

ORDEN CIRCULAR Nº 224/69 P.

Noviembre 1969 .

ASUNTO: APLICACION DE LA NORMA SISMORRESISTENTE PGS-1 AL PROYECTO
Y CONSTRUCCION DE CARRETERAS

Por Decreto de la Presidencia del Gobierno número 106/1969, del 16 de Enero, se establece la obligatoriedad del cumplimiento de la Norma sismorresistente PGS-1 (1968), parte A, en el Proyecto y Obra de todas las construcciones situadas en el Territorio Nacional.

La citada Norma se publicó en el B.O.E. número 30, de 4 de Febrero de 1969.

Por su carácter general, la Norma sismorresistente PGS-1 contiene gran número de disposiciones que no son de aplicación en el Proyecto o Construcción de una carretera.

Asimismo, aparecen en su articulado algunos términos, cuya exacta definición no puede detallarse en una Norma de aplicación tan amplia. Existen otras disposiciones que deben completarse por el Organismo encargado del Proyecto o la Construcción de cada tipo de estructura, que deberá clasificar las obras según su importancia y su utilización, y valorar los perjuicios que el colapso sísmico de una estructura pueda ocasionar al bien público.

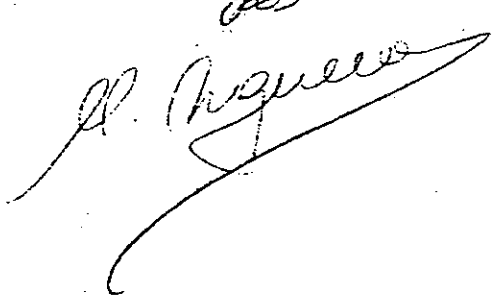
Al recoger únicamente las disposiciones de aplicación al Proyecto y Obra de los elementos estructurales de la carretera, se puso en evidencia que se podían simplificar gran número de fórmulas, reducir o agrupar conceptos e, incluso, que era conveniente alterar el orden de algunas disposiciones que, -- sin modificar las ideas fundamentales, simplificaban la aplicación práctica del articulado.

Esta labor de selección, síntesis, definición y reordenación ha dado como resultado la presente Orden Circular.

A continuación se desarrolla el articulado, que comprende además de los ámbitos de aplicación y clasificación del Territorio Nacional, el cálculo de las acciones sísmicas y las prescripciones especiales para cada elemento estructural de la carretera.

Cualquier aclaración complementaria sobre los extremos contenidos en la presente Orden Circular deberá recabarse de la División de Proyectos de esta Dirección General.

EL DIRECTOR GENERAL



- Ilmos. Sres. Inspectores Regionales
- Ilmos. Sres. Ingenieros Jefes Regionales
- Ilmos. Sres. Ingenieros Jefes Provinciales
- Ilmos. Sres. Ingenieros Jefes de División
- Sres. Ingenieros

1. GENERALIDADES

1.1. Ámbito de aplicación

La presente Norma será de aplicación a todos los Proyectos y obras de carreteras dependientes de esta Dirección General, situadas en el Territorio Nacional, cualquiera que sea su clase y su destino.

En consecuencia, deben destacarse los siguientes puntos:

a) Es imperativo y suficiente la aplicación de la normativa contenida en la presente Orden Circular, para el Proyecto o Construcción de cualquier elemento estructural de una carretera ubicada en el Territorio Nacional.

b) Es necesaria la aplicación de la Norma sismorresistente PGS-1, para el Proyecto o Construcción de cualquier estructura ajena a la carretera y dependiente de esta Dirección General.

1.2. Aplicación en Proyectos

El Autor, o Director del Proyecto, esté obligado a tener en cuenta las presentes Normas. No obstante y bajo su personal responsabilidad, puede adoptar, justificándolo debidamente, valores de las acciones sísmicas o sistemas de cálculo diferentes a los que en ellas se señalan.

En la Memoria del Proyecto, o en sus anejos, figurará un apartado con el título de "Acciones sísmicas", en el que se detallarán los valores adoptados, indicando, explícitamente, que se ajustan a las presentes Normas, o justificando, en su caso, las disposiciones y procesos de cálculo empleados.

1.3. Aplicación en Obras

La Dirección de las obras comprobará, previamente a su ejecución, el contenido del Proyecto sobre "Acciones sísmicas" y cuidará de la ejecución correcta de las soluciones adoptadas en relación con las mismas.

2. CLASIFICACION DEL TERRITORIO NACIONAL

2.1. Zonas sísmicas

El Territorio Nacional, en cuanto se refiere a acciones sísmicas, se considera dividido en tres zonas que, correlacionadas con su grado de intensidad, se definen como sigue:

- Zona A.- De sismicidad baja, sin efectos dañosos para las construcciones.
- Zona B.- De sismicidad media o apreciable, que puede ocasionar desperfectos en las construcciones; y
- Zona C.- De sismicidad acusada, capaz de ocasionar daños graves en las construcciones.

El mapa de la figura 1 define oficialmente estas zonas y anula cualquier otro mapa sísmico publicado con anterioridad a la presente Orden Circular.

Para los territorios de influencia española de latitud inferior a 35° N, no representados en la figura 1, han de hacerse estudios especiales para cada caso, puesto que se carece de datos sísmicos completos.

El indicado mapa presenta una información de carácter general. En las obras definidas como importantes, deberá complementarse esta información con un mayor conocimiento del terreno de cimentación, de las estructuras geológicas locales e, incluso, de la situación e importancia de los focos sísmicamente activos más próximos, fallas, etc.

Para estos estudios serán de gran utilidad los mapas publicados por el Instituto Geológico y Minero y por el Instituto Geográfico y Catastral.

2.2. Escala Oficial macrosísmica

Todas las referencias oficiales de intensidad que se citan en esta Orden Circular se expresan en la Escala Internacional Macrosísmica (M.S.K.).

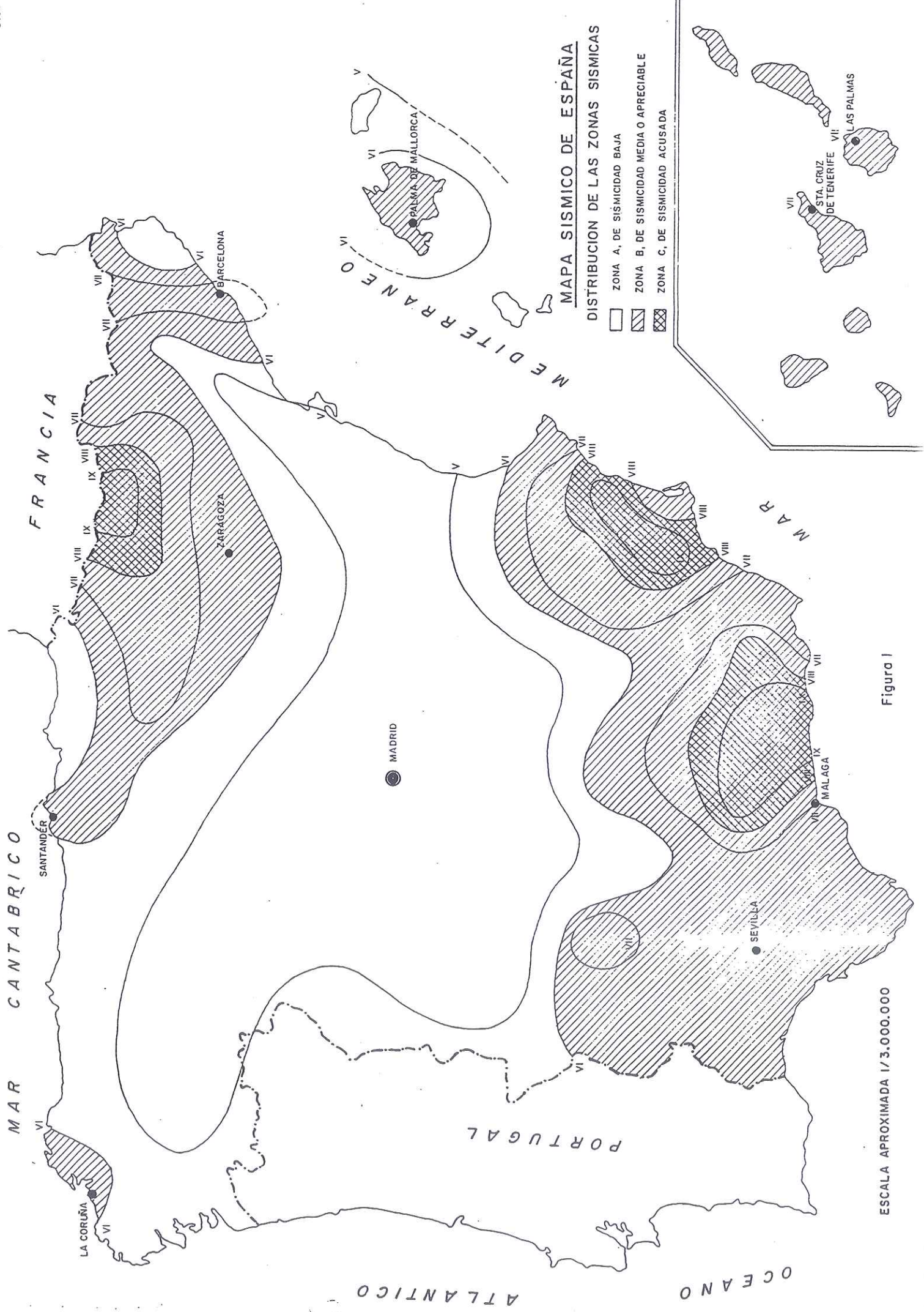


Figura I

ESCALA APROXIMADA 1/3.000.000

Dicha escala clasifica los movimientos sísmicos en doce grupos, llamados grados y numerados del I al XII, siendo el I el de menor intensidad.

2.3. Zona sísmica A (o de sismicidad baja)

Está delimitada en el territorio peninsular e incluye las islas de Menorca, Ibiza y Formentera y todos los restantes territorios sin datos de sismicidad.

El límite superior de esta zona es el grado de intensidad VI, según indica la figura 1.

En esta zona son de temer pocos movimientos sísmicos y los localizados en ella nunca han causado daños de consideración.

2.4. Zona sísmica B (o de sismicidad media o apreciable)

Está delimitada en el territorio peninsular. Además incluye las dos provincias insulares de Canarias, las islas de Mallorca y Cabrera, las ciudades de Ceuta y Melilla, las islas Chafarinas, el Peñón de Vélez de la Gomera y la Isla de Alborán.

Esta zona comprende desde el grado de intensidad VI al VIII, ambos inclusive. Para considerar el que corresponde a un punto concreto, se admite la interpolación lineal en la figura 1.

2.5. Zona sísmica C (o de sismicidad acusada)

Comprende tres regiones del territorio peninsular: Una en el Pirineo Central, otra en Levante y la tercera en Andalucía.

Dada la complejidad de estas regiones, que están representadas en el mapa de la figura 1, es aconsejable una información complementaria y en algún caso obligatoria, en atención a la importancia de la obra.

En esta zona la intensidad puede superar el grado IX, como se aprecia en la figura 1.

2.6. Ambito de aplicación de las acciones sísmicas

2.6.1. General

En todo Proyecto y sea cualquiera la ubicación de la Obra dentro del Territorio Nacional, debe cumplirse lo especificado en el epígrafe 1.2.

2.6.2. Desmontes y Terrapienes

2.6.2.1. Modificaciones en carreteras existentes

En todo Proyecto que afecte algún tramo de cualquiera de las carreteras existentes, indicadas en las figuras 2A, 2B ó 3, serán de aplicación obligatoria las prescripciones señaladas en el epígrafe 4.2.

2.6.2.2. Proyectos de nuevas vías

En los Proyectos de nuevas autopistas y nuevas carreteras nacionales ubicadas en zonas de sismicidad acusada o apreciable (zonas C o B), serán de aplicación obligatoria las prescripciones del epígrafe 4.2.

En los Proyectos de nuevas carreteras comarcales que sean de gran interés, a juicio de esta Dirección General, y estén ubicadas en zona de sismicidad acusada (zona C) serán de aplicación obligatoria las prescripciones del epígrafe 4.2.

En los Proyectos de autopistas o carreteras situadas en las zonas de baja sismicidad (zona A), no será necesario tener en cuenta los efectos sísmicos.

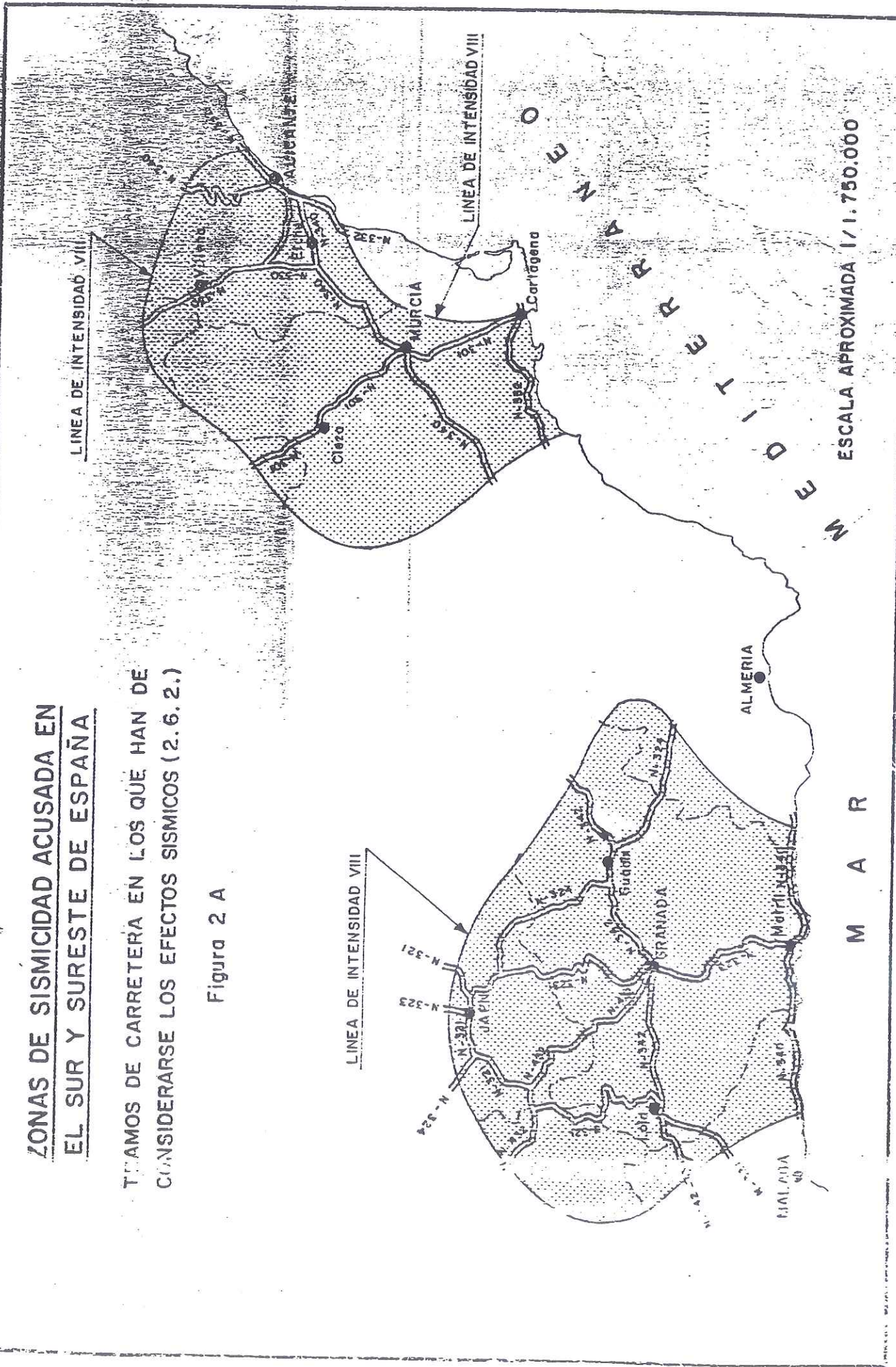
2.6.3. Puentes y Viaductos

En los Proyectos de puentes y viaductos de carreteras, serán de aplicación obligatoria las prescripciones del epígrafe 4.3., siempre que estén ubicados en zonas de sismicidad acusada o apreciable (zonas C o B).

**ZONAS DE SISMICIDAD ACUSADA EN
EL SUR Y SURESTE DE ESPAÑA**

TRAMOS DE CARRETERA EN LOS QUE HAN DE
CONSIDERARSE LOS EFECTOS SISMICOS (2.6.2.)

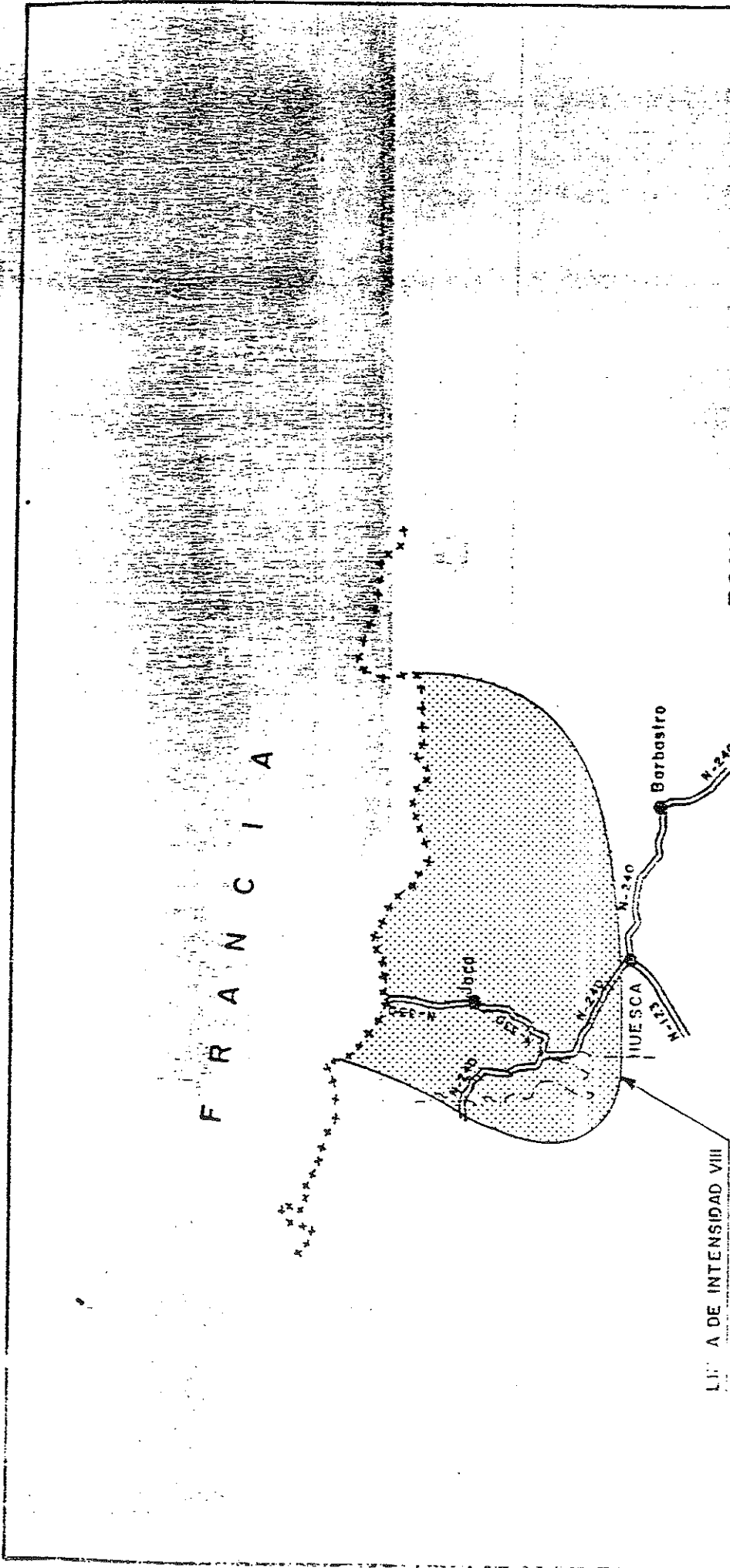
Figura 2 A



ESCALA APROXIMADA 1/1.750.000

M A R

O C E A N O



F R A N C I A

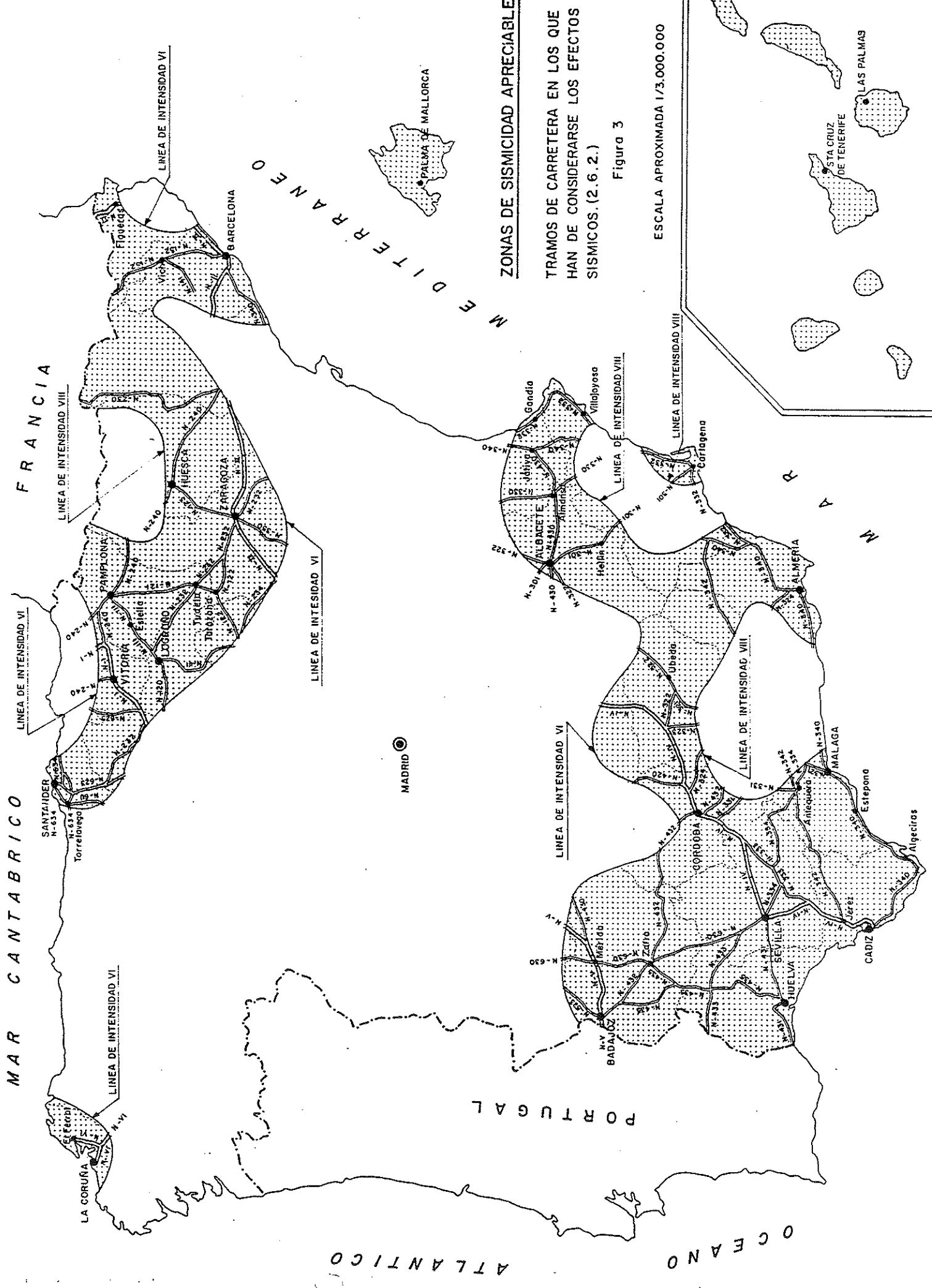
ZONA DE SISMICIDAD ACUSADA
EN EL NORTE DE ESPAÑA

TRAMOS DE CARRETERA EN LOS QUE HAN DE
CONSIDERARSE LOS EFECTOS SISMICOS (2.6.2.)

Figura 2B

ESCALA APROXIMADA 1/1.750.000

LÍNEA DE INTENSIDAD VIII



ZONAS DE SISMICIDAD APRECIABLE
TRAMOS DE CARRETERA EN LOS QUE HAN DE CONSIDERARSE LOS EFECTOS SISMICOS. (2.6.2.)

Figura 3

ESCALA APROXIMADA 1/3.000.000

2.6.4. Túneles

En los Proyectos de túneles de carreteras, serán de aplicación obligatoria las prescripciones del epígrafe 4.4., siempre que estén ubicados en zonas de sismicidad acusada o apreciable (Zonas C o B).

2.6.5. Muros

En los Proyectos de muros de carreteras, serán de aplicación obligatoria las prescripciones del epígrafe 4.5., siempre que estén ubicados en zonas de sismicidad acusada o apreciable (Zonas C o B).

2.7. Coeficiente básico C

Se define como tal, un coeficiente adimensional C , función del grado de intensidad del seísmo y del período t de oscilación del mismo.

Los valores del coeficiente básico C se dan en la TABLA I, para un período $t = 0,5$ segundos.

TABLA I (2.7.)

Valores de los coeficientes básicos C , para cada grado de intensidad, desde $G = V$ a $G = X$ y $t = 0,5$ segundos.

GRADO DE INTENSIDAD G	COEFICIENTE BASICO C
V	0,02
VI	0,04
VII	0,08
VIII	0,15
IX	0,30
X	0,60

Para otros valores del período t , diferentes de 0,5 segun-

dos, pueden calcularse los coeficientes C , mediante la fórmula

$$C_t = \frac{0.010 \times 2^{G-5}}{t}$$

en la que

t es el período de tiempo, en segundos; y

G es el valor numérico que corresponde al grado de intensidad de la escala oficial macrosísmica.

El valor de C , empleado para el cálculo del coeficiente sísmico, es independiente del tipo de obra que se estudie.

3. CALCULO DE SOLICITACIONES SISMICAS Y TENSIONES ADMISIBLES

3.1. Procedimientos de cálculo

El Autor del Proyecto puede realizar los cálculos justificativos siguiendo uno de los dos criterios siguientes:

- Estudio estático de la construcción sometida a una sollicitación considerada como equivalente a los efectos que producen las sacudidas sísmicas.
- Estudio dinámico de la construcción sometida a las sacudidas sísmicas.

La presente Orden Circular establece métodos y fórmulas de cálculo de acuerdo con el primer criterio, que podrán ser aplicados en todos los casos, excepto en los establecidos en el epígrafe 4.3.1.3.

3.2. Sistema equivalente

Los efectos de un seísmo sobre una construcción quedan establecidos, a efectos de cálculo, por el sistema mecánico equivalente de las fuerzas que se señalan a continuación y que constituyen las acciones sísmicas.

3.2.1. Coficiente sísmico S

El coeficiente sísmico S queda definido por un producto -

de dos factores

$$S = \omega_n \cdot \bar{S}$$

expresión en la que

ω_n es el factor de intensidad; y

\bar{S} es el factor de fundación.

3.2.1.1. Factor de intensidad

El factor de intensidad ω_n caracteriza mecánicamente el movimiento del suelo provocado por un seísmo y la probabilidad de que suceda en el territorio en estudio.

El factor de intensidad ω_n , está dado por la fórmula

$$\omega_n = C \cdot R_n$$

en la que

C es el coeficiente básico, definido en el epígrafe 2.7.; y

R_n es el riesgo sísmico, definido por la expresión

$$R_n = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^n$$

en la que

n es el número de años para el cual se calcula R_n ; y

T es el período de retorno para todos los seísmos desde grado VII en adelante, con datos hasta 1965 y para todo el territorio en su conjunto.

Período de retorno es el tiempo transcurrido, en años, para que haya acontecido un seísmo del grado de intensidad considerado.

Los valores del riesgo sísmico para un período de retorno de 50 años, R_{50} , se dan en la Tabla II, para cada grado de intensidad.

TABLA II (3.2.1.1.)

Riesgo sísmico

Grado de intensidad de la escala macrosísmica	Riesgo sísmico R ₅₀
VII	1,00
VIII	0,90
IX	0,73
X	0,52

Para el territorio nacional es admisible la siguiente --
aproximación

$$K_n = 50 \frac{n + 100}{150}$$

en la que

K_n es el factor de intensidad calculado directamente para un período de riesgo de n años; y

R_{50} es el factor de intensidad obtenido con R_{50}

Esta fórmula directa es válida para

$$50 \leq n \leq 200$$

Si fuesen precisos períodos de tiempo más largos, sería necesaria una mayor información sobre datos actualizados de \underline{T} , en la zona de que se trate. Con ellos se hallaría R_n y, posteriormente, K_n .

3.2.1.2. Factor de fundación

Los valores aplicables del factor de fundación, F , están considerados en la Tabla III, en función de la naturaleza del terreno y del tipo de cimentación.

TABLA III (3.2.1.2)

Valores del factor de fundación

Clase de terreno Tipo de cimentación	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	$c < 300$ Fangos	$300 < c < 1000$ Gravas y arenas	$1000 < c < 2000$ Rocas blandas y gravas y arenas conso- lidadas	$2000 < c < 4000$ Rocas compactas	$c > 4000$ Rocas muy com- pactas
Pilotes resistentes por el fuste	2,0	1,0	0,7		
Pilotes resistentes por la punta	1,8	0,9	0,6		
Zapatas aisladas	2,2	1,1	0,8	0,4	0,3
Zapatas corridas	2,1	1,0	0,7	0,4	0,3
Losas	1,4	0,7	0,5	0,3	0,2

c = velocidad de propagación de las ondas elásticas de compresión, en m/s.

3.2.1.2.1. Observaciones a la Tabla III (3.2.1.2.)

3.2.1.2.1.1. Se entiende por rocas muy compactas: las plutónicas, volcánicas densas, areniscas silíceas cementadas, cuarcitas, dolomías y calizas masivas.

Se entiende por rocas compactas: las anteriores algo tectonizadas o fracturadas, calizas algo margosas, areniscas cementadas y pizarras.

Se entiende por rocas blandas: las margas y arcillas compactas y cualquier otro tipo de roca que no sea asimilable a las anteriores.

3.2.1.2.1.2. Para utilizar el concepto de rocas muy compactas, la superficie debe estar situada bajo la zona decomprimida o alterada.

Se llama límite de la zona decomprimida o alterada la superficie que claramente se deduce de los perfiles o líneas de refracción sísmica. En los casos dudosos, debe adoptarse, para definir dicha superficie, el criterio del salto del valor de la velocidad de las ondas elásticas c .

3.2.1.2.1.3. Si la superficie de cimentación está situada bajo el nivel freático, en el caso 3 se tomarán los valores correspondientes al 2; en el caso 2, los correspondientes al 1.

3.2.1.2.1.4. El mejor criterio para la elección del terreno es el empleo de la velocidad de las ondas elásticas c , de acuerdo con los valores fijados en la Tabla III. Únicamente si c es desconocido, puede asimilarse el terreno a uno de los indicados en dicha Tabla.

3.2.2. Acción sísmica horizontal F

La estructura en estudio se calculará con una acción sísmica horizontal, aplicada en cada elemento, de valor,

$$F = S.Q$$

expresión en la que

S es el coeficiente sísmico definido en el epígrafe 3.2.1.; y Q es la carga vertical que gravita directamente sobre el elemento.

Dentro del plano horizontal, la fuerza F puede tomar cualquier dirección y sentido, que para el cálculo se elegirán de forma que den los resultados más desfavorables en cada caso.

Como simplificación, puede admitirse, en general, la comprobación de la estructura con F actuando, únicamente, en dos direcciones ortogonales.

3.2.3. Acción sísmica vertical V

La acción sísmica vertical, cuando se considere, se calcu

lará en cada elemento, por la fórmula:

$$V = \pm 0,5 F$$

en la que

F es la fuerza sísmica horizontal, definida en el epígrafe

3.2.2.

El signo \pm indica que el sentido de V puede ser hacia arriba, o hacia abajo.

3.2.4. Valores de Q

Las cargas verticales Q que se empleen para calcular F , e indirectamente V , serán las determinadas en los Reglamentos, -- Normas e Instrucciones correspondientes.

3.3. Simultaneidad de cargas y acciones

La hipótesis de simultaneidad de acciones y cargas, para los cálculos sismorresistentes de las diversas estructuras, será la siguiente:

- Concarga, es decir cargas que actúan de una manera fija sobre un elemento estructural. Estará compuesta por el peso propio del elemento y las cargas permanentes.
- Sobrecarga de uso.
- Sobrecarga de nieve, afectada de un coeficiente reductor del cincuenta por ciento (50%).
- Acciones del viento, afectadas de un coeficiente reductor del cincuenta por ciento (50%).
- Asientos en el terreno, y
- Acciones sísmicas

Los valores de Q , dados en el epígrafe 4 para cada tipo de estructura, con frecuencia no incluyen alguna de las acciones -- anteriormente enumeradas. Estos valores de Q sólo se emplearán para definir F y V ; pero al simultanear estas fuerzas sísmicas con las demás acciones, se tendrán en cuenta todas ellas y con

la combinación de valores que dé las mayores tensiones sobre cada elemento en estudio, aún cuando no correspondan al estado de carga que definió Q .

3.4. Tensiones admisibles y coeficientes de ponderación

En el estado de acciones previsto en el epígrafe 3.3., se comprobarán las tensiones en los distintos elementos, si los cálculos se realizan por métodos elásticos, o se evaluarán los coeficientes de seguridad, si se sigue el método de rotura.

Quando no existan en los Reglamentos, Normas o Instrucciones valores fijados para las tensiones y coeficientes admisibles, se adoptarán los de la Tabla IV.

TABLA IV (3.3.2.)

Tensiones admisibles y coeficientes de ponderación

Material del elemento estructural	CALCULO ELASTICO (1) — Tensiones admisibles	CALCULO A ROTURA (2) — Coeficientes de minoración de la resis- tencia del ma- terial
Terreno	1,5 t	
Fábrica (ladrillo, mamposte- ría, sillería, etc)	2,0 f	
Hormigón en masa	1,5 h	
Hormigón armado y pretensado; a) Para hormigón	1,5 h	h = 1,50
b) Para acero	1,5 a	a = 1,10
Acero	1,5 a	a = 1,10

(1) Siendo el valor de la tensión admisible del material en los distintos estados de cargas en que no intervienen las acciones sísmicas.

(2) En todos los casos se adoptará para el coeficiente de mayoración de cargas, el valor $\gamma = 1$.

4. PRESCRIPCIONES ESPECIFICAS PARA LOS DIFERENTES ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA DE LA CARRETERA

4.1. General

Los elementos de la carretera que quedarán afectados por la presente Orden Circular serán los siguientes:

- Desmontes y terraplenes
- Puentes y viaductos
- Túneles
- Muros

Todos los demás elementos de la carretera no precisan estudio sismorresistente alguno.

A continuación se estudian sus correspondientes prescripciones específicas.

4.2. Desmontes y Terraplenes

4.2.1. Ambito de aplicación de las acciones sísmicas en desmontes y terraplenes

Véase lo indicado en el epígrafe 2.6.2.

4.2.2. Coefficiente sísmico S

Para los cálculos de desmontes y terraplenes, se empleará un coeficiente S con factor de intensidad correspondiente a un riesgo sísmico R en cincuenta años (50).

El factor de fundación será igual a 1, en todos los casos.

4.2.3. Valores de las acciones F y V

En los cálculos de estabilidad de desmontes y terraplenes se considerará una acción sísmica horizontal F, en la dirección más desfavorable, igual al producto del coeficiente S, definido en el epígrafe 4.2.2., por el coeficiente del terreno y por el peso propio.

En los cálculos sísmicos de desmontes y terraplenes, no será necesario considerar la acción vertical V.

4.2.4. Normas adicionales

4.2.4.1. En la construcción de terraplenes se prescindirá, en lo posible, de materiales muy arcillosos y, en cualquier caso, se compactarán con una densidad superior al 95% de la obtenida mediante el ensayo Próctor normal, y con una humedad superior a la que corresponda a dicha densidad máxima.

4.2.4.2. En los cálculos de estabilidad se emplearán los coeficientes de cohesión y rozamiento deducidos de los ensayos estáticos y se prescindirá del posible incremento de la presión intersticial, salvo que se justifique adecuadamente, mediante ensayos dinámicos, la modificación de ambos coeficientes. En este caso, se podrá tener en cuenta el posible incremento de presión intersticial en los terrenos impermeables semisaturados, o saturados.

4.2.4.3. Se eludirá, en lo posible, la construcción de carreteras, aunque los terraplenes sean mínimos, sobre terrenos echadizos no compactados, limosos y arenosos de consistencia muy floja y turbas. Cuando no sea posible evitarlo, se tendrá en cuenta que un terremoto puede ocasionar importantes asientos que destruirán la calzada y harán intransitable la vía. Si no se pueden eludir los terrenos antes citados, se estudiará la posibilidad de construir la carretera sobre cimentaciones profundas con pilotes, a modo de estructura enterrada.

4.2.4.4. En el proyecto y Construcción de carreteras para las que sea obligatoria la consideración de las acciones sísmicas, se analizarán las pendientes y taludes naturales de las laderas por las que discurren, evitando, en lo posible, aquellas cuyos coeficientes de seguridad, teniendo en cuenta la acción sísmica horizontal definida en el epígrafe 4.2.3., sean inferiores a 1,2 y las zonas en las que se hayan producido, anteriormente, movimientos del terreno.

Dada la dificultad de estimar correctamente los efectos de las fuerzas sísmicas, en la zona C se procurará huir de laderas inestables, alteradas o fisuradas macro o microscópicamente. Los desmontes con fuertes pendientes en rocas débiles, fracturadas y quebradizas son igualmente desaconsejables en la citada zona.

4.2.4.5. Puede prescindirse de calcular a efectos sísmicos aquellas partes de obra cuya destrucción ocasione daños fácilmente reparables, o que no inutilicen la carretera.

4.3. Puentes y Viaductos

4.3.1. Ámbito de aplicación de las acciones sísmicas en los puentes y viaductos

4.3.1.1. Véase lo indicado en el epígrafe 2.6.3.

4.3.1.2. Los puentes y viaductos importantes para carreteras se proyectarán de acuerdo con un informe geotécnico detallado, extendido a toda la zona que afecta, lo que, normalmente, exigirá reconocimientos con sondes mecánicos y geofísicos, no limitados exclusivamente a las zonas de apoyo.

En la práctica, se considerarán puentes y viaductos importantes aquéllos que cumplan todas de las condiciones siguientes:

- Longitud total superior a 50 m
- Luz mayor superior a 15 m

IMD previsible en el año de redacción del Proyecto superior a 2000 vehículos/día

4.3.1.3. Para puentes de luz superior a 50 metros, situados en las zonas de actividad sísmica acusada (zona C), deberán realizarse estudios dinámicos. Cuando la luz supere los 100 metros, se realizarán además los oportunos ensayos dinámicos en laboratorio de reconocida solvencia.

4.3.2. Elementos estructurales básicos del puente o viaducto

4.3.2.1. Enumeración de los elementos estructurales básicos

Se consideran elementos estructurales básicos, la cimentación, pilas, estribos, vigas y tableros, así como torres y enclajes de los puentes colgantes y conducciones autoportantes - en acueductos y cloductos.

4.3.2.2. Coeficiente sísmico S

Para el cálculo de los elementos estructurales básicos se empleará un coeficiente S con factor de intensidad correspondiente a un riesgo sísmico R en ciento cincuenta años (150), - como mínimo.

El factor de fundación se obtendrá de la Tabla III (3.2.1.2.), según la naturaleza del terreno, de la cimentación y de la altura del nivel freático con respecto a aquélla.

4.3.2.3. Valores de las acciones F y V

4.3.2.3.1. En los cálculos de estabilidad, resistencia, deformaciones y asentamientos de los elementos estructurales básicos del puente, o viaducto, se considerará una acción sísmica horizontal F, en la dirección más desfavorable, igual al producto del coeficiente S, definido en el epígrafe 4.3.2.2., por Q.

4.3.2.3.2. Se considerará, a efectos sísmicos, que el valor de Q es el debido, únicamente, al peso propio, con exclusión del viento, nieve y de las sobrecargas de explotación.

Las sobrecargas de explotación se incluirán tan solo en el caso de puentes o viaductos importantes, de acuerdo con lo dicho al respecto en el epígrafe 4.3.1.2.

4.3.2.3.3. En los cálculos de estabilidad, resistencia, deformaciones y asentos de los elementos estructurales básicos del puente o viaducto, se considerará una acción sísmica vertical V , igual a la mitad de F , definida en el epígrafe 4.3.2.3.1., actuando en ambos sentidos.

4.3.2.3.4. Las fuerzas F y V , que actuarán simultáneamente con las demás acciones de forma que produzcan los efectos más desfavorables, se supondrán aplicadas en el centro de gravedad de cada elemento estructural.

4.3.2.4. Normas adicionales

4.3.2.4.1. En general, se puede prescindir de los momentos torsores originados cuando las acciones F y V no pasen por el centro de torsión, salvo en los casos siguientes:

- En puentes o viaductos cuya planta presente fuertes disimetrías.
- En puentes o viaductos de planta simétrica, pero cuya mayor dimensión exceda de dos veces y media (2,5) la menor.

4.3.2.4.2. Los apoyos se cimentarán donde el terreno sea estable, no amenazado por posibles movimientos próximos y, si es factible, bajo la zona decomprimida y alterada. Se admitirá que la capacidad de carga del terreno, a efectos sísmicos, puede incrementarse en un 30%.

4.3.2.4.3. Cuando los apoyos estén sumergidos, se considerará el efecto hidrodinámico del seísmo, en su dirección más desfavorable y en el supuesto de aguas medias. Para estos cálculos, pueden utilizarse las fórmulas simplificadas de Westergaard.

4.3.2.4.4. En los puentes isostáticos, se dispondrán topes y anclajes en las vigas, o tramos apoyados, que resistan los esfuerzos horizontales deducidos, sin que impidan los desplazamientos previstos en el cálculo. Los apoyos se dimensionarán con anchura suficiente para evitar la caída de los elementos que descansan sobre aquéllos.

4.3.2.4.5. Igualmente, entre elementos apoyados próximos, se dispondrán rellenos de materiales blandos que amortigüen y absorban las posibles choques entre ellos.

4.3.2.4.6. En toda la normativa precedente, se han considerado puentes y viaductos en los que los pilares no están unidos entre sí a diversas alturas del fuste, formando un entramado. Para estas pilas entramadas (de las que se excluyen los puentes colgantes), debe considerarse la "Norma sismorresistente PGS-1 (1968) parte A", Decreto 106/1969, de 16 de Enero, de la Presidencia del Gobierno, publicada en el B.O.E. número 30, de 4 de Febrero de 1969.

4.3.3. Otros elementos del puente o viaducto

4.3.3.1. Enumeración de estos elementos

Se consideran como tales, los elementos de cerramiento, pretilas de obra y pináculos, siempre que sean independientes de la estructura resistente del puente o viaducto.

4.3.3.2. Coefficiente sísmico S

4.3.3.2.1. Para el cálculo de los elementos de cerramiento independientes de la estructura, se empleará un coeficiente sísmico S, dado por la expresión

$$S = 0,1 \cdot I_{50} - 0,20$$

en la que

I_{50} es el factor de intensidad correspondiente a un riesgo sísmico R en cincuenta años (50).

El coeficiente S antes definido sólo se tendrá en cuenta cuando su valor sea positivo.

4.3.3.2.2. Para el cálculo de los pretiles de obra y pináculos y, en general, de los elementos independientes de la estructura que están libres por su extremo superior, se empleará un coeficiente sísmico S , dado por la expresión:

$$S = 0,1 \cdot 50 \div 0,20$$

en la que

50 es el factor de intensidad correspondiente a un riesgo sísmico R en cincuenta años (50).

4.3.3.3. Valores de las acciones F y V

4.3.3.3.1. En los cálculos de estabilidad y resistencia de cerramientos y pretiles de obra, independientes de la estructura, se considerará una acción sísmica horizontal F , normal al plano de estos elementos, e igual al producto del coeficiente S , definido en el epígrafe 4.3.3.2. por Q .

4.3.3.3.2. En los cálculos de estabilidad y resistencia de pináculos y elementos análogos independientes de la estructura, se considerará una acción sísmica horizontal F , en su dirección y sentido más desfavorable, e igual al producto del coeficiente S , definido en el epígrafe 4.3.3.2.2., por Q .

4.3.3.3.3. Se considerará, a efectos sísmicos, que el valor de Q indicado en los epígrafes 4.3.3.3.1. y 4.3.3.3.2. es el debido únicamente al peso propio del elemento estudiado.

4.3.3.3.4. En los cálculos sísmicos de elementos independientes de la estructura del puente, no es necesario considerar la acción vertical V .

4.3.3.4. Normas adicionales

Véase lo indicado en el epígrafe 4.5., para su aplicación en muros de aletas de estribos.

Véanse también los epígrafes 4.5.4.7.4. y 4.5.4.7.5., para pretilos de hormigón en masa, o de fábrica de cerámicos.

4.4. Túneles

4.4.1. Ámbito de aplicación de las acciones sísmicas en los túneles

Véase lo indicado en el epígrafe 2.6.4.

4.4.2. Normas adicionales

4.4.2.1. Los túneles de carretera deberán revestirse o reforzarse en sus boquillas y donde sea preciso por la naturaleza o estado del terreno, del cual se habrán efectuado los estudios geológicos y geotécnicos necesarios. Cuando el túnel vaya revestido, ha de garantizarse la perfecta unión del revestimiento con el terreno.

4.4.2.2. En lo posible, los emboquillados se elegirán en zonas estables de la montaña y se considerarán adecuadamente los efectos de los posibles empujes o movimientos del terreno.

4.5. Muros

4.5.1. Ámbito de aplicación de las acciones sísmicas en muros

Véase lo indicado en el epígrafe 2.6.5.

4.5.2. Coefficiente sísmico S

4.5.2.1. Para el cálculo de muros de contención de tierras, se empleará un coeficiente S con factor de intensidad correspondiente a un riesgo sísmico R en cincuenta años (50).

4.5.2.2. Si la destrucción del muro puede dar lugar a corrimientos de tierras que hagan temer la ruina de inmuebles con pérdidas humanas, o interrupción en carreteras o líneas de conducción de energía de gran importancia nacional o regional, el coeficiente S se determinará con factor de intensidad correspondiente a un riesgo sísmico R en doscientos años (200).

4.5.2.3. El factor de fundación se obtendrá de la Tabla III (3.2.1.2.), según la naturaleza de la cimentación, del terreno y de la altura del nivel freático.

4.5.3. Valores de las acciones F y V

4.5.3.1. En los cálculos de estabilidad, resistencia, deformaciones y asentos de muros de contención de tierras, se considerará una fuerza sísmica horizontal F , en la dirección que combinada con las demás acciones resulte más desfavorable, e igual al producto del coeficiente S , definido en el epígrafe 4.5.2., por Q .

4.5.3.2. Se considerará, a efectos sísmicos, que el valor de Q es el debido al peso propio del muro, empuje de tierras, y sobrecargas eventuales. La carga debida a la nieve se afectará de un coeficiente reductor de cincuenta centésimas (0,50).

4.5.3.3. En los cálculos sísmicos de muros de contención de tierras, no es necesario considerar la acción vertical V .

4.5.4. Normas adicionales

4.5.4.1. Son recomendables disposiciones en planta con centro de simetría.

Las plantas sin centro de simetría, tales como L, de forma en L, no son aconsejables. Cuando sea preciso emplear estas disposiciones, deben descomponerse, mediante juntas de dilatación planas, en elementos que cumplan sensiblemente la condición señalada.

4.5.4.2. La anchura de las juntas no será inferior a dos centímetros, ni al doble de la suma de los desplazamientos horizontales que puedan sufrir los dos bloques que separan la referida junta.

Dicho desplazamiento, , puede calcularse para cada bloque mediante la expresión:

$$\Delta = \frac{g_n}{4 \cdot 2} t^2 S = 25 t^2 S$$

en la que g_n es la aceleración de la gravedad normal, t es el período propio de oscilación de la construcción; y S es el coeficiente sísmico.

La primera fórmula es dimensional. En la segunda, aproximada, debe ponerse t en segundos, para obtener Δ en centímetros.

Para un muro puede emplearse la expresión

$$t = 2 \cdot L \sqrt{\frac{\rho}{3E}}$$

en la que L es la longitud del muro entre juntas, ρ es la densidad del material, E es el módulo de elasticidad

Esta fórmula es dimensional.

4.5.4.3. No deben existir enlaces entre los distintos bloques separados por juntas.

En este sentido, no deben utilizarse las juntas de dilatación conseguidas por el apoyo de elementos o libre dilatación de un bloque sobre otro.

Igualmente, los cubrejuntas y materiales de relleno de juntas no deben ser capaces de transmitir esfuerzos de importancia.

4.5.4.4. El sistema elegido para la cimentación de un muro será homogéneo en cada uno de los bloques a que pueda estar fraccionada, no admitiéndose distintos sistemas dentro de la misma unidad.

--- Cuando el terreno presente discontinuidades debidas a frac

turas u otras causas, las cimentaciones se dispondrán de manera que las situadas a cada lado de la discontinuidad constituyan unidades independientes.

4.5.4.5. En caso de cimentaciones discontinuas, por pozos, pilotes, etc, deberán enlazarse entre sí todos los puntos de apoyo sobre el terreno, mediante vigas de atado que tiendan a evitar desplazamientos horizontales diferenciales.

4.5.4.6. El muro se anclará cuidadosamente a los elementos de la cimentación, con el fin de evitar desplazamientos relativos entre ésta y aquél.

4.5.4.7. Prescripciones para los muros de fábrica

4.5.4.7.1. Se entiende por muros de fábrica, aquéllos contruídos con elementos pétreos o cerámicos de pequeños dimensiones, enlazados entre sí, disponiendo generalmente una capa de mortero entre sus juntas; o los contruídos con material que adquiere su consistencia en obra, como es el hormigón en masa.

Las prescripciones dadas en el epígrafe 4.5.4.7. deberán observarse, por tanto, en muros de las características siguientes:

- Muros de sillería
- Muros de mampostería
- Muros de ladrillo
- Muros con piezas de mortero de hormigón
- Muros de hormigón en masa.

4.5.4.7.2. Se proscriben los muros de adobe o tapial en las obras ubicadas en las zonas B y C.

4.5.4.7.3. Se proscriben los muros de hormigón sin finos en las obras ubicadas en las zonas B y C.

4.5.4.7.4. Los muros de fábrica contruídos en las zonas B y C deben reforzarse mediante encadenados horizontales y verticales, constituyendo una retícula de elementos de hormigón armado o metálicos.

4.5.4.7.4.1. Entre cada dos elementos paralelos del encadenado, no habrá una separación mayor de cinco metros. La diagonal de un rectángulo del retículo que forma el encadenado no será mayor que 50 veces el espesor del muro, descontando las cámaras de aire, si las hubiere.

4.5.4.7.4.2. el cálculo de los elementos de encadenado se realizará a partir de los esfuerzos producidos por el seismo, con las tensiones máximas señaladas en el epígrafe 4.5.3.

Para el cálculo de cada retícula, se tendrán en cuenta los esfuerzos normales a su plano y los contenidos en él, calculándose, en este último caso, como sistema triangulado con diagonales ficticias mecánicamente equivalentes a la resistencia a compresión de la fábrica.

4.5.4.7.4.3. Las dimensiones de las secciones resistentes de los encadenados deben sujetarse a las prescripciones mínimas siguientes:

4.5.4.7.4.3.1. Los encadenados de hormigón tendrán las siguientes dimensiones:

- Anchura o espesor

La del muro, que puede reducirse, en caso de muros con paramento visto, en la cantidad mínima precisa para su ocultación por el material de revestimiento.

- Canto o altura

En muros de carga, 15 centímetros

Los muros sin función resistente, 7 centímetros.

La armadura mínima longitudinal para encadenados en muros de carga estará formada por 4 ϕ 10, uno próximo a cada vértice de la sección normal. Si las dimensiones de la sección recta de la cadena excediesen los 25 centímetros, se colocarán ϕ 10, igualmente espaciados, de manera que su separación no exceda de 25 centímetros.

En muros sin función resistente, la armadura longitudinal estará constituida por 2 ϕ 10, colocados en el eje mayor de la sección, próximos a sus vértices.

Las armaduras transversales estarán formadas, como mínimo, por ϕ 5 y separación no superior al espesor del elemento, sin exceder 25 centímetros.

Las secciones de acero señaladas se entienden para un material de $T_k = 2.000 \text{ kg/cm}^2$. Para otros valores, pueden reducirse las cuantías proporcionalmente al cociente de la resistencia característica del material empleado y el valor de T_k .

4.5.4.7.4.3.2. Los encadenados metálicos estarán constituidos por perfiles laminados, cuyas secciones se determinarán por los procedimientos ordinarios de cálculo.

4.5.4.7.5. Encadenados en muros con borde libre (parapetos, cercas, etc).

Se realizará el encadenado de coronación, y los encadenados verticales se anclarán a la cimentación.

Si el cálculo demuestra que no se producen tracciones en la fábrica, podrá prescindirse de los encadenados.

4.5.4.7.6. Los encadenados precisos podrán incorporarse en el muro, disponiendo las armaduras necesarias, y, si fuera preciso, en las zonas donde se sitúen aquéllos, se utilizará un hormigón de la dosificación conveniente.

4.5.5. Prescripciones para estructuras de hormigón armado

4.5.5.1. Observaciones generales

En las estructuras de hormigón armado, es preciso cuidar especialmente los enlaces entre los distintos elementos y disponer armaduras secundarias que puedan absorber esfuerzos anormales producidos por las sacudidas sísmicas (barras de reparto, armaduras transversales, anclajes, etc.).

4.5.5.2. Simplificación en la aplicación de las acciones sísmicas F y V

En el caso de estructuras entramadas, puede admitirse que las acciones sísmicas F y V actuarán únicamente en los nudos.

4.5.5.3. Armaduras de enlace

Debe asegurarse la imposibilidad de pandeo de las barras en las zonas de los nudos.

Madrid, Noviembre de 1969