

MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO
VOLUMEN 18-I
ESPECIFICACION DE INGENIERIA

PDVSA N°	TITULO
JA-221	DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES

1	FEB.99	Revisión General	53	Y.K.	A.A.	J.E.R.
0	AGO.91	APROBADA	34			J.S.
REV.	FECHA	DESCRIPCION	PAG.	REV.	APROB.	APROB.
APROB. Alexis Arévalo		FECHA FEB.99	APROB. Jesús E. Rojas		FECHA FEB.99	

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO		PDVSA JA-221	
	DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		REVISION 1	FECHA FEB.99
	Página 1			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Indice

1	GENERAL	3
	1.1 Alcance	3
	1.2 Referencias	3
2	GLOSARIO Y NOTACIÓN	4
	2.1 Glosario	4
	2.2 Notación	5
3	REQUERIMIENTOS GENERALES	7
	3.1 Estrategia de Diseño	7
	3.2 Estudios de Sitio	8
	3.3 Relación con Normas y otras Especificaciones	8
	3.4 Mediciones y Ensayos con Fines de Evaluación	8
	3.5 Superposición con otras Acciones	8
4	CLASIFICACIÓN DE RIESGOS	9
	4.1 Escala de Referencia	9
	4.2 Casos Dudosos	10
	4.3 Riesgos Temporales	10
5	TERRENOS DE FUNDACIÓN	10
	5.1 Selección de la Forma Espectral y del Factor j	11
	5.2 Casos Especiales	12
	5.3 Fundaciones, Muros y Taludes	12
6	ACCIONES SÍSMICAS	12
	6.1 Mapas de Amenaza Sísmica	12
	6.2 Aceleración Horizontal Máxima del Terreno	12
	6.3 Espectro de Respuesta Elástica	15
	6.4 Historias de Aceleraciones	17
	6.5 Componentes del Movimiento	17
	6.6 Desplazamientos Permanentes de Fallas Activas	18
	6.7 Otras Acciones Sísmicas	18
7	ESPECTROS DE DISEÑO	18
8	MODELADO	19
	8.1 Instalaciones Soportadas sobre Estructuras	20
	8.2 Masas	20
	8.3 Propiedades Mecánicas	20
9	MÉTODOS DE ANÁLISIS	21
	9.1 Criterios Generales	21

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 2			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

9.2	Métodos de Análisis Dinámico para Sistemas Elásticos	21
9.3	Métodos Estáticos para Análisis Elástico	23
9.4	Métodos de Análisis Inelástico	26
9.5	Ámbito de Aplicación	27
10	COMBINACIÓN DE LOS EFECTOS DEBIDOS A LA ACCIÓN DE LAS TRES COMPONENTES SÍSMICAS	27
11	ELEMENTOS ESPECIALES DE PROTECCIÓN SÍSMICA	27
11.1	General	28
11.2	Propiedades Mecánicas	28
11.3	Análisis	28
12	INSTALACIONES EXISTENTES	28
12.1	Propósito y Alcance	28
12.2	Niveles de Adecuación	29
12.3	Información Requerida	29
12.4	Criterios Generales para la Evaluación de Instalaciones Existentes	29

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 3		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

1 GENERAL

1.1 Alcance

Esta especificación establece las disposiciones generales de análisis y diseño para instalaciones pertenecientes a PDVSA ubicadas en zonas sísmicas, dentro del territorio de Venezuela.

Elas no incluyen edificios, cuyo análisis y diseño se regirá por la Norma COVENIN 1756.

En el Anexo 1, a estas especificaciones se incluyen comentarios que explican su contenido.

1.2 Referencias

1.2.1 Especificaciones de Ingeniería PDVSA

[JA-222](#): Diseño Sismorresistente de Recipientes y Estructuras.

[FJ-251](#): Diseño Simorresistente de Tanques Metálicos.

[JA-224](#): Diseño Sismorresistente de Estructuras en Aguas Lacustres y Someras.

1.2.2 Guías de Ingeniería PDVSA

[90615.1.008](#): Fundaciones para Recipientes Horizontales.

[90615.1.013](#): Cargas Sísmicas de Recipientes Verticales, Chimeneas y Torres.

1.2.3 Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN)

1618 (en revisión): Estructuras de Acero para Edificaciones. Proyecto, Fabricación y Construcción.

1753 (en revisión): Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño.

1756 (en aprobación): Edificaciones Sismorresistentes.

2002: Criterios y Acciones Mínimas para el Proyecto de Edificaciones.

1.2.4 American Institute of Steel Construction (AISC)

LRFD: Manual of Steel Construction. Load & Resistance Factor Design.

ASD: Manual of Steel Construction. Allowable Stress Design.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 4			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

1.2.5 American Concrete Institute (ACI)

318: Building Code Requirements for Structural Concrete (última edición).

2 GLOSARIO Y NOTACIÓN

2.1 Glosario

- **Acelerograma:** registro de la variación en el tiempo de las aceleraciones del movimiento del terreno en un punto y en una dirección.
- **Amortiguamiento:** capacidad de los materiales y sistemas de disipar energía. No incluye la disipación por incursiones en el rango inelástico.
- **Análisis Dinámico:** análisis para determinar la respuesta ante sollicitaciones dinámicas. Con frecuencia en las normas se hace referencia al análisis realizado con base en un espectro de diseño, tomando en cuenta las propiedades modales de la estructura y obteniendo la respuesta mediante la combinación de los valores correspondientes a cada modo.
- **Carga Permanente:** es la debida al peso de todos los componentes estructurales, así como los sistemas y componentes no estructurales permanentes tales como tuberías, plataformas, bandejas y equipos fijos.
- **Carga de Servicio:** es una combinación de cargas probables en condiciones normales de servicio, que la estructura debe ser capaz de resistir con sus elementos estructurales sometidos a esfuerzos admisibles, inferiores a su capacidad real.
- **Cedencia:** condición caracterizada por la plastificación de por lo menos la región mas sollicitada del sistema resistente a sismos, tal como la formación de la primera rótula plástica en un componente importante del mismo.
- **Coficiente Sísmico:** es el cociente entre la fuerza cortante horizontal de diseño que actúa en el nivel de base (corte basal) y el peso total por encima del mismo.
- **Demanda de Ductilidad:** es la exigencia de ductilidad que se origina en la estructura cuando está sujeta a los movimientos sísmicos de diseño aquí estipulados (véase Ductilidad y Factor de Ductilidad).
- **Ductilidad:** es la capacidad que poseen los componentes de un sistema estructural de hacer incursiones alternantes en el dominio inelástico, sin pérdida apreciable en su capacidad resistente (véase Factor de Ductilidad).
- **Espectro de Diseño:** es aquel espectro asociado a sismos de diseño, en el cual se ha incorporado el factor de reducción de respuesta correspondiente al sistema resistente a sismos.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 5		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- **Espectro de Respuesta:** define la respuesta máxima de osciladores de un grado de libertad y de un mismo amortiguamiento, sometidos a un acelerograma dado, expresado en función del período.
- **Estudios de Sitio:** evaluación del peligro sísmico tomando en consideración las condiciones locales del sitio.
- **Factor de Ductilidad:** es un valor que describe la ductilidad global que puede tolerar el sistema resistente a sismos manteniendo su integridad; este factor cuantifica la relación entre los desplazamientos máximos reales y los desplazamientos calculados suponiendo un comportamiento elástico lineal de la estructura.
- **Factor de Reducción de Respuesta:** es el factor que divide las ordenadas del espectro de respuesta elástica para obtener el espectro de diseño.
- **Grado de Riesgo:** escala de clasificación de riesgos que depende del número de personas expuestas, de las eventuales pérdidas económicas y del impacto ambiental como consecuencia de falla o mal funcionamiento de la estructura.
- **Nivel de Base:** es el nivel de la estructura donde se admite que las acciones sísmicas se transmiten a ella.
- **Peligro Sísmico:** cuantifica la probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos futuros que pueden afectar en forma adversa la integridad de las instalaciones y de sus ocupantes.
- **Período Medio de Retorno:** duración media entre ocurrencias de un evento determinado.
- **Probabilidad de Excedencia:** probabilidad de que un nivel específico del movimiento del terreno, o un nivel de efectos económicos o sociales causados por el sismo, sea excedido en un lugar o región durante un lapso de tiempo determinado.
- **Seiche:** oscilación de cierta amplitud del agua en lagos, debido al efecto de sismos distantes.
- **Vida Útil:** número de años representativos del tiempo de servicio probable de una instalación.

2.2 Notación

Los subíndices i y j son utilizados para indicar juntas o niveles cualesquiera; para el último nivel se reserva la letra N. Las unidades se especifican sólo en aquellos casos donde su uso es obligatorio.

Ad = Ordenada del espectro de diseño expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

Ao = Aceleración horizontal máxima del terreno expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 6		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- CP = Efectos debidos a cargas permanentes.
- CV = Efectos debidos a cargas variables de servicio y de operación, incluidos efectos térmicos, presión interna y eventuales vibraciones en régimen de operación.
- D = Factor de ductilidad.
- F_i = Fuerza lateral en la junta i .
- f_i = fuerza lateral en la junta i , para el cálculo del período.
- H = Profundidad a la cual se consigue material con velocidad de las ondas de corte, V_s , mayor que 500 m/s.
- H1 = Profundidad desde la superficie hasta el tope del estrato (m) $\geq 0,25 H$.
- M_s = Magnitud Richter determinada a partir de la amplitud de ondas superficiales.
- N = Número de juntas donde se han concentrado los pesos de la estructura.
- P^* = Probabilidad de que la aceleración del terreno exceda el valor a , en t años.
- R = Valor máximo de respuesta dinámica.
- S = Efectos del sismo, incluyendo las tres componentes sísmicas, debidamente combinadas.
- T = Período fundamental de la estructura, en segundos. También denominada período de retorno.
- T° = Valor del período que define parte del espectro elástico normalizado, en segundos.
- T^+ = Menor valor del período en el intervalo donde los espectros de diseño tienen un valor constante, en segundos.
- T^* = Valor máximo del período en el intervalo donde los espectros elásticos normalizados tienen un valor constante, en segundos.
- V_0 = Fuerza cortante en la base (corte basal).
- V_{sp} = Velocidad promedio de las ondas de corte en el perfil geotécnico (m/s).
- W = Peso total de la estructura por encima del nivel de base.
- W_i = Peso concentrado en la junta i .
- a = Aceleración máxima del terreno (cm/s^2).
- a^* = Aceleración característica del peligro sísmico en cada localidad (cm/s^2).
- \bar{d} = Desplazamiento máximo en fallas activas (cm).
- g = Aceleración de gravedad igual a 981 gals.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 7			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- gal = 1,0 cm/s².
- h = Altura.
- p₁ = Probabilidad anual de excedencia. Es igual al inverso del período de retorno.
- q = Coeficiente que afecta los efectos de la acción sísmica.
- t = Vida útil o vida económica asignada a la instalación (años).
- β = Uno de los parámetros que definen la forma de los espectros.
- β* = Factor de amplificación espectral.
- φ = Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.
- γ = Valor característico del peligro sísmico en cada localidad.
- ξ = Amortiguamiento referido al crítico.

3 REQUERIMIENTOS GENERALES

3.1 Estrategia de Diseño

En estas especificaciones se incorpora la naturaleza dinámica de la acción sísmica y de la respuesta estructural. Esta es cuantificada por procedimientos que poseen diferentes grados de complejidad en función de las características propias de la instalación.

Los diseños realizados de acuerdo con las presentes especificaciones se fundamentan en la selección de acciones sísmicas que dependen del desempeño de la instalación y de su eventual mal funcionamiento. La aplicación de esa estrategia admite, en ciertas estructuras, incursiones moderadas en el rango de deformaciones inelásticas. Como consecuencia se permite el diseño para espectros reducidos.

El fundamento del diseño sismorresistente, basado en espectros reducidos por ductilidad, está en lograr una estructura que tenga un comportamiento tan dúctil como el supuesto al seleccionar el factor de ductilidad. En este sentido, las verificaciones deben estar orientadas a eliminar la posibilidad de fallas frágiles.

Se deberá verificar que los desplazamientos totales de la estructura, los cuales incluyen la eventual componente inelástica, no excedan los valores permisibles asignados a cada instalación de manera de proteger su integridad y la de las instalaciones adyacentes.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 8		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

3.2 *Estudios de Sitio*

Las acciones sísmicas establecidas en estas especificaciones, son de aplicación tanto para el diseño de nuevas instalaciones, como para la adecuación de existentes, en el ámbito del territorio nacional. En caso de instalaciones importantes o en la cercanía de fallas activas, se deben llevar a cabo estudios de sitio en los cuales se hayan incorporado tanto el peligro sísmico como las características propias de los subsuelos locales.

3.3 *Relación con Normas y otras Especificaciones*

Estas especificaciones prevalecerán sobre cualquier otra en lo que respecta a su ámbito de aplicación.

Las instalaciones y estructuras deberán dimensionarse de acuerdo con las normas COVENIN vigentes, cuando sean aplicables y siempre que no colidan con las especificaciones vigentes de PDVSA. En caso que colidan, estas últimas serán mandatorias. En las especificaciones particulares para el Diseño Sismorresistente de cada instalación se indicará su relación con las especificaciones de materiales de PDVSA y de COVENIN.

Se deberán utilizar las últimas versiones de las normas ACI 318, AISC-LRFD y AISC-ASD, hasta que sean publicadas las versiones oficiales actualizadas de las Normas COVENIN 1753 y 1618.

3.4 *Mediciones y Ensayos con Fines de Evaluación*

Cuando así lo requiera alguna organización de PDVSA, para la evaluación de cualquier instalación se realizarán mediciones y ensayos conducentes a la determinación de las propiedades mecánicas (estáticas y dinámicas) de dicha instalación o de algunas de sus partes. Igualmente, se ejecutarán los estudios geotécnicos que se requieran para determinar las características del subsuelo en el sitio.

3.5 *Superposición con otras Acciones*

Con fines de diseño y/o de verificación, los efectos de la acción sísmica se superpondrán a los de otras acciones en la forma que se establece a continuación:

$$mCP + nCV \pm qS \quad (3.1)$$

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 9		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

donde:

- CP = efectos de las cargas permanentes.
- CV = efectos de las cargas de servicio y de operación, incluidos efectos térmicos, presión interna y eventuales vibraciones en régimen de operación.
- S = efectos del sismo, incluyendo las componentes sísmicas combinadas según se estipula en la Sección 10.
- m y n = coeficientes que dependen del método empleado en el diseño de miembros; pueden incorporar los efectos de la componente vertical del sismo. Estos coeficientes están establecidos en las normas de diseño correspondientes.
- q = 1,0 cuando se usen métodos basados en estados últimos. Para el caso particular de los sistemas contra incendio se adoptará q = 1,2.

Salvo que en las Especificaciones de Ingeniería de PDVSA se adopten otros valores, presentados en la [Ecuación \(3.1\)](#), se utilizarán como mínimo las dos combinaciones siguientes:

$$1,1 (CP) + 1,0 (CV) \pm 1,0 (S) \quad (3.1a)$$

$$0,9 (CP) \pm 1,0 (S) \quad (3.1b)$$

4 CLASIFICACIÓN DE RIESGOS

4.1 *Escala de Referencia*

Toda instalación a ser diseñada y/o revisada deberá clasificarse de acuerdo con la Escala de Clasificación de Riesgos que se da en la [Tabla 4.1](#). Para ello se seleccionará el Grado de Riesgo asociado con el renglón de consecuencias más desfavorables descritas en dicha [Tabla 4.1](#).

Cuando la falla de la estructura, equipo u otro componente afecte otra cercana de mayor Grado de Riesgo, se empleará para ambas el riesgo de ésta última.

TABLA 4.1
ESCALA DE CLASIFICACIÓN DE RIESGOS Y PROBABILIDADES ANUALES DE EXCEDENCIA DE LOS MOVIMIENTOS DEL TERRENO (P_1)

Grado de Riesgo	CONDICIONES				P_1 (10^{-3})
	Número de personas expuestas	Pérdidas económicas		Impacto Ambiental	
		Materiales	Lucro Cesante		
A	Pocas (< 10)	Limitado a la instalación	Despreciable	Poco o Nulo	≤ 2
B	Importante (11 a 100)	La instalación y alguna vecina	Significativo. Entre 1 y 50 MMUS\$	Recuperación ≤ 3 años	≤ 1
C	Elevado número de personas (100 a 500)	La instalación y numerosas vecinas	Entre 50 y 250 MMUS\$	Recuperación 3 a 10 años	$\leq 0,5$
D	> 500 personas	De naturaleza catastrófica	> 250 MMUS\$	Irreversible	$\leq 0,1$

4.2 Casos Dudosos

Cuando se presenten dudas en la selección del Grado de Riesgo, se adoptará el grado de mayor riesgo.

4.3 Riesgos Temporales

Cuando se trate de instalaciones de servicio temporal, menos de 3 años, que clasifican dentro del Grupo A se permitirá un valor no mayor que $P_1 = 5 \times 10^{-3}$. En caso de otros Grados de Riesgo se aplicarán los valores de la [Tabla 4.1](#).

Para períodos de exposición muy cortos, por ejemplo en caso de reparación, los valores de diseño serán justificados por estudios especiales de riesgo.

5 TERRENOS DE FUNDACIÓN

Estas especificaciones consideran cuatro formas espectrales tipificadas (S1 a S4) y un factor de corrección para el coeficiente de aceleración horizontal (ϕ), los cuales dependen de las características del perfil geotécnico del terreno de fundación.

5.1 Selección de la Forma Espectral y del Factor ϕ

La forma espectral y el factor ϕ se seleccionarán considerando a la [Tabla 5.1](#), donde:

H = Profundidad a la cual se consigue material con velocidad de ondas de corte, V_s , mayor que 500 m/s.

H1 = Profundidad desde la superficie hasta el tope del estrato blando (m): $\geq 0,25 H$.

V_{sp} = Velocidad promedio de las ondas de corte en el perfil geotécnico (m/s).

ϕ = Factor de corrección del coeficiente de aceleración horizontal.

TABLA 5.1
FORMA ESPECTRAL TIPIFICADA Y FACTOR ϕ

Material	V_{sp} (m/s)	H (m)	Forma espectral	ϕ
Roca sana /fracturada	> 700	Cualquiera	S1	0,85
Roca blanda o moderadamente meteorizada	> 400	≤ 50	S1	0,90
		> 50	S2	0,95
Suelos muy duros o muy densos	> 400	< 30	S1	0,90
		30–50	S2	0,95
		> 50	S3	1,00
Suelos duros o densos	250–400	< 15	S1	0,90
		15–50	S2	0,95
		50–70	S3 (b)	1,00
		> 70	S4	1,00
Suelos firmes/medio densos	170–250	≤ 50	S2 (c)	1,00
		> 50	S3 (b)	1,00
Suelos blandos/ sueltos	< 170	≤ 15	S2 (c)	1,00
		> 15	S3 (b)	1,00
Estratos blandos intercalados con otros suelos más rígidos (a)	< 170	< H1	S2	1,00
		> H1	S3	0,90

(a) El espesor de los estratos debe ser mayor que 0,1 H.

(b) Si $A_o \leq 0,15$, úsese S4

(c) Si $A_o \leq 0,15$, úsese S3

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION	FECHA		
	1	FEB.99		
			Página 12	

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

5.2 Casos Especiales

Cuando existan suelos cuya resistencia se degrade o que experimenten cambios volumétricos bajo la acción de la sollicitación sísmica, se deberán realizar estudios particulares para evaluar la respuesta dinámica del perfil y establecer la forma espectral y el coeficiente de aceleración horizontal a utilizar en el diseño. Los modelos utilizados para los análisis deberán reflejar los cambios en las propiedades de dichos suelos por el efecto de la carga cíclica.

5.3 Fundaciones, Muros y Taludes

Al respecto se deben seguir los criterios estipulados en la nueva versión de COVENIN 1756, aplicando las acciones sísmicas establecidas en la Sección 6 de estas especificaciones.

6 ACCIONES SÍSMICAS

6.1 Mapas de Amenaza Sísmica

A los fines del diseño y verificación de instalaciones, se utilizarán los mapas de peligro sísmico de las [Figs. 6.1 y 6.2](#). En dichos mapas se leerán respectivamente los valores de a^* y γ correspondientes al sitio de interés; en caso necesario podrán efectuarse interpolaciones lineales.

La aplicación de las opciones dadas en la Sección 6.2 está limitada a períodos medios de retorno entre 200 y 2.000 años; es decir: $5 \times 10^{-3} \geq P_1 \geq 0,5 \times 10^{-3}$. Cuando se trate de instalaciones de importancia excepcional o cuando clasifiquen como Grado de Riesgo D, se procederá a realizar estudios especiales (véase Sección 3.2).

6.2 Aceleración Horizontal Máxima del Terreno

6.2.1 Opción 1

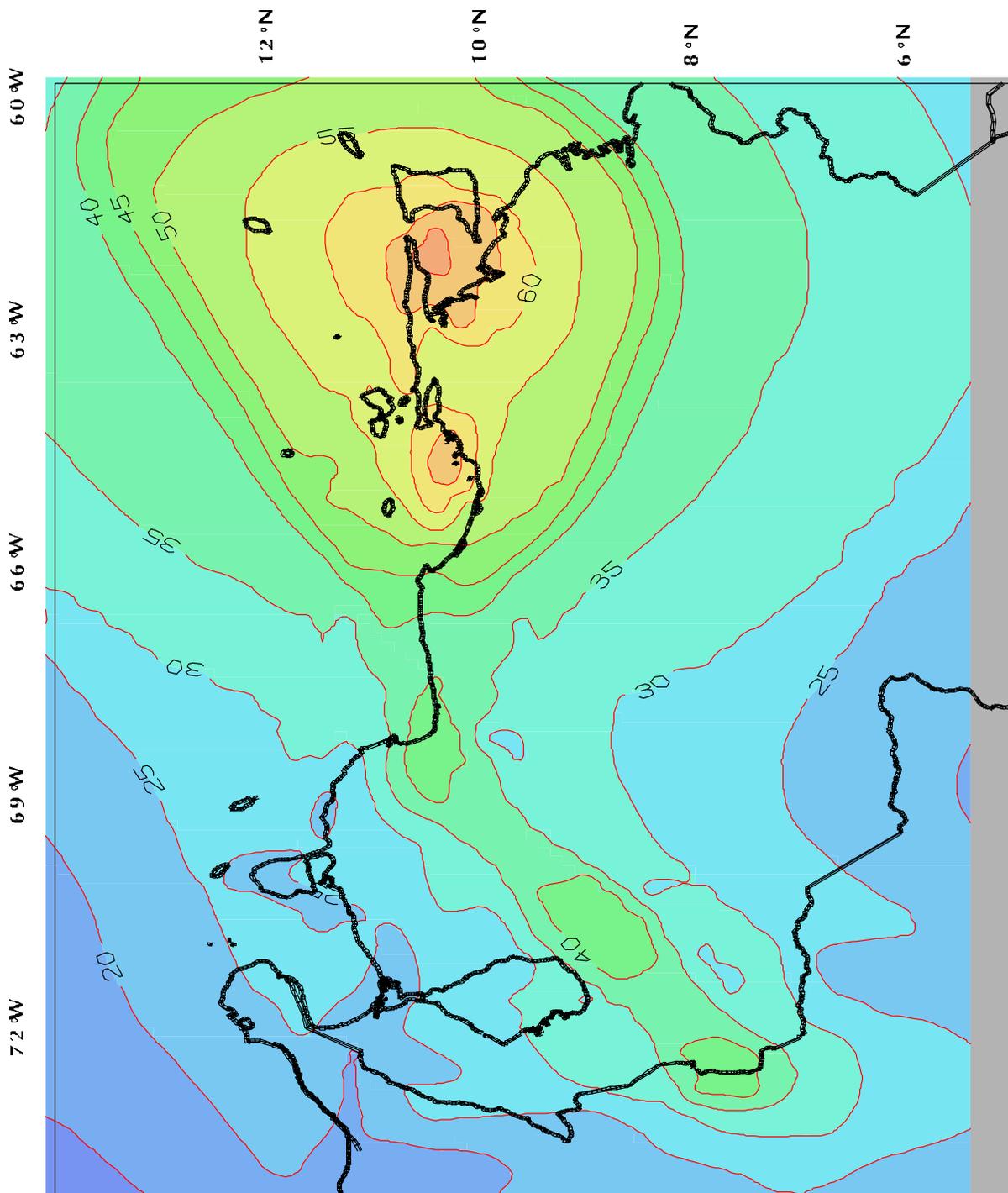
La aceleración horizontal máxima del terreno (a), en cm/s^2 , se obtiene a partir de la fórmula 6.1:

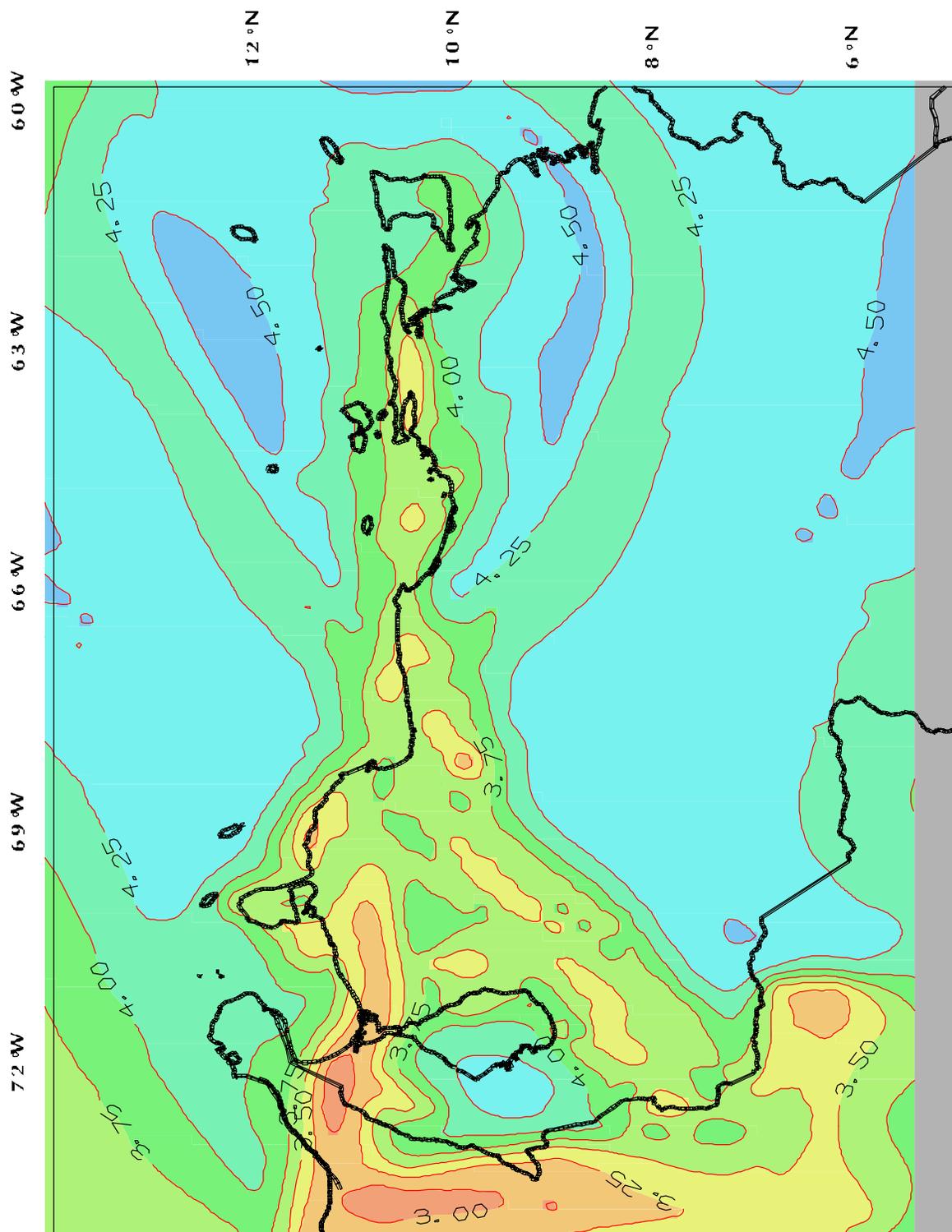
$$a = a^* \left[-\ln(1 - p_1) \right]^{-1/\gamma} \quad (6.1)$$

donde :

p_1 = Probabilidad anual de excedencia dada en la [Tabla 4.1](#).

a^*, γ = Valores obtenidos de los Mapas de Amenaza Sísmica dados en la Sección 6.1.

[.Menú Principal](#)[Indice manual](#)[Indice volumen](#)[Indice norma](#)**FIG. 6.1 MAPA AMENAZA SISMICA, VALORES DE a^***

[.Menú Principal](#)
[Indice manual](#)
[Indice volumen](#)
[Indice norma](#)

FIG. 6.2 MAPA AMENAZA SISMICA, VALORES DE γ

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 15			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

6.2.2 Opción 2

Cuando se establezcan los valores de P^* y t :

$$a = a^* \left\{ \left[-\ln(1 - P^*) \right] / t \right\}^{-1/\gamma} \quad (6.2)$$

donde:

P^* = Probabilidad de excedencia durante el tiempo t .

t = Vida útil de la instalación, en años.

a^*, γ = Valores obtenidos de los Mapas de Amenaza Sísmica dados en la Sección 6.1.

En la [Ecuación \(6.2\)](#), P^* se puede obtener a partir de la probabilidad anual (p_1): $p_1 = 1 - (1 - P^*)^{1/t}$ y esta no será mayor que la de la [Tabla 4.1](#). La inversa de p_1 es igual al período medio de retorno (años).

6.3 Espectro de Respuesta Elástica

Para cada forma espectral tipificada de subsuelo definido en la Sección 5, los espectros de respuesta a utilizar en el análisis, están dados en la [Fig. 6.3](#), donde:

A_d : Aceleración espectral dividida por la aceleración de gravedad (g).

g : Aceleración de gravedad.

A_o : Coeficiente de aceleración máxima del terreno. Es igual a la aceleración "a" determinada en la Sección 6.2 dividida por la aceleración de gravedad (g).

$$A_o = a/g \quad (6.3)$$

β, T^o, T^* dependen del perfil típico del subsuelo y se dan en la [Tabla 6.1](#).

β^* es el factor de amplificación espectral que depende del amortiguamiento del sistema en consideración y viene dado por:

$$\beta^* = \frac{\beta}{2,3} (0,0853 - 0,739 \ln \zeta) \quad (6.4)$$

donde ζ es el coeficiente de amortiguamiento referido al crítico. Estos coeficientes están establecidos en las especificaciones de ingeniería para el diseño de estructuras y equipos específicos.

Los espectros de respuesta elástica, son iguales a los espectros de diseño de la Sección 7 para $D = 1$.

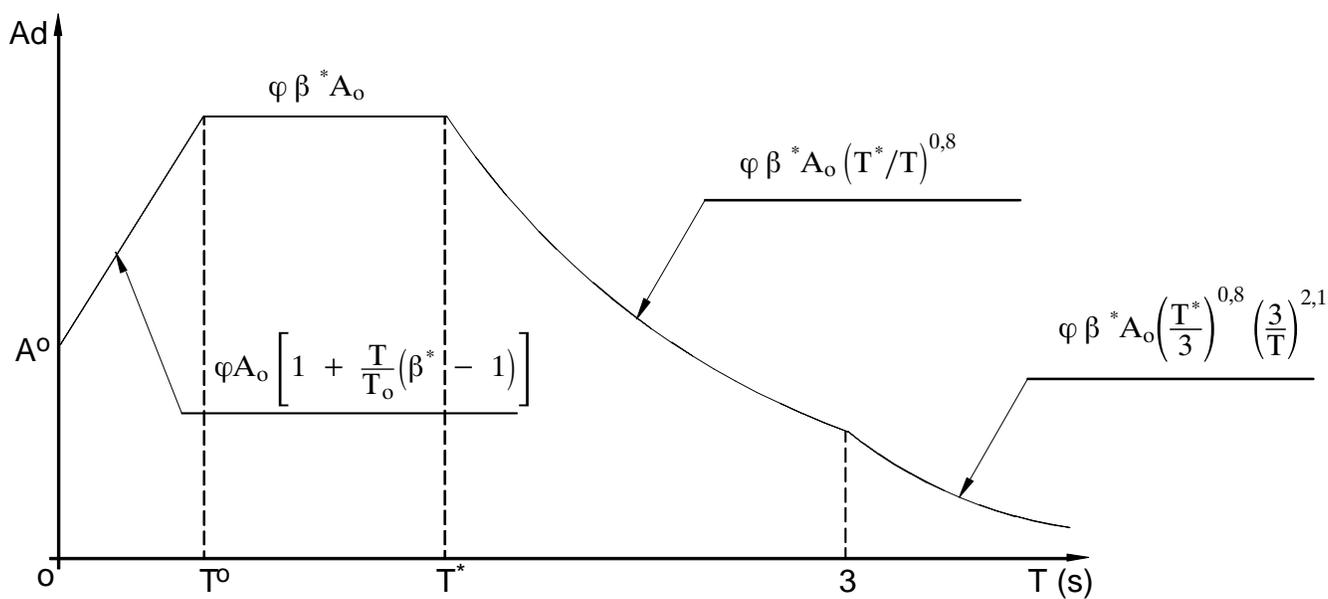


FIG. 6.3 ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA

TABLA 6.1

VALORES QUE DEFINEN LA FORMA DEL ESPECTRO

Forma espectral	β	T° (s)	T^* (s)
S1	2,4	0,1	0,4
S2	2,6	0,20	0,8
S3	2,8	0,30	1,2
S4	3,0	0,40	1,6

6.4 Historias de Aceleraciones

La acción sísmica puede ser definida en términos de historias de aceleraciones (acelerogramas) para cada una de las componentes ortogonales del movimiento. Para ello se podrán utilizar acelerogramas registrados o simulados. La intensidad de estos acelerogramas debe ser consistente con los espectros de respuesta elástica especificados en la Sección 6.3; en el rango de frecuencias características de la instalación considerada, las ordenadas del espectro de respuesta para el acelerograma seleccionado deben aproximarse conservadoramente a las ordenadas del espectro de respuesta especificado en la Sección 6.3. La duración total del acelerograma será consistente con la intensidad de la acción sísmica prescrita.

6.5 Componentes del Movimiento

Los movimientos sísmicos de diseño actúan simultáneamente en tres direcciones ortogonales entre sí: dos direcciones horizontales y la dirección vertical. Sus efectos se combinan en la forma que se establece en la Sección 10.

Cada una de las componentes horizontales queda descrita por el espectro de respuesta elástica especificado en la Sección 6.3. El espectro de la componente vertical es igual al espectro de las componentes horizontales multiplicado por 0,70. Cuando se trate de fundaciones profundas, la aceleración vertical del terreno se tomará igual a 0,70 del valor del coeficiente de aceleración horizontal máximo A_0 y el espectro de respuesta elástica correspondiente a las características del estrato prevaleciente en la punta de los pilotes.

Cuando la acción sísmica está definida en términos de historias de aceleraciones (Sección 6.4), se recomienda que los acelerogramas en las tres direcciones ortogonales sean estadísticamente independientes.

Cuando las dimensiones en planta del sistema de fundaciones de la estructura exceda los 60 metros, deberán efectuarse análisis que consideren las

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 18		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

componentes rotacionales del movimiento del terreno inducidas por los diferentes tiempos de llegada de las componentes traslacionales. Alternativamente, se podrá omitir este análisis si se divide la estructura y su fundación, en porciones independientes que no superen los 60 metros de longitud.

6.6 Desplazamientos Permanentes de Fallas Activas

El máximo desplazamiento permanente esperado en fallas tectónicas activas de tipo transcurrente (\bar{d}), como las que predominan en Venezuela, se calculará de acuerdo con la expresión siguiente:

$$\log \bar{d} = 0,5 M_s - 1,4 \quad 6 \leq M_s \leq 8 \quad (6.5)$$

donde (\bar{d}) viene dado en cm y M_s es la máxima magnitud Richter asociada a la falla en cuestión. La desviación estándar del ($\log \bar{d}$) es igual a 0,25.

6.7 Otras Acciones Sísmicas

Cuando proceda, en los estudios de sitio se evaluará la peligrosidad asociada a otras acciones sísmicas que no se consideren remotas, como puede ser el caso de maremotos, desplazamientos permanentes del terreno y seiches.

7 ESPECTROS DE DISEÑO

Las ordenadas A_d de los espectros de diseño que incorporan los efectos inelásticos, quedan definidas en la forma siguiente:

Si:

$$T < T^+ : A_d = \frac{\varphi A_o \left[1 + \frac{T}{T^+} (\beta^* - 1) \right]}{\left[1 + \left(\frac{T}{T^+} \right)^c (D - 1) \right]} \quad (7.1)$$

Si:

$$T^+ \leq T \leq PT^* : A_d = \frac{\varphi A_o \beta^*}{D} \quad (7.2)$$

Si:

$$T^* \leq T \leq 3 : A_d = \frac{\varphi A_o \beta^*}{D} \left[\frac{T^*}{T} \right]^{0,8} \quad (7.3)$$

Si:

$$T > 3 : A_d = \frac{\varphi \beta A_o}{D} \left(\frac{T^*}{3} \right)^{0,8} \left(\frac{3}{T} \right)^{2,1} \quad (7.4)$$

donde:

A_d = Aceleración espectral dividida por la aceleración de gravedad (g).

T = Período de la estructura, en segundos.

A_o = Coeficiente de la aceleración horizontal máxima del terreno, calculada en la Sección 6.2.

β^*, T_0, T^* = Parámetros que definen el espectro de respuesta elástica (Sección 6.3).

T^+ = Período característico del espectro inelástico, dado en la Tabla 7.1.

D = Factor de Ductilidad, dado en la Especificación de Ingeniería correspondiente a la instalación en referencia.

$$c = \sqrt[4]{\frac{D}{\beta^*}} \quad (7.5)$$

TABLA 7.1

VALORES DE T^+ (SEGUNDOS)

$D < 5$	0,1 (D-1)
$D \geq 5$	0,4
Se debe cumplir $T^0 \leq T^+ \leq T^*$	

8 MODELADO

El modelo matemático que se utilice para idealizar la estructura real debe simular adecuadamente sus propiedades tales como geometría, masas, dimensiones de miembros, materiales, etc. En particular, en el modelo se deben incluir todos aquellos componentes que, aún cuando sean considerados como no-estructurales, pueden influenciar las masas, rigideces y capacidad de disipación de energía de la estructura real.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 20		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

8.1 *Instalaciones Soportadas sobre Estructuras*

En el caso de instalaciones soportadas sobre estructuras o no apoyadas directamente sobre el terreno, se deberá incorporar en el modelo el conjunto estructura–instalación siguiendo los lineamientos de las Secciones 8.2 y 8.3, salvo que se empleen espectros de piso debidamente justificados.

8.2 *Masas*

En el modelo matemático se deberán incluir todas aquellas masas que tengan carácter permanente, tales como las de los miembros y componentes estructurales, equipos e instalaciones fijas, paredes y tabiques, pavimentos, rellenos, revestimientos y frisos, así como los materiales almacenados con carácter permanente (véase Norma COVENIN 2002).

Igualmente, se incluirán las cargas variables correspondientes al nivel de operación. En ausencia de información para sobrecargas en áreas, se incluirá el 25% de las cargas de diseño definidas en la Norma 2002.

En el modelo, las masas serán distribuidas en forma discreta en un número suficiente de juntas de manera de aproximar su distribución real. Asimismo, el número de masas y los grados de libertad dinámicos asignados a cada una, deben permitir la presencia de los modos de vibración que tengan una contribución significativa a la respuesta dinámica.

En el caso de edificios con diafragmas horizontales de gran rigidez en su plano, las masas pueden ser concentradas en los centros de masa de cada diafragma, incluyendo la porción contribuyente de vigas, muros y columnas y elementos no–estructurales, para efectos de definir su respuesta dinámica ante las componentes horizontales del sismo.

En los casos de recipientes de líquidos, se deberá evaluar la incidencia de los efectos hidrodinámicos inducidos por las oscilaciones del líquido.

8.3 *Propiedades Mecánicas*

Las propiedades mecánicas corresponden a la estructura en su estado sin daños, asociadas a un modelo lineal y elástico. Los módulos de elasticidad y de deformación transversal son los previstos en las correspondientes normas de diseño. Sólo cuando se utilicen los métodos de análisis dados en la Sección 9.4, se requieren las propiedades inelásticas de los elementos estructurales.

En elementos de concreto armado, se acepta el uso de la inercia asociada a la sección agrietada siempre que se incluya la contribución de todos aquellos componentes, estructurales o no, que puedan tener incidencia en la rigidez global del sistema estructural.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 21		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

El modelo matemático deberá incorporar todas aquellas deformaciones de los miembros y sus juntas que tengan una influencia no despreciable en la respuesta sísmica, tales como las debidas a flexión, corte, fuerza axial y torsión.

Deberá evaluarse la importancia que puedan tener las paredes y tabiques de relleno en la eventual modificación de la rigidez y resistencia de la estructura, e incorporarlas en el modelo matemático si tienen una influencia no despreciable. Atención especial amerita la presencia de paredes discontinuas que puedan dar lugar a situaciones de las denominadas de "columna corta" que deben ser evitadas en lo posible.

Los elementos que definen la vinculación entre la fundación y el terreno deberán ser congruentes con la deformabilidad del suelo y de la estructura. Las propiedades mecánicas de los suelos deberán obtenerse a partir de estudios de campo.

Los coeficientes de amortiguamiento están dados en las especificaciones particulares de cada instalación. Si no es el caso, éstos pueden determinarse mediante procedimientos experimentales o a partir de valores de sistemas similares. Para aquellas instalaciones que requieran de una evaluación de la seguridad, los coeficientes de amortiguamiento utilizados en el modelo matemático deberán basarse en los resultados de ensayos. Si se conocen los diferentes valores de amortiguamiento para las componentes del sistema y se desconoce el valor del amortiguamiento del sistema completo, el modelo matemático debe incorporar el valor que conduzca a resultados conservadores.

9 MÉTODOS DE ANÁLISIS

9.1 *Criterios Generales*

El análisis del sistema debe incorporar los efectos de las dos componentes horizontales y de la componente vertical del movimiento sísmico actuando simultáneamente, calculados de acuerdo con las Secciones 4, 5, 6 y 7 de estas especificaciones. Para el análisis, se pueden utilizar los métodos descritos a continuación u otros de rigor equivalente, previamente aprobados por PDVSA.

En cada uno de estos métodos de análisis, se deben incluir los efectos $P-\Delta$ y se pueden incluir los efectos de la interacción suelo-estructura. Los desplazamientos totales se obtienen multiplicando por la ductilidad (D), los desplazamientos obtenidos del análisis elástico.

9.2 *Métodos de Análisis Dinámico para Sistemas Elásticos*

En estos métodos, la estructura es modelada mediante un sistema lineal y elástico, con propiedades dinámicas (períodos y modos de vibración)

correspondientes a los de la estructura con su rigidez inicial, teniendo presente las excepciones indicadas en el Art. 8.2.

9.2.1 Análisis Modal con Espectro de Respuesta

En este método de análisis, la máxima respuesta dinámica de la estructura se obtiene a partir de la combinación de las respuestas máximas en cada modo de vibración. Los períodos y modos de vibración se determinan con las rigideces elásticas según se indicó en la Sección 8.2.

El número de modos (N_m) a incorporar debe ser tal que la suma de sus masas participativas no sea menor que el 90% de la masa total de la estructura, para cada una de las tres componentes sísmicas traslacionales.

Todas las sollicitaciones de interés en la estructura serán determinadas en cada uno de los modos de vibración y combinadas según describe a continuación.

El máximo valor de respuesta dinámica (R) ante la acción de una componente sísmica cualquiera, se determina combinando los valores máximos modales (R_i o R_j) según el criterio de la combinación cuadrática completa:

$$R = \left\{ \sum_i^{N_m} \sum_j^{N_m} C_{ij} R_i R_j \right\}^{1/2} \quad (9.1)$$

donde: la doble sumatoria se efectúa para todos los N_m modos de interés. Debe señalarse que en la [Ecuación \(9.1\)](#) los valores R_i y R_j deben incluirse con su signo correspondiente.

C_{ij} es el coeficiente de correlación entre los modos i y j dado por :

$$C_{ij} = \frac{2(1 + r)r^{1,5}}{100(1 - r^2)^2 + r(1 + r)^2} \quad (9.2)$$

donde $r = T_j / T_i$ es el cociente entre los períodos de los modos i y j .

9.2.2 Análisis Dinámico con Acelerogramas

Se deberán considerar como mínimo tres acelerogramas para cada dirección de la acción sísmica. Cuando se utilice el método de análisis modal, el número de modos a incorporar debe ser tal que la suma de sus masas participativas no sea menor que el 90% de la masa total de la estructura. La máxima respuesta del sistema se puede obtener del promedio de las máximas respuestas para cada acelerograma. Los acelerogramas a usar deben satisfacer los requerimientos especificados en la Sección [6.4](#).

9.3 Métodos Estáticos para Análisis Elástico

Los métodos de análisis estático se podrán emplear para determinar las fuerzas sobre la estructura debidas a las componentes horizontales del sismo, en los casos que se indican a continuación:

9.3.1 Sistemas Rígidos

En estructuras o sistemas que por su rigidez se mueven en forma solidaria con el terreno, tales como compresores recíprocos o bombas fijadas a fundaciones masivas, las fuerzas sísmicas se obtienen del producto de su masa (W/g) por la máxima aceleración del terreno ($A_0 \cdot g$); el valor de A_0 se obtiene de la [Ecuación \(6.3\)](#), Sección [6.3](#).

Esta fuerza debe distribuirse sobre los diversos componentes del sistema, proporcionalmente a la distribución de sus masas.

9.3.2 Sistemas Flexibles

En estructuras de altura limitada y en aquellas donde se autoricen procedimientos simplificados, se empleará uno de los dos métodos que se dan a continuación:

a. Método Simplificado

Las fuerzas sísmicas totales (V_0) se calcularán de acuerdo con la expresión:

$$V_0 = \frac{\beta^* A_0}{\sqrt{2D - 1}} W \quad (9.3)$$

donde:

$$W = \sum_{i=1}^N W_i \quad (9.4)$$

W_i : Peso de cada nivel o de las partes en las que se ha dividido la estructura.

β^* : Valor a calcular según la [Ecuación 6.4](#).

V_0 : Fuerza cortante en la base, en dirección horizontal.

A_0 : Coeficiente de la aceleración máxima del terreno (Sección [6.3](#)).

D : Factor de ductilidad, dado en la especificación de ingeniería correspondiente.

W : Peso total.

Las fuerzas laterales de diseño están dadas por la siguiente expresión:

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 24		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$$F_i = V_0 \frac{W_i H_i}{\sum_{j=1}^N W_j h_j} \quad (9.5)$$

donde:

F_i = Fuerza lateral en el nivel o junta i .

h_j = Altura del nivel o junta i respecto al nivel de base.

N = Número de niveles o juntas.

b. Método Estático Equivalente

En este método, la acción sísmica se modela mediante un conjunto de fuerzas laterales aplicadas estáticamente, sobre las juntas en las cuales se ha concentrado el peso tributario de la misma.

– Período Fundamental

El período fundamental de vibración se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$T = 2\pi \left\{ \frac{\sum_{i=1}^N w_i u_i^2}{g \sum_{i=1}^N f_i u_i} \right\}^{1/2} \quad (9.6)$$

siendo:

T = Período fundamental, en segundos.

N = Número de juntas que constituyen la estructura.

w_i = Peso tributario asociado a la junta i .

f_i = Fuerza lateral estática actuando sobre la junta i , cuya magnitud está dada por la Ecuación (9.7).

u_i = Desplazamiento lateral de la junta i debido a la aplicación del conjunto de N fuerzas estáticas definidas por la Ecuación (9.7).

g = Aceleración de gravedad.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 25		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

La fuerzas laterales para el cálculo del período se determinan a partir de:

$$f_i = C \frac{W_i h_i}{\sum_{j=1}^N W_j h_j} \quad (9.7)$$

donde :

h_i, h_j = Altura de la junta i o j , medida con respecto al nivel de base de la estructura, o nivel de desplazamiento lateral nulo.

C = Constante arbitraria, en unidades de fuerza. Por ejemplo, 1 t ó 1000 kg. La suma de todas las fuerzas laterales f_i es igual al valor de la constante C .

f_i = fuerza lateral en la junta i , para el cálculo del período.

– Fuerza Cortante en la Base

La fuerza cortante en la base de la estructura se determina a partir de la ecuación siguiente:

$$V_0 = \mu A_d W \quad (9.8)$$

donde:

A_d = Ordenada del espectro de diseño definida en la Sección 7 para el valor del período fundamental T calculado según la Ecuación (9.6).

W = Peso total de la estructura.

μ = Factor de reconciliación dinámico, dado por el mayor valor entre los calculados mediante las Ecuaciones (9.9) y (9.10).

$$\mu = 1,6 \left(\frac{NN + 9}{2NN + 14} \right) \quad (9.9)$$

$$\mu = 0,14 \left(\frac{T}{T^*} - 1 \right) + 0,70 \quad (9.10)$$

NN = Número total de niveles, donde se han concentrado los pesos.

T^* = Período característico del espectro de diseño definido en la Sección 7.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 26		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

– Distribución Vertical de Fuerzas Laterales

Las fuerzas laterales de diseño a ser aplicadas en cada junta de la estructura están dadas por la siguiente ecuación:

$$F_i = V_0 \frac{W_i H_i^{1,5}}{\sum_{j=1}^N W_j h_j^{1,5}} \quad (9.11)$$

F_i : Fuerza lateral aplicada en la junta i .

i : Varía desde 1 hasta N .

N : Número total de juntas.

W_i W_j : Peso tributario asociado a la junta i o j .

h_i h_j : Altura de la junta i o j , medida con respecto al nivel de base.

V_0 : Fuerza cortante basal dada por la [Ecuación \(9.8\)](#).

- 9.3.3 Los efectos de la componente vertical deben incorporarse en el diseño de acuerdo con el procedimiento dado en la Sección [10](#).

9.4 Métodos de Análisis Inelástico

Estos métodos representan una opción más refinada de análisis, la cual se recomienda en aquellos casos de estructuras especiales en donde se desee una identificación más precisa de las zonas críticas y un cálculo más realista de las demandas de ductilidad, tanto locales como globales, y de los mecanismos de falla de la estructura.

9.4.1 Análisis Estático Inelástico

La estructura será sometida a un vector de cargas laterales cuya magnitud se hace variar monotónicamente desde cero hasta alcanzar la falla o estado último de la estructura. La distribución de estas cargas se obtiene de aplicar la [Ecuación \(9.5\)](#).

9.4.2 Análisis Dinámico Inelástico

El movimiento sísmico se describe en términos de acelerogramas que satisfagan los requerimientos dados en la Sección [6.4](#) Se usará un número no menor de tres acelerogramas, independientes entre sí.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 27		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

La estructura será analizada mediante un procedimiento de integración directa de la ecuación diferencial que describe su respuesta dinámica (métodos paso a paso), para cada acelerograma. La respuesta dinámica probable se obtendrá de promediar las respuestas obtenidas para todos los acelerogramas.

Los parámetros de respuesta a controlar son las demandas de ductilidad, la energía disipada y el número de ciclos inelásticos.

9.5 *Ámbito de Aplicación*

El ámbito de aplicación de los Métodos de Análisis se indicará en la especificación particular para el Diseño Sismorresistente de cada instalación.

10 COMBINACIÓN DE LOS EFECTOS DEBIDOS A LA ACCIÓN DE LAS TRES COMPONENTES SÍSMICAS

Para determinar los efectos de la acción simultánea de las tres componentes del sismo, puede utilizarse uno cualquiera de los dos criterios siguientes, en donde se supone que cada componente sísmica está actuando según una de las direcciones principales de la estructura:

- a. La sollicitación final de diseño en un punto y en una dirección debida a la acción simultánea de las tres componentes del sismo, quedará definida como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las sollicitaciones correspondientes a cada una de las componentes del sismo. El resultado deberá considerarse con ambos signos (positivos y negativos) para efectos de su combinación con otras acciones de diseño.
- b. La sollicitación final de diseño debida a la acción simultánea de las tres componentes del sismo, se obtiene de combinar los valores del 100% de la sollicitación debida a sismo en una dirección, con el 30% de cada una de las sollicitaciones debidas a sismo en las otras dos direcciones ortogonales. Este criterio implica la consideración de tres casos correspondientes a la asignación del 100% en cada una de las tres direcciones. En la combinación se deben considerar todos los signos posibles.

11 ELEMENTOS ESPECIALES DE PROTECCIÓN SÍSMICA

Son aquellos sistemas especialmente diseñados para ser incorporados dentro de la estructura con la función de reducir las fuerzas sísmicas sobre la misma; entre ellos se tienen los sistemas de aislamiento y los de disipación de energía, tanto los del tipo pasivo como los del tipo activo.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 28		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

11.1 **General**

El diseño de estructuras cuyo buen comportamiento reposa en el uso de estos elementos, debe garantizar la seguridad de la misma para movimientos sísmicos con una intensidad 30% mayor que las establecidas en esta especificación.

Igualmente se debe verificar el buen funcionamiento de estos elementos cuando la estructura está sujeta a los vientos de diseño.

En la construcción se dejarán los accesos necesarios para efectuar inspecciones periódicas de estos elementos.

11.2 **Propiedades Mecánicas**

El comportamiento de estos elementos deberá estar sustentado por ensayos que demuestren sus propiedades de rigidez y disipación de energía bajo cargas verticales y ante suficientes ciclos de deformaciones alternantes, así como su estabilidad en el tiempo y su buen comportamiento ante cambios de temperatura, incendio, fatiga, efectos geológicos, envejecimiento y exposición a sustancias químicas.

En particular, las propiedades de rigidez y amortiguamiento del elemento a utilizar en el diseño y análisis de la estructura, deberán fundamentarse en ensayos hechos en una muestra seleccionada antes de la construcción. En estos ensayos, los elementos deberán ser capaces de resistir las cargas y deformaciones impuestas por un movimiento sísmico con una severidad 30% mayor que la indicada en esta especificación.

11.3 **Análisis**

El cálculo de estructuras que incorporen estos elementos deberá efectuarse mediante el uso de un método de análisis dinámico espacial cónsono con las propiedades lineales y no-lineales de los elementos y la estructura, incluyendo las tres componentes traslacionales del sismo.

Para el cálculo de las fuerzas de diseño sobre la estructura se adoptará un factor de ductilidad D no mayor que $1/2$ del valor que resultaría de diseñar la estructura sin estos elementos, y se adoptará la condición de máxima rigidez de los elementos. Para el cálculo de los desplazamientos, se adoptará la condición de mínima rigidez de los elementos.

12 **INSTALACIONES EXISTENTES**

12.1 **Propósito y Alcance**

En este capítulo se establecen los criterios de evaluación estructural que deben seguirse para la adecuación, remodelación, rehabilitación, reforzamiento o reparación de una instalación existente.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 29			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Estos criterios deben aplicarse en conjunto con el resto de las prescripciones contenidas en esta especificación, con la excepción de las modificaciones que aquí se introducen.

12.2 Niveles de Adecuación

Las instalaciones que de acuerdo con la Sección 4 clasifiquen en el Grado de Riesgo C ó D, deberán adecuarse para cumplir, como mínimo, todos los requerimientos de estas especificaciones.

Para los casos restantes, como alternativa podrán realizarse estudios costo–beneficio que justifiquen valores diferentes.

12.3 Información Requerida

- a. Cuando se disponga de documentos (planos, cálculos, registro de la construcción, etc.) de la estructura original, debe constatarse que dicho documento describa la instalación construida. Para ello deben efectuarse exploraciones en lugares representativos de la instalación.
- b. Se investigará asimismo la historia de cualesquiera solicitudes o acciones excepcionales sobrellevadas por la instalación para así definir su estado real, tales como: asentamientos, sobrecargas excesivas, vientos fuertes, sismos, incendios, corrosión, daños estructurales o no estructurales, filtraciones, y modificaciones o reparaciones efectuadas en la obra.
- c. Las propiedades mecánicas de los materiales se basarán en los reportes de inspección y documentos de cálculo originales, que deben ser corroborados adecuadamente. En caso necesario, se procederá a efectuar las pruebas de campo que sean necesarias tales como las estipuladas en el Capítulo 17 de la Norma COVENIN 1753, para el caso de concreto armado.

12.4 Criterios Generales para la Evaluación de Instalaciones Existentes

La evaluación sísmica de instalaciones existentes se regirá entre otros, de acuerdo con los siguientes criterios generales:

- a. Una vez definido el modelo para el análisis sísmico, se identificarán las secciones críticas asociadas a los posibles mecanismos de falla. Se prestará particular atención a las posibles fallas prematuras de tipo frágil.
- b. El valor de D asignado a la instalación debe justificarse en términos del comportamiento esperado, tomando en consideración información confiable sobre las condiciones reales de las propiedades de la estructura. Los valores de la ductilidad D establecidos en las especificaciones de

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 30			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

ingeniería para instalaciones similares, deben considerarse como valores máximos.

- c. En la verificación de la seguridad para sistemas con $D > 1$, se deberá dejar claramente expresado el mecanismo que controla la absorción y disipación de energía del sistema analizado.
- d. Se tomará en consideración el estado actual de la construcción o instalación en los aspectos citados en la [Sección 12.3.b](#).
- e. Cuando, como resultado de la evaluación detallada, se compruebe la falla de algún elemento, se procederá a investigar el efecto que tenga sobre la estabilidad del sistema estructural en consideración. Si se concluye que la estabilidad queda comprometida, se podrán tomar las medidas de refuerzo pertinentes o, alternativamente, proceder al uso de modelos inelásticos, en conjunto con el Método de Análisis Dinámico con Acelorogramas (Sección 9.2.2), a fin de evaluar, con mayor precisión, los daños esperados y la confiabilidad real del sistema existente.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 31		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

ANEXO 1. COMENTARIOS

C.1.1 Alcance

Estas especificaciones son generales y pueden ser aplicadas a la gran mayoría de estructuras de PDVSA: tanques, plataformas costa afuera, muelles, recipientes, tuberías, etc. Las limitaciones correspondientes a casos específicos se dan en las especificaciones particulares para el Diseño Sismorresistente; en estas se indican las características propias de cada instalación y singularidades tales como: amortiguamientos, efectos hidrodinámicos, criterios para la verificación de la seguridad, ductilidades, etc.

Tomando en consideración la necesidad de adecuar instalaciones existentes, diseñadas y construidas con especificaciones sísmicas menos exigentes, se ha ampliado el ámbito de aplicación de estas especificaciones al proyecto de refuerzos, modificación, y/o reparación de tales instalaciones.

Esta especificación no es aplicable a instalaciones de PDVSA en el exterior, a menos que la división propietaria solicite un estudio de peligro sísmico, a fin de que los diseños finales tengan un riesgo no mayor que las instalaciones situadas en el país.

En general, el objetivo de las presentes especificaciones es el de establecer métodos y procedimientos para el diseño de instalaciones de PDVSA contra acciones sísmicas intensas. Se tiende a minimizar así el riesgo de pérdidas de vidas, de pérdidas materiales y contaminación catastrófica. En la selección de los parámetros de diseño se ha intentado lograr grados comparables de riesgos de excedencia, independientemente de la localidad y de las condiciones del sitio.

Aún cuando los movimientos sísmicos de diseño no son necesariamente los más intensos que se puedan concebir en las áreas estudiadas, la probabilidad de excedencia durante la vida útil de las instalaciones se ha considerado suficientemente pequeña.

Bajo la acción de los sismos de diseño es previsible que ocurran algunos daños, generalmente limitados a elementos de fácil reparación. Para movimientos que excedan los valores de diseño, se persigue que la probabilidad de ruina o inestabilidad sea muy pequeña.

La selección adecuada de los movimientos del terreno debe entenderse como un complemento y no un sustituto de un buen diseño y ejecución, así como de una inspección cuidadosa.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 32		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

C.3 REQUERIMIENTOS GENERALES

C.3.1 Estrategia de Diseño

En concordancia con la filosofía de otras especificaciones (Ref. 3.1) las acciones sísmicas a considerar en el diseño dependen del desempeño esperado de la instalación y de las posibles consecuencias de su mal funcionamiento. De aquí que, por ejemplo, en el diseño de un tanque cilíndrico metálico de pared delgada, apoyado en el terreno, las acciones sísmicas dependerán de las consecuencias de desempeño: las acciones son distintas si este almacena agua potable, agua contra incendios ó productos inflamables (véase C.4.1). Estas diferencias son aún mayores si, como consecuencia de una eventual falla, hay un gran número de personas o propiedades amenazadas por una eventual catástrofe (véase [Tabla 4.1](#), Grado de Riesgo). Como consecuencia de lo anterior, en aquellas instalaciones de mayor riesgo, se utilizarán movimientos de diseño más intensos asociados a una menor probabilidad de excedencia, a fin de disminuir las probabilidades de alcanzar estados de falla durante su vida útil.

La experiencia de sismos pasados demuestra que bajo la acción de movimientos intensos, puede ser conveniente tolerar incursiones moderadas en el rango de deformaciones inelásticas. Estas, que constituyen daños limitados y reparables, son fuente de disipación de energía lo cual permite reducir la respuesta a las acciones dinámicas.

C.3.2 Estudios de Sitio

Los mapas de peligro sísmico constituyen una evaluación generalizada a nivel nacional, tomando en consideración la mejor información sismotectónica disponible (véase C.6.1). Los efectos del subsuelo local también se han establecido con base en condiciones generalizadas, que se dan en la Sección 5 de estas especificaciones. Por tal motivo, en instalaciones de singular importancia, estas acciones pueden ser sustituidas por aquellas que resultan de estudios, en los cuales se incorpore tanto el peligro sísmico de la localidad, como las características particulares del subsuelo local. Igualmente, se deben evaluar otras acciones sísmicas posibles en el sitio, tales como maremotos, deslizamientos del terreno, etc.

C.3.3 Relación con Normas y otras Especificaciones

Dada la naturaleza de las acciones sísmicas y las características propias de cada región, las presentes especificaciones prevalecen sobre cualquier otra para instalaciones de PDVSA, tanto en las acciones sísmicas a considerar en el diseño, como en el resto de su contenido.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 33		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Se asume que las instalaciones y estructuras han sido dimensionadas de acuerdo con las normas COVENIN vigentes, las cuales son de obligatorio cumplimiento en el territorio nacional, salvo que PDVSA haya especificado criterios propios más exigentes.

C.3.4 Mediciones y Ensayos con Fines de Evaluación

En la evaluación de instalaciones existentes, el modelado puede ser complementado, en forma conveniente, por mediciones en el sitio. Son frecuentes las mediciones de períodos y/ó amortiguamiento, bien sea bajo régimen de vibración ambiental, vibración libre o vibración armónica, así como la determinación de propiedades de los materiales.

C.3.5 Superposición con otras Acciones

Los criterios de superposición establecidos son consistentes con los procedimientos especificados para el cálculo de los efectos debidos a sismos. Los factores de carga m y n dependen de los métodos de diseño o de verificación a ser usados en cada caso, y están dados en las normativas correspondientes.

Las acciones sísmicas indicadas en esta especificación están referidas a nivel de cedencia. Por tanto, en los métodos de dimensionamiento de secciones basados en estados últimos, los efectos de la acción sísmica no deben ser mayorados: $q = 1$. Para el caso particular de los sistemas contra incendio, sus fijaciones y soportes, se exige $q = 1,20$ para asegurar su operatividad. Cuando la especificación particular permita el empleo de métodos basados en esfuerzos admisibles, los efectos de la acción sísmica pueden ser reducidos: $q < 1$.

C.4 CLASIFICACIÓN DE RIESGOS

C.4.1 Escala de Referencia

La definición del grado de riesgo que permite establecer la probabilidad de excedencia anual de la aceleración de diseño, se hace con base en las consecuencias de un accidente causado por el mal funcionamiento de la estructura. Estas consecuencias incluyen: las personas expuestas, las pérdidas económicas y el impacto ambiental, para lo cual se consideraron las Ref. 3.1 y 3.2.

En la selección del Grado de Riesgo es mandatoria la condición más desfavorable. Así, si una instalación amenaza a un número muy limitado de operarios, pero cuyo derrame pueda dar lugar a cuantiosas pérdidas económicas directas e indirectas, o generen un impacto ambiental desfavorable, debe ser clasificada dentro del grado de riesgo C ó D según sea el caso.

C.4.2 Casos Dudosos

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 34		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

En situaciones insuficientemente definidas, o que puedan quedar sujetas a cambios importantes en el futuro cercano, al seleccionar el grado de riesgo es recomendable adoptar criterios conservadores.

C.5 TERRENOS DE FUNDACIÓN

Es un hecho reconocido que las condiciones locales del subsuelo pueden modificar las características de los movimientos del terreno, se ha comprobado en numerosos registros acelerográficos obtenidos tanto en superficie como a diferentes profundidades de depósitos aluvionales; las formas espectrales difieren sensiblemente, con lo cual los efectos esperados son también distintos (Ref. 5.1, 5.2 y 5.3).

Resulta complejo incorporar la contribución de todos los factores que influyen en el movimiento del terreno en un sitio dado, y se requiere un criterio cuidadoso para estimar sus efectos particulares. Entre los factores que afectan el contenido de frecuencias, las amplitudes y la duración del movimiento, se pueden mencionar los siguientes: la presencia de depósitos aluvionales, la no homogeneidad entre los distintos estratos, las propiedades inelásticas de los suelos, la distancia de las fuentes y la topografía del sitio (Ref. 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4). Los efectos inelásticos alcanzan a ser muy importantes bajo ciertas condiciones y pueden atenuar, en lugar de amplificar, los movimientos en la superficie respecto a los movimientos en el lecho rocoso.

La influencia del suelo local en las formas espectrales tipificadas dadas en la Sección 5.1 se considera independiente de la intensidad del movimiento y en consecuencia de la zona sísmica. En la medida en que los depósitos estén constituidos por suelos más blandos, se hace mayor la influencia de las componentes de período más largo del movimiento, especialmente en el rango de períodos entre 0,5 y 2,0 segundos.

C.5.1 Selección de la Forma Espectral y del Factor φ

Características del perfil geotécnico y su respuesta dinámica

La respuesta dinámica de un depósito de suelo depende de las características del perfil geotécnico y de la zona sísmica donde el mismo está ubicado. En general, para fines de ingeniería resultan de interés las aceleraciones espectrales y la aceleración máxima en la superficie del terreno.

Ahora bien, a objeto de lograr la adecuada tipificación de la respuesta dinámica de los perfiles geotécnicos, los espectros de respuesta se deben generalizar e idealizar de acuerdo con los parámetros inherentes al suelo y a la forma del depósito, los cuales controlan la respuesta dinámica. Es importante destacar que los conceptos de perfil geotécnico y forma espectral no deben ser considerados

como sinónimos, debido a que muchos perfiles geotécnicos pueden tener respuestas similares o el mismo depósito puede tener respuestas diferentes ante sismos lejanos y cercanos.

En la Tabla C.5.1 se indican los dos parámetros más importantes que controlan la respuesta dinámica de los perfiles geotécnicos, los cuales han permitido la tipificación de las formas espectrales. En la elaboración de dicha tabla se han tomado en consideración: (i) los efectos importantes observados durante terremotos ocurridos en los últimos 30 años; (ii) lo establecido en las normas de otros países; y (iii) los estudios más recientes sobre efectos de sitio en la respuesta dinámica de perfiles geotécnicos (véase Comentarios al Capítulo 5 de COVENIN 1756-98).

En la Tabla C.5.1, la velocidad de las ondas de corte es el parámetro de mayor importancia para definir las características de la respuesta de un perfil, y se dan algunos valores característicos.

TABLA C.5.1

CORRELACIÓN DE VS CON LA COMPACIDAD Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN PARA SUELOS Y ROCAS

Descripción del material	N1 (60) (a)	Velocidad propagación de ondas de corte (m/s)
Suelos blandos o sueltos (muy baja rigidez)	$N1 (60) < 10$	$Vs < 170$
Suelos firmes o medianamente densos (baja rigidez)	$10 \leq N1 (60) \leq 20$	$170 \leq vs. \leq 250$
Suelos duros o densos (Medianamente rígidos)	$20 \leq N1 (60) \leq 50$	$250 \leq vs. \leq 400$
Suelos muy duros o muy densos (rígidos)	$N1 (60) > 50$	$vs. > 400$
Roca blanda	—	$vs. > 400$
Roca dura	—	$vs. > 700$

- (a) N1 (60) es el número de golpes del ensayo SPT corregido por confinamiento y eficiencia energética del equipo.

Formas espectrales tipificadas

Para la formulación de las formas espectrales tipificadas S1 y S4, incluidas en la Sección 5.1, se utilizaron además de espectros reales, otros obtenidos mediante la aplicación de modelos constitutivos y semiempíricos de respuesta dinámica de perfiles geotécnicos (Ref. 5.5; 5.6; 5.7).

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 36		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Las formas espectrales tipificadas S1 y S4 toman en cuenta los parámetros característicos incluidos en la [Tabla 5.1](#) y otros tales como: la distancia epicentral, las propiedades sismoelásticas locales, el tipo de suelo, la dirección de aproximación de las ondas sísmicas, la profundidad de los depósitos y la estratigrafía. Los análisis consideraron sismos provenientes de fuentes lejanas y cercanas, tanto reales como sintéticos.

Aceleración horizontal máxima en la superficie del terreno

Existen evidencias de que las condiciones geotécnicas locales, particularmente cuando están presentes suelos blandos, modifican la aceleración máxima en la superficie del terreno. Los valores del factor ϕ , fueron obtenidos a partir de análisis comparativos entre: (i) las aceleraciones en la superficie correspondientes a distintos estudios de amenaza sísmica, realizados con procedimientos analíticos similares pero con distintas leyes de atenuación y; (ii) las aceleraciones en la superficie del terreno obtenidas con diferentes modelos para evaluar la amplificación por suelos blandos (5.8). Para sitios muy próximos a fallas activas es necesario realizar estudios particulares ya que las aceleraciones, y por ende, los coeficientes de aceleración horizontal, podrían ser mayores que los establecidos en estas especificaciones.

Determinación del promedio de las velocidades de las ondas de corte en perfiles geotécnicos

La velocidad de las ondas de corte es el parámetro más importante para la evaluación de la respuesta dinámica de los perfiles geotécnicos. En la [Tabla C.5.1](#) se requiere la velocidad promedio del perfil V_{sp} la cual debe ser estimada en la forma que se indica a continuación.

El promedio ponderado de las velocidades de ondas de corte para un perfil geotécnico se calculará a partir de la sumatoria de los tiempos de viaje verticales en los diferentes estratos o subestratos en el perfil. En caso que el perfil sea homogéneo o el espesor de los estratos sea muy grande y exista una variación significativa de las velocidades con la profundidad, se pueden definir subestratos con base en las características o la distribución de las velocidades con la profundidad. El tiempo de viaje en cada estrato se denominará, $t_{e,i}$, y el mismo representa el tiempo promedio empleado por la onda en atravesarlo, de acuerdo con la ecuación básica:

$$T_{e,i} = h_{e,i} / V_{sp,i} \quad (C.5.1)$$

donde: $h_{e,i}$ es el espesor del estrato y $V_{sp,i}$ es el promedio de la velocidad de las ondas de corte en ese estrato.

El tiempo promedio total de viaje de la onda a través del perfil será entonces:

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 37		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$$t_{pt} = \sum (h_{e,i} / V_{sp,i}) \quad (C.5.2)$$

y la velocidad promedio, V_{sp} , se obtiene como el cociente de la altura total del perfil, $H = \sum (h_{e,i})$, entre la sumatoria de los tiempos parciales de viaje por cada estrato:

$$V_{sp} = H / \sum (h_{e,i} / V_{sp,i}) \quad (C.5.3)$$

Las velocidades de las ondas de corte pueden ser medidas directamente o estimadas a partir de correlaciones empíricas con los ensayos SPT ó CPT, tomando la precaución de utilizar las correcciones necesarias según el caso. Cuando se trate de arcillas se pueden utilizar también correlaciones basadas en la resistencia al corte sin drenaje con la velocidad de las ondas de corte.

Es oportuno mencionar que las mediciones en sitio no excluyen la necesidad de realizar perforaciones geotécnicas, ya que ambos métodos son complementarios.

C.5.2 Casos Especiales

Las formas espectrales indicadas en la Sección 6.3 de estas especificaciones generales, tienen validez para depósitos de suelos estables y, por lo tanto, no son aplicables a depósitos de suelos susceptibles a licuarse. Por ello, estos suelos deberán tratarse previamente para disminuir o suprimir su potencial de licuación antes de clasificarlos como alguno de los perfiles típicos, indicados en la Sección 5.1.

C.6 MOVIMIENTOS SÍSMICOS

C.6.1 Mapas de Peligro Sísmico

Los mapas que se dan en las [Figs. 6.1](#) y [6.2](#) son el resultado de la cuantificación probabilística del peligro sísmico fundamentada en la mejor información disponible para el año 1996. Es previsible que a medida que se amplíe la estadística sobre los movimientos fuertes del terreno debido a sismos locales, así como la comprensión de sus orígenes y la frecuencia de ocurrencia de grandes terremotos, será necesario ajustar los valores y/o la forma de las curvas de las [Figs. 6.1](#) y [6.2](#).

El procedimiento para el cálculo del peligro sísmico, contenido en esta especificación difiere del procedimiento clásico utilizado comúnmente en diversas normas de diseño, en que permite la incorporación de un número mayor de variables que condicionan el valor de la aceleración máxima del terreno en el

sitio de interés. En la formulación clásica, tal como se emplea en la Norma COVENIN 1756 de Edificios, el usuario selecciona la aceleración de diseño a partir de un mapa de zonificación el cual está asociado a un período fijo de retorno del movimiento sísmico (lo cual equivale a fijar pares de valores (P^*, t) , siendo P^* la probabilidad de excedencia en la vida útil t de la obra). En la formulación de la [JA 221](#), la presencia de los dos mapas asociados a los parámetros a^* y γ permite que la aceleración de diseño pueda ser determinada igual que en la formulación clásica o considerando diferentes períodos de retorno y vidas útiles. Siendo esta última opción más amplia y flexible que la anterior, se ha optado por mantener los dos mapas de zonificación en esta nueva versión de [JA 221](#). Ambos mapas han sido elaborados con nueva información sismotectónica desarrollada en el último lustro.

El análisis de los resultados del cálculo del peligro sísmico en términos de la aceleración máxima del terreno, revela que en el rango de valores de interés hay una relación aproximadamente lineal entre el logaritmo de la tasa anual de excedencia (λ) y el logaritmo de la aceleración máxima del terreno (a) Esto es:

$$\ln \lambda = q - \gamma \ln a \quad (\text{C.6.1})$$

donde: q y γ son parámetros que caracterizan el peligro sísmico de la localidad. La [Ecuación \(C.6.1\)](#) puede expresarse como:

$$\lambda = \left(\frac{a}{a^*} \right)^{-\gamma} \left(\frac{1}{\text{año}} \right) \quad (\text{C.6.2})$$

donde se ha introducido la variable a^* dada por:

$$a^* = e^{q/\gamma} \quad (\text{cm/s}^2) \quad (\text{C.6.3})$$

C.6.2 Aceleración Horizontal Máxima del Terreno

Bajo la hipótesis de que el número de sismo ($N_{a,t}$) que en un período de t años excede un nivel especificado de aceleración (a), sigue una distribución de Poisson, la probabilidad de que en t años suceda por lo menos un evento con aceleración mayor o igual que “ a ”, viene dada por :

$$P [N_{a,t} > 0] = P^* = 1 - e^{-\lambda t} \quad (\text{C.6.4})$$

Sustituyendo λ por la [Ecuación \(C.6.2\)](#), se tiene:

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 39		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$$P^* = 1 - e^{-t \left(\frac{a}{a^*}\right)^{-\gamma}} \quad (C.6.5)$$

La probabilidad de excedencia P^* en t años, es una forma de cuantificar el riesgo sísmico de la instalación. Obsérvese que para $t = 1$, $P^* = p_1$ que representa la probabilidad de excedencia anual dada en la [Tabla 4.1](#).

Hasta tanto no se avance más en el área de predicción de los sismos, se mantendrán modelos sin memoria. O sea, la selección del sismo de diseño es independiente de la actividad sísmica reciente, y se asocia a una probabilidad de excedencia constante. Obviamente, en el caso de fallas activas importantes, que no se han movido en un lapso de tiempo que se acerca o excede su período medio de retorno, este criterio no es conservador; en la medida que se conozca mejor la sismicidad y se adelanten métodos válidos de predicción, las probabilidades de excedencia tenderán a variar con el tiempo.

En esta especificación general, se definen dos vías alternativas para el cálculo de la aceleración máxima del terreno, las cuales se describen a continuación:

C.6.2.1 Opción 1

Se define como parámetro fijo la probabilidad de excedencia anual (p_1) del movimiento sísmico, la cual viene dada en la [Tabla 4.1](#) en función del Grado de Riesgo. Debe recordarse que el inverso de p_1 es el período (T) de retorno del movimiento: $p_1 = 1/T$.

Además, la probabilidad de no-excedencia durante la vida útil (t) está dada por:

$$1 - P^* = (1 - p_1)^t \quad (C.6.6)$$

La aceleración de diseño está dada por:

$$a = a^* \left[-\ln(1 - p_1) \right]^{-1/\gamma} \quad (C.6.7)$$

donde se observa que dicha aceleración es independiente de la vida útil (t) de la instalación y sólo depende de la zona sísmica (a^* y γ) y de p_1 (o su inverso el período de retorno T).

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 40		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Debemos también destacar que la probabilidad de excedencia (P^*) durante la vida útil y la misma vida útil, están correlacionadas mediante la siguiente expresión:

$$P^* = 1 - (1 - p_1)^t \quad (C.6.6a)$$

de donde se desprende que p_1 está asociado a pares variables de valores de P^* y t .

Ejemplo 1:

Sea una zona sísmica definida por $a^* = 62$ y $\gamma = 3,6$. Sea una instalación con un valor prefijado de $p_1 = 0,002$ (o período de retorno de 500 años).

De la [Ecuación \(C.6.7\)](#) se obtiene la aceleración de diseño:

$$a = 348 \text{ cm/s}^2$$

Usando la [Ecuación \(C.6.6a\)](#), esta aceleración podemos asociarla a los siguientes pares de valores de vida útil y de probabilidades de excedencia:

Para $t = 30$ años	$P^* = 0,0585$
Para $t = 50$ años	$P^* = 0,0956$
Para $t = 100$ años	$P^* = 0,182$

o a cualquier otro par de valores.

Finalmente, conviene resaltar que dichos pares de valores corresponden al mismo período de retorno de 500 años.

C.6.2.2 Opción 2

En esta opción se define como parámetro fijo la probabilidad de excedencia (P^*) durante la vida útil de la obra. Conocida P^* , la aceleración máxima del terreno se obtiene a partir de las Ecuaciones ([C.6.7](#) y [C.6.6.a](#)):

$$a = a^* \left[\left(-\ln(1 - P^*) / t \right) \right]^{-1/\gamma} \quad (C.6.8)$$

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 41		

[.Menú Principal](#)

[Índice manual](#)

[Índice volumen](#)

[Índice norma](#)

donde se debe destacar que la aceleración de diseño sí depende de la vida útil (t) de la obra. Igualmente se debe mencionar que la probabilidad (p_1) de excedencia anual (o su inverso el período de retorno T) es también dependiente de la vida útil adoptada.

Ejemplo 2:

Sea la misma zona sísmica del ejemplo anterior, con $a^* = 62$ (cm/s^2) y $\gamma = 3,6$. Sea una instalación con un valor prefijado de $P^* = 0,10$. De la [Ecuación \(C.6.8\)](#) se obtienen las siguientes aceleraciones de diseño y períodos de retorno (T) para las tres vidas útiles (t) seleccionadas:

Para t = 30 años	a = 298 cm/s^2	T = 285 años
Para t = 50 años	a = 343 cm/s^2	T = 476 años
Para t = 100 años	a = 416 cm/s^2	T = 950 años

Comparación

En resumen, la Opción 1 se fundamenta en fijar el valor del período de retorno del sismo, mientras que la Opción 2 resalta el valor de la probabilidad de excedencia durante la vida útil. Comparando los resultados de los dos ejemplos presentados se puede apreciar que a igualdad de hipótesis, igualdad de resultados. Ambas opciones son teóricamente correctas (bajo la hipótesis del modelo de Poisson) y ellas han sido utilizadas como criterio de diseño sísmico en diversos países.

A título de ilustración, en la Tabla C.6.1 se presenta una síntesis de criterios que han sido aplicados en el diseño sismorresistente de varios tipos de obras en diversos países; el período medio de retorno indicado no es más que $1/P_1$. Se aprecia en la tabla que en la medida que las posibles consecuencias de una falla o mal funcionamiento sean de naturaleza catastrófica, o que por su importancia convenga reducir la probabilidad de ruina, el valor de P_1 tiende a ser menor.

La estrategia anterior se refleja en los valores de la [Tabla 4.1](#) de estas especificaciones.

TABLA C.6.1
CRITERIOS APLICADOS EN LA SELECCIÓN DE RIESGOS ACEPTABLES EN EL DISEÑO SISMORRESISTENTE (FUENTES NO INDICADAS)

INSTALACIÓN O EDIFICACIÓN A SER DISEÑADA (1)	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA ANUAL (10^{-3})	PERÍODO MEDIO DE RETORNO (años) $\approx \frac{1}{P_1}$
Edificaciones ($\alpha = 1,0$)	2,1	475
Edificaciones ($\alpha = 1,25$)	1,1 a 0,7	900 a 1.430
Puentes ($\alpha = 1,0$)	1,75	570
Puentes ($\alpha = 1,25$)	0,76 a 0,51	1.300 a 1.970
Plataformas costa afuera, respuesta elástica	4,2	238
Plataformas costa afuera, verificación de estabilidad	0,40	2.490
Equipos eléctricos de alto voltaje; respuesta elástica	0,67 a 0,33	1.490 a 3.000
Represas	< 1,0	> 1.000
Estructuras críticas	1 a 0,1	1.000 a 10.000
Centrales nucleares. Parada automática por sismo	0,2 a 0,1	5.000 a 10.000
Instalación de gas licuado.	0,1 a 0,001	10.000 a 1.000.000
Depósitos de desperdicios radio-activos; vida útil de 10.000 años.	0,001 a 0,00001	1.000.000 a 100.000.000

C.6.3 Espectros de Respuesta Elástica

A continuación se ejemplifica el procedimiento establecido en esta subsección con la determinación del espectro de respuesta para el diseño de una instalación a ser proyectada en una localidad caracterizada por: $a^* = 45 \text{ gal}$, $\gamma = 3,2$ y suelo tipo S2 ($\varphi = 1,0$). De acuerdo con la Opción 2 dada en la Sección 6.2.2, la vida útil se ha fijado en 50 años y el valor de P^* se seleccionó igual a 0,07; el amortiguamiento del sistema es igual a 3%. Así, se tiene:

$$a = 45 \left[\frac{-\ln 0,93}{50} \right]^{-1/3,2} = 347 \text{ gal}$$

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 43		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

$$A_0 = a/g = 0,354$$

De la [Tabla 6.1](#):

$$\beta = 2,6$$

$$T^0 = 0,20 \text{ s}$$

$$T^* = 0,85 \text{ s}$$

De la Ecuación (6.4):

$$\beta^* = \frac{2,6}{2,3} (0,0853 - 0,739 \ln 0,03) = 3,03$$

C.6.4 Historias de Aceleraciones

En las normas empleadas usualmente en el diseño sismorresistente de edificaciones, así como en las correspondientes a puentes, las acciones sísmicas son generalmente especificadas por medio de espectros de respuesta reducidos por ductilidad. Se deja abierta la opción de justificar métodos de análisis en el dominio del tiempo, con acelerogramas.

En otro tipo de estructuras, por ejemplo represas de tierra ubicadas en sitios de elevado peligro sísmico, la caracterización de la acción sísmica con base en acelerogramas es obligatoria a fin de tomar en consideración el carácter no lineal de su respuesta dinámica. En muchas estructuras, tales como las encontradas en instalaciones petroleras y petroquímicas, el uso de acelerogramas puede ser conveniente dado que suministra mayor información sobre la respuesta dinámica del sistema estructural.

Cuando se decida el empleo de acelerogramas en el diseño ó evaluación de instalaciones de PDVSA, se requiere utilizar un número no menor de tres, todos ellos cumpliendo lo estipulado en la [Sección 6.4](#) de estas especificaciones. PDVSA-INTEVEP cuenta con una base de datos de historias de aceleraciones. Este mínimo de tres acelerogramas es necesario con el fin de incorporar la variabilidad que caracteriza la máxima respuesta dinámica de estructuras ante sismos; los valores de diseño deben determinarse promediando las respuestas máximas para todos los acelerogramas.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 44			

[.Menú Principal](#)

[Índice manual](#)

[Índice volumen](#)

[Índice norma](#)

La intensidad de cada acelerograma es seleccionada de manera que sea equivalente a la intensidad de los sismos definidos en esta especificación. Es por esta razón que se exige que el espectro de cada acelerograma sea similar al espectro elástico ($D = 1$) de la Sección 6.3. Sin embargo, no es necesario que se ajusten en todo el rango de períodos; es suficiente que ello ocurra en la zona de los períodos propios del sistema estructural en consideración.

C.6.5 Componentes del Movimiento

Los movimientos sísmicos actúan simultáneamente en tres direcciones ortogonales entre sí: dos direcciones horizontales y la dirección vertical. De acuerdo con la evaluación estadística de espectros de respuesta verticales, provenientes de registros reales, el empleo de espectros verticales cuyas ordenadas son un 70% de los horizontales, es representativo de los movimientos esperados en la dirección vertical (véase C.10). Cuando se utilicen acelerogramas generados artificialmente, se debe evitar que las componentes ortogonales del movimiento estén correlacionadas (Ref. 9.8).

Los espectros para las componentes rotacionales del movimiento sísmico pueden obtenerse a partir de procedimientos como los presentados en las Refs. 9.10 y 9.11, que incorporan la velocidad de las ondas y las dimensiones de la fundación.

C.7 ESPECTROS DE DISEÑO

Estudios analíticos, así como la interpretación del desempeño de estructuras afectadas por sismos, revelan que la respuesta dinámica a las sollicitaciones sísmicas de sistemas de un grado de libertad con relaciones no elásticas entre las fuerzas y los desplazamientos, conducen a aceleraciones máximas menores que las correspondientes a una respuesta estrictamente elástica. Las conclusiones establecidas para sistemas de un grado de libertad pueden extenderse a sistemas de varios grados de libertad, siempre que no haya discontinuidades importantes en la distribución de masas y rigideces del sistema.

Por las razones anteriores, los espectros elásticos dados en la Sección 6.3. pueden ser reducidos dividiéndolos entre el factor de ductilidad. Debe tenerse presente que los desplazamientos del sistema, obtenidos a partir de un análisis elástico con las fuerzas provenientes de espectros reducidos, deberán ser multiplicados por D para obtener los desplazamientos reales que origina la acción sísmica.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 45		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

Los criterios aquí seguidos para obtener el espectro de diseño a partir del espectro elástico, se basan en los resultados presentados en la Ref. 7.2.

En la [Fig. C.7.1](#) se gráfica el espectro de diseño para un Factor de Ductilidad $D = 4$, obtenido para el ejemplo presentado en la Sección [C.6.3](#). Para este caso se tiene un valor de $T^+ = 0,30$ s.

C.8 MODELADO

C.8.1 Instalaciones Soportadas sobre Estructuras

La opción de utilizar espectros de piso que se da en la Sección [8.1](#) puede resultar apropiada y ventajosa cuando se trata de evaluar instalaciones cuya masa es mucho menor que la masa de la estructura que la soporta. Tal sería el caso de grandes plataformas que soportan instalaciones flexibles de masa limitada o apéndices.

A continuación se da un procedimiento, generalmente conservador, esencialmente válido para el caso de estructuras de soporte con una parte importante de su masa concentrada en el nivel donde se encuentra fijado el apéndice. Este procedimiento es válido cuando se satisface una de las siguientes condiciones:

$$\mu < 0,1 \text{ para } \tau < 0,8 \text{ ó } \tau > 1,25 \quad (\text{C.8.1})$$

$$\mu < 0,01 \text{ para } 0,8 \leq \tau \leq 1,25 \quad (\text{C.8.2})$$

Donde:

$$\tau = T_a / T_s$$

$$\mu = M_a / M_s$$

$$T_s = \text{Período de la estructura de soporte}$$

$$M_s = \text{Masa de la estructura de soporte}$$

$$T_a = \text{Período del apéndice}$$

$$M_a = \text{Masa del apéndice}$$

Obviamente, la masa del apéndice se incorporará a la masa de la estructura de soporte para su análisis, aún cuando mientras se cumplan las condiciones C.8.1 ó C.8.2 la interacción soporte–apéndice, puede ignorarse.

El espectro a utilizar en la base del apéndice para determinar las solicitaciones que se generan en sus miembros, queda descrito por:

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

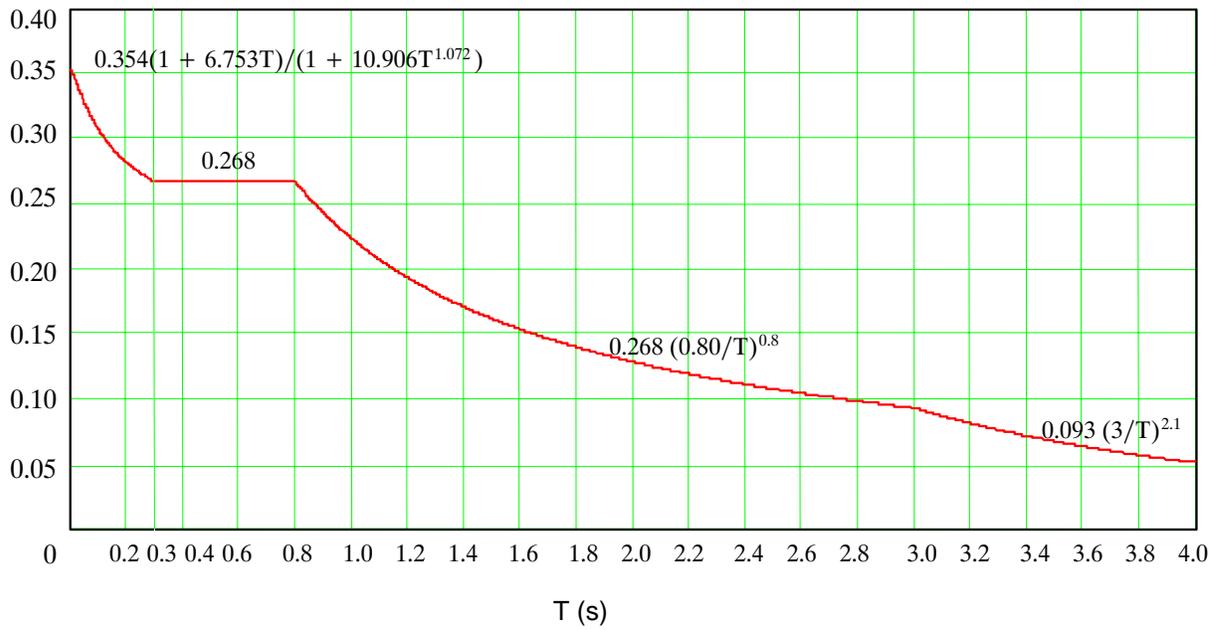


FIG. C.7.1 ESPECTRO DE DISEÑO

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 47		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- a. Para $T_a < T^*$, las mismas Ecuaciones (7.1 y 7.2) de la Sección 7 de estas especificaciones con los siguientes cambios:

$A_d = A_{d,a}$ = Ordenada del espectro de diseño del apéndice

$\varphi A_o = A_{d,s}$ = Aceleración espectral de diseño correspondiente al modo fundamental de la estructura de soporte; esto presupone que el primer modo traslacional es predominante, con historias de respuesta tipo de batimientos.

$$\beta^* = 1 / (4 \xi_a)$$

$T = T_a$

$D = D_a$ = Factor de ductilidad del apéndice

$T^* = 1,15 T_s$

$T^\circ = 0,85 T_s$

ξ_a = Coeficiente de amortiguamiento del apéndice (%)

- b. Para $T_a \geq T^*$ ($\tau \geq 1.15$):

$$A_{d,a} = \frac{0,342 A_{d,s}}{D} \left[(1 - \tau^2)^2 + (2\tau\xi_a)^2 \right]^{-0,5} \quad (C.8.3)$$

C.8.2 Masas

En el cálculo de las solicitaciones sísmicas es fundamental que el modelo matemático sea representativo de la estructura real, tanto en sus dimensiones y propiedades mecánicas como en las masas presentes en la eventualidad de un sismo y su distribución. Así, se deben modelar los materiales y componentes que constituyen la instalación, y calcular el peso más probable en condiciones de operación; es improbable que el sismo de diseño se superponga a las sobrecargas accidentales, como lo son: pruebas hidrostáticas o de presión, de muy corta duración en comparación a la vida útil.

C.8.3 Propiedades Mecánicas

La selección de algunas propiedades a considerar en el diseño de nuevas instalaciones, puede ser hecha con base en información disponible de instalaciones similares; por ejemplo, el valor del amortiguamiento referido al crítico a ser empleado en la Ecuación (6.4). En la evaluación sísmica de instalaciones existentes, es usual que se efectúen mediciones de sus propiedades dinámicas: amortiguamiento, frecuencias propias y formas modales. Los métodos experimentales se pueden clasificar en procedimientos de vibración libre y de vibración forzada. Sobre la instrumentación, los

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 48		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

procedimientos y el cálculo, véanse las Refs. 9.5, 9.6 y 9.7. La posibilidad de contrastar las frecuencias propias y formas modales medidas con los valores analíticos, permite eventuales correcciones en el modelo matemático, mejorando así la confiabilidad en la predicción de los efectos del sismo. Sin embargo, debe tenerse presente que los valores de rigideces obtenidos en ensayos dinámicos con vibraciones de pequeña amplitud, pueden sobrestimar los valores representativos de la respuesta ante sismos la cual está caracterizada por amplitudes mayores.

C.9 MÉTODO DE ANÁLISIS

C.9.1 Criterios Generales

Tal como queda establecido en las Secciones 6.5 y 10, en el análisis del sistema debe tenerse presente que los movimientos sísmicos actúan simultáneamente en tres direcciones ortogonales entre si. En el análisis se deben incorporar sus efectos.

Los métodos descritos pueden ser sustituidos por otros de rigor equivalente, aún cuando su justificación debe ser aprobada por el representante de PDVSA.

C.9.2 Métodos de Análisis Dinámico para Sistema Elásticos

Estos métodos determinan las fuerzas inerciales en la estructura tomando en consideración sus propiedades dinámicas. En la Ref. 9.5 se presenta la teoría del análisis dinámico estructural y se describen los métodos de cálculo más utilizados.

Los procedimientos dados en las Secciones 9.2 y 9.3 están basados en la hipótesis de que los efectos inelásticos pueden ser adecuadamente incorporados, llevando a cabo un análisis lineal del sistema resistente a sismos con espectros reducidos de respuesta elástica (Ref. 9.1).

La aplicabilidad de este procedimiento está condicionada a una distribución regular de sus resistencias. En efecto, una distribución irregular puede conducir a concentraciones en la demanda de ductilidad y, en consecuencia, los métodos citados tienden a dar resultados que no están del lado de la seguridad.

La masa participativa del modo “i” para sismo en dirección “l” está dada por:

$$\beta_{li} = \frac{(\underline{\phi}_i^t \underline{M} \underline{b}_l)^2}{\underline{\phi}_i^t \underline{M} \underline{\phi}_i} \quad (C.9.1)$$

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 49		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

siendo:

ϕ = autovector del modo "i"

b_i = vector que define la componente sísmica "i"

M = matriz de masa

I = x, y ó z

C.9.2.1 Análisis Modal con Espectro de Respuesta

El método de análisis dinámico tiene por objeto evaluar la respuesta máxima probable y constituye una alternativa de uso general para el análisis de todos los tipos de estructuras. Su empleo es prescriptivo en aquellas instalaciones para las cuales no es válido el método de la Sección 9.3. Los valores de respuesta sísmica deberán calcularse para los casos de sismos en direcciones X, Y y Z, actuando independientemente.

Dado que los modos resultantes del análisis pueden tener frecuencias cercanas entre sí, se deben usar métodos de combinación que tomen en cuenta su acoplamiento. (Ref. 9.2 y 9.3).

C.9.2.2 Análisis Dinámico con Acelerogramas

Debe tenerse presente que sólo se logran resultados confiables si se examinan las estadísticas de la respuesta bajo varias historias de movimientos del terreno, reales o simuladas, en número que generalmente se recomienda no sea menor de 3 y consistentes con los espectros de respuesta dados en la Sección 7.2. Al respecto, véase la Ref. 9.4.

C.9.3 Métodos Simplificados

Los métodos simplificados tienen como objetivo la determinación de fuerzas laterales a ser aplicadas en cada junta o nivel adoptado en el modelo matemático de la estructura.

C.9.3.1 Sistemas Rígidos

Aquellas instalaciones o estructuras rígidamente vinculadas al terreno se consideran sistemas rígidos si su período fundamental es inferior a 0,05 segundos aproximadamente. Es el caso de equipos o instalaciones tales como bombas o compresores, apernados a fundaciones masivas, las cuales no amplifican la excitación del terreno. La distribución de fuerzas aludida en esta sección aplica, por ejemplo, al efecto de las fuerzas cortantes y de volcamiento, sobre los pernos de anclaje.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 50			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

C.9.3.2 Sistemas Flexibles

Al igual que otros métodos simplificados, es previsible que las fuerzas sísmicas totales obtenidas con el procedimiento establecido en esta sección sean conservadoras; esto es particularmente válido para sistemas muy flexibles, razón por la cual sólo se recomienda para estructuras de altura limitada.

C.9.4.1 Análisis Estático Inelástico

Este método es recomendable en el caso de estructuras especiales, ya sea por su carácter irregular o por su importancia. Debe destacarse que este método suministra una información más realista sobre la conducta estructural y permite identificar zonas críticas. La importancia de la información que proviene de este análisis justifica el esfuerzo de preparar los datos adicionales sobre las propiedades de la estructura.

C.10 COMBINACIÓN DE LOS EFECTOS DEBIDOS A LA ACCIÓN DE LAS TRES COMPONENTES SÍSMICAS

Los criterios de combinación de los efectos debidos a las tres componentes del movimiento del terreno se han fundamentado en la Sección 2.7.5 de la Ref. 9.1.

Se debe tener presente que estos criterios de combinación suponen la independencia estadística de las tres componentes ortogonales del movimiento sísmico, razón por la cual se acepta que sus coeficientes de correlación valen cero. El mismo criterio se aplica si se añaden las componentes rotacionales del terreno.

En el caso de aquellos elementos estructurales donde los máximos probables de los valores individuales de las solicitaciones actuantes en una sección (obtenidos de aplicar el criterio 10a), no necesariamente definan el caso crítico de diseño, deben utilizarse todas las combinaciones posibles en las solicitaciones debidas a sismos. Por ejemplo, en columnas sometidas a flexión biaxial: $+ P, \pm M_x, \pm M_y$. Se tendrían así ocho combinaciones posibles de signos a fin de detectar el caso crítico de diseño. Debe asimismo tenerse presente que esta recomendación puede conducir a algunos casos muy improbables de obtener físicamente.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221	
	REVISION 1	FECHA FEB.99		
	Página 51			

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

La aplicación del criterio 10b se ilustra en el siguiente ejemplo para el caso de combinar los efectos de gravedad (carga permanente + carga variable) con los efectos del sismo x, sismo y, sismo z:

gravedad $\pm 1,00$ sismo x $\pm 0,30$ Sismo y $\pm 0,30$ Sismo z

gravedad $\pm 0,30$ Sismo x $\pm 1,00$ Sismo y $\pm 0,30$ Sismo z

gravedad $\pm 0,30$ Sismo x $\pm 0,30$ Sismo y $\pm 1,00$ Sismo z

Este último criterio es recomendado en las Refs. 9.9, 9.12 y 9.13. Cuando se justifique ignorar los efectos de la componente vertical del sismo, las combinaciones anteriores se limitan a las dos componentes horizontales. Las solicitaciones resultantes de la acción sísmica se combinan con las otras acciones de servicio y operación según se estipula en la Sección 3.5.

C.11 ELEMENTOS ESPECIALES DE PROTECCIÓN

Algunas normas internacionales han incluido recientemente recomendaciones para el diseño sísmico de estructuras que incluyan estos elementos especiales, tal como la indicada en la Ref. 11.1.

En la Ref. 11.2 se presentan varios trabajos sobre los sistemas pasivos.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO	
	DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES	
	REVISION 1	FECHA FEB.99
Página 52		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

REFERENCIAS A LOS COMENTARIOS

- 3.1 New Zealand National Society for Earthquake Engineering. Seismic Design of Storage Tanks. December, 1986.
- 3.2 Petróleos de Venezuela S.A. Gerencia Corporativa de Protección Integral. Guía de Análisis de Riesgos. Caracas, Mayo de 1990. 28 p + Anexos.
- 5.1 SEED, H.B; UGAS, C. and LYSMER, J. Site dependent spectra for earthquake resistant design. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 66, # 1, February. pp. 221–144,1976.
- 5.2 UGAS, C. Espectros para diseño antisísmico en función de las condiciones locales del suelo. Boletín IMME, # 48, Octubre–Diciembre, 1974. Caracas.
- 5.3 National Earthquake Reduction Program. Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings. FEMA, Washington 1988.
- 5.4 OHTSUKI, A. and HARUMI, K. “Effect of Topography and Subsurface Inhomogeneities on Seismic SV Waves”. EESD. Vol.–11 441–462 (1983).
- 5.5 ECHEZURIA, H. (1997). Efectos de sitio. En: Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios Empleados en Venezuela. Acad Cienc. Fis. Mat y Nat., Edit J. Grases, pp 91–111, Caracas.
- 5.6 RIVERO, P. (1996). Respuesta espectral del sitio considerando comportamiento inelástico del suelo. Tesis de Maestría, ULA, Mérida.
- 5.7 PAPAGEORGIU, A. and KIM, J (1991). “Study of the Propagation and Amplification of seismic waves in Caracas Valley with Reference to the 29 July 1967 Earthquake: SH Waves”. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 81, No. 6, pp 2214–2233.
- 5.8 ECHEZURIA, H. (1998). Análisis de las Aceleraciones Máximas del Terreno Ocurridas Durante el Sismo de Cariaco–97. Aceptado para publicación en la Revista Técnica del IMME, UCV, 1998.
- 7.1 N. NEWMARK and W.J. Hall. Earthquake Spectra and Design. Earthquake Engineering Research Institute. Berkeley, California. 1982.
- 7.2 R. RIDELL, P. HIDALGO y E. CRUZ. Response Modification Factors for Earthquake Resistant Design of Short Period Buildings. Earthquake Spectra, Vol. 5, # 3, 1989.
- 9.1 CHOPRA A.K. and NEWMARK N.M. Analysis. In: Design of Earthquake Resistant Structures, edited by E. Rosenblueth, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- 9.2 ROSENBLUETH E. and ELORDUY J. Responses of linear system to certain transient disturbances. Proc. IV WCEE, Santiago de Chile, 1969, Vol. 1, pp. 185–196.
- 9.3 KAN C. and CHOPRA A. Coupled lateral torsional response of building to ground shaking. Berkeley, University of California, EERC 1976, 76–13.

	MANUAL DE INGENIERIA DE DISEÑO DISEÑO SISMORRESISTENTE DE INSTALACIONES INDUSTRIALES		PDVSA JA-221
	REVISION 1	FECHA FEB.99	
	Página 53		

[.Menú Principal](#)

[Indice manual](#)

[Indice volumen](#)

[Indice norma](#)

- 9.4 BIGGS J., HANSEN R. and HOLLEY M. On methods of structural analysis and design for earthquake. In: Structural and Geotechnical Mechanics, a volume honoring N. M. Newmark, W.J. Hall Editor, Prentice Hall 1977, pp. 91–101.
- 9.5 CLOUGH, R.W. and PENZIEN, J. Dynamics of Structures. Mc Graw–Hill Book Co., 1975.
- 9.6 WIEGEL, R.L. Editor. Earthquake Engineering. Prentice–Hall, Inc, 1970.
- 9.7 NEWMARK, N. and ROSENBLUETH, E. Fundamentals of Earthquake Engineering. Prentice–Hall, Inc, 1971.
- 9.8 ROSENBLUETH, E. Characteristics of Earthquakes. In Design of Earthquake Resistant Structures, edited by E. Rosenblueth, John Wiley & Sons, New York, 1980.
- 9.9 FEMA. NEHRP Recommended Provisions for the Development of Seismic Regulations for New Buildings. Building Seismic Safety Council, 1991 Edition.
- 9.10 NEWARK N., “Torsion in Symmetrical Buildings”, 4th World Conference on Earthquake Engineering, Chile, (1969).
- 9.11 HSO W. K., & HSU T. I., “Torsional Spectrum for Earthquake Motions”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol. 6, (1978).
- 9.12 EUROCODE N° 8. Structures in Seismic Regions. Design. Part 1. May 1988 Edition.
- 9.13 French Association of Earthquake Engineering. Recomendations AFPS 90 for the Elaboration of Rules relative to the Structures and Installations Built in Regions Prone to Earthquakes, 1990.
- 11.1 UBC. Uniform Building Code, 1994.
- 11.2 R.D.Hanson (Editor). Passive Energy Dissipation. Earthquake Spectra, Vol. 9, No 3, August, 1993.