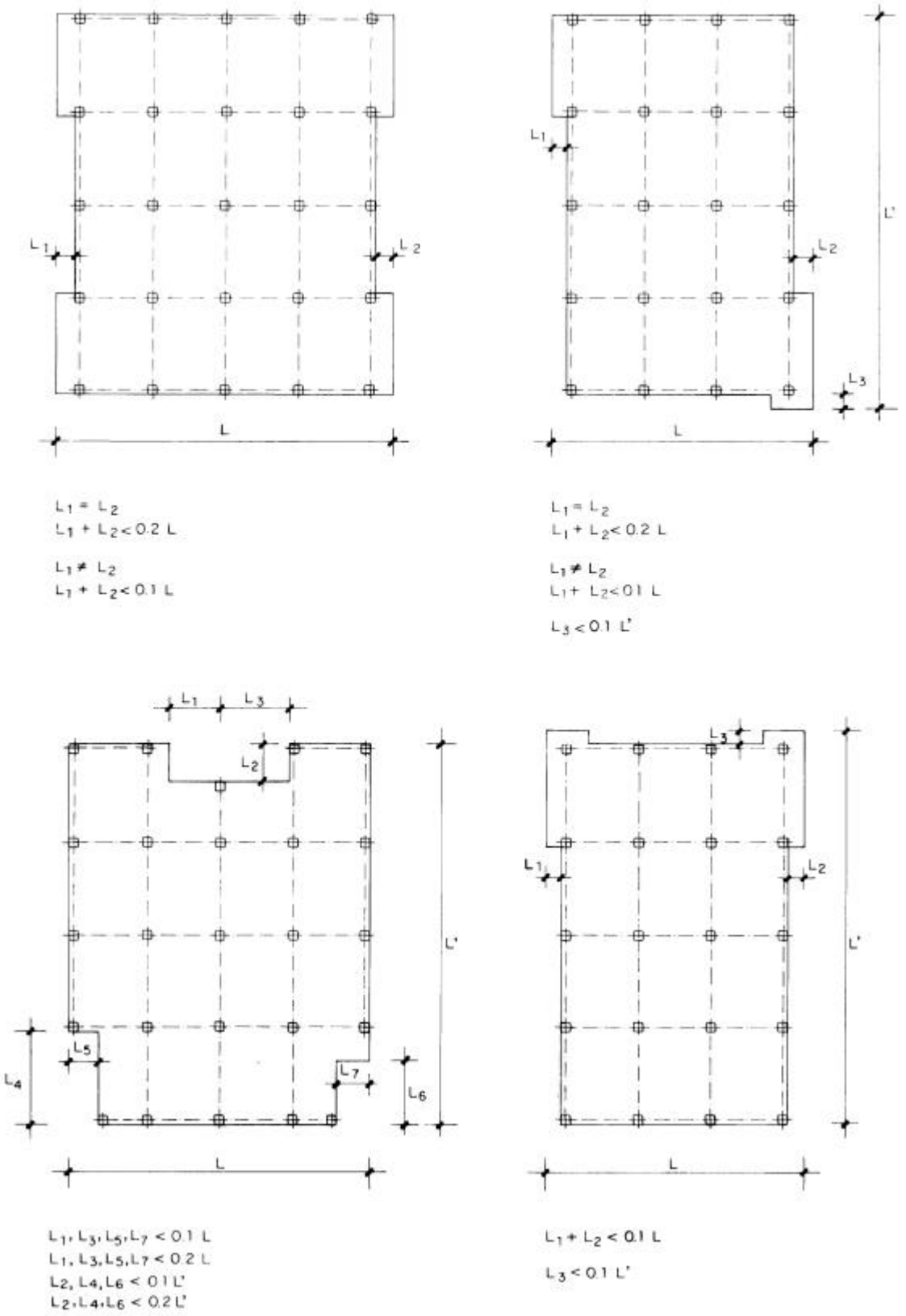


FIGURA C.3.1. Estructuras regulares en planta

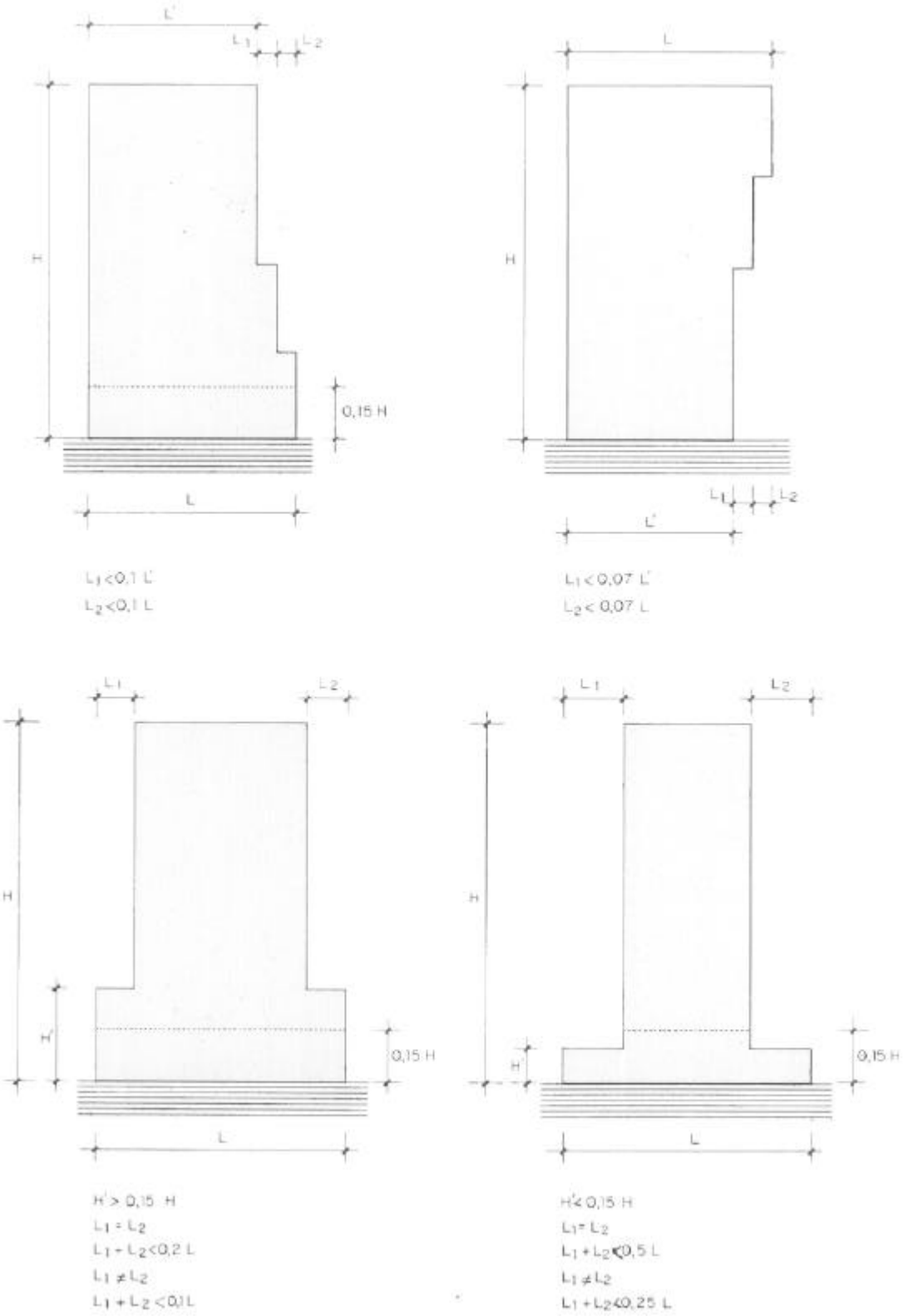


FIGURA C.3.2. Estructuras regulares en alzado

El factor 1,35 escogido procede de la suposición de que los valores del espectro elástico son variables aleatorias, con una distribución de valores extremos tipo I (Gumbel) y coeficiente de variación 0,35, que corresponde aproximadamente al fractil 86% de la respuesta máxima; con ello se pretende obtener un grado de probabilidad semejante al espectro elástico normalizado.

Como acelerogramas artificiales deben escogerse los que ofrezcan el mismo grado de cobertura que los reales, lo que se supone que se cumple si, el espectro de respuesta verifica que para todos los valores del período supera el 90% de la ordenada del espectro definido en esta Norma y el espectro suavizado es igual o superior al mismo.

La duración de los acelerogramas representativos depende del tipo de análisis a realizar.

Se exige un mínimo de tres estudios con acelerogramas reales diferentes para aumentar la garantía frente a la aleatoriedad implícita en su elección.

C.3.6.2. Análisis modal espectral.

En general el análisis modal se determina en régimen elástico lineal equivalente.

C.3.6.2.1. Modelo de estructura.

Analizar la estructura con dos modelos ortogonales planos independientes significa la consideración de dos hipótesis sísmicas diferentes.

C.3.6.2.2. Desplazamientos modales máximos equivalentes.

La homogeneidad dimensional obliga a que para la obtención de los desplazamientos modales en *metros*, la aceleración sísmica de cálculo se exprese en m/s^2.

De acuerdo con el apartado 1.1. de esta Norma deben definirse las diferentes acciones de cálculo y realizar las oportunas verificaciones de seguridad en los correspondientes estados límites.

Para los valores del coeficente de comportamiento por ductilidad μ aceptados en esta Norma, se admite que el valor pésimo de la acción sísmica viene dado por una aceleración:

$$a = a_c / m$$

lo que implica la aceptación de un límite de colapso que se corresponde con los máximos sismos esperables con probabilidad razonable, entendiendo por éstos los de periodo de retorno de quinientos años. Cualquier construcción proyectada según el contenido de esta Norma, puede verse sometida en el trancurso de su vida útil a acciones sísmicas que producirán solicitaciones superiores a las correspondientes al límite elástico. Se acepta por tanto que se produzcan deformaciones permanentes -y consecuentemente daños- más o menos importantes, pero que deben ser cuantificados y en todo caso acotados.

El coeficiente μ tiene en cuenta la capacidad para disipar energía mediante deformaciones cíclicas en el dominio postelástico, es decir, la capacidad para soportar deformaciones plásticas. Su valor dependerá por tanto de la regularidad y del sistema estructural de la construcción.

La limitación al valor de μ establecida en el articulado proviene de la consideración de un estado límite de servicio en el que se supone que las construcciones resisten, en régimen elástico y sin ningún daño estructural, los sismos de probabilidad apreciable de ocurrencia durante la vida útil de la construcción, entendiendo por éstos aquellos que tienen un periodo de retorno del mismo orden del periodo de vida útil de la obra.

La Norma supone que para valores de μ superiores a cuatro, la aceleración pésima resultante es, en la generalidad de los casos, la correspondiente a este estado límite de servicio.

Cabe definir un tercer estado caracterizado por la limitación de la esperanza matemática del daño, es decir, el daño medio esperado durante el periodo de vida útil de la construcción. No obstante, se supone también que en la generalidad de los casos, la aceleración resultante para este tercer supuesto es menor que para los dos estados límite anteriores.

Para edificios de pisos puede utilizarse los valores de ν y μ que se indican para el modelo simplificado en la tabla 3.7.3.1.

En edificios que no cumplan las condiciones de regularidad prescritas en el articulo 3.5 se adoptarán valores de μ menores que para edificios regulares.

Para valores elevados del coeficiente de comportamiento por ductilidad, μ, se comprobará que las deformaciones correspondientes son admisibles para la estructura, elementos secundarios y juntas con estructuras contiguas.

Si los elementos resistentes a esfuerzos horizontales son de diferente ductilidad, se comprobará la compatibilidad de las deformaciones.

El valor de $\alpha(T_i)$ corresponde al que se deduce en el apartado 2.3, sin la modificación en función del amortiguamiento recogida en el subapartado 2.3.2.

El coeficiente κ_i introducido en la fórmula de a_{ijmax} tiene por objeto conseguir que para períodos de vibración $T_i < T_0$,los valores de a_{jmax} -prescindiendo del efecto de η_{ij} - sean los resultantes de interpolar linealmente entre los correspondientes a los periodos $T_i = 0\,s$ y $T_i = T_o\,s$.

C.3.6.2.3. Modos de vibración.

C.3.6.2.3.1. Número mínimo de modos a considerar.

Pueden considerarse modos con contribución significativa aquellos para los que la suma de las masas efectivas de los r primeros modos considerados, sea superior al 90% de la masa movilizada en el movimiento sísmico. Dicha condición puede expresarse matricialmente como:

$$\sum_{i=1}^{r} t_i^2 \; f_i^T \, M \, f_i \geq 0{,}90 \; J^T \, M \, J$$

Siendo r el número de modos que se deben superponer y donde:

τ_i: Coeficiente de participación del modo i, $\tau_i = \dfrac{\phi_i^T M J}{\phi_i^T M \phi_i}$

ϕ_i: Vector de coeficientes de forma del modo i

M : Matriz de masa del sistema

J : Vector de influencia, cuyos componentes son los desplazamientos de sólido rígido experimentados por los grados de libertad de la estructura cuando la base sufre un desplazamiento unidad en la dirección del sismo.

En el caso de que se consideren las masas concentradas en las plantas y un grado de libertad por planta, la expresión anterior puede ponerse de la forma:

$$\sum_{i=1}^{r} \frac{\sum_{k=1}^{n} (m_k \phi_{ik})^2}{\sum_{k=1}^{n} m_k \phi_{ik}^2} \geq 0{,}90 \sum_{k=1}^{n} m_k$$

Siendo

m_k: Masa de la planta k

n: Número de plantas

ϕ_{ik}: Coeficiente de forma correspondiente a la planta k en el modo i

C.3.6.2.3.2. Cálculo del período fundamental de los modos de vibración de la estructura.

C.3.6.2.4. Combinación de los resultados obtenidos para los diferentes modos.

La regla de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados presenta una aproximación razonable cuando los distintos modos no pueden acoplarse por tener períodos muy diferentes. Cuando los períodos difieren entre sí menos del 10% puede utilizarse la expresión:

$$S = \sqrt{\sum_{i=1}^{r} \sum_{j=1}^{r} S_i S_j \rho_{ij}}$$

donde r es el número de modos y

$$\rho_{ij} \equiv \rho_{ji} = \frac{\nu^2 (1+f) f^{3/2}}{(1-f^2)^2 + \nu^2 f (1+f^2)} \quad ,, \quad f = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

siendo ν y ω el factor de modificación del espectro en función del amortiguamiento y la frecuencia circular, respectivamente.

C.3.6.2.5. Cálculo de las solicitaciones.

Para la obtención del centro de torsión en edificios, deben establecerse dos hipótesis de traslación, en direcciones diferentes, y obtener en cada una la resultante de las solicitaciones que se oponen a dicho desplazamiento; resultante que lo es de los esfuerzos cortantes que aparecen en cada soporte, dependientes tanto de la rigidez del propio soporte, como de las vigas y forjados unidos a él.

Para el tratamiento de la torsión, cuando se hayan tomado tres grados de libertad por planta, puede consultarse el apartado 3.7.5.

En el artículo 3.7.7. se establece un criterio para poder considerar despreciables los efectos de segundo orden.

C.3.7. Método simplificado de cálculo para los casos más usuales de edificación.

C.3.7.1. Modelo de la estructura.

Ver artículo 3.6.2.1.

C.3.7.2. Modos de vibración.

C.3.7.2.1. Número de modos a considerar.

El presente apartado es una particularización del 3.6.2.3.1. Los modos se corresponden con la figura 3.2 del citado apartado.

La consideración del segundo y del tercer modo cambia sólo ligeramente las solicitaciones de las plantas bajas de los edificios; pero, en cambio, puede modificar hasta un 50% las solicitaciones provenientes del análisis del primer modo en plantas altas.

C.3.7.2.2. Cálculo del período fundamental de los edificios.

Las fórmulas empíricas propuestas por el articulado representan una aproximación simple para una estimación aproximada del período fundamental, de acuerdo con los datos existentes.

Hay que tener en cuenta que no es preciso una estimación afinada cuando el período corresponde a la meseta del espectro prolongada hasta cero segundos, ya que la ordenada espectral $\alpha(T)$ es independiente del mismo. En la práctica, este valor cubre la mayor parte de las construcciones de muros de fábrica y gran número de las restantes edificaciones.

C.3.7.3. Cálculo de las fuerzas sísmicas.

Los valores de las fuerzas sísmicas se obtienen, de acuerdo con el articulado, como una fracción de las cargas directas que gravitan sobre la planta; no debe aplicarse, pues, a la compresión transmitida por los soportes, que incluye las cargas de las plantas superiores.

El coeficiente sísmico ς_k es un factor adimensional que se aplica a los pesos para la obtención de fuerza sísmica estática equivalente. El factor aceleración contenido en dicho coeficiente está por lo tanto normalizado a la aceleración de la gravedad, resultando el valor numérico adimensional del cociente a_c/g entre la aceleración sísmica de cálculo y la aceleración de la gravedad.

Los factores que integran el coeficiente sísmico son:

- La aceleración sísmica de cálculo, que caracteriza la sismicidad en el emplazamiento y la importancia y/o periodo de vida de la construcción.

- La ordenada espectral de cálculo $\alpha_1(T)$ que caracteriza el movimiento provocado por el sismo en el oscilador simple equivalente. Su valor se identifica con la del espectro de respuesta elástico prolongando su meseta hasta el periodo T = 0 *s*.

La razón de ésto estriba en que para edificios de periodo muy bajo ($T<T_0$) las posibles lesiones aumentarán el periodo y consecuentemente la aceleración de proyecto. La meseta espectral constituye en este rango de periodos y desde el punto de vista de la seguridad, la referencia estable para el cálculo. Por otro lado, se elimina también la necesidad de considerar la interacción suelo-estructura en los edificios rígidos sobre suelos blandos, debido al aumento del periodo propio del conjunto terreno-estructura.

El factor $\alpha_1(T)$ caracteriza pues -en términos relativos- el movimiento provocado por el sismo en la estructura, incluído el efecto del terreno bajo la cimentación.

- El coeficiente de respuesta β modifica el movimiento inducido en la estructura según las condiciones de amortiguamiento y ductilidad de la misma, reduciéndolas para su análisis a un término lineal equivalente.

- El factor η caracteriza mecánicamente la respuesta de cada planta, de acuerdo con la distribución de las masas en el sistema estructural.

C.3.7.3.1. Coeficiente de respuesta β

El coeficiente β depende del amortiguamiento (factor ν) y de la ductilidad de la estructura.

Un comportamiento dúctil adecuado deberá permitir la disipación de buena parte de la energía que el sismo aporta a la estructura por medio de mecanismos de histéresis estables y bien distribuidos por toda ella. De esta manera se puede evitar que se produzca el colapso progresivo de la estructura al fallar alguno de los elementos.

El comportamiento dúctil depende por un lado del tipo de material estructural, y por otro de la organización estructural y detalles de proyecto y construcción.

En general el acero proporciona mayor ductilidad que el hormigón y éste más que el ladrillo o la piedra.

Por lo que respecta al tipo estructural, la ductilidad es mayor en las estructuras desplazables como pórticos que en las rígidas como las de muros o las trianguladas, pero siempre que en los puntos críticos -los nudos- exista la suficiente capacidad de permitir importantes deformaciones a solicitación constante.

Como la ductilidad o capacidad de disipación de energía se produce mejor en las secciones flectadas que en las que están simultáneamente comprimidas, el articulado confiere importancia a garantizar que el agotamiento se produce antes en la viga que en el soporte.

La disipación de energia es mínima en los movimientos verticales. De ahí que se deba adoptar siempre el valor $\mu = 1$.

La posibilidad de utilizar el valor b, de la tabla 3.1., está ligada al cumplimiento, por parte de la estructura, de requisitos variables según la tipología estructural, el material de la misma, y el nivel de ductilidad por el que se opte, tendentes a eliminar la posibilidad de roturas frágiles, y a garantizar el comportamiento no lineal pretendido.

Se denominan pantallas acopladas a las que perteneciendo a un mismo plano, están unidas con vigas cortas a nivel de cada piso.

C.3.7.3.2. Factor de distribución η.

La fracción de la fórmula del articulado representa el coeficiente de participación del modo i definido en 3.6.2.2.

Para edificios de hasta ocho plantas de altura y masas iguales puede tomarse el valor del factor de distribución η_{ik} indicado en la tabla C 3.1 :

TABLA C 3.1

FACTOR DE DISTRIBUCION EN EDIFICIOS DE HASTA 8 PLANTAS IGUALES

Nº total de plantas	1	2	3	4	5	6	7	8
Planta 8								1,3
7							1,2	1,2
6						1,2	1,2	1,1
5					1,2	1,2	1,1	1,0
4				1,2	1,2	1,1	1,0	0,9
3			1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
2		1,2	1,0	0,8	0,8	0,6	0,5	0,5
1	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	0,3	0,3	0,2

C.3.7.3.3. Desplazamientos.

Dado que el cálculo se realiza reduciendo la fuerza sísmica por el valor de μ las deformaciones obtenidas se multiplican de nuevo por el mismo valor μ para obtener los máximos desplazamientos esperados debidos al sismo.

El desplazamiento lineal equivalente en régimen elástico, u_k, experimentado por la planta k en el modo de vibración i, cuando las masas m_k de todas las plantas son iguales se expresa por:

$$u_{i\,k} = a_c \,.\, \boldsymbol{b} \,.\, \boldsymbol{a}\,(T_i)\,\frac{T_i^2}{\boldsymbol{p}^3\,(2i-1)}\,\mathrm{sen}\left[(2i-1)\,\frac{\boldsymbol{p}\;h_k}{2\;H}\right]$$

donde,T_i es el período correspondiente al modo de vibración i, y el resto de los factores tiene el significado indicado en los apartados previos del articulado.

Cuando proceda, deberán considerarse los esfuerzos de torsión en el cálculo de los desplazamientos.

C.3.7.4. Sistema de fuerzas estáticas equivalentes.

En los edificios de menos de ocho plantas, en los que puede considerarse un sólo modo de vibración, el sistema de fuerzas equivalentes es directamente el de las fuerzas sísmicas correspondientes a ese primer modo.

El procedimiento propuesto en el articulado equivale a analizar la estructura con las fuerzas sísmicas de cada modo de oscilación y adoptar para cada una de las componentes de la solicitación la regla general de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados definida en 3.6.2.4. La tabla C 3.2 ilustra dicho procedimiento.

TABLA C 3.2

Modo 1		Modo r		Combinación de r modos	
Fuerza Sísmica	Cortante de planta	Fuerza sísmica	Cortante de planta	Cortante de planta	Fuerzas equivalentes
$F_{1\,n}$	$V_{1\,n} = F_{1\,n}$	$F_{r\,n}$	$V_{r\,n} = F_{r\,n}$	$V_n = \sqrt{V_{1\,n}^2 + \ldots + V_{r\,n}^2}$	$F_n = V_n$
$F_{1\,k}$	$V_{1k} = V_{1(k+1)} + F_{1k}$	$F_{r\,k}$	$V_{r\,k} = V_{r\,(k+1)} + F_{r\,k}$	$V_k = \sqrt{V_{1\,k}^2 + \ldots + V_{r\,k}^2}$	$F_k = V_k - V_{k+1}$
$F_{1\,1}$	$V_{1\,1} = V_{1\,2} + F_{1\,1}$	$F_{r\,1}$	$V_{r\,1} = V_{r\,2} + F_{r\,1}$	$V_1 = \sqrt{V_{1\,1}^2 + \ldots + V_{r\,1}^2}$	$F_1 = V_1 - V_2$

C.3.7.5. Compatibilidad en planta.

La formulación del articulado supone un análisis a traslación en dos direcciones ortogonales, para conocer las solicitaciones y los desplazamientos de la estructura. El centro de gravedad del sistema de fuerzas formado por los esfuerzos cortantes en los soportes define el centro de torsión de cada planta.

Se supone que una rotación elemental alrededor del centro de torsión -que produce desplazamientos en cada soporte proporcionales a la distancia de dicho centro- origina esfuerzos cortantes que son a los desplazamientos como los obtenidos en los análisis traslacionales.

Este análisis de torsión permite obtener la rigidez a torsión o cociente de momento torsor a giro.

A partir de la excentricidad de la acción sísmica considerada se puede obtener el momento torsor sobre la planta y, por proporcionalidad con el análisis anterior, el incremento de cortantes que, debido a este fenómeno, aparece en cada cabeza de soporte.

C.3.7.6. Efectos de torsión por excentricidad accidental.

El método simplificado que propone el articulado para edificios simétricos supone mayorar con un coeficiente γ_n = 1,3 los pórticos extremos, con γ_n = 1,0 el pórtico central si lo hubiere, y con valores intermedios los restantes.

C.3.7.7. Efectos de segundo orden.

La fórmula del articulado representa la condición de que los momentos inducidos por la compresión sean inferiores al 10% de los de primer orden provenientes de la acción horizontal.

La acción horizontal total por encima de la planta, F, es equivalente al esfuerzo cortante V correspondiente a dicha planta.

C.3.8. Muros de contención.

Los sobreempujes dinámicos en los muros se podrán calcular por cualquier método sancionado por la práctica.

Si se utiliza el método de Mononobe-Okabe la parte sísmica del empuje calculado deberá ser afectada por un coeficiente de mayoración de valor 2.

CAPITULO C4

REGLAS DE DISEÑO Y PRESCRIPCIONES CONSTRUCTIVAS

C.4.1. De índole general.

C.4.1.1. Forma del edificio.

Las disposiciones no simétricas pueden desplazar el centro de masas del de torsión, invalidando el cálculo por métodos simplificados.

Las disposiciones en L, U, T y Z (fig. C.4.1.), aunque hagan coincidir los centros de masas y de torsión, pueden no quedar bien representadas por dos modelos planos ortogonales, y en caso de esbelteces fuertes tampoco por tres grados de libertad en cada planta.

Deben evitarse las plantas muy alargadas (fig. C 4.2.), incluso cuando el centro de masas coincida con el de rigidez, porque pueden poseer períodos de torsión acoplados a los de traslación.

Las reglas de simetría y forma de la planta son tanto más importantes cuanto mayor sea la altura de la construcción, y se dirigen a prevenir acoplamientos indeseables entre oscilaciones de rotación y de traslación.

En las construcciones rígidas, como son en general los edificios de muros o de menos de cuatro plantas, no son previsibles estos efectos.

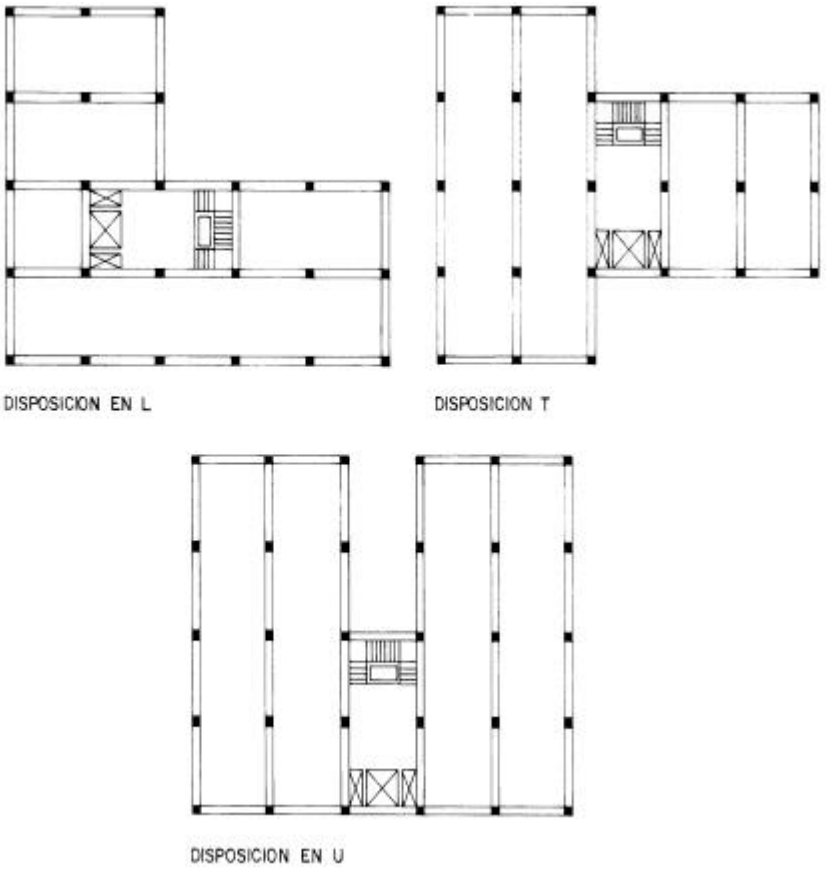


FIGURA C.4.1. Plantas en L,T,U.

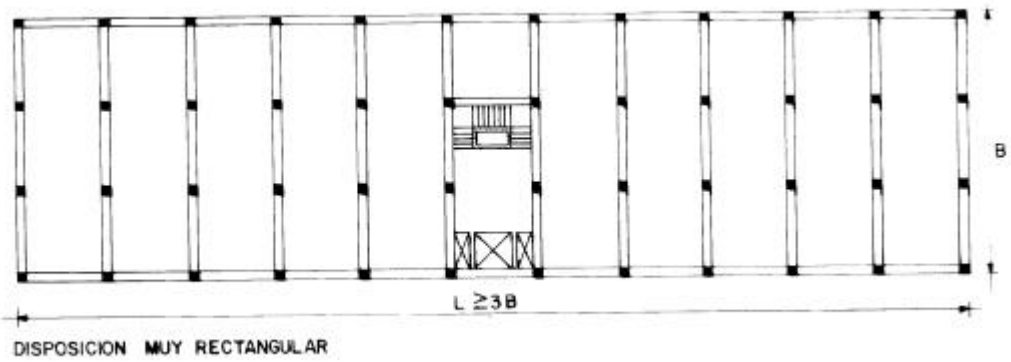
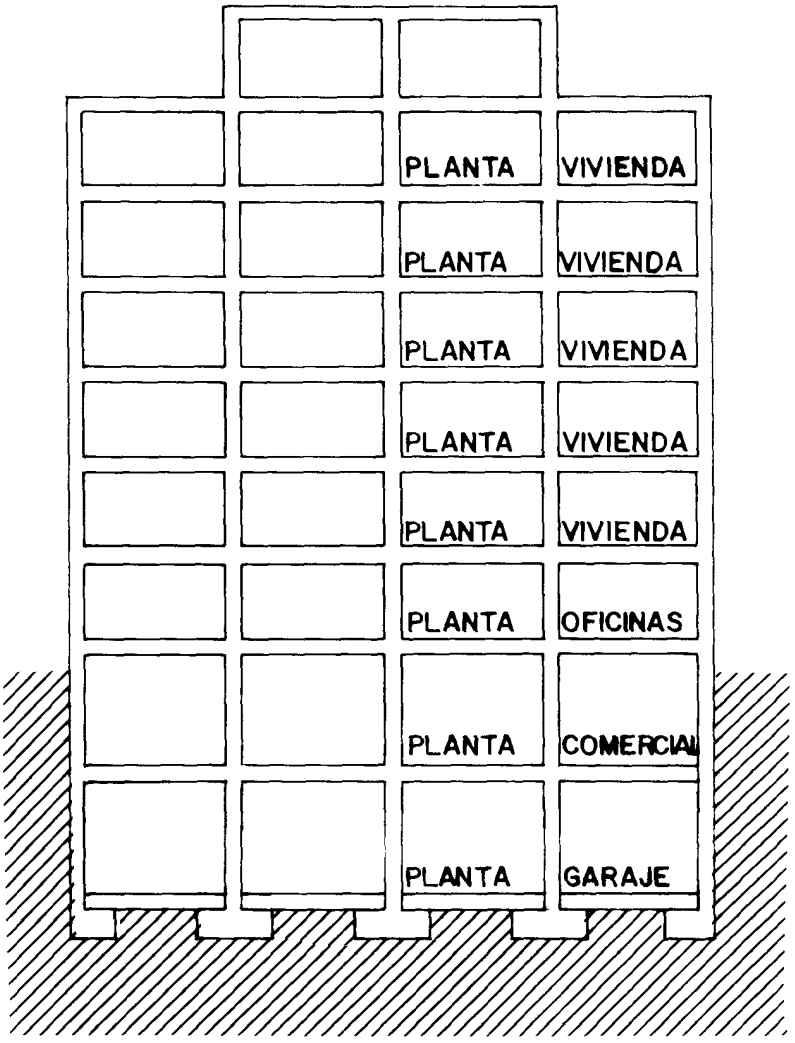


FIGURA C.4.2. Planta rectangular muy alargada.

C.4.1.2. Disposición de masas.

La disposición irregular de masas dentro de una misma planta ocasiona excentricidades de torsión por lo que situarlas cerca del centro reduce este efecto.

La distribución irregular de masas en altura afecta al cálculo del factor de distribución y al número mínimo de modos de oscilación que deben contemplarse. En particular, la existencia de grandes masas en la planta superior influye notablemente en el comportamiento ante el sismo. Además en el caso de piscinas, se pueden producir efectos desfavorables adicionales. (fig. C.4.3.)



DISTRIBUCION UNIFORME DE MASAS EN PLANTA
AGRUPANDO USOS POR PLANTA

FIGURA C.4.3. Distribución uniforme de masas en altura

C.4.1.3. Disposición de elementos estructurales.

Los dispositivos resistentes a esfuerzos horizontales constituidos por muros pantalla o de cortante proyectados de acuerdo al articulado dotan generalmente al edificio de una sobrerresistencia útil y limitan las deformaciones durante el sismo y, por lo tanto, los daños a elementos secundarios, a las juntas y a los edificios contiguos.

Dado que la disipación de energía implica concentración de esfuerzos en los elementos más débiles, sería deseable un grado homogéneo de seguridad. Debe evitarse sobre todo que alguna sección o pieza aislada tenga un coeficiente de seguridad mucho menor que el resto del edificio. Esta prescripción deberá cuidarse, sobre todo, en las secciones críticas, tales como soportes y extremos de vigas, de forma que ante un sismo importante, se pueda alcanzar con gran simultaneidad la cedencia en gran número de secciones, distribuyéndose adecuadamente la plasticidad necesaria para aplicar el valor de μ utilizado en el cálculo.

Debe evitarse el apoyo de pilares sobre vigas o el embrochalado de una viga principal en otra, dado que las vigas son muy sensibles a las componentes verticales en caso de sismo y constituyen punto frágil. No es preciso considerar como tales los embrochalados de pequeño porte, como los zunchos o vigas cortas que existen generalmente en torno a la solución de vuelos, huecos de ascensores y cajas de escalera.

Si la mayoración por fragilidad conduce a algún problema de difícil solución, puede recalcularse toda la estructura con un valor mayor de β.

Garantizar que las vigas plastifiquen antes que los soportes es en general difícil cuando el forjado está construido con vigas planas, reticulados sin vigas, losas, etc. Este comportamiento se garantiza mejor cuando las vigas son de canto.

Si la acción del sismo es capaz de invertir el signo de los momentos en alguna de las vigas, la solicitación en el nudo es mayor que en cada una de las piezas, pudiéndose llegar a la rotura de éste antes de que plastifiquen vigas y soportes.

En el caso de disponer los elementos de gran rigidez en forma de núcleo, es prioritario que éste se sitúe en la planta en una posición centrada.

C.4.1.4. Elementos no estructurales.

Ante la acción del sismo todo elemento que suministre rigidez a la construcción se convierte parcialmente en estructura resistente, suponiendo una ventaja indudable en caso de pequeños sismos, al evitar vibraciones y oscilaciones inconvenientes. Sin embargo, ante sismos importantes, los elementos no estructurales deben dejar trabajar a la estructura y no comprometer su entrada en carga, ni provocar comportamiento frágil en el conjunto.

En general, resulta recomendable que la estructura resistente sea la parte más rígida de la construcción.

Las escaleras son elementos críticos de los edificios en caso de ocurrencia de terremoto. Su integridad es por tanto necesaria.

Hay que tener en cuenta que la caída de elementos de fachada no se produce sólo en los escasos instantes que dura el sismo. En general, todo sismo posee réplicas menores que pueden acabar desprendiendo elementos parcialmente rotos por el sismo principal, y que la lluvia o viento pueden producir el mismo efecto horas o días más tarde.

Es recomendable que las construcciones colindantes posean los forjados de cada planta al mismo nivel.

Para evitar el daño que pudieran originar los desprendimientos de elementos de fachada, es recomendable proteger con marquesinas o porches los accesos a los edificios de altura importante, sitos en zonas de sismicidad muy alta.

C.4.1.5. Juntas entre construcciones.

Aún cuando el ancho de la junta pueda ser variable con la altura, resulta más seguro mantener el mismo ancho en toda su altura.

Como los modelos de oscilación son aproximados y los efectos de un posible impacto son difíciles de cuantificar, debe cuidarse el ancho de junta sobre todo en el caso de construcciones colindantes o partes del mismo edificio de muy diferente altura y rigidez, y cuando los forjados de ambas edificaciones no estén al mismo nivel.

C.4.2. De la cimentación

C.4.2.1. Criterio general de diseño.

No se consideran sistemas diferentes la cimentación con zapatas aisladas y corridas, ni la combinación de pilotes y pantallas profundas (fig. C.4.4).

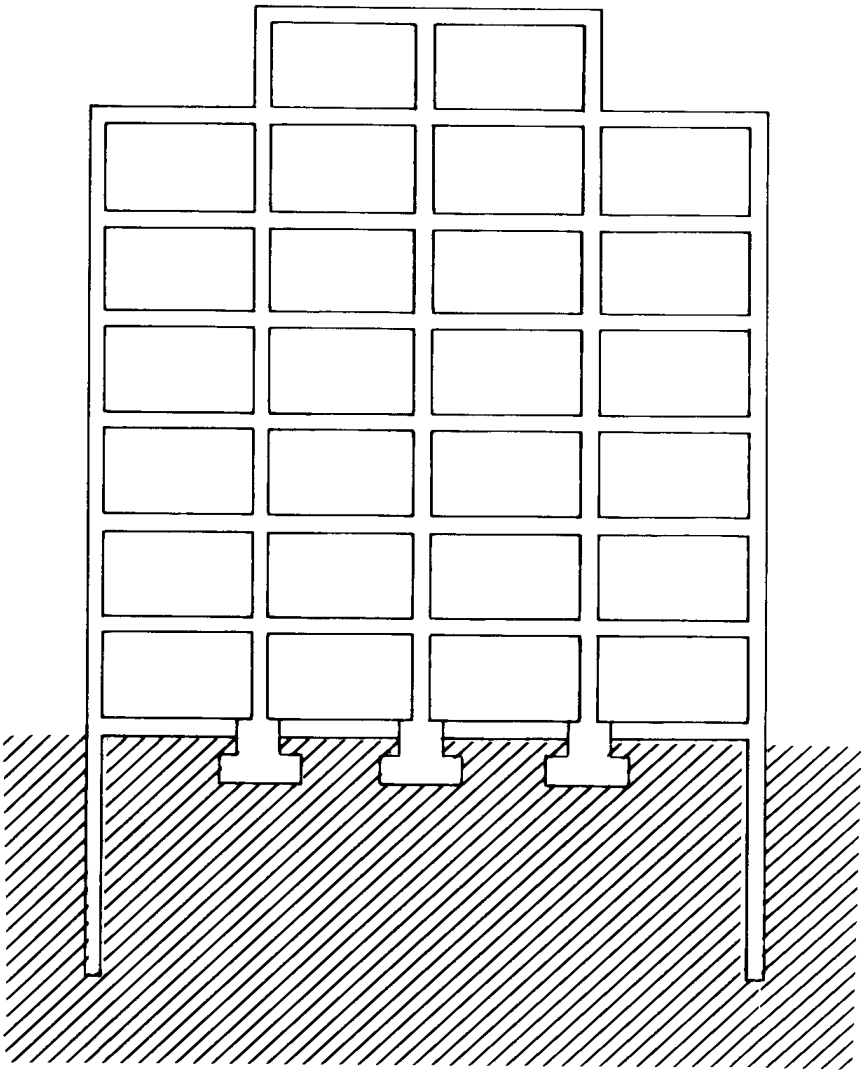
La existencia de pilares cortos entre el primer forjado y la cimentación obliga a considerar éstos en el modelo de análisis de la estructura.

La existencia de un muro perimetral de sótano que garantice a la estructura un comportamiento rígido, permite considerar como estructura oscilante la que existe a partir del forjado de nivel más alto que se enlaza con el muro, pero en ese caso los espesores del terreno para su clasificación deben tomarse desde este mismo forjado.

En el caso de cimentación por pilotes, es recomendable que éstos posean una armadura longitudinal de sección al menos el 4‰ del área del pilote, y una armadura transversal equivalente al menos a un ϕ 10 cada 30 *cm*, en una longitud a partir del encepado no inferior a seis veces el diámetro del pilote ni a seis *metros*.

C.4.2.2. Atado de la cimentación.

Cuando existan bajo la cimentación estratos del terreno susceptibles de licuarse, se tendrá en cuenta este efecto en el atado de la cimentación.



EVITAR LA COEXISTENCIA DE CIMENTACIONES PROFUNDAS SUPERFICIALES Y LOS ELEMENTOS DE INTERPOSICION ENTRE CIMIENTOS Y ESTRUCTURAS DE ELEVADA RIGIDEZ.

FIGURA C.4.4. Distribución de cimentaciones a evitar.

C.4.3. De las estructuras de muros de fábrica.

C.4.3.1. Criterio general de diseño.

El cálculo, así como las condiciones de proyecto y ejecución de las estructuras de fábricas de ladrillo, se encuentran recogidas en la norma NBE-FL-90. Deben considerarse como fábricas sin ductilidad, aunque posean los refuerzos que se prescriben en este capítulo.

La resistencia a acciones horizontales en un muro no armado sólo puede darse en su propia dirección, por lo que se insta en el articulado que se dispongan en las dos direcciones en planta. Además, dicha resistencia mejora siempre con la solicitación de compresión, por lo que conviene que el muro esté suficientemente cargado, disponiendo, si es necesario, los forjados contrapeados.

C.4.3.2. Espesor mínimo.

C.4.3.3. Huecos, entrepaños y rozas.

La regularidad del articulado se refiere al enfrentamiento en vertical de los huecos, y a un tamaño e intervalo entre los mismos en planta relativamente constante (fig. C 4.5.).

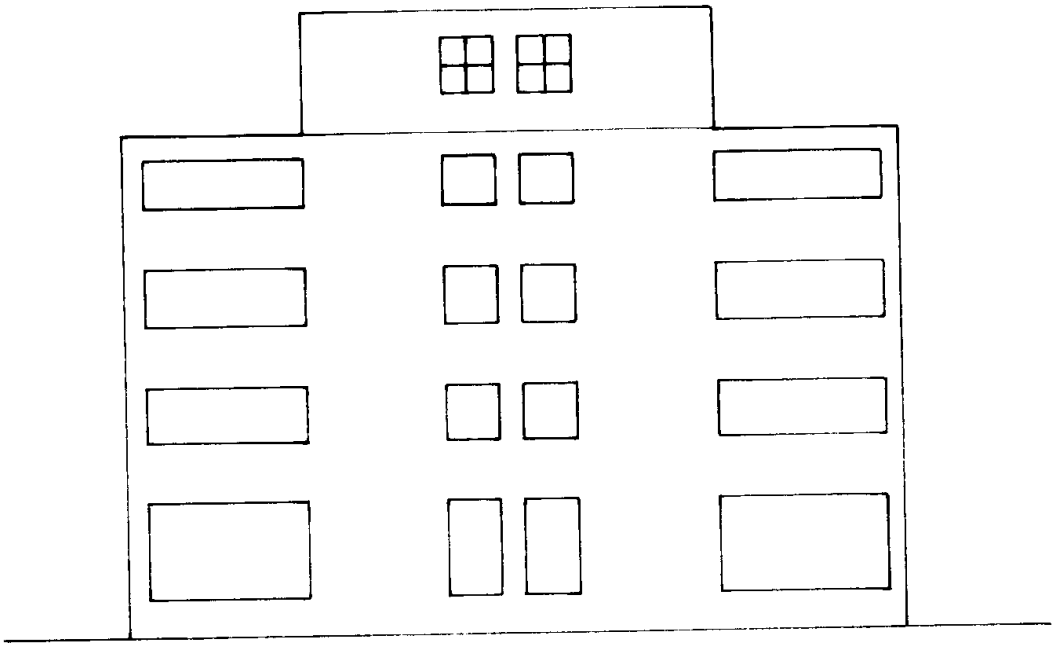


FIGURA C.4.5. Trazado regular de huecos.

En particular no se recomienda la carga de machones y entrepaños sobre huecos, la yuxtaposición de huecos de muy diferente tamaño así como la proximidad de huecos a extremos libres o a esquinas.

Dado que el comportamiento mejora si todos los muros enlazan su extremo con otro transversal, en el texto se imponen requisitos adicionales a los machones y entrepaños de poca longitud.

La figura C 4.6 refleja las dimensiones aconsejables de los entrepaños.

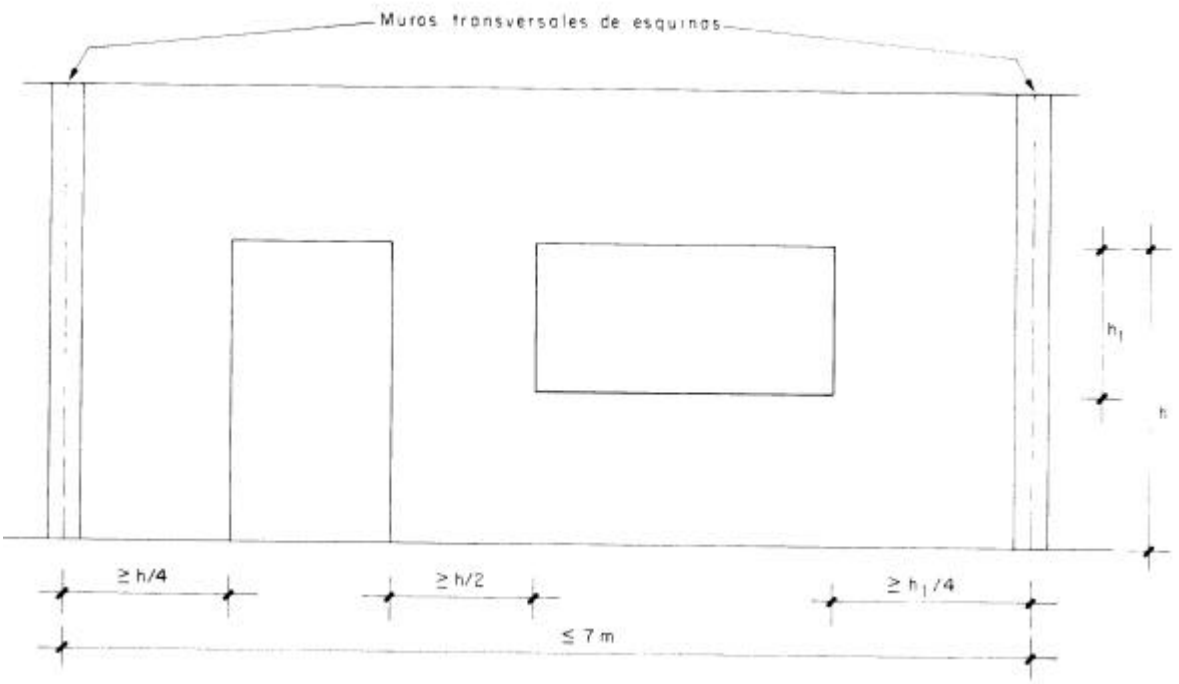


FIGURA C.4.6. Disposición aconsejable de huecos en muros.

C.4.3.4. Enlace de los forjados al muro.

C.4.3.5. Refuerzos en muros.

C.4.4. De las estructuras de hormigón armado.

C.4.4.1. Criterios generales.

El comportamiento resistente exigido en el articulado puede estar proporcionado por planos de arriostramiento en dos direcciones ortogonales, formados por pantallas de hormigón armado, de fábrica, o mediante pórticos de nudos rígidos.

Los pórticos resistentes a acciones horizontales pueden estar formados por:

- soportes y vigas,
- por soportes y la parte de forjado (unidireccional, bidireccional o losa) cuya armadura intersecte la zona en torno al soporte que se indica en el apartado 4.4.3.

La recomendación del articulado sobre la resistencia del hormigón, se debe a que ésta es deseable por las cualidades asociadas que conlleva, como mejor dosificación, compacidad y ductilidad.

Los aceros de dureza natural suministran a las secciones mayor ductilidad que los estirados en frio.

C.4.4.2. Vigas de hormigón.

Las especificaciones sobre las armaduras de las secciones extremas de las vigas tienen por objeto resistir la degradación de la adherencia bajo la actuación de cargas cíclicas.

A los efectos del articulado puede entenderse que la rótula plástica abarca dos cantos de cada elemento a partir de la cara de su unión al nudo.

La menor separación de cercos en las zonas de rótula plástica tiende, por un lado, a dotar a la sección de los necesarios confinamientos del hormigón y de resistencia al esfuerzo cortante, y por otro, a evitar el pandeo de las barras longitudinales comprimidas.

Siempre es recomendable disponer al menos 2 f 12 en la cara inferior de la viga y en toda su longitud.

C.4.4.3. Soportes de hormigón.

Cuando $a_c \geq$ de 0,16 g se considera razonable una cuantía geométrica del diez por mil y estribos de diámetro mínimo 8 *mm.*

Análogamente que en las vigas de hormigón, la menor separación de cercos en las zonas de rótula plástica tiende a dotar a la sección de los necesarios confinamientos del hormigón y de resistencia al esfuerzo cortante, así como, a evitar el pandeo de las barras longitudinales comprimidas.

La transición del espaciado de los cercos de la zona tupida a la zona central será gradual, sobre todo en los pisos inferiores del edificio.

C.4.4.4. Pantallas de rigidización.

Dado que el comportamiento de la pantalla se aproxima a una ménsula empotrada en la base, los refuerzos indicados se destinan a suministrar ductilidad a la zona donde puede formarse una rótula plástica.

Si se disponen pantallas acopladas debe estudiarse con detalle el confinamiento del hormigón y la disposición de cuantías de armado en las uniones de vigas y pantallas, para justificar el grado de ductilidad adoptado en los cálculos.

C.4.4.5. Encuentros y nudos.

El alineamiento de las vigas y soportes que confluyen en un nudo resulta especialmente crítico en su comportamiento dinámico, aunque se acepta que si la excentricidad es pequeña no se producen torsiones no deseables.

La prescripción del articulado respecto del anclaje de las barras de las vigas se debe a que el sismo provoca solicitación de signo alternante, lo que adquiere especial importancia en el caso de los nudos extremos.

C.4.4.6. Elementos prefabricados de hormigón.

Las especiales características de los nudos en este tipo de estructuras y las discontinuidades que pueden existir en las juntas, no permiten en general contar con el monolitismo de nudo rígido, sobre todo en el caso de estructura prefabricada de paneles, debiendo considerar en general los nudos como articulados. En este último caso, es recomendable que los zunchos de enlace entre elementos horizontales y verticales satisfagan condiciones similares a las establecidas para estructuras de muros.

C.4.4.7. Forjados.

C.4.5. De las estructuras de acero.

C.4.5.1. Criterios generales.

C.4.5.2. Vigas y soportes de acero.

Es difícil que las uniones realizadas en obra entre soportes y vigas doten de rigidez satisfactoria al nudo, por lo que el buen comportamiento a acción sísmica exige generalmente, en ese caso, la existencia de suficientes planos triangulados actuando como pantallas rigidizadoras. (fig. C 4.7.)

Si las chapas de las piezas tienen un espesor suficiente comparado con su ancho, permiten a la sección el giro plástico que garantiza su comportamiento de rótula, sin fallo previo por abolladura local. Dicha cualidad la poseen en general todos los perfiles laminados.

En acero laminado sólo las uniones rígidas soldadas garantizan completamente el comportamiento de rótula plástica. Con uniones atornilladas deben tenerse en cuenta los fenómenos derivados de la inversión de esfuerzos, o sobredimensionar el punto de la unión de forma que la rótula se desplace a zonas más débiles en las que exista garantía plena de plasticidad.
.

C.4.5.3.Triangulaciones y arriostramientos

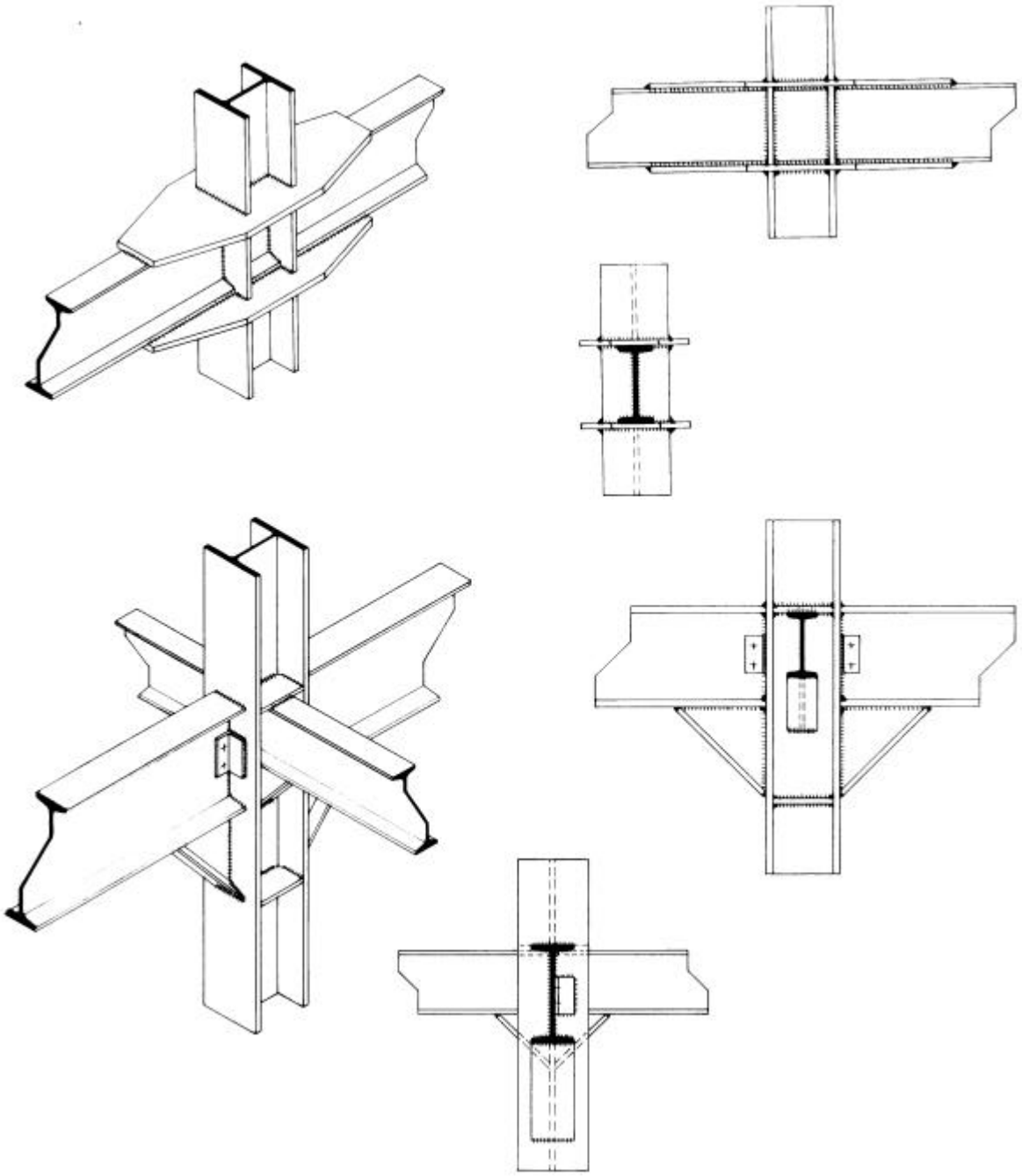


FIGURA C 4.7. Nudos en estructuras de acero

C.4.6. De otros elementos de la construcción.

C.4.6.1. Cerramientos y particiones.

Se debe evitar en lo posible que las deformaciones de la estructura puedan provocar el desprendimiento de los cerramientos en caso de sismo. La disposición de los elementos de refuerzo se dirige a evitar en ese supuesto la gravedad del daño.

En el artículo 4.1.4. se establece la necesidad de considerar en el cálculo los elementos secundarios rígidos.

C.4.6.2. Antepechos, parapetos y cercas.

C.4.6.3. Escaleras.

C.4.6.4. Carpinterías exteriores.

Cuando la altura de la construcción sea importante, resulta recomendable la utilización de vidrios securizados o laminados, para evitar los riesgos derivados de su caída.

La prescripción de sobredimensionar los galces, los calzos y las juntas intenta impedir la expulsión del vidrio en el caso de fuertes oscilaciones.

C.4.6.5. Revestimientos y aplacados.

Se considera que una fijación adecuada es la de tipo mecánico mediante piezas metálicas. No se consideran sistemas apropiados las fijaciones de placas confiando exclusivamente el recibido de las mismas a pastas o morteros.

C.4.6.6. Instalaciones y acometidas.

Es aconsejable identificar los puntos de entronque de las instalaciones al edificio, para facilitar una posible reparación o corte de suministro.

CAPITULO C5

CUMPLIMIENTO Y CONTROL DE LA APLICACION DE LA NORMA

Se supone que el proyecto, construcción y mantenimiento de la edificación se llevará a cabo por personal debidamente cualificado y experimentado, cumpliéndose además todas las disposiciones y requisitos prescritos en aquellas normas e instrucciones que por los materiales empleados y por el tipo, disposición estructural o destino de las obras les sean aplicables; disposiciones y requisitos a las cuales esta norma complementa.

C.5.1. Cumplimiento de la Norma en la fase de proyecto.

C.5.2. Cumplimiento de la Norma en la fase de construcción.

C.5.3. Cumplimiento de la Norma durante el período de vida útil.

ANEXO B

NORMATIVA REGULADORA DE RPOTECCIÓN CIVIL

RESOLUCION DE 5 DE MAYO DE 1995, DE LA SECRETARÍA DE ESTADO DE INTERIOR, POR LA QUE SE DISPONE LA PUBLICACIÓN DEL ACUERDO DEL CONSEJO DE MINISTROS POR EL QUE SE APRUEBA LA DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO (BOE de 25 mayo de 1995).

El Consejo de Ministros aprobó, en su reunión del día 7 de abril de 1995, a propuesta del Ministro de Justicia e Interior y previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil, el Acuerdo por el que se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico.

A fin de favorecer su conocimiento y aplicación, se publica, como anexo a esta Resolución, el citado Acuerdo.

ANEXO

ACUERDO DEL CONSEJO DE MINISTROS POR EL QUE SE APRUEBA LA DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO

Por Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, se aprobó la Norma Básica de Protección Civil, prevista en el artículo 8 de la Ley 2/1985, de 21 de enero, sobre Protección Civil.

En la citada Norma Básica se dispone que serán objeto de planes especiales, entre otras, las emergencias producidas por fenómenos sísmicos y que estos planes serán elaborados de acuerdo con la correspondiente Directriz Básica, la cual habrá de ser aprobada por el Gobierno y deberá establecer los requisitos mínimos sobre fundamentos, estructuras organizativas, criterios operativos, medidas de intervención e instrumentos de coordinación que deben cumplir dichos planes.

En su virtud, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil, a propuesta del Ministro de Justicia e Interior y previa deliberación, el Consejo de Ministros, en su reunión de 7 de abril de 1995.

ACUERDA

Primero.- Se aprueba la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico que se acompaña como anexo del presente Acuerdo.

Segundo.- Los análisis de peligrosidad y de riesgo que queden especificados en los planes especiales elaborados, aprobados y homologados, conforme a lo dispuesto en la citada Directriz, serán tenidos en cuenta por los órganos competentes en el proceso de planificación del territorio y de los usos del suelo.

Tercero.- La Administración General del Estado, en el ámbito de sus competencias y, en su caso, en colaboración con las restantes Administraciones públicas competentes, elaborará un programa de educación y concienciación ciudadana sobre el fenómeno sísmico, con el objetivo de que los ciudadanos dispongan de una adecuada formación e información sobre las pautas de comportamiento, individual y colectiva, ante la ocurrencia de este tipo de sucesos.

DIRECTRIZ BÁSICA DE PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO

INDICE

1. **Fundamentos y objeto de la Directriz Básica.**

2. **Elementos básicos para la planificación de protección civil ante el riesgo sísmico.**

2.1 Areas de peligrosidad sísmica.

2.2 Análisis de peligrosidad y vulnerabilidad. Mapas de riesgos.

2.3 Información y seguimiento de fenómenos sísmicos.

2.4 Medidas de intervención en caso de catástrofe sísmica.

2.4.1 Evaluación de consecuencias.

2.4.2 Medidas de rescate, salvamento y protección de la población.

2.4.3 Medidas en relación con las edificaciones.

2.4.4 Medidas en relación con los servicios esenciales.

2.4.5 Medidas en relación con el sistema viario e infraestructuras de los transportes.

2.5 Definición de fases y situaciones:

A) Fase de intensificación del seguimiento y la información.

B) Fase de emergencia.

C) Fase de normalización.

3. **Estructura general de la planificación de protección civil ante el riesgo sísmico.**

3.1 Características básicas.

3.2 Organos integrados de coordinación entre el Plan Estatal y los Planes de Comunidades Autónomas.

3.3 El Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico.

3.3.1 Concepto.

3.3.2 Funciones básicas.

3.3.3 Contenido mínimo del Plan Estatal:

3.3.3.1 Objeto y ámbito.

3.3.3.2 Dirección y coordinación.

3.3.3.3 Comité Estatal de Coordinación.

3.3.3.4 Sistema de información sobre fenómenos sísmicos.

3.3.3.5 Planes de coordinación y apoyo.

3.3.3.6 Base nacional de datos sobre vulnerabilidad sísmica.

3.3.3.7 Base de datos sobre medios y recursos movilizables.

3.3.4 Aprobación del Plan Estatal.

3.3.5 Asignación de medios y recursos de titularidad estatal a Planes de Comunidades Autónomas y de actuación de ámbito local.

3.4 Los planes de Comunidades Autónomas ante el riesgo sísmico.

3.4.1 Concepto.

3.4.2 Funciones básicas.

3.4.3 Contenido mínimo de los Planes de Comunidad Autónoma.

3.4.3.1 Objeto y ámbito.

3.4.3.2 Análisis del riesgo.

3.4.3.3 Estructura y organización del Plan.

3.4.3.3.1 Dirección y coordinación del Plan.

3.4.3.3.2 Grupos de acción.

3.4.3.4 Operatividad del Plan.

3.4.3.5 Procedimientos de infor-mación sobre fenómenos sísmicos.

3.4.3.6 Mantenimiento del Plan.

3.4.3.7 Base de datos sobre medios y recursos.

3.4.4 Plan de actuación de ámbito local.

3.4.5 Aprobación de los Planes de Comunidades Autónomas.

Anexo I. Mapa de peligrosidad sísmica para un período de retorno de 500 años.

Anexo II. Municipios donde son previsibles sismos.

Anexo III. Glosario de términos.

1. FUNDAMENTOS Y OBJETO DE LA DIRECTRIZ BÁSICA

Los terremotos son uno de los fenómenos naturales con mayor capacidad para producir consecuencias catastróficas sobre extensas áreas del territorio, pudiendo dar lugar a cuantiosos daños en edificaciones, infraestructuras y otros bienes materiales, interrumpir gravemente el funcionamiento de servicios esenciales y ocasionar numerosas víctimas entre la población afectada.

Nuestro país está situado en un área de actividad sísmica de relativa importancia y, en el pasado, determinadas zonas del mismo se han visto afectadas por terremotos de considerable intensidad.

Si bien la construcción realizada de acuerdo con lo previsto en la normativa sismorresistente, supone ya un medio fundamental para la prevención de los daños ocasionados por estos fenómenos resulta asimismo necesario el prever, mediante la correspondiente planificación, la organización de los recursos, materiales y humanos, que podrían ser requeridos para la asistencia y protección a la población, en caso de que ocurriese en territorio español una catástrofe de tal naturaleza.

La Norma Básica de Protección Civil, aprobada por Real Decreto 407/1992, de 24 de abril, dispone en su apartado 6 que el riesgo sísmico será objeto de Planes Especiales en los ámbitos territoriales que lo requieran. La misma norma básica señala, en su apartado 7.2 que los planes especiales se elaborarán de acuerdo con las directrices básicas relativas a cada riesgo.

Consecuentemente con ello, la presente Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico, tiene por objeto el establecer los requisitos mínimos que deben cumplir los correspondientes Planes Especiales de Protección Civil, en cuanto a fundamentos, estructura, organización y planes operativos y de respuesta, para ser homologados e implantados en su correspondiente ámbito territorial, con la finalidad de prever un diseño o modelo nacional mínimo que haga posible, en su caso, una coordinación y actuación conjunta de los distintos servicios y Administraciones implicadas.

Se elaborarán Planes Especiales de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en aquellas Comunidades Autónomas cuyo territorio incluya áreas de peligrosidad sísmica y, en todo caso, en las enumeradas en el apartado 2.1 de la presente Directriz.

2. ELEMENTOS BÁSICOS PARA LA PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO

2.1 AREAS DE PELIGROSIDAD SÍSMICA.

Se considerarán áreas de peligrosidad sísmica aquellas zonas que a lo largo del registro histórico se han visto afectadas por fenómenos de naturaleza sísmica.

A los efectos de planificación a nivel de Comunidad Autónoma previstos en la presente Directriz se incluirán, en todo caso, aquellas áreas donde son previsibles sismos de intensidad igual o superior a los de grado VI, delimitadas por la correspondiente isosista del mapa de «Peligrosidad Sísmica en España» para un período de retorno de 500 años, del Instituto Geográfico Nacional, que se incluye en el anexo I

de esta Directriz.

En este ámbito geográfico se encuentran comprendidas, en todo o en parte de su territorio, las siguientes provincias, de las Comunidades Autónomas que se relacionan a continuación:

Andalucía: Provincias de Almería, Cádiz, Córdoba, Granada, Huelva, Jaén, Málaga y Sevilla.

Aragón: Provincias de Huesca y Zaragoza.

Castilla-La Mancha: Provincia de Albacete.

Cataluña: Provincias de Barcelona, Girona, Lleida y Tarragona.

Extremadura: Provincias de Badajoz y Cáceres.

Murcia.

Navarra.

Valencia: Provincias de Alicante y Valencia.

En dicho ámbito se encuentran también incluidas Ceuta y Melilla.

La planificación a nivel local comprenderá los términos municipales que, incluidos en las Comunidades Autónomas y provincias anteriormente señaladas, sean establecidos por los órganos competentes de las correspondientes Comunidades Autónomas, en función de criterios técnicos de peligrosidad sísmica y, en todo caso, los incluidos en el anexo II de la presente Directriz, en los cuales son previsibles sismos de intensidad igual o superior a VII, para un período de retorno de 500 años, según el mapa de «Peligrosidad Sísmica en España» del Instituto Geográfico Nacional.

2.2 ANÁLISIS DE PELIGROSIDAD Y VULNERABILIDAD, MAPAS DE RIESGOS.

Los mapas de riesgos habrán de proporcionar una visión lo más precisa posible acerca de las probables consecuencias de una catástrofe sísmica en el territorio considerado, lo que permitirá hacer previsiones acerca de los medios y recursos necesarios para la intervención, así como localizar la infraestructura de apoyo previsiblemente utilizable para el auxilio del área afectada, en caso de que el riesgo se actualice.

Para la estimación de la peligrosidad sísmica en un área determinada del territorio se utilizarán los mapas de peligrosidad sísmica publicados por el Instituto Geográfico Nacional, en su versión más actualizada, salvo que por el órgano competente en materia de protección civil de la correspondiente Comunidad Autónoma se considere necesario efectuar estudios más detallados. Para la realización de tales estudios se adoptará el método que en cada caso resulte más adecuado, con la correspondiente justificación técnica y utilizando datos actualizados.

Para la estimación de la vulnerabilidad se realizarán estudios que comprenderán las construcciones cuya destrucción, con probabilidad razonable, pueda ocasionar víctimas, interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad o aumentar los daños por efectos catastróficos asociados.

Como parte de dichos estudios, cuando afecten a áreas donde sean previsibles sismos de intensidad igual o superior a VII, con período de retorno de 500 años, se confeccionará un catálogo de los elementos en riesgo ubicados en aquéllas. En este catálogo se incluirán las construcciones que sean consideradas de especial importancia, de acuerdo con la clasificación establecida en el apartado 1.2.2 de la Norma de Construcción Sismorresistente (NCSE-94), aprobada por el Real Decreto 2543/1994, de 29 de diciembre.

Tomando como fundamento las estimaciones de peligrosidad sísmica y de vulnerabilidad, se obtendrá el mapa de riesgos del territorio considerado, donde se estimarán las posibles víctimas, edificaciones dañadas y destruidas, daños en la infraestructura viaria y redes de abastecimiento, grados de afectación de instalaciones y servicios imprescindibles para la atención de la emergencia, así como posibles daños en edificaciones, industrias e infraestructuras, capaces de dar lugar a peligros asociados.

2.3 INFORMACIÓN Y SEGUIMIENTO DE FENÓMENOS SÍSMICOS.

Para la rápida activación de los planes tras el acaecimiento de movimientos sísmicos que así lo

requieran o la adopción, en otros casos, de las medidas que procedan, se establecerán los mecanismos de información que permitan a los órganos que hayan de adoptar tales decisiones, conocer las características fundamentales del terremoto, de la forma más inmediata y con la mayor precisión posible.

Tales informaciones, basadas en registros sismográficos, deberán constar, como mínimo, de los siguientes datos:

Fecha y hora en que ha ocurrido el terremoto.

Parámetros focales, con detalle de latitud, longitud, profundidad, magnitud (Richter) y estimación de intensidad (M.S.K.).

Estimación del área afectada.

Estimación de intensidades (M.S.K.) en municipios del área afectada.

Estos datos, junto con la información que los planes han de contener acerca de la vulnerabilidad de los elementos sometidos a riesgo, darán lugar a una primera estimación de consecuencias y orientarán actuaciones ulteriores, encaminadas a movilizar los medios disponibles para una primera asistencia, delimitar, con precisión, el área afectada y evaluar los daños efectivamente producidos.

2.4 MEDIDAS DE INTERVENCIÓN EN CASO DE CATÁSTROFE SÍSMICA.

En la planificación de protección civil ante el riesgo sísmico se considerarán todas las actuaciones precisas para evaluar las consecuencias producidas, prestar auxilio a la población afectada y minimizar los efectos del siniestro en las personas y los bienes, incluyéndose entre las mismas las siguientes:

2.4.1 Evaluación de consecuencias.

En la planificación se preverán la organización y los procedimientos adecuados para que los órganos de dirección dispongan, en breve plazo desde la ocurrencia del terremoto, del conocimiento lo más completo y exacto posible acerca de los daños ocasionados y en particular sobre la información siguiente:

Delimitación geográfica de área afectada.

Daños en viviendas, red hospitalaria y otros equipamientos esenciales.

Estado de las infraestructuras, vías de comunicación, redes eléctricas y telefónicas.

Fenómenos asociados, tales como incendios, fugas y derrames de sustancias tóxicas o peligrosas, deslizamientos del terreno, inundaciones, etc.

Estimación del número de víctimas.

2.4.2 Medidas de rescate, salvamento y protección de la población.

Comprenderán actuaciones tendentes a:

Salvamento y socorro de supervivientes atrapados e identificación de víctimas.

Asistencia sanitaria de urgencia y traslado de heridos a centros hospitalarios de recepción.

Evacuación, albergue y asistencia social.

Abastecimiento de agua, alimentos y ropa.

Extinción de incendios.

Policía y orden público.

Información a la población.

Prevención de epidemias, control higiénico-sanitario de agua y alimentos, rápido tratamiento y enterramiento de cadáveres y otras medidas de sanidad pública.

2.4.3 Medidas en relación con las edificaciones

Las medidas de prevención se dirigirán a evitar riesgos derivados del derrumbamiento de edificios dañados por el terremoto, mediante:

Desescombro.

Inspección y clasificación de edificaciones, en función de su estado y peligrosidad.

Reforzamiento y demolición, según proceda, de edificios dañados.

Se contemplarán asimismo las actuaciones de urgencia encaminadas a paliar o reparar los daños experimentados por estructuras de presas, instalaciones en las que se produzcan y/o almacenen sustancias peligrosas y otras construcciones o edificaciones cuyo deterioro pueda dar lugar a riesgos secundarios o peligros asociados.

2.4.4 Medidas en relación con los servicios esenciales

Las medidas de intervención tendrán por objeto el restablecimiento urgente de los servicios esenciales de comunicaciones telefónicas, agua potable, energía eléctrica, gas y combustibles, al área afectada por el terremoto. Asimismo, se dirigirán a evitar los peligros que puedan generarse por los daños sufridos en las redes o centros de transformación de energía eléctrica, conducciones de gas, etc.

2.4.5 Medidas en relación con el sistema viario e infraestructuras de los transportes

Comprenderán actuaciones dirigidas a la reparación urgente de los daños ocasionados por el terremoto en carreteras, líneas de ferrocarril, aeropuertos y puertos marítimos, al objeto de permitir o facilitar las ayudas a la zona siniestrada, el apoyo logístico a los medios de intervención, el traslado de heridos y las tareas de evacuación y abastecimiento.

2.5 DEFINICIÓN DE FASES Y SITUACIONES.

En los Planes de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico se distinguirán las fases y situaciones siguientes:

A) Fase de intensificación del seguimiento y la información.- En esta fase los fenómeos sísmicos se producen sin ocasionar víctimas ni daños materiales relevantes, por lo que, desde el punto de vista operativo, está caracterizada fundamentalmente por el seguimiento instrumental y el estudio de dichos fenómenos y por el consiguiente proceso de información a los órganos y autoridades competentes en materia de protección civil y a la población en general.

En los Planes de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico habrá de considerarse en esta fase una situación específica.

Situación 0: Estará motivada por la ocurrencia de fenómenos sísmicos ampliamente sentidos por la población y requerirá de las autoridades y órganos competentes una actuación coordinada, dirigida a intensificar la información a los ciudadanos sobre dichos fenómenos.

B) Fase de emergencia.- Esta fase tendrá su inicio con la ocurrencia de un terremoto que haya producido daños materiales o víctimas y se prolongará hasta que hayan sido puestas en práctica todas las medidas necesarias pare el socorro y la protección de personas y bienes y se hayan restablecido los servicios básicos en las zonas afectadas.

En esta fase se distinguirán las siguientes situaciones:

Situación 1: Se han producido fenómenos sísmicos, cuya atención, en lo relativo a la protección de personas y bienes, puede quedar asegurada mediante el empleo de los medios y recursos disponibles en las zonas afectadas.

Situación 2: Se han producido fenómenos sísmicos que por la gravedad de los daños ocasionados, el número de víctimas o la extensión de las áreas afectadas, hacen necesario, para el socorro y protección de personas y bienes, el concurso de medios, recursos o servicios ubicados fuera de dichas áreas.

Situación 3: Emergencias que, habiéndose considerado que está en juego el interés nacional, así sean declaradas por el Ministro de Justicia e Interior.

C) Fase de normalización.- Fase consecutiva a la de emergencia que se prolongará hasta el restablecimiento de las condiciones mínimas imprescindibles para el retorno a la normalidad en las zonas afectadas por el terremoto.

Durante esta fase se realizarán las primeras tareas de rehabilitación en dichas zonas, consistentes fundamentalmente en el reforzamiento o, en su caso, demolición de edificios dañados; reparación de los daños más relevantes sufridos por las infraestructuras de los transportes, de las telecomunicaciones y del suministro de agua; electricidad y combustibles; realojamiento provisional de las personas que hubieran perdido su vivienda; etc.

3. ESTRUCTURA GENERAL DE LA PLANIFICACIÓN DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO

3.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS.

Al objeto de lograr la máxima eficacia posible en las actuaciones a realizar tras la ocurrencia de un movimiento sísmico, resulta necesario que la estructura de planificación a los distintos niveles (Plan Estatal, Planes de Comunidades Autónomas y, dentro de estos últimos, los Planes de Actuación de Ambito Local), se conciba como un sistema en el que los diferentes planes queden perfectamene coordiandos entre sí y sean susceptibles de integración, orgánica y funcionalmente, para hacer frente a aquellas situaciones que lo requieran.

La gravedad de los daños que un terremoto destructivo puede ocasionar en extensas áreas del territorio y la posibilidad de que los recursos y servicios de intervención, ubicados en las zonas afectadas, pierdan parte de su capacidad operativa, hacen que, en tales casos, la eficacia de las actuaciones de emergencia dependa, en buena medida, de una rápida aportación de ayuda exterior.

Para ello resulta indispensable el que se prevean los mecanismos adecuados para que la integración anteriormente aludida pueda efectuarse con el mayor automatismo posible y que, para las tareas de máxima urgencia, puedan movilizarse los medios apropiados aun antes de que la articulación de los diferentes planes haya podido quedar plenamente realizada.

Por otra parte, es preciso que, en supuestos de menor trascendencia, los Planes de Comunidad Autónoma y los de Actuación de Ambito Local, puedan desarrollarse con el apoyo del Plan Estatal.

3.2 ORGANOS INTEGRADOS DE COORDINACIÓN ENTRE EL PLAN ESTATAL Y LOS PLANES DE COMUNIDADES AUTÓNOMAS.

Cuando en una emergencia por fenómenos sísmicos lo solicite la Comunidad Autónoma afectada y, en todo caso, cuando la emergencia sea declarada de interés nacional, las funciones de dirección y coordinación serán ejercidas dentro de un Comité de Dirección, a través del Centro de Coordinación Operativa que corresponda, quedando constituido a estos efectos como Centro de Coordinación Operativa Integrado (CECOPI).

El Comité de Dirección estará formado por un representante del Ministerio de Justicia e Interior y un representante de la Comunidad Autónoma correspondiente, y contará para el desempeño de sus funciones con la asistencia de un Comité Asesor y un Gabinete de Información.

En el Comité Asesor se integrarán representantes de los órganos de las diferentes Administraciones, así como los técnicos y expertos que en cada caso considere necesario el Comité de Dirección.

Corresponderá al representante designado por la Comunidad Autónoma en el Comité de Dirección, el ejercicio de las funciones de dirección que, para hacer frente a la situación de emergencia le sean asignadas en el Plan de Comunidad Autónoma.

El representante del Ministerio de Justicia e Interior dirigirá las actuaciones del conjunto de las Administraciones Públicas cuando la emergencia sea declarada de interés nacional, de conformidad con lo establecido en el apartado 9 de la Norma Básica de Protección Civil. A estos efectos habrá de preverse la posibilidad de que ante aquellas emergencias que lo requieran el Comité de Dirección sea de ámbito provincial.

Aun en aquellas circunstancias que no exijan la constitución del CECOPI, los procedimientos que se establezcan en los Planes de Comunidades Autónomas y en el Plan Estatal deberán asegurar la máxima fluidez informativa entre las organizaciones de ambos niveles, tanto en lo que se refiere a la evaluación de las consecuencias del siniestro, como sobre el desarrollo de las operaciones de emergencia.

A solicitud de la Dirección General de Protección Civil, podrán constituirse centros de coordinación operativa integrados en aquellas Comunidades Autónomas no afectadas por el siniestro, en las que sea necesario movilizar medios

y recursos para la atención de la emergencia. Dicha constitución será solicitada a los órganos de dirección de los planes de Comunidades Autónomas ante el riesgo sísmico o, en su defecto, de los correspondientes planes territoriales de protección civil.

Estos centros de coordinación operativa integrados, constituidos en Comunidades Autónomas no afectadas, tendrán la función de gestionar, con la coordinación de la Dirección General de Protección Civil, la aportación de medios y recursos de intervención, cuando los previstos en los Planes de las Comunidades Autónomas resulten insuficientes.

3.3 EL PLAN ESTATAL DE PROTECCIÓN CIVIL ANTE EL RIESGO SÍSMICO.

3.3.1 Concepto.

El Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico establecerá la organización y procedimientos de actuación de aquellos recursos y servicios del Estado que sean necesarios para asegurar una respuesta eficaz del conjunto de las Administraciones Públicas, ante situaciones de emergencia por terremoto en las que esté presente el interés nacional, así como los mecanismos de apoyo a los Planes de Comunidad Autónoma en el supuesto de que estos lo requieran o no dispongan de capacidad suficiente de respuesta.

3.3.2 Funciones básicas.

Son funciones básicas del Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico, las siguientes:

a) Prever la estructura organizativa que permita la dirección y coordinación en emergencias de interés nacional, así como el apoyo a los Planes de Comunidades Autónomas.

b) Establecer los mecanismos y procedimientos de coordinación con los Planes de aquellas Comunidades Autónomas no directamente afectadas por la catástrofe, para la aportación de medios y recursos de intervención, cuando los previstos en los Planes de las Comunidades Autónomas afectadas se manifiesten insuficientes.

c) Establecer el sistema y los procedimientos de información sobre fenómenos sísmicos a utilizar con fines de protección civil.

d) Establecer un banco de datos de carácter nacional sobre medios y recursos estatales o asignados al Plan Estatal disponibles en emergencias por terremotos.

e) Prever los mecanismos de solicitud y recepción, en su caso, de ayuda internacional para su empleo en caso de terremoto.

3.3.3 Contenido mínimo del Plan Estatal

El Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico deberá ajustarse a los requisitos que se formulan en los puntos siguientes:

3.3.3.1 Objeto y ámbito.- El objeto del Plan Estatal será establecer la organización y procedimientos que permitan el eficaz desarrollo de las funciones enumeradas en el punto 3.3.2 de la presente Directriz.

El ámbito del Plan Estatal abarcará la totalidad del territorio nacional.

3.3.3.2 Dirección y coordinación.- El Plan Estatal especificará para cada Comunidad Autónoma la autoridad o autoridades que, en representación del Ministerio de Justicia e Interior, formarán parte del Comité de Dirección que en cada caso pueda constituirse, de acuerdo con lo establecido en el apartado 3.2 de esta Directriz.

A dichas autoridades les corresponderá la dirección del conjunto de las Administraciones Públicas para hacer frente a las situaciones de emergencia ocurridas en el ámbito territorial de su competencia, cuando éstas sean declaradas de interés nacional, y, en otros casos, ordenar o promover, a solicitud del representante de la Comunidad Autónoma en el Comité de Dirección, la incorporación de medios de titularidad estatal no asignados previamente al Plan de Comunidad Autónoma, cuando resulten necesarios para el apoyo de las actuaciones de éste.

Será asimismo competencia de la autoridad que represente al Ministro de Justicia e Interior en el Comité de Dirección del Plan de la Comunidad Autónoma afectada por el siniestro, la formulación de solicitudes de intervención de unidades militares en aquellos casos en que las previsiones del Plan de Comunidad Autónoma se hayan visto superadas. Para ello, dicha autoridad del Ministerio de Justicia e Interior podrá solicitar la presencia de un representante de la autoridad militar, el cual se integrará en el Comité Asesor del CECOPI, cuando éste se constituya.

La Dirección General de Protección Civil, en relación con los órganos de la Administración del Estado que en cada caso corresponda y con los Centros de Coordinación Operativa Integrados que se constituyan, con funciones de apoyo a las Comunidades Autónomas no directamente afectadas, coordinará las medidas a adoptar para la aportación de medios y recursos necesarios para la atención de las emergencias, en tanto se encuentren ubicados fuera del ámbito territorial de la Comunidad Autónoma afectada por la situación de emergencia.

La solicitud de ayuda internacional, cuando sea previsible el agotamiento de las posibilidades de incorporación de medios nacionales, se efectuará, por la Dirección General de Protección Civil, de acuerdo con los procedimientos establecidos para la aplicación de la Resolución del Consejo de las Comunidades Europeas, de 8 de julio de 1991, sobre mejora de asistencia recíproca entre Estados miembros, en caso de catástrofes naturales o tecnológicas y de los convenios bilaterales y multilaterales, suscritos por España, en materia de Protección Civil.

3.3.3.3 Comité Estatal de Coordinación

Se constituirá un Comité Estatal de Coordinación (CECO) con la composición siguiente:

Presidente: El Director general de Protección Civil.

Vocales: Un representante de cada uno de los órganos siguientes:

Dirección General del Instituto Geográfico Nacional.

Dirección General de Telecomunicaciones.

Secretaría General para las Infraestructuras del Transporte Terrestre.

Dirección General de Aviación Civil.

Instituto Tecnológico y Geominero de España.

Dirección General de Alta Inspección y Relaciones Institucionales del Ministerio de Sanidad y Consumo.

Dirección General de Política de Defensa.

Dirección de Infraestructura y Seguimiento para Situaciones de Crisis.

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.

Dirección General de la Energía.

Secretario: El Subdirector general de Planes y Operaciones de la Dirección General de Protección Civil.

Serán funciones del CECO, las siguientes:

Coordinar las medidas a adoptar para la movilización y aportación de todos los medios y recursos que, estando ubicados fuera del ámbito territorial de la Comunidad Autónoma afectada, sean

necesarios para la atención de la situación de emergencia.

Realizar estudios, informes y propuestas para la elaboración del proyecto del Plan Estatal y las sucesivas revisiones del mismo.

Analizar y valorar con periodicidad anual el estado organizativo y de operatividad del Plan estatal, así como los sistemas de coordinación de los Planes de Comunidades Autónomas, al objeto de promover las mejoras que resulten necesarias.

3.3.3.4 Sistema de información sobre fenómenos sísmicos.- El sistema de información sobre fenómenos sísmicos estará constituido por el Centro Nacional de Información Sísmica del Instituto Geográfico Nacional y en colaboración con éste, las redes sísmicas de otros organismos, en coordinación con la Dirección General de Protección Civil, las Unidades de Protección Civil de Gobiernos Civiles y Delegaciones del Gobierno y los órganos competentes de las Comunidades Autónomas.

En el Plan Estatal se definirán los criterios con arreglo a los cuales habrán de formularse las informaciones sísmicas, así como los procedimientos a emplear para la difusión de las mismas. Estos procedimientos deberán asegurar el que la información sea transmitida lo más rápidamente posible a los órganos que al efecto se prevean en los Planes de Comunidades Autónomas cuyo ámbito territorial resulte afectado.

3.3.3.5 Planes de coordinación y apoyo.- Para su aplicación en emergencias de interés nacional o en apoyo de los Planes de Comunidades Autónomas, en el Plan Estatal quedarán estructurados los planes de actuación siguientes:

Plan de reconocimiento e información sobre áreas siniestradas.

Plan de actuación para el salvamento y rescate de personas sepultadas.

Plan de actuación sanitaria.

Plan de abastecimiento, albergue y asistencia social.

Plan de actuación para el restablecimiento del suministro de energía eléctrica y combustibles.

Plan de rehabilitación de emergencia de las infraestructuras de los transportes.

Plan de telecomunicaciones.

Plan de apoyo logístico.

Plan de coordinación informativa en situaciones de emergencia.

En la organización de estos planes de actuación podrán integrarse, además de servicios, medios y recursos de titularidad estatal, los que, para el desempeño de las mismas o análogas actividades, hayan sido incluidos en los Planes de Protección Civil de las Comunidades Autónomas y de ámbito local, y sean asignados por las correspondientes Administraciones, así como los disponibles por otras entidades públicas y privadas.

3.3.3.6 Base nacional de datos sobre vulnerabilidad sísmica.- En el Plan Estatal se establecerán los procedimientos para la confección y mantenimiento de una base nacional de datos sobre vulnerabilidad sísmica que permita modelizar las posibles catástrofes por terremoto y analizar las situaciones postsísmicas.

Esta base de datos se fundamentará en los análisis de riesgos que se incorporen a los Planes de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico de las Comunidades Autónomas.

3.3.3.7 Base de datos sobre medios y recursos movilizables.- En el Plan Estatal se establecerán los procedimientos para la elaboración, mantenimiento y utilización de una base de datos sobre medios y recursos estatales, disponibles para su actuación en casos de emergencia por terremotos, así como acerca de los que integren los planes de coordinación y apoyo previstos en el apartado 3.3.3.5 de la presente Directriz Básica.

Los códigos y términos a utilizar en esta catalogación serán los elaborados por la Comisión Nacional de

Protección Civil.

De esta base de datos, la parte relativa a especificaciones sobre cantidades y ubicación de medios o recursos de las Fuerzas Armadas, será elaborada y permanecerá bajo la custodia del Ministerio de Defensa, siendo puesta a disposición del CECO en aquellas situaciones de emergencia que lo requieran.

3.3.4 Aprobación del Plan Estatal

El Plan Estatal será aprobado por el Gobierno, a propuesta del Ministro de Justicia e Interior, previo informe de la Comisión Nacional de Protección Civil, tras el estudio de adecuación a la presente Directriz.

3.3.5 Asignación de medios y recursos de titularidad estatal a Planes de Comunidades Autónomas y de actuación de ámbito local

Las normas para la asignación de medios y recursos de titularidad estatal a los Planes de Comunidades Autónomas y de actuación de ámbito local ante el riesgo sísmico, serán las aprobadas por Acuerdo del Consejo de Ministros del 6 de mayo de 1994, para los planes territoriales, publicado por Resolución de 4 de julio de 1994, de la Secretaría de Estado de Interior.

3.4 LOS PLANES DE COMUNIDADES AUTÓNOMAS ANTE EL RIESGO SÍSMICO.

3.4.1 Concepto

El Plan de Comunidad Autónoma ante el riesgo sísmico establecerá la organización y procedimientos de actuación de los recursos y servicios cuya titularidad corresponda a la Comunidad Autónoma de que se trate y los que puedan ser asignados al mismo por otras Administraciones Públicas, al objeto de hacer frente a las emergencias por terremotos ocurridos en su ámbito territorial, o bien, formando parte de la organización del Plan Estatal, prestar el concurso necesario cuando tales situaciones se produzcan en cualquier otra parte del territorio nacional.

3.4.2 Funciones básicas

Serán funciones básicas de los Planes de Comunidades Autónomas ante el riesgo sísmico las siguientes:

a) Concretar la estructura organizativa y funcional para la intervención en emergencias por terremotos ocurridos en el territorio de la Comunidad Autónoma.

b) Prever los mecanismos y procedimientos de coordinación con el Plan Estatal de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico, para garantizar su adecuada integración.

c) Establecer los sistemas de articulación con las organizaciones de las Administraciones Locales de su correspondiente ámbito territorial.

d) Precisar la zonificación del territorio en función del riesgo sísmico, delimitar áreas según posibles requerimientos de intervención y localizar la infraestructura utilizable, en apoyo de las actuaciones de emergencia, ante supuestos de terremotos.

e) Especificar procedimientos de información a la población.

f) Prever el procedimiento de catalogación de medios y recursos específicos a disposición de las actuaciones previstas.

3.4.3 Contenido mínimo de los Planes de Comunidad Autónoma

Los Planes de Comunidad Autónoma ante el riesgo sísmico deberán ajustarse a las especificaciones que se señalan en los apartados siguientes:

3.4.3.1 Objeto y ámbito.- En el Plan de Comunidad Autónoma se hará constar su objeto, el cual será concordante con lo establecido en los puntos 3.4.1 y 3.4.2 de la presente Directriz.

El ámbito afectado por el Plan será la totalidad del territorio de la Comunidad Autónoma a la que corresponda.

3.4.3.2 Análisis del riesgo.- Los Planes de Comunidades Autónomas preverán la caracterización del riesgo sísmico en su correspondiente territorio, de acuerdo con los criterios establecidos en el punto 2.2 de la presente Directriz. Las sucesivas actualizaciones de los planes se adaptarán a los resultados que se obtengan de dicha caracterización del riesgo.

En los casos en que haya de elaborarse el catálogo de elementos en riesgo, previsto en el punto 2.2 anteriormente citado, los Planes correspondientes incluirán los procedimientos para su elaboración, el tipo y características de las construcciones objeto de catalogación, y los datos, estudios o informes que hayan de aportar los titulares de las mismas a efectos de la estimación de su vulnerabilidad.

3.4.3.3 Estructura y organización del Plan.- El Plan de Comunidad Autónoma especificará la organización jerárquica y funcional con que se llevarán a cabo y dirigirán las actuaciones.

La organización prevista en el Plan garantizará el desempeño de las medidas de intervención en caso de catástrofe sísmica, consideradas en el punto 2.4 de la presente Directriz Básica.

3.4.3.3.1 Dirección y coordinación del Plan.**-** En el Plan se establecerá el órgano que haya de ejercer la dirección del mismo, al que corresponderá declarar la activación del Plan, constituir el CECOPI, decidir las actuaciones más convenientes para hacer frente a la emergencia y determinar el final de ésta, siempre que se produzcan emergencias por terremoto dentro del ámbito territorial del Plan y éstas no hayan sido declaradas de interés nacional.

Estas funciones serán ejercidas dentro del correspondiente Comité de Dirección, en aquellas situaciones de emergencia que lo requieran, conforme a lo establecido en el punto 3.2 anterior.

El Plan especificará la autoridad o autoridades de la Comunidad Autónoma que formarán parte del Comité de Dirección que para cada caso se constituya, así como las funciones que en relación con la dirección de emergencias, tenga atribuidas.

El Plan especificará asimismo la composición y funciones de los órganos de apoyo (Comité Asesor y Gabinete de Información) al o los Comités de Dirección, sin perjuicio de las incorporaciones que, en función de las necesidades, puedan ser decididas por el Comité de Dirección que corresponda.

Teniendo en cuenta las previsibles necesidades y sin perjuicio de lo que en los planes se establezca de acuerdo con sus propios requerimientos, la composición de cada Comité Asesor podrá ser:

Coordinadores de los distintos grupos de acción.

Representantes de los municipios afectados.

Representantes del Instituto Geográfico Nacional y del Instituto Tecnológico Geominero de España, así como personal técnico de otras entidades públicas y privadas.

Técnicos de Protección Civil de las diferentes Administraciones implicadas.

En el Plan quedará prevista la posibilidad de constitución del Centro de Coordinación Operativa Integrado que, en casos de emergencia por terremoto en Comunidades Autónomas distintas a la que el Plan se refiera, asumirán la función de gestionar, con la coordinación de la Dirección General de Protección Civil, la aportación de medios y recursos, propios y asignados al Plan, para la atención de la emergencia.

La constitución de dicho CECOPI se efectuará por el órgano de dirección del Plan de Comunidad Autónoma, a solicitud de la Dirección General de Protección Civil, en los supuestos previstos para ello en el punto 3.2 de la presente Directriz Básica.

3.4.3.3.2 Grupos de acción.- Para el desarrollo y ejecución de las actuaciones previstas, el Plan contemplará la organización de grupos de acción, cuyas denominaciones, funciones, composición y estructura, quedarán determinadas en el propio Plan, según sus necesidades y características, y que en cualquier caso incluirán las medidas contempladas en el punto 2.4 de la presente Directriz Básica.

3.4.3.4 Operatividad del Plan.- El capítulo dedicado a la operatividad del Plan regulará la actuación de los diferentes elementos de la estructura establecida en función de cada una de las fases y situaciones de la emergencia, de acuerdo con las definiciones que sobre éstas han sido formuladas en el punto 2.5 de la presente Directriz.

3.4.3.5 Procedimientos de información sobre fenómenos sísmicos.- El Plan de Comunidad Autónoma establecerá los medios y procedimientos para la recepción y difusión, en su propia organización, de las informaciones sobre fenómenos sísmicos ocurridos en su ámbito territorial, que sean aportadas por el sistema de información sísmica previsto en el Plan estatal.

Con respecto a la información sísmica recibida el plan de Comunidad Autónoma deberá especificar:

Los sismos notificables y las características a notificar.

Los receptores de las notificaciones.

Los procedimientos y vías de comunicaciones.

Entre los receptores de las referidas notificaciones estarán, en todo caso, las autoridades de los Ayuntamientos afectados.

3.4.3.6 Mantenimiento del Plan.- En el Plan habrán de considerarse las actuaciones necesarias para garantizar, tanto el que los procedimientos de actuación previstos sean plenamente operativos, como su actualización y mantenimiento a lo largo del tiempo.

Tales actuaciones se referirán básicamente a:

Comprobaciones periódicas.

Programa de ejercicios de adiestramiento.

Programa de simulacros.

Información a la población.

Difusión de las medidas básicas de autoprotección personal.

Sistemática y procedimientos de revisión del Plan.

El órgano de dirección promoverá las actuaciones necesarias para el mantenimiento de la operatividad del Plan y establecerá una planificación anual de las actividades que, con ese objeto, hayan de desarrollarse.

3.4.3.7 Base de datos sobre medios y recursos.-En el Plan se establecerán los procedimientos para la elaboracioón, mantenimiento y utilización de una base de datos sobre medios y recursos, propios y asignados a aquél, así como su localización en el territorio y, en su caso, las condiciones de disponibilidad de los mismos en situaciones de emergencia.

Los códigos y términos a utilizar en esta catalogación serán los elaborados por la Comisión Nacional de Protección Civil.

En esta base de datos no podrán figurar medios o recursos de las Fuerzas Armadas, ni de cuerpos y fuerzas de la Seguridad del Estado.

3.4.4 Planes de actuación de ámbito local.- El Plan de Comunidad Autónoma establecerá, dentro de su respectivo ámbito territorial, directrices para la elaboración de Planes de actuación de ámbito local, y especificará el marco organizativo general que posibilite la plena integración de los mismos en la organización de aquél.

Los Planes de actuación de ámbito local se aprobarán por los órganos competentes de las respectivas corporaciones y serán homologados por la Comisión de Protección Civil de la Comunidad Autónoma que corresponda.

3.4.5 Aprobación de los Planes de Comunidades Autónomas.- El Plan de Protección Civil de Comunidad Autónoma ante el riesgo sísmico será aprobado por el órgano competente de la Comunidad Autónoma, previo informe de la correspondiente Comisión de Protección Civil de Comunidad Autónoma y homologado por la Comisión Nacional de Protección Civil.

ANEXO I

Mapa de peligrosidad sísmica para un período de retorno de quinientos años

ANEXO II

Municipios comprendidos en áreas donde son previsibles sismos de intensidad igual o superior a VII, según el mapa de peligrosidad sísmica de España para un período de retorno de quinientos años, del Instituto Geográfico Nacional

Comunidad Autónoma de Andalucía

Provincia de Almería:

Almería, Abla, Abrucena, Adra, Albanchez, Alboloduy, Albox, Alcolea, Alcóntar, Alcudia de Monteagud, Alhabia, Alhama de Almería, Alicún, Almócita, Alsodux, Antás, Arboleas, Armuña del Almanzora, Bacares, Bayárcal, Bayarque, Bédar, Beires, Benahaduyx, Benitagla, Banizalón, Bentarique, Berja, Canjáyar, Cantoria, Carboneras, Castro de Filabres, Cóbdar, Cuevas de Almanzora, Chercos, Chirivel, Dalías, Darrical, Ejido (El), Enix, Felix, Fines, Fiñana, Fondón, Gádor, Gallardos (Los), Garrucha, Gergal, Huecija, Huércal de Almería, Huércal-Overa, Illar, Instinción, Laroya, Laujar de Andarax, Líjar, Lubrín, Lucainena de las Torres, Lúcar, Macael, María, Mojácar, Mojonera (La), Nacimiento, Níjar, Ohares, Olula de Castro, Olula del Río, Oria, Padules, Partaloa, Paterna del Río, Pechina, Pulpí, Purchena, Rágol, Rioja, Roquetas de Mar, Santa Cruza de Marchena, Santa Fe de Mondújar, Senés, Seron, Sierro, Somontín, Sorbas, Suflí, Tabernas, Taberno, Tahal, Terque, Tíjola, Tres Villas (Las), Turre, Turrillas, Uleila del Campo, Urrácal, Velefique, Vélez-Blanco, Vélez-Rubio, Vera, Viator, Vícar y Zurgena.

Provincia de Cádiz:

Chipiona, Puerto Serrano y Sanlúcar de Barrameda.

Provincia de Córdoba:

Almedinilla, Benamejí, Cabra, Carcabuey, Encinas Reales, Fuente Tójar, Iznájar, Lucena, Luque, Palenciana, Priego de Córdoba, Rute y Zuhenos.

Provincia de Granada:

Granada, Agrón, Alamedilla, Albolote, Albondón, Albuñán, Albuñol, Albuñuelas, Aldeire, Alfacar, Algarinejo, Alhama de Granada, Alhendín, Alicún de Ortega, Almegíjar, Almuñécar, Alpujarra de la Sierra, Alquife, Arenas del Rey, Armilla, Atarfe, Baza, Beas de Granada, Beas de Guadix, Benalúa de Guadix, Benalúa de las Villas, Berramaurel, Bérchules, Bubión, Busquístar, Cacín, Cádiar, Cájar, Calahorra (La), Calicasas, Campotéjar, Caniles, Cáñar, Capileira, Carataunas, Cástaras, Castilléjar,

Castril, Cenes de la Vega, Cijuela, Cogollos de Guadix, Cogollos de la Vega, Colomera, Cortes de Baza, Cortes y Graena, Cuevas del Campo, Cúllar, Cúllar Vega, Chauchina, Chimeneas, Churriana de la Vega, Darro, Dehesa de Guadix, Deifontes, Diezma, Dílar, Dólar, Dúdar, Dúrcal, Escúzar, Ferreira, Fonelas, Freila, Fuente Vaqueros, Gabias (Las), Galera, Gobernador, Gójar, Gor, Gorafe, Guadahortuna, Guadix, Guajares (Los), Gualchos, Güejar Sierra, Güevéjar, Huélago, Hueneja, Huéscar, Huétor, Huétor de Santillán, Huétor Tájar, Huétor Vega, Illora, Itrabo, Iznalloz, Jayena, Jerez del marquesado, Jete, Jun Juvilles, Láchar, Lanjarón, Lanteira, Lecrín, Lentegí, Lobras, Loja, Lugros, Lújar, Malaha (La), Maracena, Marchal, Moclín, Molvízar, Monachil, Montefrío, Montejícar, Montillana, Moraleda de Zafayona, Morelabor, Motril, Murtas, Nevada, Nigüelas, Nívar, Ogíjales, Orce, Orgiva, Otívar, Otura, Padul, Pampaneira, Pedro Martínez, Peligros, Peza (La), Pinos Genil, Pinos Puente, Pinar (El), Píñar, Taha (La), Polícar, Polopos, Pórtugos, Pulianas, Purullena, Quéntar, Rubite, Salar, Salobreña, Santa Cruz del Comercio, Santa Fe, Soportújar, Sorvillán, Torre-Cardela, Torvizcón, Trevélez, Turón, Ugíjar, Válor, Valle del Zalabí, Valle (El), Vegas del Genil, Vélez de Benaudalla, Ventas de Huelma, Villamena, Villanueva de las Torres, Villanueva Mesía, Víznar, Zafaraya, Zagra, Zubia (La) y Zújar.

Provincia de Huelva:

Huelva, Aljaraque, Almendro (El), Almonte, Alosno,l Ayamonte, Beas, Bollullos Par del Condado, Bonares, Cabezas Rubias, Calañas, Cartaya, Cerro de Andévalo (El), Chucena, Escacena del Campo, Gibraleón, Granado (El), Hinojos, Isla Cristina, Lepe, Lucena del Puerto, Manzanilla, Moguer, Niebla, Palma del Condado (La), Palos de la Frontera, Paterna del Campo, Paymogo, Puebla de Guzmán, Punta Umbría, Rociana del Condado, Rosal de la Frontera, San Bartolomé de la Torre, San Juan del Puerto, San Silvestre de Guzmán, Sanlúcar de Guadiana, Santa Bárbara de Casa, Trigueros, Valverde del Camino, Villablanca, Villalba del Alcor, Villanueva de las Cruces y Villarrasa.

Provincia de Jaén:

Alcalá la Real, Alcaudete, Bélmez de la Moraleda, Cabra de Santo Crixto, Cambil, Campillo de arenas, Carcheles, Castillo de Locubín, Frailes, Fuensanta de Martos, Guardia de Jaén (La), Hinojares, Huelma, Noalejo, Pegalajar, Pozo Alcón, Valdepeñas de Jaén y Villares (Los).

Provincia de Málaga:

Málaga, Alameda, Alcaucín, Alfarnate, Alfarnatejo, Algarrobo, Alhaurín de la Torre, Alhaurín el Grande, Almáchar, Almargen, Almogía, Alora, Alozania, Antequera, Archez, archidona, Ardales, Arenas, Benalomádena, Benamargosa, Benamocarra, Borge (El), Burgo (El), Campillos, Canillasd e Aceituno, Canillas de Albaida, Cañete la Real, Carratraca, Cártama, Casabermeja, Casarabonela, Coín, Colmenar, Comares, Competa, Cuevas Bajas, Cuevas de San Marcos, Cuevas del Becerro, Cútar, Frigiliana, Fuente de Piedra, Guaro, Humilladero, Iznate, Macharavialla, Mijas, Moclinejo, Monda, Mollina, Nerja, Periana, Pizarra, Rincón de la Victoria, Riogordo, Salares, Sayalonga, Sesdella, Sierra de Yegüas, Teba, Torremolinos, Torrox, Totalán, Tolox, Valle de Abdalajís, Vélez-Málaga, Villanueva de Algaidas, Villanueva de Tapia, Villanueva del Rosario, Villanueva del Trabuco, Viñuela y Yunquera.

Provincia de Sevilla:

Albaida del Aljarafe, Algamitas, Aznalcázar, Aznalcollar, Badolatosa, Benacazón, Bollullos de la Mitación, Carrión de los Céspedes, Castilleja del Campo, Corrales (Los), Gerena, Huévar, Martín de la Jara, Olivares, Pilas, Roda de Andalucía (La), Sanlúcar la Mayor, Saucejo (El), Umbrete, Villafranco del Guadalquivir, Villamanrique de la Condesa y Villanueva del Ariscal.

Comunidad Autónoma de Aragón

Provincia de Huesca:

Bielsa, Fanlo, Hoz de Jaca, Panticosa, Sallent de Gállego, Salinas y Torla.

Comunidad Autónoma de Cataluña

Provincia de Barcelona:

Montesquiu, Rupit y Pruit, Sant Pere de Torelló, Sant Quirze de Besora, Sant Vicenç de Torelló, Santa María de Corco, Tavertet y Torrelló.

Provincia de Girona:

Girona, Aiguaviva, Albanyà, Amer, Anglès, Argelaguer, Avinyonet de Puigventós, Banyoles, Bàscara, Besa lú, Bescanó, Beuda, Biure, Boadella d'Emporrà, Bordils, Borrassà, Cabanelles Camós, Campdevànol, Camprodón, Canet d'Adri, Castellfollit de la Roca, Cellera de Ter (La), Celrà, Cervià de Ter, Cistella, Colomers, Cornellà de Terri, Crespià, Darnius, Esponellà, Far d'Empordà, Figueres, Flaçà, Foixá, Fontcoberta, Garrigàs, Garrigoles, Jafre, Juià, Lladó, Llanars, Llers, Madremanya, Maià de Montcal, Maçanet de Cabrenys, Mieres, Molló, Monfagut, Navata, Ogassa, Olot, Ordis, Osor, Palau de Santa Eulalia, Palol de Revardit, Pera (La), Planes d'Hostoles (Les), Pont de Molins, Pontós, Porqueres, Preses (Les), Quart , Ripoll, Riudaura, Rupià, Sales de Llierca, Salt, Sant Feliú de Pallerols, Sant Ferriol, Sant Gregori, Sant Jaume de Llierca, Sant Joan de les Abadeses, Sant Joan de Mollet, Sant Jordi Desvalls, Sant Joan de les Abadeses, Sant Julià del Llor i Bonàmati, Santa Llogaia d'Alguema, Santa Pau, Sarrià de Ter, Saus, Serinyà, Siurana, Susqueda, Tallada d'Empordà (La), Terrades, Torroella de Fluvià, Tortellà, Ultramort, Vall de Vianya (La), Vall d'En Bas (La), Vallfogona de Ripollés, Ventalló, Verges, Vidrà, Vilablareix, Viladesens, Vilademuls, Vilafant, Vilaür, Villalonga de Ter, Vilamalla, Vilanant y Vilopriu.

Comunidad Autónoma de Extremadura

Provincia de Badajoz:

Valencia de Mombuey.

Comunidad Autónoma de Murcia

Provincia de Murcia:

Murcia, Abanilla, Abarán, Aguilas, Albudeite, Alcantarilla, Aledo, Alguazas, Alhama de Murcia, Archena, Beniel, Blanca, Campos del Río, Ceutí, Cieza, Fortuna, Fuente Alamo, Librilla, Lorca, Lorquí, Mazarrón, Molina de Segura, Mula, Ojós, Pliego, Puerto Lumbreras, Ricote, San Javier, San Pedro del Pinatar, Santomera, Torre-Pacheco, Torres de Cotillas (Las), Totana, Ulea, Villanueva del Río Segura.

Comunidad Autónoma Valenciana

Provincia de Alicante:

Alacant, Agost, Aigües, Albatera, L'Alfás del Pí, Algorfa, Algueña, Almoradí, Aspe, Benejúzar, Benferri, Benidorm, Benijófar, Bigastro, Busot, Callosa de Segura, Campello (El), Catral, Cox, Crevillent, Daya Nueva, Daya Vieja, Dolores, Elda, Elx, Finestrat, Formentera del Segura, Granja de Rocamora, Guardamar del Segura, Hondón de las Nieves, Hondón de los Frailes, Jacarilla, Monover, Montesinos (Los), Monforte del Cid, Mutxamel, Novelda, Orihuela, Orxeta, Petrer, Pilar de la Horadada, Pinoso, Rafal, Redován, Relleu, Rojales, Romana (La), San Fulgencio, San Isidro, San Juan de Alicante, San Miguel de Salinas, San Vicent del Raspeig, Santa Pola, Sella, Tibi, Torrevieja, Vila Joiosa (La) y Xixona.

ANEXO III

Glosario de términos

Aceleración sísmica: Aceleración del movimiento del terreno producido por las ondas sísmicas generadas por un terremoto.

Cartografía oficial: La realizada con sujeción a las prescripciones de la Ley 7/1986, de Ordenación de la Cartografía, por las Administraciones Públicas o bajo su dirección y control.

Coordenadas hipocentrales: Son las coordenadas del foco sísmico. Están formadas por las coordenadas epicentrales y la profundidad focal.

Elementos en riesgo: Población, edificaciones, obras de ingeniería civil, actividades económicas y servicios públicos que se encuentren en peligro en un área determinada.

Epicentro: Proyección del hipocentro sobre la superficie terrestre.

Hipocentro: Punto donde se produce el terremoto.

Intensidad sísmica: Número escalado que indica los daños o efectos de un terremoto en un lugar determinado sobre las personas, estructuras y material terrestre. La escala utilizada en Europa y la oficial

en España es la MSK, con grados de I a XII.

Isosista: Línea que une puntos de igual intensidad sísmica.

Magnitud: Cuantificación de la energía liberada por un terremoto basada en la medida instrumental de la amplitud de las ondas sísmicas. Hay diferentes escalas dependiendo del tipo de onda medida. La más utilizada es la escala de Richter.

Método determinista: Método de cálculo de la peligrosidad sísmica basado en la hipótesis de que la sismicidad futura será igual que la ocurrida en el pasado.

Método probabilista: Método de cálculo de la peligrosidad sísmica basado en que, conocida la sismicidad pasada, se pueden establecer las leyes estadísticas que definen los fenómenos sísmicos de una zona.

Método zonificado: Método de cálculo de la peligrosidad sísmica en el que se consideran las fuentes sismogenéticas, es decir, zonas de características sismotectónicas comunes.

Movilización: Conjunto de operaciones o tareas para la puesta en actividad de medios, recursos o servicios que hayan de intervenir en emergencias.

Peligrosidad sísmica: Probabilidad, en términos no siempre estrictamente matemáticos, de que en un intervalo de tiempo y como consecuencia de la sismicidad y del medio de propagación de las ondas sísmicas, se supere en determinada zona un valor del parámetro (I, a, etc.) que nos mida el movimiento del suelo.

Período de retorno: Es la inversa de la probabilidad anual.

Profundidad focal: Profundidad a la que se produce un terremoto.

Réplicas: Terremotos que siguen al terremoto principal de una zona y ligados genéticamente con él.

Riesgo sísmico: Número esperado de vidas perdidas, personas heridas, daños a la propiedad y alteración de la actividad económica debido a la ocurrencia de terremotos.

Vulnerabilidad sísmica: Es el grado de pérdida de un elemento en riesgo dado, expresado en una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total), que resulta de la ocurrencia de un terremoto de una determinada magnitud.