

CAPITULO A.2 ZONAS DE AMENAZA SISMICA Y MOVIMIENTOS SISMICOS DE DISEÑO

A.2.0 - NOMENCLATURA

- A_s = coeficiente que representa la aceleración pico efectiva, para diseño, dado en A.2.2.
 I = coeficiente de importancia definido en A.2.5.2
 S = coeficiente de sitio dado en A.2.4.2.
 S_d = valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado. Máxima aceleración horizontal de diseño, expresada como una fracción de la aceleración de la gravedad, para un sistema de un grado de libertad con un período de vibración T . Está definido en A.2.6.
 T = período de vibración del sistema elástico, en segundos.
 T_c = período de vibración, en segundos, correspondiente a la transición entre la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos cortos, y la parte descendiente del mismo. (Véase A.2.6).
 T_L = período de vibración, en segundos, correspondiente al inicio de la zona de aceleración constante del espectro de diseño, para períodos largos (Véase A.2.6).

A.2.1 - GENERAL

A.2.1.1- MOVIMIENTOS SISMICOS PRESCRITOS - Para efectos del diseño sísmico de la estructura, ésta debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica, baja, intermedia o alta, y además deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño definidos en el presente Capítulo, los cuales se pueden expresar por medio del espectro elástico de diseño definido en A.2.6, o por medio de familias de acelerogramas que cumplan los requisitos de A.2.7.

A.2.1.2 – EFECTOS LOCALES DIFERENTES - Pueden utilizarse movimientos sísmicos de diseño diferentes a los definidos en el presente Capítulo, si se demuestra que fueron obtenidos utilizando mejor información proveniente de un estudio detallado de propagación de la onda sísmica a través del suelo existente debajo del sitio, o de la incidencia de la topografía del lugar, en los siguientes casos:

A.2.1.2.1 - Cuando las autoridades municipales o distritales han aprobado un estudio de microzonificación sísmica, realizado de acuerdo con el alcance que fija la sección A.2.9, el cual contenga recomendaciones para el lugar donde se adelantará la edificación, ya sea por medio de unos efectos de sitio o formas espectrales especiales.

A.2.1.2.2 - Cuando el ingeniero geotecnista responsable del estudio geotécnico de la edificación defina unos efectos locales particulares para el lugar donde se encuentra localizada la edificación, utilizando los requisitos del Apéndice H-1 del Reglamento, o estudios de amplificación de las ondas sísmicas que se realicen de acuerdo con lo prescrito en los ordinales (e) a (i) de la sección A.2.9.3, o estudios especiales referentes a efectos topográficos. Si estos efectos locales particulares se definen utilizando un espectro de diseño, éste debe calcularse para un coeficiente de amortiguamiento igual a 5 por ciento del crítico. Si se definen por medio de familias de acelerogramas deben cumplirse los requisitos dados en A.2.7.

A.2.1.3- MOVIMIENTOS SISMICOS DIFERENTES - Cuando se utilicen movimientos sísmicos de diseño obtenidos a partir de un valor de A_s diferente del dado en este Reglamento, este valor de A_s debe ser aprobado por la oficina o dependencia distrital o municipal encargada de expedir las licencias de construcción, previo concepto de la Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes.

A.2.2 - MOVIMIENTOS SÍSMICOS DE DISEÑO

A.2.2.1 - Los movimientos sísmicos de diseño se definen, para una probabilidad del diez por ciento de ser excedidos en un lapso de cincuenta años, en función de la aceleración pico efectiva, representada por el parámetro A_s . El valor de este coeficiente, para efectos de este Reglamento, debe determinarse de acuerdo con A.2.2.2 y A.2.2.3

A.2.2.2 - Se determina el número de la región en donde está localizada la edificación usando para A_s el Mapa de la figura A.2-2.

A.2.2.3 - El valor de A_s se obtiene de la tabla A.2-1, en función del número de la región determinado en A.2.2.2, para las ciudades capitales de departamento del país utilizando la tabla A.2-2, y para todos los municipios del país en el Apéndice A-3, incluido al final del presente Título.

A.2.3 - ZONAS DE AMENAZA SÍSMICA

La edificación debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica que se definen en esta sección y que están localizadas en el Mapa de la figura A.2-1.

A.2.3.1 - ZONA DE AMENAZA SÍSMICA BAJA - Es el conjunto de lugares en donde A_s es menor o igual a 0.10.

A.2.3.2 - ZONA DE AMENAZA SÍSMICA INTERMEDIA - Es el conjunto de lugares en donde A_s es mayor de 0.10 y no excede 0.20.

A.2.3.3 - ZONA DE AMENAZA SÍSMICA ALTA - Es el conjunto de lugares en donde A_s es mayor que 0.20.

TABLA A.2-1
VALOR DE A_s Y NIVEL DE AMENAZA SÍSMICA
SEGUN LA REGION DEL MAPA DE LA FIGURA A.2-2

Región N°	A_s	Amenaza Sísmica
10	0.45	Alta
9	0.40	Alta
8	0.35	Alta
7	0.30	Alta
6	0.25	Alta
5	0.20	Intermedia
4	0.15	Intermedia
3	0.10	Baja
2	0.075	Baja
1	0.05	Baja

TABLA A.2-2
VALOR DE A_s PARA LAS CIUDADES CAPITALES DE DEPARTAMENTO

Ciudad	A_s	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	Alta
Cali	0.25	Alta
Cartagena	0.10	Baja
Cúcuta	0.30	Alta
Florencia	0.20	Intermedia
Ibagué	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	Baja

Manizales	0.25	Alta
Medellin	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	Baja
Mocoa	0.30	Alta
Montería	0.15	Intermedia
Neiva	0.30	Alta
Pasto	0.30	Alta
Pereira	0.25	Alta
Popayán	0.25	Alta
Puerto Carreño	0.05	Baja
Puerto Inrida	0.05	Baja
Quibdó	0.30	Alta
Riohacha	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	Intermedia
San José del Guaviare	0.10	Baja
Sincelejo	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	Baja
Villavicencio	0.30	Alta
Yopal	0.20	Intermedia

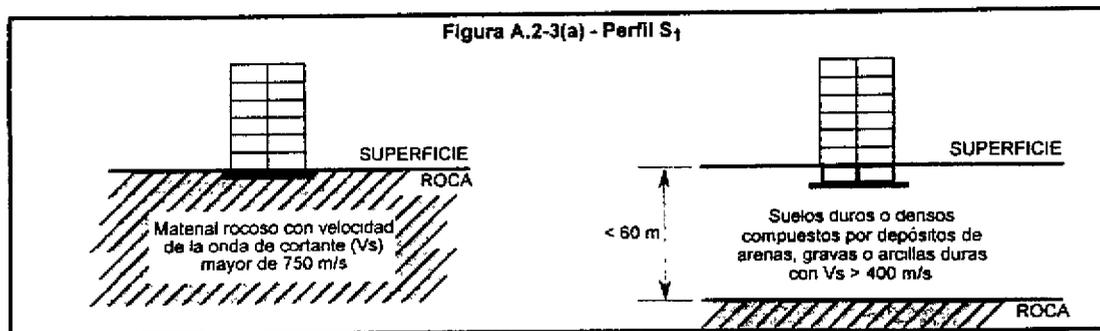
A.2.4 - EFECTOS LOCALES

En esta sección se dan los tipos de perfil de suelo y los valores del coeficiente de sitio. El perfil de suelo debe ser determinado por el ingeniero geotecnista a partir de unos datos geotécnicos debidamente sustentados. En los sitios en donde las propiedades de los suelos no sean conocidas con suficiente detalle, debe usarse el tipo de perfil S_3 .

A.2.4.1 - TIPOS DE PERFIL DE SUELO - Los efectos locales de la respuesta sísmica de la edificación deben evaluarse con base en los perfiles de suelo dados a continuación, independientemente del tipo de cimentación empleado (Véase la figura A.2-3). La identificación del perfil de suelo se realiza a partir de la superficie del terreno. Cuando existan sótanos, o en edificio en ladera, el ingeniero geotecnista, de acuerdo con el tipo de cimentación propuesta, puede variar el punto a partir del cual se inicia la definición del perfil, por medio de un estudio acerca de la interacción que pueda existir entre la estructura de contención y el suelo circundante; pero en ningún caso este punto puede estar por debajo de la losa sobre el terreno del sótano inferior (Véase A.2.4.1.6).

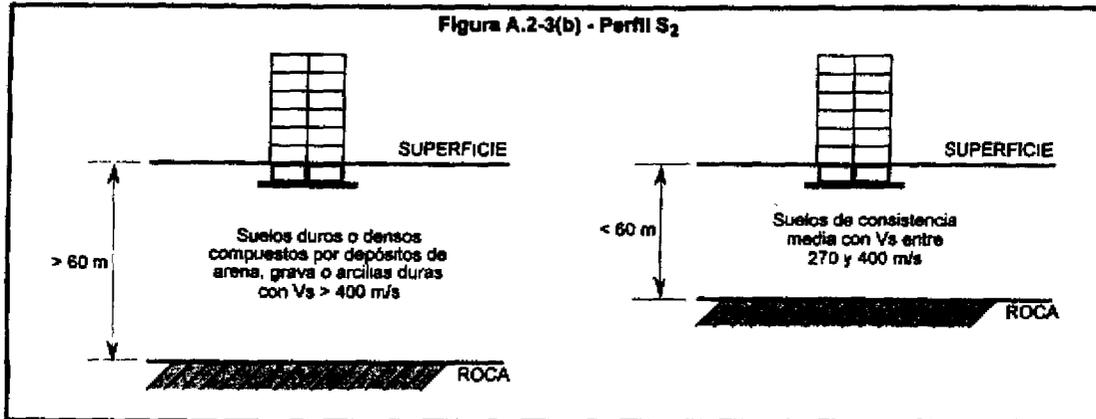
A.2.4.1.1 - Perfil de suelo S_1 - Es un perfil que tiene las siguientes propiedades:

- está compuesto, hasta la superficie, por roca de cualquier característica, que tiene una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 750 metros por segundo, o
- perfiles que entre la roca y la superficie están conformados por suelos duros, o densos, con un espesor menor de 60 m, compuestos por depósitos estables de arenas, gravas o arcillas duras, con una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/seg.

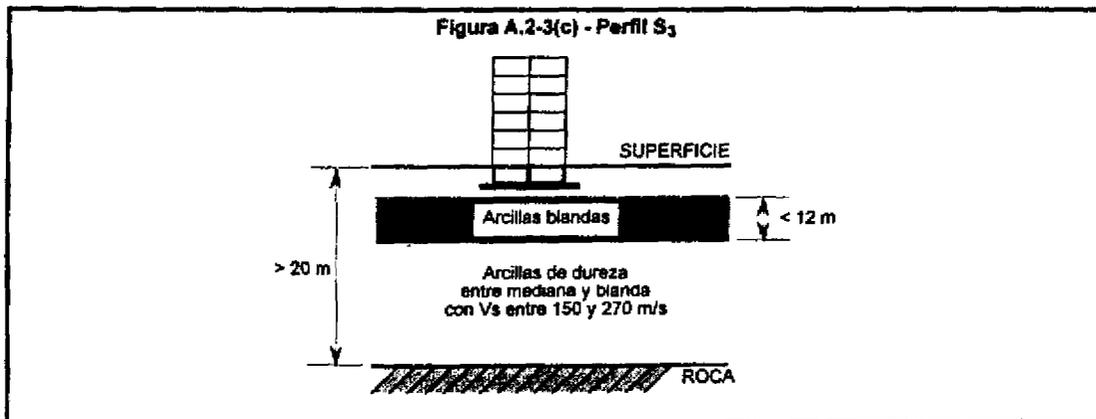


A.2.4.1.2 - Perfil de suelo S_2 - Es un perfil que tiene las siguientes propiedades:

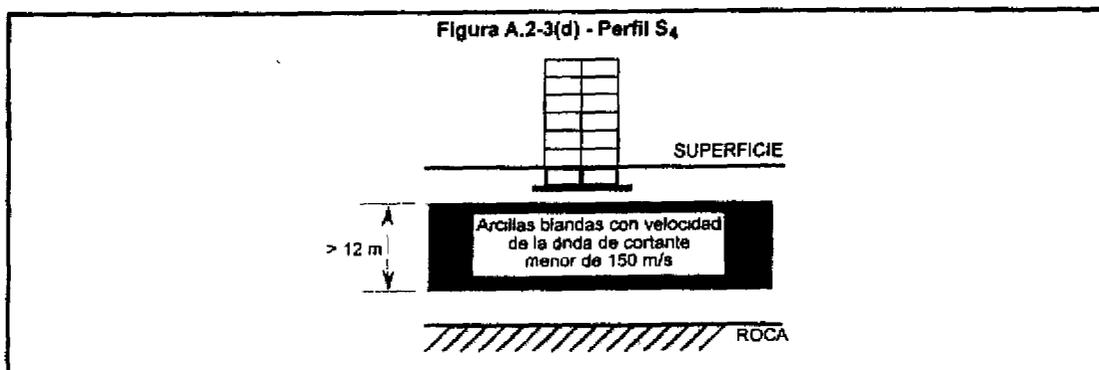
- (a) perfiles en donde entre la roca y la superficie existen más de 60 m de depósitos estables de suelos duros, o densos, compuestos por depósitos estables de arcillas duras o suelos no cohesivos, con una velocidad de la onda de cortante mayor o igual a 400 m/s,
- (b) perfiles en donde entre la roca y la superficie existen menos de 60 m de depósitos estables de suelos de consistencia media compuestos por materiales con una velocidad de la onda de cortante cuyo valor está entre 270 y 400 m/seg.



A.2.4.1.3 - Perfil de suelo S_3 - Es un perfil en donde entre la roca y la superficie hay más de 20 m de suelo que contiene depósitos estables de arcillas cuya dureza varía entre mediana y blanda, con una velocidad de la onda de cortante entre 150 y 270 m/s, y que dentro de ellos, en conjunto, hay menos de 12 m de arcillas blandas.



A.2.4.1.4 - Perfil de suelo S_4 - Es un perfil en donde, dentro de los depósitos existentes entre la roca y la superficie hay más de 12 m de arcillas blandas, caracterizadas por una velocidad de la onda de cortante menor de 150 m/seg.



A.2.4.1.5 – Procedimiento alterno – Se permite emplear el procedimiento alterno para determinar los efectos locales presentado en el Apéndice H-1 del Reglamento. Cuando se emplee este procedimiento alterno, debe utilizarse el espectro de diseño dado allí.

A.2.4.1.6 - Estabilidad del depósito de suelo - Los perfiles de suelo presentados en A.2.4.1.2 a A.2.4.1.5 hacen referencia a depósitos estables de suelo. Cuando exista la posibilidad de que el depósito no sea estable, especialmente ante la ocurrencia de un sismo, como puede ser en sitios en ladera o en sitios con suelos potencialmente licuables, no deben utilizarse las definiciones dadas y hay necesidad de realizar una investigación geotécnica que identifique la estabilidad del depósito, además de las medidas correctivas, si son posibles, que se deben tomar para poder adelantar una construcción en el lugar. El estudio geotécnico debe indicar claramente las medidas correctivas y el coeficiente de sitio que se debe utilizar en el diseño, dado que se lleven a cabo las medidas correctivas planteadas. La construcción de edificaciones en el sitio no puede adelantarse sin tomar medidas correctivas, cuando éstas sean necesarias.

A.2.4.1.7 - Perfiles provenientes de estudios de microzonificación - Cuando se hayan realizado estudios de microzonificación, de acuerdo con los requisitos de A.2.9, pueden utilizarse los resultados de ésta, así como los valores del coeficiente de sitio, dados en ella, en vez de los presentados en esta sección.

A.2.4.2 - COEFICIENTE DE SITIO - Para tomar en cuenta los efectos locales se utiliza el coeficiente S cuyos valores se dan en la tabla A.2-3

**TABLA A.2-3
VALORES DEL COEFICIENTE DE SITIO, S**

Tipo de Perfil de Suelo	Coficiente de Sitio, S
S ₁	1.0
S ₂	1.2
S ₃	1.5
S ₄	2.0

A.2.5 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA

En esta sección se definen los grupos de tipo de uso y los valores del coeficiente de importancia.

A.2.5.1 - GRUPOS DE USO - Todas las edificaciones deben clasificarse dentro de uno de los siguientes Grupos de Uso:

A.2.5.1.1 - Grupo IV - Edificaciones indispensables – Son aquellas edificaciones de atención a la comunidad que deben funcionar durante y después de un sismo, y cuya operación no puede ser trasladada rápidamente a un lugar alterno. Este grupo debe incluir:

- (a) Hospitales de niveles de complejidad 2 y 3, de acuerdo con la clasificación del Ministerio de Salud, y clínicas y centros de salud que dispongan de servicios de cirugía y atención de urgencias,
- (b) edificaciones de centrales telefónicas, de telecomunicación y de radiodifusión,
- (c) edificaciones de centrales de operación y control de líneas vitales de energía eléctrica, agua, combustibles, información y transporte de personas y productos, y
- (d) en las edificaciones indispensables las estructuras que alberguen plantas de generación eléctrica de emergencia, los tanques y estructuras que formen parte de sus sistemas contra incendio, y los accesos, peatonales y vehiculares, a estas edificaciones.

A.2.5.1.2 - Grupo III - Edificaciones de atención a la comunidad - Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el Grupo IV. Este grupo debe incluir:

- (a) estaciones de bomberos, defensa civil, policía, cuarteles de las fuerzas armadas, y sedes de las oficinas de prevención y atención de desastres,

- (b) garajes de vehículos de emergencia,
- (c) estructuras y equipos de centros de atención de emergencias, y
- (d) aquellas otras que la administración municipal designe como tales.

A.2.5.1.3 - Grupo II - Estructuras de ocupación especial - Cubre las siguientes estructuras:

- (a) edificaciones en donde se puedan reunir más de 200 personas en un mismo salón,
- (b) guarderías, escuelas, colegios, universidades,
- (c) graderías al aire libre donde pueda haber más de 2000 personas a la vez,
- (d) almacenes y centros comerciales con más de 500 m² por piso,
- (e) edificaciones donde trabajen o residan más de 3000 personas, y
- (f) edificios gubernamentales.

A.2.5.1.4 - Grupo I - Estructuras de ocupación normal - Todas la edificaciones cubiertas por el alcance de este Reglamento, pero que no se han incluido en los Grupos II, III y IV.

A.2.5.2 - COEFICIENTE DE IMPORTANCIA - El Coeficiente de importancia, I, modifica el espectro de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación. Los valores de I se dan en la tabla A.2-4.

**TABLA A.2-4
VALORES DEL COEFICIENTE DE IMPORTANCIA, I**

Grupo de Uso	Coeficiente de Importancia, I
IV	1.3
III	1.2
II	1.1
I	1.0

A.2.6 - ESPECTRO DE DISEÑO

A.2.6.1 - La forma del espectro elástico de aceleraciones, para un coeficiente de amortiguamiento crítico de cinco por ciento (5%), que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A 2-4 y se define por medio de la ecuación A.2-1, con las limitaciones dadas en A.2.6.2 a A.2.6 4. Véase también A.2.4.1.5.

$$S_a = \frac{1.2A_s I}{T} \quad (\text{A.2-1})$$

A.2.6.2 - Para períodos de vibración menores de T_C , calculado de acuerdo con la ecuación A 2-2, el valor de S_a puede limitarse al obtenido de la ecuación A.2-3.

$$T_C = 0.48 S \quad (\text{A.2-2})$$

y

$$S_a = 2.5 A_s I \quad (\text{A.2-3})$$

A.2.6.3 - Para períodos de vibración mayores que T_L , calculados de acuerdo con la ecuación A.2-4, el valor de S_a no puede ser menor que el dado por la ecuación A.2-5.

$$T_L = 2.4 S \quad (\text{A.2-4})$$

y

$$S_a = \frac{A_s I}{2} \quad (\text{A.2-5})$$

A.2.6.4 - Cuando se utilice el análisis dinámico, tal como se define en el Capítulo A.5, para períodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de T_0 ($T_0 = 0.3$ s), el espectro de diseño puede obtenerse de la ecuación A.2-6.

$$S_a = A_s I (1.0 + 5.0T) \quad (A.2-6)$$

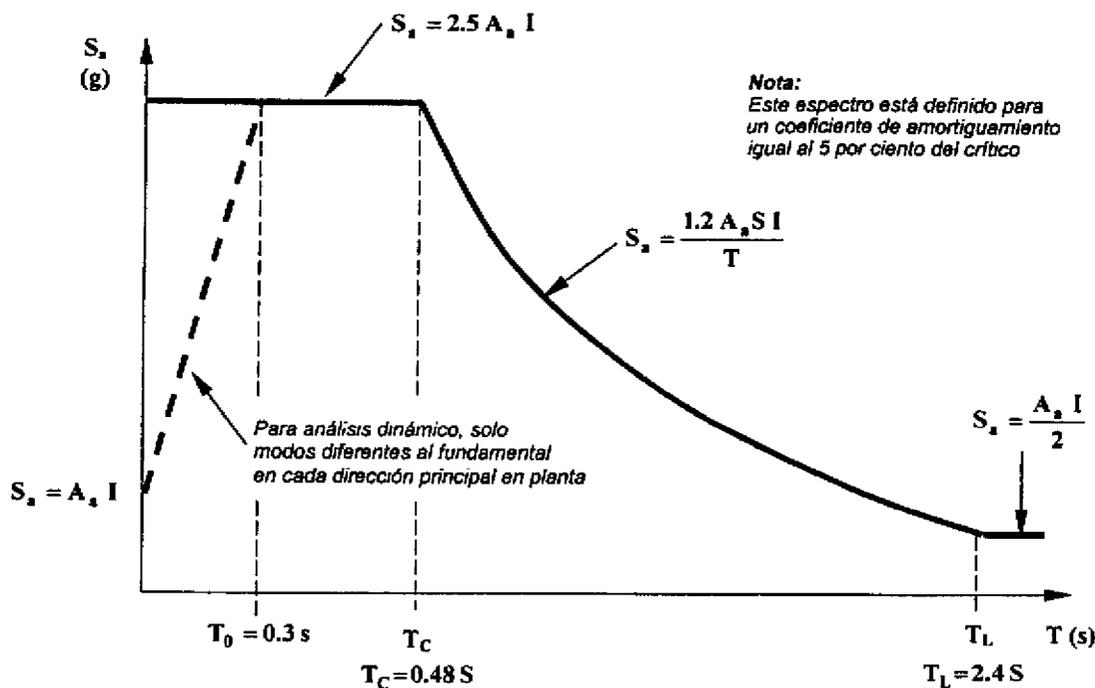


Figura A.2-4 - Espectro Elástico de Diseño

A.2.7 - FAMILIAS DE ACELEROGRAMAS

A.2.7.1 - Cuando se empleen procedimientos de análisis dinámico consistentes en evaluaciones contra el tiempo, obtenidas integrando paso a paso la ecuación de movimiento, los acelerogramas que se utilicen deben cumplir los siguientes requisitos:

- (a) deben utilizarse, para efectos de diseño, la respuesta ante un mínimo de tres acelerogramas diferentes, todos ellos representativos de los movimientos esperados del terreno, pero que cumplan la mayor gama de frecuencias y amplificaciones posible,
- (b) los espectros de respuesta de los acelerogramas empleados no pueden tener individualmente ordenadas espectrales, para cualquier período de vibración, menores que el 80% de las ordenadas espectrales del movimiento esperado del terreno definidas en A.2.6, exceptuando los requisitos de A.2.6.3.

A.2.8 - COMPONENTE VERTICAL DE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS

A.2.8.1 - Cuando se necesite utilizar la componente vertical de los movimientos sísmicos de diseño en el procedimiento de análisis dinámico, ésta puede tomarse como las dos terceras partes de los valores correspondientes a los efectos horizontales, ya sea en el espectro de diseño, o en las familias de acelerogramas (Véase A.5.4.6)

A.2.9 - ESTUDIOS DE MICROZONIFICACION

A.2.9.1 – Cuando se adelanten estudios de microzonificación sísmica que cumplan con el alcance dado en la sección A.2.9.3, las autoridades municipales o distritales, están facultadas para expedir una reglamentación substitutiva de carácter obligatorio, que reemplace lo indicado en las secciones A.2.4 y A.2.6 del presente Reglamento.

A.2.9.2 - Las capitales de departamento y las ciudades de más de 100 000 habitantes, localizadas en las zonas de amenaza sísmica intermedia y alta, con el fin de tener en cuenta el efecto que sobre las construcciones tenga la

propagación de la onda sísmica a través de los estratos de suelo subyacentes, podrán armonizar las reglamentaciones municipales de ordenamiento del uso de la tierra, con un estudio o estudios de microzonificación sísmica, que cumpla con el alcance dado en la sección A.2.9.3.

A.2.9.3 - El alcance del estudio de microzonificación debe cubrir, como mínimo, los siguientes temas:

- (a) un estudio geológico regional con especial énfasis en la neotectónica regional en el cual se identifiquen las fallas geológicas existentes en la zona,
- (b) recopilación de la información sobre la sismicidad regional,
- (c) una evaluación de la máxima aceleración horizontal efectiva para una probabilidad de excedencia de 10 por ciento en un lapso de 50 años, con un cubrimiento por incertidumbre en la determinación de la máxima aceleración horizontal efectiva, no menor del 90 por ciento,
- (d) opcionalmente, cuando una falla geológica, que el estudio de neotectónica haya definido como activa, esté localizada a menos de cinco km del área que se está microzonificando, ésta puede investigarse por medio de trincheras sísmicas con el fin de intentar establecer los periodos de recurrencia de su actividad y este dato incorporarse en la determinación del valor de la máxima aceleración horizontal efectiva,
- (e) aspectos geotécnicos y geológicos locales, referentes a la posición y espesores de la estratificación dominante y la profundidad de la roca base,
- (f) estudio de clasificación y características de los suelos, identificando la presencia de suelos granulares saturados y poco compactos, con el fin de establecer la susceptibilidad a la licuación, la cual como mínimo, se debe identificar por medio de correlaciones con el ensayo de penetración estándar,
- (g) en zonas de ladera, mediante la evaluación de las condiciones naturales de origen geológico, morfológico y geotécnico, establecer la amenaza potencial de movimientos de masa iniciados por el sismo (debe consultarse A.2.4.1.6),
- (h) estudios del comportamiento del módulo dinámico de cortante y la capacidad de amortiguamiento histerético de muestras inalteradas representativas del subsuelo en cuestión; para estos se pueden emplear técnicas tales como ensayos triaxiales cíclicos, estudios de muestras de columna resonante, métodos torsionales u otros que estén respaldados por resultados apropiados,
- (i) análisis de la respuesta dinámica del subsuelo, empleando en principio la propagación ondulatoria unidimensional, pero soportada por los estudios geotécnicos anotados. De estos estudios se deben deducir los correspondientes espectros que incluyan la amplificación local para que, mediante un análisis cualitativo apropiado, se puedan establecer factores de amplificación dominantes del subsuelo y para las estratigrafías identificadas,
- (j) síntesis de los resultados mediante la agrupación en zonas cuyas características sean similares, a las cuales se les pueda aplicar los valores de amplificación promedio deducidos, estableciendo coeficientes de sitio, S , para cada una de ellas, o valores de F_u y F_v , tal como los define el Apéndice H-1,
- (k) en lo posible, comprobación experimental local de los resultados mediante estudios de respuesta de vibración ambiental, con el fin de establecer la concordancia entre los resultados experimentales y los factores de amplificación obtenidos en (i),
- (l) definición de los criterios a emplear en las zonas de transición entre un tipo de comportamiento del suelo y otro,
- (m) estudio de los efectos de amplificación generados por accidentes topográficos como pueden ser las laderas y colinas aisladas, y
- (n) síntesis de los resultados mediante el establecimiento de zonas menores, las cuales conforman la microzonificación, cuya respuesta dinámica sea sensiblemente similar. Debe ejercerse el mayor criterio en la selección de las dimensiones de las microzonas.

A.2.9.4 – EMPLEO DEL COEFICIENTE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA, R – Cuando en el estudio de microzonificación se propongan espectros que tiendan a la aceleración del terreno cuando el período de vibración tiende a cero, el coeficiente de disipación de energía, R_c , a emplear cuando se utiliza este tipo de espectros, el cual tiene un valor variable en la zona de períodos cortos, iniciando en el valor prescrito en el Capítulo A.3, R ($R = \phi_s \phi_p R_0$), para un período igual a T_c y tendiendo a la unidad cuando el período tiende a cero, como muestra la Figura A.2-5. El valor de R_c está descrito por la ecuación A.2-7.

$$R_c = (R - 1) \frac{T}{T_c} + 1 \leq R \quad (\text{A.2-7})$$

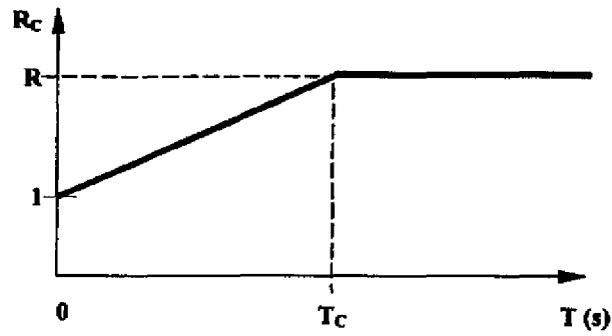
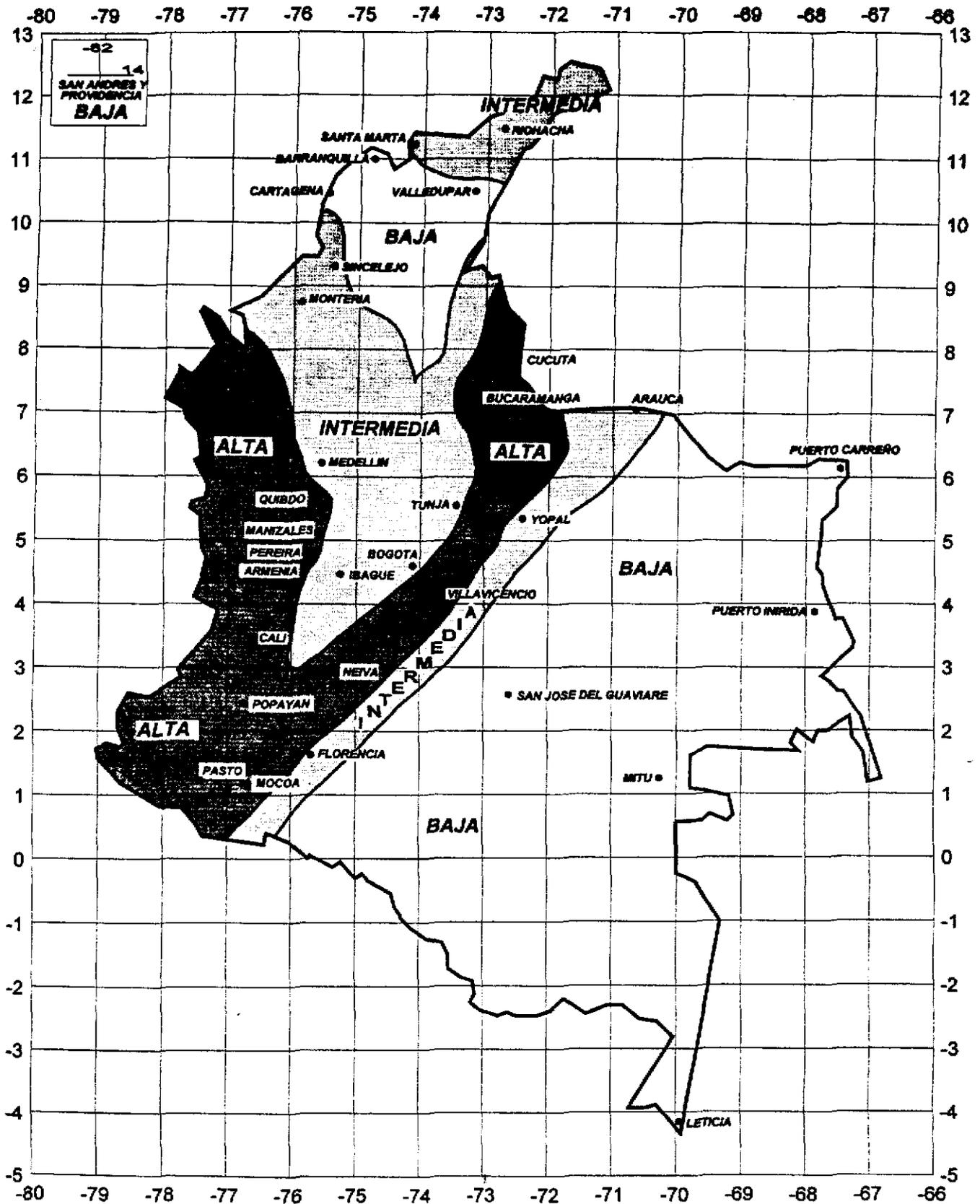
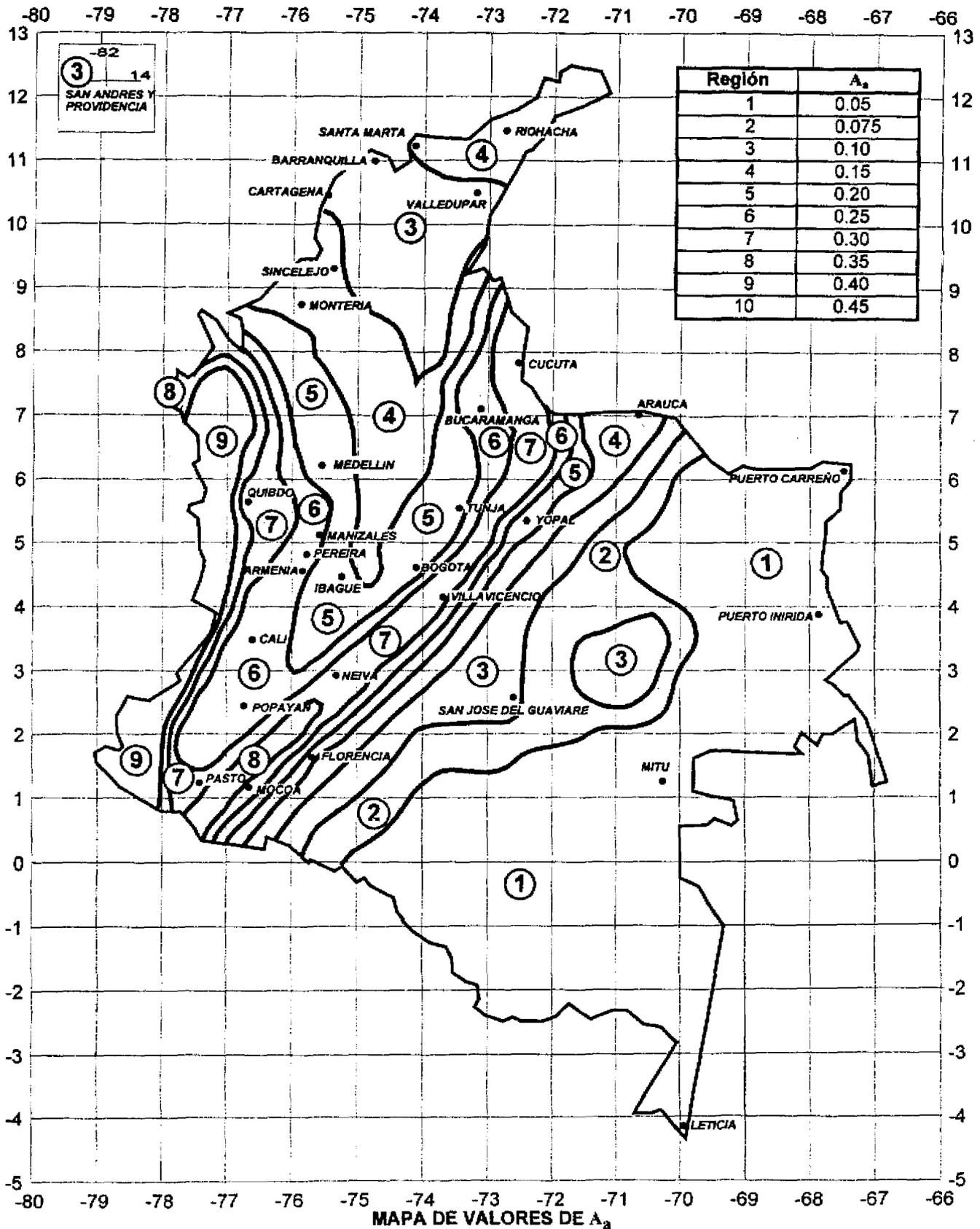


Figura A.2-5 – Variación del coeficiente de disipación de energía R



ZONAS DE AMENAZA SISMICA
Figura A.2-1

NSR-98 – Capítulo A.2 – Zonas de amenaza sísmica y movimientos sísmicos de diseño



MAPA DE VALORES DE A_s
Figura A.2-2

