

DOCUMENTO I

## **ESPECIFICACIÓN TÉCNICA SOBRE REQUERIMIENTOS ANTISÍSMICOS**

---

CADAFE NSP-420

### **NOTA DEL COORDINADOR**

Elaborado en 1983, este documento está en vigencia desde Enero de 1984. Actualmente es de aplicación obligatoria en la verificación de la seguridad sísmica de equipos e instalaciones en S/E de alto voltaje.

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pag</b>
1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN	491
2. NORMAS A CONSULTAR	491
3. DEFINICIONES	491
3.1. ACELEROGRAMA	491
3.2. COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO RELATIVO	491
3.3. ESPECTRO DE ACCELERACIÓN ABSOLUTA	491
3.4. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA	491
4. ACCIONES SÍSMICAS	492
4.1. ZONIFICACION Y MOVIMIENTOS MÁXIMOS DEL TERRENO	492
4.2. PERFILES DE SUELOS TIPIFICADOS	495
4.3. ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA	495
4.4. ACELEROGRAMAS	497
5. MÉTODOS Y CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN SÍSMICA DE EQUIPOS DE SUBESTACIONES	497
5.1. MÉTODOS Y CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN ANALÍTICA	497
5.2. MÉTODOS Y CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN EXPERIMENTAL	499
5.3. CRITERIOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD	502
6. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CALIFICACIÓN DE EQUIPOS	503
6.1. GENERAL	503
6.2. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE EQUIPOS DE TENSIÓN IGUAL A 115 KV	503
6.3. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE EQUIPOS DE TENSIÓN IGUAL A 230 KV	504
6.4. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE EQUIPOS DE TENSIÓN IGUAL A 400 KV Y 765 KV	504
6.5. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE TABLEROS Y GABINETES	504
7. PROGRAMA DE ENSAYO	505
8. CONTENIDO DEL INFORME TÉCNICO	505
8.1. GENERAL	505
8.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS	505
8.3. EVALUACIÓN ANALÍTICA	505
8.4. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL	506
8.5. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS DE OTROS ENSAYOS	506
9. ESPECIFICACIONES A SER EXIGIDAS EN EL DISEÑO DE OBRAS CIVILES E INSTALACIONES DE SUBESTACIONES	506
9.1. GENERAL	506
9.2. ESPECIFICACIONES PARA LAS DIFERENTES OBRAS CIVILES E INSTALACIONES	506
10. BIBLIOGRAFÍA	507

## 1. OBJETIVO Y CAMPO DE APLICACIÓN

La presente especificación establece los requerimientos para el análisis y diseño de equipos incluyendo sus estructuras de apoyo y fundaciones, e instalaciones de subestaciones eléctricas, que pueden quedar sometidas a acciones sísmicas.

## 2. NORMAS A CONSULTAR

Conjuntamente con esta especificación se deben utilizar las siguientes normas:

### CADAFE

- NG-2 Normas de carácter jurídico.
- NS-G3 Normas generales para subestaciones. obras electrodomésticas.  
Normas para ejecución de las obras.
- NS-P-100 Especificación técnica general para el diseño, construcción y puesta en marcha de las subestaciones.
- NS-P-101 Especificación técnica para la presentación de proyectos de subestaciones.

### COMISIÓN VENEZOLANA DE NORMAS INDUSTRIALES (COVENIN)

- 1756-82 Norma para edificaciones antisísmicas.
- 1618-80 Norma para estructuras de acero para edificaciones: proyecto, fabricación y construcción.
- 1753-81 Normas para estructuras de concreto armado para edificios. Análisis y diseño

Las Normas y Especificaciones anteriormente mencionadas se considerarán complementarias entre sí y en caso de contradicciones regirá un orden de jerarquía de aplicabilidad similar al del listado.

## 3. DEFINICIONES

### 3.1. ACELEROGRAMA

Es un registro de la historia de aceleraciones en un punto durante la ocurrencia de un evento sísmico.

### 3.2. COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO RELATIVO

Es un valor adimensional que representa la capacidad de disipación de energía que tiene un sistema vibratorio.

### 3.3. ESPECTRO DE ACELERACIÓN ABSOLUTA

Es un espectro de respuesta elástica cuyo parámetro de respuesta es la máxima aceleración absoluta del oscilador de un grado de libertad.

### 3.4. ESPECTRO DE RESPUESTA ELÁSTICA

Definí la respuesta máxima de osciladores elásticos de un grado de libertad y de un mismo amortiguamiento, sometidos a un acelerograma dado. El espectro se expresa como una función del período fundamental del oscilador.

Para otras definiciones véase la Norma COVENIN 1756-82.

#### 4. ACCIONES SÍSMICAS

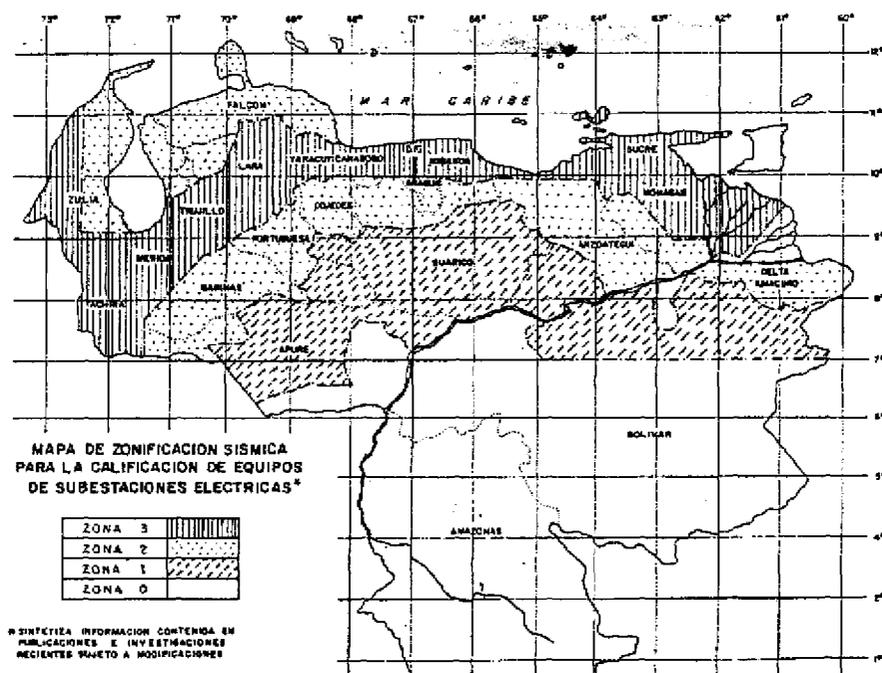
Cada equipo, sus partes y las estructuras de apoyo incluidas las fundaciones, deberán ser diseñadas para resistir sin sufrir ningún tipo de daño ni limitaciones en sus condiciones normales de servicio, la más desfavorable de las respuestas sísmicas totales que se deriven de los movimientos máximos del terreno especificados en las Secciones 4.1 a 4.3.

En la selección de sitios para subestaciones, así como las fundaciones de las torres de líneas de alta tensión, se deberán evitar las fallas geológicas reconocidamente o potencialmente activas. Igualmente, se deberán evitar aquellos terrenos que en caso de sismo sean susceptibles de licuefacción, así como las cercanías a taludes naturales o artificiales cuya estabilidad a las acciones sísmicas aquí prescritas no haya sido debidamente demostrada.

##### 4.1. ZONIFICACIÓN Y MOVIMIENTOS MÁXIMOS DEL TERRENO

A los fines del diseño y verificación de equipos e instalaciones de subestaciones, el país queda dividido en las zonas sísmicas indicadas en el Mapa P-420; la delimitación por Estados, Distritos, Departamentos o áreas se da en la Tabla 4.1. Para determinar los valores de diseño correspondientes a los espectros de respuesta dados en la Sección 4.3, se tomarán los valores máximos de "a" dados en la Tabla 4.2. Para los espectros correspondientes a movimientos horizontales se tomará el valor de "a" y para los movimientos verticales un valor igual a 2/3 de "a".

**Figura 1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA  
PARA LA CALIFICACIÓN DE EQUIPOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS.**



**Tabla 1. ZONIFICACIÓN SÍSMICA PARA LA CALIFICACIÓN DE EQUIPOS DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS (DISTRITOS, DEPARTAMENTOS O ÁREAS)**

<b>ESTADO</b>	<b>ZONA 3</b>	<b>ZONA 2</b>	<b>ZONA 1</b>
<b>ANZOÁTEGUI</b>	Distrito Sotillo, áreas de los 10°N correspondientes a los Distritos Bruzuál, Peñalver y Bolívar	Resto del Estado, excluidos los Distritos Monagas y Miranda.	Distritos Monagas y Miranda.
<b>APURE</b>	Area Occidente de La Victoria (Distrito Páez).	Resto del Distrito Páez	Resto del Estado, excluido el Distrito Pedro Camejo
<b>ARAGUA</b>	Todo el Estado, excluidas las áreas situadas al sur de los 10°N.	Resto del Estado	
<b>BARINAS</b>	Distrito Bolívar, áreas al Nor-oeste de los Distritos Zamora, Pedraza, Obispos y Arvelo Torrealba (aproximadamente limitado por la carretera Santa Bárbara-Boconoito).	Resto del Estado, excluido el Distrito Arismendi	Distrito Arismendi
<b>BOLÍVAR</b>		Distrito Caroní y Ciudad Bolívar.	Áreas al norte de los 7° de los Distritos Sucre, Heres, Piar y Roscio.
<b>CARABOBO</b>	Todo el Estado, excluidas las áreas situadas al Sur de los 10°N.	Resto del Estado.	
<b>COJEDES</b>	Area situada al norte de Cojedes (localidad del Distrito Anzoátegui)	Resto del Estado, excluido el Distrito Girardot	Distrito Girardot.
<b>DISTRITO FEDERAL</b>	Completo		
<b>FALCÓN</b>	Dístrito Federación	Resto del Estado y zona en discusión con el Estado Lara.	
<b>GUÁRICO</b>		Distrito Roscio, Mellado y Monagas	Resto del Estado
<b>LARA</b>	Todo el Estado, excluidas la parte occidental del Distrito Urdaneta y el área al Nor-oeste del Distrito Torres	Resto del Estado y zona en discusión con el Estado Zulia.	
<b>MÉRIDA</b>	Todo el Estado, incluida la zona en discusión con el Estado Zulia.		

Tabla 1. (continuación)

<b>(DISTRITOS, DEPARTAMENTOS O ÁREAS)</b>			
<b>ESTADO</b>	<b>ZONA 3</b>	<b>ZONA 2</b>	<b>ZONA 1</b>
<b>MIRANDA</b>	Todo el Estado.		
<b>MONAGAS</b>	Todo el Estado, excluidas las áreas al oeste de Barrancas (Distrito Sotillo) y al suroeste del Distrito Maturín (aproximadamente limitado por la carretera El Silencio-Maturín-El Furrial).	Resto del Estado	
<b>NUEVA ESPARTA</b>	Todo el Estado		
<b>PORTUGUESA</b>	Los Distritos Sucre y Araure, zona en discusión con el Estado Lara, áreas situadas al noroeste de los Distritos Guanare y Ospino (aproximadamente limitado por la carretera Boconoito-Guanare-Ospino-Acarigua)	Resto del Estado	
<b>SUCRE</b>	Todo el Estado		
<b>TÁCHIRA</b>	Todo el Estado		
<b>TERR. FEDERAL AMAZONAS</b>			
<b>TERR. FEDERAL AMACURO</b>	Departamento Tucupita	Resto del Territorio.	
<b>TRUJILLO</b>	Todo el Estado		
<b>YARACUY</b>	Todo el Estado, incluida la zona en discusión con el Estado Falcón		
<b>ZULIA</b>	Distrito Sucre, área al sur de los 9°N y al oeste de los 72,5°W	Resto del Estado.	
<b>CASOS ESPECIALES</b>	Regiones adyacentes a embalses de más de 80m de altura.		

Tabla 4.2

**ACELERACIÓN MÁXIMA DEL TERRENO**

ZONA	a (1)
0	No se requiere verificación
1	0,18g
2	0,30g
3	0,50g

(1) g es la aceleración de la gravedad

Cuando las características locales del subsuelo y/o estudios específicos de la amenaza sísmica así lo indiquen, los valores en la Tabla 4.2 podrán ser incrementados.

**4.2. PERFILES DE SUELOS TIPIFICADOS**

A los fines de los espectros de respuesta, los suelos se clasifican en los siguientes tres perfiles típicos.

**4.2.1. PERFIL TIPO I**

Este perfil puede estar constituido por uno de los dos siguientes:

**a)** Roca de cualquier característica, bien sea roca dura y sana, o roca blanda y meteorizada.

**b)** Suelos duros y/o densos, cuya profundidad comprobada hasta la roca es menor de 50 metros; los tipos de suelo que cubren la roca pueden ser depósitos de arena y grava muy densas, o arcillas muy duras o bien una mezcla de ellos. En aquellos casos donde no se compruebe la profundidad del depósito, se usará un perfil Tipo II.

**4.2.2. PERFIL TIPO II**

Es un depósito de suelos de gran espesor. Estos suelos pueden ser arenas y gravas medianamente densas o muy densas, limos y arcillas medias a duras, o bien una mezcla de ellos.

**4.2.3. PERFIL TIPO III**

Es un perfil con suelos no cohesivos y/o suelos cohesivos blandos, de espesor mayor de 10 metros contenido en los primeros 30 metros de profundidad.

Cuando existan dudas acerca del tipo de suelo, el Contratista deberá seleccionar para el análisis aquel que conduzca a las solicitaciones más desfavorables.

**4.3. ESPECTROS DE RESPUESTA ELÁSTICA****4.3.1. COMPONENTES HORIZONTALES DEL MOVIMIENTO SÍSMICO**

El espectro de la aceleración absoluta para cada una de las componentes horizontales del movimiento sísmico se define de la siguiente forma (Figura 4.3).

$$\begin{aligned}
 Sa &= a && \text{para } T < 0,05 \text{ seg} \\
 Sa &= \frac{1}{0,05} [a(0,10-T) + Sa^*(T-0,05)], && \text{para } 0,05 \text{ seg} \leq T \leq 0,10 \text{ seg} \\
 Sa &= Sa^* && \text{para } 0,10 \text{ seg} < T < T^* \\
 Sa &= Sa^* \times (T^* / T)^\gamma && \text{para } T \geq T^*
 \end{aligned}$$

donde:

**Sa** : es la aceleración espectral,

**Sa\*** : es el máximo valor de la aceleración espectral, dado por:

$$Sa^* = (0,0785 - 0,68 \ln \xi) \beta a$$

**a** : máxima aceleración del terreno (Sección 4.1);

**$\xi$**  : coeficiente de amortiguamiento relativo;

**$\beta$**  : factor de modificación del suelo (Tabla 4.3.1));

**T** : período de vibración en segundos;

**T\*** : período de esquina del espectro en segundos (Tabla 4.3.1);

**$\gamma$**  : coeficiente que define la zona descendente del espectro (Tabla 4.3.1).

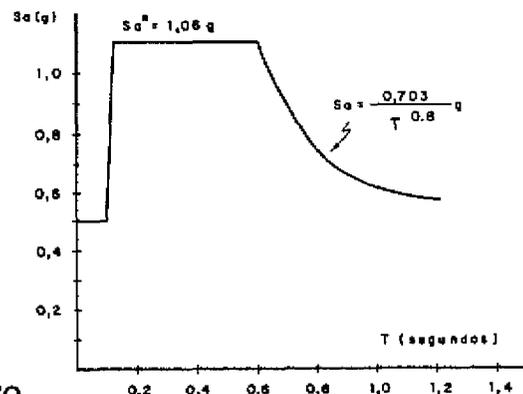
Tabla 4.3.1

**PARÁMETROS QUE DEFINEN EL ESPECTRO DE LA ACCELERACIÓN ABSOLUTA**

TIPO DE SUELO	T* (segundos)	$\gamma$	$\beta$
I	0,6	0,8	1,0
II	0,8	0,7	1,0
III	1,2	0,6	0,8

Figura 4.3

ESPECTRO DE LA ACCELERACIÓN ABSOLUTA PARA LA ZONA 3, SUELO TIPO I, Y UN COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO RELATIVO DE 0,05; g ES LA ACCELERACIÓN DE GRAVEDAD



### **4.3.2. COMPONENTE VERTICAL DEL MOVIMIENTO SÍSMICO**

El espectro de la aceleración absoluta para la componente vertical del movimiento sísmico se obtiene multiplicando el espectro de la componente horizontal por  $2/3$ .

### **4.4. ACELEROGRAMAS**

La acción sísmica sobre el sistema puede ser especificada 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 especificados en la Sección 4.3; en el rango de frecuencias características del sistema considerado, las ordenadas del espectro de respuesta para el acelerograma seleccionado deben aproximar conservadoramente las ordenadas del espectro de respuesta dado en la Sección 4.3. La duración total del acelerograma será consistente con la intensidad de la acción sísmica prescrita y la duración de su fase fuerte no deberá ser menor de 10 segundos. Se entiende por fase fuerte, el intervalo de tiempo durante el cual las aceleraciones alcanzan valores iguales a por lo menos el 25% de la aceleración máxima.

## **5. MÉTODOS Y CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN SÍSMICA DE EQUIPOS DE SUBESTACIONES**

### **5.1. MÉTODOS Y CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN ANALÍTICA**

#### **5.1.1. RECOMENDACIONES PARA LA FORMULACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO**

El modelo matemático utilizado para idealizar el sistema estructural debe simular apropiadamente las características mecánicas y dinámicas de éste, incluyendo los diversos materiales y componentes que lo constituyen. En particular, el modelo matemático debe incluir la estructura soporte del equipo considerado.

Los parámetros utilizados para definir el modelo matemático pueden ser determinados mediante procedimientos analíticos, experimentales, o por una combinación de ambos. Los coeficientes de amortiguamiento deben determinarse mediante procedimientos experimentales o seleccionarse a partir de estudios que recomienden valores para sistemas similares. Para aquellos sistemas que requieran de una evaluación experimental, los coeficientes de amortiguamiento utilizados en el modelo matemático deberán basarse en los resultados de los ensayos. Si son conocidos los diferentes valores de amortiguamiento para los componentes del sistema y se desconoce el valor del amortiguamiento del sistema completo, el modelo matemático debe incorporar los valores del amortiguamiento de sus componentes o incorporar el valor que conduzca a resultados conservadores.

El número de masas y de grados de libertad utilizados para discretizar el sistema, debe reproducir apropiadamente la distribución real de masa y las formas (modos) de vibración características de la estructura.

El modelo debe incorporar todas aquellas deformaciones por flexión, corte, torsión y fuerza axial que influyan en la respuesta sísmica del sistema considerado.

## **5.1.2. MÉTODOS DE ANÁLISIS**

### **5.1.2.1. GENERAL**

El análisis del sistema estructural debe incorporar los efectos de las dos componentes horizontales y la componente vertical del movimiento sísmico actuando simultáneamente. Se pueden utilizar los métodos descritos en las Secciones 5.1.2.2 y 5.1.2.3 u otros de rigor equivalente.

### **5.1.2.2. MÉTODO ESTÁTICO DE ANÁLISIS**

#### **a) SISTEMAS RIGIDOS**

Es aplicable para aquellos sistemas que posean un período fundamental menor que 0,05 segundos. La fuerza sísmica total sobre el sistema se obtiene del producto de su masa por la máxima aceleración del terreno. Esta fuerza debe distribuirse sobre los diversos componentes del sistema proporcionalmente a la distribución de sus masas.

#### **b) SISTEMAS FLEXIBLES**

La fuerza sísmica total sobre el sistema se obtiene del producto de 1,5 veces su masa por la máxima aceleración espectral  $S_a^*$  dada en la Sección 4.3.1, para un valor realista del amortiguamiento.

Un valor más pequeño de esta fuerza puede ser utilizado siempre que se demuestre que es conservador tomando en cuenta las propiedades dinámicas del sistema. Para aquellos sistemas que posean un sólo grado de libertad, el factor 1,5 del párrafo anterior puede ser reemplazado por el factor 1,0. La fuerza sísmica total se distribuye sobre los componentes del sistema proporcionalmente a la distribución de sus masas.

### **5.1.2.3. MÉTODO DINÁMICO DE ANÁLISIS**

#### **a) MÉTODO DE ANÁLISIS MODAL CON ESPECTRO DE RESPUESTAS**

La máxima respuesta del sistema se obtiene de la combinación de las máximas respuestas en cada uno de los modos de vibración. El número de modos a incorporar debe ser tal que la inclusión de modos adicionales no aumente la máxima respuesta en más de un 5%.

Cuando las frecuencias de los modos de vibración difieran entre sí en más de un 10%, la máxima respuesta del sistema puede determinarse de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las máximas respuestas en cada modo. En el caso contrario, el criterio de combinación modal debe considerar el acoplamiento entre modos de frecuencias cercanas, o alternativamente

determinar la máxima respuesta del sistema a partir de la suma de los valores absolutos de las máximas respuestas modales.

### **b) 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 inclusión de modos adicionales no aumente la máxima respuesta en más de un 5%. La máxima respuesta del sistema se puede obtener del promedio de las máximas respuestas para cada acelerograma. Los acelerogramas a usar deben satisfacer las condiciones especificadas en la Sección 4.4.

### **5.1.3. COMBINACIÓN DE ACCIONES**

En la verificación de los esfuerzos máximos estipulados en las Secciones 5.3.1. y 6 se deberá considerar la combinación más desfavorable de cargas. Esta deberá entenderse como la combinación más desfavorable de la acción sísmica, con las acciones de servicio y con aquellas acciones accidentales cuya probabilidad de ocurrencia simultánea con las acciones sísmicas, no se considere remota.

La sollicitación final de diseño en cada dirección y en cualquier punto de la estructura debido a la acción sísmica, quedará definida como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados del valor obtenido para cada una de las tres componentes ortogonales del sismo; otro criterio de combinación deberá ser debidamente justificado. Las acciones de servicio incluyen el peso propio y las sobrecargas propias del uso (por ejemplo, presión interna). En el caso de equipo que puedan operar automáticamente durante un sismo (por ejemplo los interruptores), deberá considerarse la ocurrencia simultánea de las acciones accidentales más desfavorables, tal como los efectos debidos a corto circuito.

## **5.2. MÉTODOS Y CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN EXPERIMENTAL**

### **5.2.1. CRITERIOS GENERALES**

El ensayo deberá simular las condiciones reales de operación del sistema considerado. En particular se deberán incorporar en el ensayo los amortiguadores, si está prevista su inclusión en el sistema en estudio, y la base de soporte, salvo que el galibo no lo permita. Para el ensayo se deberá reproducir el mismo sistema de anclaje y conexiones a la fundación del sistema en consideración.

Se deberá disponer de un número suficiente de puntos de medición debidamente ubicados, para la adecuada determinación de las propiedades dinámicas del equipo.

## **5.2.2. PRUEBAS PARA LA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES DINÁMICAS**

Para la determinación de las propiedades dinámicas del sistema, pueden ser utilizados ensayos de vibración libre o de vibración forzada; las vibraciones inducidas en el sistema durante el ensayo, pueden ser de menor amplitud en relación a las vibraciones inducidas por la acción sísmica especificada en la Sección 4.3, aunque deben ser lo suficientemente grandes para tomar en cuenta las no linealidades que puedan desarrollarse en el sistema.

### **5.2.2.1. ENSAYO DE VIBRACIÓN LIBRE**

Consiste en la eliminación súbita de una carga lateral aplicada sobre el sistema. Para el cálculo del período fundamental y del coeficiente de amortiguamiento correspondiente, deberá considerarse un número suficiente de ciclos en el registro de respuesta del sistema, del cual se derive un valor representativo del amortiguamiento.

### **5.2.2.2. ENSAYO DE VIBRACIÓN FORZADA**

Consiste en inducir vibraciones en el sistema mediante la aplicación de una excitación armónica, aleatoria o de cualquier otro tipo, en la base (ensayo sobre mesa vibrante) o en otro punto del sistema. Del registro de la respuesta estructural se determinarán las funciones de transferencia del sistema, a partir de las cuales se obtendrán las propiedades dinámicas (frecuencias, modos de vibración, coeficientes de amortiguamiento) más relevantes del sistema considerado. Cuando se utilizan amortiguadores se deberán tomar precauciones en la interpretación de los registros a fin de no sobrestimar el amortiguamiento efectivo.

En el caso de excitación armónica, el barrido de frecuencias deberá cubrir el rango de frecuencias del equipo que tiene una contribución significativa en su respuesta sísmica. Cuando se utilice una excitación de carácter aleatoria, ésta deberá tener una duración lo suficientemente larga para permitir la adecuada identificación de las propiedades del sistema; si la excitación aleatoria se imparte mediante la aplicación de una fuerza colocada en algún punto del sistema distinto a su base, ésta se deberá aplicar en un número suficiente de puntos para describir apropiadamente las propiedades del sistema.

## **5.2.3. PRUEBAS BAJO ACCIONES SÍSMICAS SIMULADAS EN MESA VIBRANTE**

El movimiento de la mesa puede especificarse en términos de excitaciones de una o múltiples frecuencias. Uno cualquiera de los ensayos descritos a continuación es aceptable. Otro tipo de movimiento de la mesa puede ser aceptado, siempre que satisfaga los criterios generales aquí establecidos. En cada ensayo deberá disponerse de un número suficiente de puntos de medición en las zonas más críticas del equipo para cuantificar objetivamente el nivel de seguridad en términos de esfuerzos y desplazamientos.

### 5.2.3.1. MOVIMIENTO DE UNA SOLA FRECUENCIA

a) El movimiento de la mesa puede ser armónico simple o un armónico con debatimiento según se describe en las Secciones 5.2.3.1.1 y 5.2.3.1.2. La frecuencia del movimiento debe ser igual a la frecuencia natural del sistema considerado, se requiere de un ensayo para todas aquellas frecuencias naturales cuyos modos contribuyan significativamente en la respuesta. La amplitud del movimiento de la mesa debe ser tal que la ordenada de su espectro de respuesta en la frecuencia del sistema, aproxime conservadoramente la ordenada del espectro de respuesta especificada en la Sección 4.3 multiplicado por un factor de mayoración de 1,5. El factor de mayoración puede reducirse a 1,0 en aquellos sistemas que posean una única frecuencia propia. El espectro especificado en la Sección 4.3 y el espectro correspondiente al movimiento de la mesa, deben compararse para el mismo valor del amortiguamiento del sistema, el cual es determinado a partir de cualquiera de los procedimientos especificados en la Sección 5.2.2

b) El ensayo deberá realizarse preferentemente bajo la acción simultánea de una componente horizontal y de una componente vertical del movimiento sísmico, en las dos etapas siguientes: una primera etapa en la cual las componentes del movimiento de la mesa están en fase y la segunda en la cual están 180° fuera de fase.

c) Cuando el sistema posea dos direcciones horizontales principales, cuyas propiedades no sean iguales, el ensayo deberá realizarse para cada una de ellas.

#### 5.2.3.1.1. MOVIMIENTO SINUSOIDAL

La amplitud del armónico se seleccionará de acuerdo a lo especificado en la Sección 5.2.3.1.a. La duración del movimiento debe ser consistente con la intensidad de la acción sísmica prescrita en la Sección 4 y no debe ser inferior a 10 veces el período fundamental del sistema considerado

#### 5.2.3.1.2. MOVIMIENTO CON DEBATIMIENTO ARMÓNICO

El número de ciclos por debatimiento, el número de debatimientos y la amplitud máxima del movimiento, se seleccionarán de acuerdo a los criterios especificados en la Sección 5.2.3.1.a. La duración del movimiento deberá ser consistente con la intensidad de la acción sísmica prescrita en la Sección 4. Se deberán aplicar como mínimo tres debatimientos con cinco (5) ciclos cada uno.

### 5.2.3.2. MOVIMIENTOS DE AMPLIO CONTENIDO DE FRECUENCIAS

a) El movimiento de la mesa puede ser especificado en términos de acelerogramas provenientes de registros reales, o de acelerogramas artificiales que simulen las características de los reales de acuerdo a la Sección 4.4. En cualquier caso, la intensidad del movimiento debe ser tal que su espectro de respuesta aproxime conservadoramente el espectro de respuesta especifi-

cado en la Sección 4.3, en el rango de las frecuencias características del sistema considerado. Ambos espectros deben compararse para el mismo valor del amortiguamiento previamente determinado a partir de cualquiera de los ensayos especificados en la Sección 5.2.2.

- b)** El ensayo deberá realizarse preferentemente para la acción simultánea de una componente horizontal y la vertical del movimiento sísmico.
- c)** El sistema deberá ser ensayado para cada una de sus dos direcciones horizontales principales, a menos que sus propiedades sean iguales en cada dirección.

#### **5.2.4. PRUEBAS DE CALIBRACIÓN**

El objetivo de esta prueba es determinar la rigidez transversal del equipo y calibrar los sistemas de medición de deformaciones unitarias y desplazamientos bajo acciones monotónicamente crecientes.

La prueba consistirá en la aplicación de una fuerza horizontal en la dirección del eje principal seleccionado, aplicada en el centro de gravedad del equipo, con un valor máximo de por los menos igual al 50% del producto de la masa total del equipo por la aceleración espectral correspondiente al período fundamental y al amortiguamiento determinado experimentalmente. La fuerza deberá incrementarse gradualmente entre cero y su valor máximo en tres ciclos consecutivos de carga y descarga, tomando un número apropiado de mediciones durante cada ciclo.

### **5.3. CRITERIOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD**

#### **5.3.1. ESFUERZOS MÁXIMOS**

La resistencia del equipo, de sus partes, así como de la estructura soporte y sus fundaciones, se considerará aceptable si los esfuerzos máximos para la combinación más desfavorable de cargas (Sección 5.1.3.), sumados al máximo valor de cualquier carga adicional del equipo en servicio, mantengan un factor de seguridad por lo menos igual a 1,5 en relación a los siguientes límites:

- a)** Para los materiales frágiles (por ejemplo porcelana), la resistencia mínima a flexotracción, definida como el valor medio ( $u$ ) disminuido en dos veces la desviación standard ( $2\sigma$ ). Tanto  $u$  como  $\sigma$  deberán ser valores garantizados por el fabricante.
- b)** Para los materiales dúctiles, el esfuerzo cedente garantizado por el fabricante.

En ambos casos, las resistencias garantizadas están referidas a los modos de falla y al tipo de acción propia de la respuesta sísmica del elemento considerado, incluidos todos los factores de concentración de esfuerzos asociados a la forma del diseño final.

### 5.3.2. DEFORMABILIDAD

Para aquellos sistemas que poseen un período fundamental menor que 0,05 segundos, se deberá cumplir que el desplazamiento elástico de su centro de gravedad, referido a su base de fijación, no sean mayor que  $a/g$  mm bajo la acción de una fuerza horizontal igual a  $a/g$  veces el peso del equipo y sus estructuras de soporte; debe ignorarse aquí cualquier desplazamiento debido a tolerancias en las juntas para lo cual se tomarán las debidas precauciones en el diseño.

Aquellos tipos o elementos que, a pesar de ser relativamente rígidos, no satisfagan la condición anterior, se deberán considerar como flexibles.

Para cada elemento o conjunto de elementos de equipos flexibles bajo la combinación de las acciones más desfavorables definidas en 5.1.3, se deberá verificar que sus desplazamientos no perturben de ninguna manera las funciones para las cuales están destinados

## 6. ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CALIFICACIÓN DE EQUIPOS

### 6.1. GENERAL

En esta Sección se establecen las especificaciones generales para los diferentes equipos, incluyendo sus componentes y las estructuras de soporte, para la calificación ante las acciones sísmicas especificadas en la Sección 4.

La verificación de los esfuerzos máximos y deformabilidad se deberá hacer de acuerdo a los criterios establecidos en la Sección 5.3, para las combinaciones de acciones establecidas en la Sección 5.1.3, utilizando los métodos de análisis y de evaluación que aquí se indican respetando los criterios establecidos en las Secciones 5.1 y 5.2. El diseño de los miembros de las estructuras de soporte se hará de acuerdo a las normas COVENIN 1618-80, y 1753-81.

Se entiende por equipos los siguientes transformadores de potencia, disyuntores de potencia, seccionadores, pararrayos, transformadores de corriente, aisladores de soporte, transformadores de tensión, reactancias inductivas y capacitivas, montados sobre sus respectivas estructuras de soporte.

La evaluación de la seguridad de las fundaciones de los equipos, deberá hacerse bajo las acciones que se calculan con los métodos prescritos para cada equipo: no se requiere verificación experimental de las fundaciones.

Si en algún equipo se alteran sus características estructurales bajo diferentes condiciones de operación, tal como en el caso de un seccionador abierto o cerrado, se deberá calificar para cada una de las condiciones de servicio.

### 6.2. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE EQUIPOS DE TENSIÓN IGUAL A 115 KV

Los equipos deberán ser diseñados de acuerdo a esta Especificación utilizando alguno de los métodos de análisis de la Sección 5.1 respetando su ámbito de aplicación.

Para la aplicación de estos métodos de análisis las propiedades dinámicas de los equipos deben ajustarse a los valores experimentales determinados de acuerdo a la Sección 5.2.2.2, salvo en los transformadores de corriente y los disyuntores de potencia para los cuales se podrá usar el método de la Sección 5.2.2.1. Para los transformadores de potencia y las reactancias inductivas y capacitivas, pueden omitirse estos ensayos siempre que sea debidamente justificado.

### **6.3. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE EQUIPOS DE TENSIÓN IGUAL A 230 KV**

Los equipos deberán ser diseñados de acuerdo a esta especificación utilizando los métodos de análisis dados en la Sección 5.1.2.3, a excepción de los transformadores de potencia y las reactancias inductivas y capacitivas para los cuales se podrán usar los métodos de la Sección 5.1.2.2, respetando su ámbito de aplicación en las diferentes partes del equipo.

Para la aplicación de estos métodos de análisis, las propiedades dinámicas de los equipos deben ajustarse a los valores experimentales determinados de acuerdo a la Sección 5.2.2.2. Para los transformadores de potencia y las reactancias inductivas y capacitivas pueden omitirse estos ensayos siempre que sea debidamente justificado.

### **6.4. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE EQUIPOS DE TENSIÓN IGUAL A 400 KV Y 765 KV**

Los equipos deberán ser diseñados de acuerdo a esta especificación utilizando los métodos de análisis dados en la Sección 5.1.2.3, a excepción de los de los transformadores de potencia y las reactancias inductivas y capacitivas para los cuales se podrán usar los métodos de la Sección 5.1.2.2, respetando su ámbito de aplicación en las diferentes partes del equipo.

Para la aplicación de estos métodos de análisis, las propiedades dinámicas de los equipos deben ajustarse a los valores experimentales determinados de acuerdo a la Sección 5.2.2.2. Para los transformadores de potencia y las reactancias inductivas y capacitivas pueden omitirse estos ensayos siempre que sea debidamente justificado.

La aceptación de estos equipos está sujeta a un comportamiento adecuado cuando sean ensayados de acuerdo a los procedimientos de la Sección 5.2.3. Se entiende por comportamiento adecuado cuando no ocurran daños en el equipo o en sus partes, ni detrimento en sus condiciones de operatividad. Antes y después del ensayo de la Sección 5.2.3 el equipo deberá ser sometido a la prueba especificada en la Sección 5.2.4.

### **6.5. CLÁUSULAS PARA LAS ESPECIFICACIONES ANTISÍSMICAS DE TABLEROS Y GABINETES**

Los tableros y gabinetes, así como sus anclajes y fundaciones, deberán ser diseñados para soportar las acciones sísmicas prescritas en la Sección 4 de esta Especificación.

Aquellos tableros y gabinetes cuyo buen funcionamiento condicione la operatividad de la Subestación, deberán ser ensayados de acuerdo a los procedimientos de la Sección 5.2.3. Su aceptación está sujeta a que no ocurran daños ni detrimento en sus condiciones de operatividad.

## **7. PROGRAMA DE ENSAYO**

El programa de ensayos deberá ajustarse a los objetivos y características establecidas en la Sección 5.2. En particular, aquellos ensayos establecidos en la Sección 5.2.3 tienen como objetivo la determinación de la seguridad real del equipo ante las acciones sísmicas especificadas por CADAFE y por tanto se requiere que las zonas críticas sean debidamente instrumentadas. En general, estas zonas críticas deberán ser previamente identificadas por una evaluación analítica.

El Programa de Ensayos deberá ser remitido por el ofertante con suficiente antelación a la fecha de ejecución, reservándose CADAFE la selección final del laboratorio propuesto. Los ensayos se ejecutarán ante la presencia de un representante autorizado de CADAFE.

La programación de los ensayos y/o cualquier modificación a los mismos deberá contar con la aprobación escrita por CADAFE.

## **8. CONTENIDO DEL INFORME TÉCNICO**

### **8.1. GENERAL**

El informe técnico a ser presentado para cada equipo o instalación deberá demostrar que éste tiene un comportamiento adecuado bajo las acciones sísmicas aquí especificadas, manteniendo sus condiciones normales de operación. El informe técnico deberá presentarse en forma organizada y coherente.

### **8.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS**

El informe deberá contener las siguientes características para cada equipo, base de soporte y fundación:

- a) Geometría y dimensiones generales en planos de planta y alzado.
- b) Pesos de cada una de las partes con indicación de su centro de gravedad.
- c) Geometría de secciones y juntas.
- d) Calidad garantizada de los materiales: módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson, densidad, diagrama esfuerzo-deformación, esfuerzos admisibles, etc.

### **8.3. EVALUACIÓN ANALÍTICA**

- a) Se incluirá una descripción detallada del modelo matemático utilizado y de las hipótesis en las cuales se basa su escogencia.
- b) Se presentarán los valores de los esfuerzos en condiciones de operación: peso propio, presión interna, pretensión.
- c) Se incluirá una descripción detallada de los métodos de análisis y métodos

numéricos empleados para la determinación de la respuesta del sistema. Cuando se utilicen programas de cálculo automático, éste deberá estar bien documentado.

d) Se incluirá una descripción detallada de las hipótesis y criterios seguidos en la verificación de la seguridad y en el diseño de los miembros y conexiones del sistema.

#### **8.4. EVALUACIÓN EXPERIMENTAL**

a) Se incluirá una descripción del laboratorio en el cual se realizaron los ensayos, su ubicación, la fecha y el responsable de los ensayos.

b) El informe del laboratorio deberá contener una descripción detallada del equipo ensayado, del procedimiento seguido durante el ensayo, de las técnicas utilizadas, del tipo y ubicación de los equipos de registro, los registros, los métodos utilizados para la interpretación de los resultados del ensayo, etc. Deberá además contener la fecha del ensayo y la firma del responsable de los mismos.

#### **8.5. EXTRAPOLACIÓN DE RESULTADOS DE OTROS ENSAYOS**

Si se utiliza información correspondiente a otros ensayos para extrapolarla al ensayo del sistema en consideración, el informe técnico deberá incluir además de lo especificado en la Sección 8.4, una descripción detallada de ambos sistemas y de las diferencias entre los mismos, y una justificación de que las diferencias entre ellos no invalidan las conclusiones sobre la seguridad del sistema en consideración.

### **9. ESPECIFICACIONES A SER EXIGIDAS EN EL DISEÑO DE OBRAS CIVILES E INSTALACIONES DE SUBESTACIONES**

#### **9.1. GENERAL**

En esta Sección se establecen las especificaciones correspondientes a obras civiles e instalaciones de subestaciones. En la definición de la acción sísmica, de los métodos de análisis y de diseño, se seguirán las especificaciones prescritas en la Norma COVENIN 1754-82. En el diseño de miembros y secciones se utilizarán las Normas COVENIN 1618-80, y la COVENIN 1753-81.

Se entiende por obras civiles e instalaciones, las siguientes: casa de mando, muros cortafuego, estructuras aporricadas de concreto armado o acero, celdas blindadas para alta tensión y fundaciones.

#### **9.2. ESPECIFICACIONES PARA LAS DIFERENTES OBRAS CIVILES E INSTALACIONES**

En la aplicación de las normas especificadas en la Sección 9.1, se deberán respetar las prescripciones que se dan a continuación.

### 9.2.1. EDIFICACIONES

En las normas para Edificaciones Antisísmicas, estas obras tales como: Casas de Mando, Casa de Relés, Taller de Transformadores, etc., serán clasificadas como pertenecientes al Grupo A.

### 9.2.2. MUROS CORTA-FUEGO

En las normas para Edificaciones Antisísmicas, estas obras serán clasificadas como pertenecientes al Grupo A y al Tipo IV. Se pueden utilizar factores de ductilidad mayores que los allí indicados, siempre que sean debidamente justificados. Los modelos matemáticos y los métodos empleados para determinar la respuesta de la estructura, deben satisfacer los criterios estipulados en las Secciones 5.1.2.2 ó 5.1.2.3, y 5.1.1. de la presente Especificación.

### 9.2.3. CELDAS BLINDADAS PARA ALTA TENSIÓN

Se deberán tomar precauciones especiales para el anclaje de las celdas blindadas a su fundación.

### 9.2.4. ESTRUCTURAS APORTICADAS DE CONCRETO ARMADO O ACERO

Los modelos matemáticos, y los métodos de análisis empleados para determinar la respuesta de la estructura, deben satisfacer los criterios estipulados en las Secciones 5.1.2.2 ó 5.1.2.3 y 5.1.1. de la presente Especificación.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

ANSI/IEEE, IEEE. Recommended Practices for Seismic Qualifications of Class 1E Equipment for Nuclear Power Generating Stations. New York, 1977. Std 344-1975.

CLOUGH, R.W. y PENZIEN, J. Dynamics of Structures. McGraw-Hill, 1975.

GRASES, J. y LOPEZ, O. A. Comportamiento bajo Acciones Sísmicas de Equipos e Instalaciones de Subestaciones Eléctricas e Implicaciones en el Diseño. VII Congreso Venezolano de Ingeniería Eléctrica y Mecánica. Caraballeda, Marzo, 1982.

IEC/TC NJ 50 Sub-Committee 50 A. Shock and Vibration Tests. Draft October, 1980. Guide for Equipment Seismic Testing Procedures.

NEWMARK, N.W. y ROSENBLUETH, E. Fundamentals of Earthquake Engineering. Prentice Hall, 1971.

ROSENBLUETH, E. Design of Earthquake Resistant Structures. John Wiley & Son, 1980.

WIEGEL, R. Earthquake Engineering. Prentice Hall, 1970.