



PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y Saneamiento

Viceministerio de  
Construcción y Saneamiento

Dirección General de  
Políticas y Regulación en  
Construcción y Saneamiento

Dirección de Construcción

*“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombre”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”*

# **PROYECTO DE NORMA TÉCNICA AISLAMIENTO SÍSMICO**

**2018**

**LIMA – PERÚ**



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

**INDICE**

**CAPITULO I. DISPOSICIONES GENERALES..... 4**

    Artículo 1.- Objeto ..... 4

    Artículo 2.- Definiciones ..... 4

    Artículo 3.- Ámbito de aplicación ..... 6

    Artículo 4.- Nomenclatura..... 6

**CAPITULO II. REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO ..... 9**

    Artículo 5.- Desarrollo y presentación del proyecto..... 9

    Artículo 6.- Características técnicas a indicar en los planos ..... 10

    Artículo 7.- Configuración del sistema estructural..... 10

    Artículo 8.- Sistema de aislamiento ..... 11

    Artículo 9.- Sistema Estructural ..... 15

    Artículo 10.- Elementos estructurales y componentes no estructurales ..... 16

    Artículo 11.- Efectos de las cargas sísmicas y combinaciones de cargas..... 16

    Artículo 12.- Propiedades del sistema de aislamiento ..... 17

**CAPITULO III. DEFINICION DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO ..... 23**

    Artículo 13.- Espectro del diseño ..... 23

    Artículo 14.- Registros de aceleración del suelo..... 24

**CAPITULO IV. SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANALISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS..... 25**

    Artículo 15.- Diseño de las estructuras sísmicamente aisladas ..... 25

    Artículo 16.-Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes ..... 25

    Artículo 17.- Análisis dinámico ..... 26

**CAPITULO V. PROCEDIMIENTO DE FUERZAS ESTATICAS EQUIVALENTES ..... 27**

    Artículo 18.- Aplicación del procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes..... 27

    Artículo 19.- Características de deformación del sistema de aislamiento ..... 27

    Artículo 20.- Desplazamientos laterales considerados para el diseño ..... 27

    Artículo 21.- Fuerzas laterales mínimas requeridas para el diseño..... 30

    Artículo 22.- Distribución vertical de la fuerza..... 33

    Artículo 23.- Límites de la deriva ..... 34



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

**CAPITULO VI. PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DINÁMICO..... 34**

Artículo 24.- Aplicación de procedimientos de análisis dinámico ..... 34

Artículo 25.- Modelo estructural..... 34

Artículo 26.- Descripción de procedimientos ..... 35

Artículo 27.- Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos ..... 37

**CAPITULO VII. REVISIÓN DEL DISEÑO..... 39**

Artículo 28.- Criterios para la revisión del diseño..... 39

**CAPITULO VIII. ENSAYOS..... 39**

Artículo 29.- Validación de propiedades de los aisladores..... 39

Artículo 30.- Ensayos de cualificación ..... 40

Artículo 31.- Ensayos de los aisladores prototipo ..... 40

Artículo 32.- Secuencia y ciclo de los ensayos de los aisladores prototipo..... 41

Artículo 33.- Ensayos dinámicos ..... 42

Artículo 34.- Aisladores cuyas propiedades dependen de cargas bidireccionales ... 42

Artículo 35.- Carga vertical máxima y mínima ..... 43

Artículo 36.- Ensayos de prototipos de unidades similares..... 43

Artículo 37.- Determinación de las características fuerzas - deformación..... 44

Artículo 38.- Verificación de la calidad de los ensayos ..... 45

Artículo 39.- Ensayos de aisladores de obra ..... 46

Artículo 40.-Criterios de aceptación para cada aislador ensayado ..... 47

Artículo 41.- Ensayo de deslizadores ..... 47

Artículo 42.- Criterios de aceptación para cada deslizador ensayado..... 48

Artículo 43.- Criterio de aceptación para el sistema de aislamiento..... 48

**ANEXO I. FACTORES EXTREMOS MODIFICATORIOS DE LAS PROPIEDADES .. 50**

**ANEXO II. VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS ..... 55**

**ANEXO III. SECUENCIA Y CICLOS PARA ENSAYOS DE PROTOTIPOS ..... 57**



## CAPITULO I

### DISPOSICIONES GENERALES

#### Artículo 1.- Objeto

Esta norma establece los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de edificios con aislamiento sísmico y los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento. La norma es aplicable para todo tipo de aislador.

#### Artículo 2.- Definiciones

- 2.1 **Aislador:** Elemento estructural del sistema de aislamiento que es verticalmente rígido y horizontalmente flexible, y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitaciones sísmicas.
- 2.2 **Amortiguamiento efectivo:** El valor del amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada en la respuesta cíclica del sistema de aislamiento.
- 2.3 **Desplazamiento traslacional:** Desplazamiento lateral máximo en el centro de rigidez del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, excluyendo el desplazamiento adicional generado por la torsión natural y accidental. El desplazamiento traslacional debe ser calculado separadamente con los límites inferior y superior de las propiedades del sistema de aislamiento.
- 2.4 **Desplazamiento total:** Desplazamiento lateral máximo, incluyendo el desplazamiento adicional generado por el efecto de la torsión natural y accidental, que se requiere para verificar la estabilidad de los aisladores y del sistema de aislamiento, para determinar las separaciones entre estructuras, y para los ensayos de los aisladores prototipo. El desplazamiento total debe ser calculado separadamente con los límites inferior y superior de las propiedades del sistema de aislamiento.
- 2.5 **Interfaz de aislamiento:** Zona o espacio generado por el sistema de aislamiento que está limitado en su parte superior por la superestructura, que está aislada, y en su parte inferior por la subestructura o cimentación, que se mueve rígidamente con el terreno.
- 2.6 **Nivel de base:** El primer nivel de la estructura aislada por encima de la interfaz de aislamiento, el cual incluye vigas, losas, capiteles y todos los elementos de conexión.
- 2.7 **Rigidez efectiva o secante:** El valor de la fuerza lateral en el sistema de aislamiento, o en parte de él, dividido entre el correspondiente desplazamiento lateral.

"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

- 2.8 **Scragging:** Degradación temporal de las propiedades mecánicas de los aisladores elastoméricos, como resultado de acciones cíclicas.
- 2.9 **Sismo máximo considerado (SMC):** Sismo cuyo efecto sísmico se define como 1.5 veces el del sismo de diseño especificado en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente.
- 2.10 **Sistema de aislamiento:** Conjunto de elementos estructurales que incluye los aisladores, todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema de aislamiento, como vigas, losas, capiteles y sus conexiones. Así mismo, incluye los sistemas de restricción contra viento, los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de restricción de desplazamiento, si tales elementos son usados para satisfacer los requisitos de diseño de esta norma.

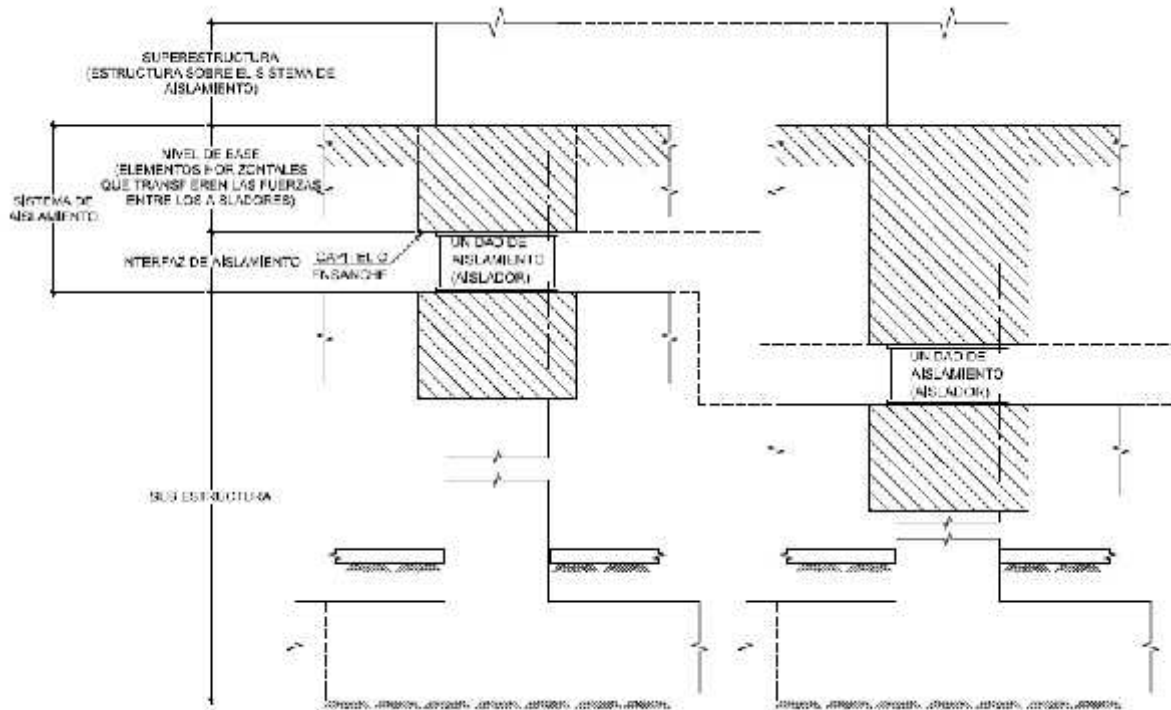


Figura N°1: Sistema de Aislamiento



**2.11 Sistema de restricción de desplazamiento:** Conjunto de elementos estructurales que controlan progresivamente el desplazamiento lateral de las estructuras sísmicamente aisladas.

**2.12 Sistema de restricción contra viento:** Conjunto de elementos estructurales que restringen los desplazamientos de la estructura aislada cuando está sometida a cargas de viento. Puede estar incorporado en los aisladores o estar constituido por dispositivos independientes.

### Artículo 3.- Ámbito de aplicación

El ámbito de aplicación de la presente norma comprende todo el territorio nacional. La Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones es obligatorio, en todo aquello que no contradiga las disposiciones específicas de la presente norma.

### Artículo 4.- Nomenclatura

N°	Nomenclatura	Significado
1	$B_M =$	Factor de amortiguamiento, correspondiente a la razón entre la ordenada espectral para 5% de amortiguamiento y la ordenada espectral para el amortiguamiento efectivo $\beta_M$ correspondiente al desplazamiento traslacional $D_M$ , que se indica en la tabla N° 5.
2	$b =$	Dimensión menor de la proyección en planta de la estructura, medida perpendicularmente a la dimensión mayor, $d$ , en mm.
3	$C =$	Factor de amplificación sísmica definido en la norma técnica de edificación E.030.
4	$D_M =$	Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, determinado con la ecuación 6, en mm.
5	$D'_M =$	Desplazamiento en el centro de rigidez del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, determinado con la ecuación 16, en mm.
6	$D_T =$	Desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, que incluye la traslación en el centro de rigidez y la componente torsional, determinado con la ecuación 8, en mm.
7	$d =$	Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura, en mm.
8	$E_c =$	Energía disipada en un aislador durante un ciclo completo de ensayo con carga reversible, para un rango de desplazamiento desde $\Delta^+$ hasta $\Delta^-$ , medida por el área encerrada en la curva fuerza – desplazamiento, en kN-mm.
9	$e =$	Excentricidad obtenida como la suma de la distancia en planta entre el centro de masa de la estructura sobre la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento, más la excentricidad accidental, tomada



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

		como 5% de la mayor dimensión en planta del edificio en dirección perpendicular a la de la fuerza sísmica considerada, en mm.
10	$F^- =$	Mínima fuerza negativa en un aislador durante un ciclo de ensayo de un prototipo, correspondiente a la amplitud de desplazamiento $\Delta^-$ , en kN.
11	$F^+ =$	Máxima fuerza positiva en un aislador durante un ciclo de ensayo de un prototipo, correspondiente a la amplitud de desplazamiento $\Delta^+$ , en kN.
12	$F_{\perp} =$	Fuerza sísmica lateral en el nivel de base, determinada con la ecuación 13, en kN
13	$F_i =$	Fuerza lateral en el nivel $i$ determinada con la ecuación 14, en kN.
14	$g =$	Aceleración de la gravedad (9 810 mm/s <sup>2</sup> ).
15	$h_i =$	Altura del nivel $i$ respecto al nivel de base, en mm.
16	$k_M =$	Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento en el desplazamiento traslacional en la dirección de análisis, determinada con la ecuación 3, en kN/mm.
17	$k_e =$	Rigidez efectiva (secante) de un aislador, determinada con la ecuación 17, en kN/mm.
18	$n =$	Número de pisos de la estructura sobre la interfaz de aislamiento.
19	$N =$	Número de aisladores.
20	$P =$	Peso de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado en la norma técnica de edificación E.030, en kN.
21	$p_i =$	Parte del peso $P$ que se ubica en o se asigna al nivel $i$ , en kN.
22	$P_s =$	Peso sísmico efectivo de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, calculado en forma similar a $P$ pero sin incluir el nivel de base, en kN.
23	$r_a =$	Radio de giro del sistema de aislamiento, en mm, el cual es igual a $\frac{1}{\sqrt{12}}(b^2 + d^2)^{1/2}$ en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones $b \times d$ .
24	$R_U =$	Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la superestructura considerándola como si fuera de base fija, según lo indicado en la norma técnica de edificación E.030.
25	$R_a =$	Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como $3/8R_U$ pero no menor que 1 ni mayor que 2.
26	$S =$	Factor de amplificación del suelo definido en la norma técnica de edificación E.030.
27	$S_a =$	Ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo, en mm/s <sup>2</sup> , determinada con la ecuación 5.
28	$T =$	período fundamental de la estructura considerada con base fija, en la dirección de análisis, evaluado con cualquiera de los procedimientos indicados en la norma técnica de edificación E.030, en segundos.





"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

29	$T_M =$	período efectivo de la estructura sísmicamente aislada, asociado al desplazamiento traslacional $D_M$ en la dirección de análisis, determinada con la ecuación 7, en segundos.
30	$U =$	Factor de uso e importancia, igual a 1.
31	$V_b =$	Fuerza cortante total en el sistema de aislamiento o en los elementos bajo el nivel de aislamiento, determinada con la ecuación 10, en kN.
32	$V_s =$	Fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento, determinada con la ecuación 11 y con los límites indicados en el numeral 21.3, en kN.
33	$V_s =$	Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, determinada con la ecuación 12, en kN.
34	$x_i, y_i =$	Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento y el aislador $i$ -ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento, en mm.
35	$y =$	Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés, medida perpendicularmente a la dirección de la sollicitación sísmica considerada, en mm.
36	$Z =$	Factor de zona definido en la norma técnica de edificación E.030.
37	$\beta_M =$	Amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento para el desplazamiento traslacional $D_M$ , determinado con la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).
38	$\beta_e =$	Amortiguamiento efectivo de un dispositivo del sistema de aislamiento, determinado con la ecuación 18 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).
39	$\Delta^+ =$	Desplazamiento positivo máximo de un aislador durante cada ciclo de ensayo de un prototipo, en mm.
40	$\Delta^- =$	Desplazamiento negativo mínimo de un aislador durante cada ciclo de ensayo de un prototipo, en mm.
41	$\lambda_{máx} =$	Factor modificador para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, teniendo en cuenta todas las fuentes de variabilidad, como se indica en el numeral 12.3.
42	$\lambda_{mín} =$	Factor modificador para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, teniendo en cuenta todas las fuentes de variabilidad, como se indica en el numeral 12.3.
43	$\lambda_{(a), máx} =$	Factor modificador para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento, como se indica en el numeral 12.3.
44	$\lambda_{(a), mín} =$	Factor modificador para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento, como se indica en el numeral 12.3.





45	$\lambda_{(t),máx} =$	Factor modificador para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y <i>scragging</i> , como se indica en el numeral 12.3.
46	$\lambda_{(t),mín} =$	Factor modificador para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y <i>scragging</i> , como se indica en el numeral 12.3.
47	$\lambda_{(f),máx} =$	Factor modificador para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando la variabilidad en la fabricación de aisladores de la misma dimensión, como se indica en el numeral 12.3.
48	$\lambda_{(f),mín} =$	Factor modificador para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando la variabilidad en la fabricación de aisladores de la misma dimensión, como se indica en el numeral 12.3.
49	$P_T =$	Razón entre el período traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el período rotacional efectivo del sistema de aislamiento, calculada mediante un análisis dinámico o como se indica en la ecuación 9, pero no requiere ser menor que 1.
50	$\sum E_M =$	Energía total disipada por el sistema de aislamiento durante un ciclo completo de respuesta al desplazamiento, $D_M$ , en kN-mm.
51	$\sum  F_M^+  =$	Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento para un desplazamiento positivo igual al desplazamiento $D_M$ , en kN.
52	$\sum  F_M^-  =$	Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento para un desplazamiento negativo igual al desplazamiento $D_M$ , en kN.

## CAPÍTULO II

### REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

#### Artículo 5.- Desarrollo y presentación del proyecto

- 5.1 El desarrollo del proyecto de aislamiento debe ser elaborado por profesionales que actúen con total independencia de los proveedores o fabricantes de los dispositivos.
- 5.2 El proyecto de aislamiento debe especificar las características técnicas del sistema de aislamiento sin especificación del tipo de dispositivos, fabricante o proveedor.
- 5.3 El programa de monitoreo, inspección y mantenimiento se debe preparar y presentar como parte del proyecto.



## **Artículo 6.- Características técnicas a indicar en los planos**

- 6.1 En los planos estructurales se debe indicar como mínimo lo siguiente:
- 6.1.1 Para el sistema de aislamiento:
- Desplazamientos traslacional y total correspondientes al SMC.
  - Rigidez y amortiguamiento efectivos al desplazamiento traslacional correspondiente al SMC.
- 6.1.2 Para cada tipo de dispositivos:
- Desplazamiento máximo
  - Rigidez y amortiguamiento efectivos nominales
  - Rango para rigidez y amortiguamiento efectivos
  - Carga axial última para el desplazamiento total
  - Factores de Seguridad requeridos
  - Factores extremos modificatorios de las propiedades según el Anexo I.
- 6.2 Las propiedades de las componentes y del sistema de aislamiento provisto para la obra, deben ser verificadas por el ingeniero responsable del diseño estructural y del sistema de aislamiento, en función de los resultados de los ensayos de unidades prototipos y de obra.

## **Artículo 7.- Configuración del sistema estructural**

### **7.1 Calificación de la regularidad estructural**

La estructura sobre el sistema de aislamiento debe ser calificada como regular o irregular. Para ello debe verificarse la existencia o no de los siguientes tipos de irregularidades indicadas en las tablas de Irregularidades estructurales en altura y en planta de la norma técnica E.030 Diseño Sismorresistente vigente.

- Irregularidad de rigidez - Piso Blando
- Irregularidad de resistencia - Piso Débil
- Irregularidad de rigidez extrema - Piso Blando
- Irregularidad extrema de resistencia - Piso Débil
- Irregularidad por discontinuidad extrema en los sistemas resistentes
- Irregularidad torsional extrema en planta.

### **7.2 Restricciones a las irregularidades**

De acuerdo a la categoría de una edificación, según la tabla de Categoría de las edificaciones de la norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"



vigente, y la zona donde se ubique, la edificación se debe diseñar respetando las restricciones a la irregularidad de la tabla N°1.

<b>TABLA N°1</b>		
<b>CATEGORIA Y REGULARIDAD DE EDIFICACIONES AISLADAS</b>		
<b>CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN</b>	<b>ZONA</b>	<b>RESTRICCIONES</b>
A y B	4 y 3	No se permiten irregularidades extremas
	2 y 1	Sin restricciones
C	4	No se permiten irregularidades extremas
	3, 2 y 1	Sin restricciones

## **Artículo 8.- Sistema de aislamiento**

El diseño del sistema de aislamiento debe tomar en cuenta los aspectos siguientes:

### **8.1 Condiciones ambientales**

Adicionalmente a los requerimientos por cargas verticales y cargas laterales inducidas por viento y sismo, el sistema de aislamiento debe ser diseñado teniendo en cuenta otras condiciones ambientales, incluyendo efectos de envejecimiento, flujo plástico (creep), fatiga, temperatura de operación y la posible exposición a la humedad o a sustancias nocivas según indica el numeral 12.3.

### **8.2 Fuerzas de viento**

8.2.1 Las estructuras aisladas deben ser capaces de resistir cargas de viento en todos los niveles sobre la interfaz de aislamiento, de acuerdo a lo estipulado en la Norma E.020 Cargas vigente.

8.2.2 En la interfaz de aislamiento se debe incluir un sistema de restricción frente a cargas laterales de viento que, en condiciones habituales de operación, limite el desplazamiento del sistema de aislamiento a un valor igual al que se permite en los entrepisos de la superestructura.

### **8.3 Resistencia al fuego**

8.3.1 No se permiten materiales inflamables en la zona del sistema de aislamiento. Las operaciones de mantenimiento deben incluir inspecciones adecuadas y periódicas, que garanticen el cumplimiento de la presente norma.



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

- 8.3.2 La protección al fuego debe incluir sistemas tales como: rociadores automáticos, agua pulverizada, espuma, cobertores contra fuego u otros; así como también contar un sistema de detección térmica.
- 8.3.3 En el caso de estacionamientos, el sistema contrafuego debe tomar en cuenta la ubicación de los dispositivos para darles una mayor protección.

#### 8.4 Fuerza de restitución lateral

El sistema de aislamiento debe ser configurado para que sea capaz de producir una fuerza lateral de restitución en el desplazamiento máximo, considerando tanto sus propiedades límite superior como inferior, a fin que resulte mayor en por lo menos  $0,025 P$  que la fuerza lateral correspondiente a 50% del desplazamiento máximo.  $P$  es el peso sísmico de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, calculado según la norma técnica E.030 Diseño Sismorresistente vigente.

#### 8.5 Restricción al desplazamiento sísmico

Cuando se provea un sistema de restricción que limite el desplazamiento lateral, éste no debe restringir los desplazamientos por debajo del desplazamiento total máximo,  $D_T$  producido por el SMC, a menos que la estructura sísmicamente aislada sea diseñada cumpliendo con todos los siguientes criterios:

- 8.5.1 La respuesta al SMC debe ser calculada con los procedimientos de análisis dinámico del Capítulo VI de esta norma, considerando explícitamente las características no lineales del sistema de aislamiento, de la estructura sobre el sistema de aislamiento y del sistema de restricción.
- 8.5.2 Las capacidades últimas del sistema de aislamiento y de los elementos estructurales bajo el sistema de aislamiento deben exceder las demandas de resistencia y de desplazamiento del SMC.
- 8.5.3 El dispositivo de restricción de desplazamiento no debe activarse para un desplazamiento menor que 0,60 veces el desplazamiento total máximo,  $D_T$ .
- 8.5.4 La estructura sobre el sistema de aislamiento debe ser revisada para las demandas de estabilidad y de ductilidad del SMC.



## 8.6 Estabilidad por carga vertical

8.6.1 Cada elemento del sistema de aislamiento debe ser diseñado para ser estable bajo la máxima y mínima carga vertical indicada en el numeral 11.2, en ambos casos estando sometido al desplazamiento total.

8.6.2 Los factores de seguridad y la metodología de cálculo para los aisladores elastoméricos se detallan en el Anexo II.

## 8.7 Volteo

8.7.1 El factor de seguridad contra el volteo de la estructura en la interfaz de aislamiento no será inferior a 1,0 para cada una de las combinaciones de carga requeridas.

8.7.2 Todas las condiciones de carga de gravedad y sísmicas deben ser investigadas.

8.7.3 Las fuerzas laterales para el cálculo del volteo deben ser calculadas con el SMC, y para la fuerza vertical equilibrante se usará el peso P, sin factorar, calculado según la norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" vigente.

8.7.4 No se permite el levantamiento local (*uplift*) de los aisladores, a menos que se demuestre que las deformaciones resultantes no causan sobreesfuerzos o inestabilidad de las unidades de aislamiento o de otros elementos en la estructura.

## 8.8 Monitoreo, inspección y reemplazo

8.8.1 Las estructuras sísmicamente aisladas deben contar con un programa de monitoreo, inspección y mantenimiento del sistema de aislamiento, que es establecido por el ingeniero civil colegiado responsable del diseño del sistema y es considerado parte integrante del proyecto.

8.8.2 Los proyectos de instituciones públicas aislados sísmicamente deben contar con un sistema de monitoreo de la actividad sísmica que incluya instrumentación a nivel del terreno, en la base del edificio sobre el nivel de aislamiento y en su nivel superior, con el fin de medir desplazamientos, aceleraciones u otras variables que el proyectista considere conveniente registrar durante la vida útil del edificio.

8.8.3 Estos sistemas de instrumentación deben estar en concordancia con lo especificaciones técnicas, sistemas de conexión y transmisión de



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

datos debidamente aprobados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP).

- 8.8.4 Se debe proveer acceso para la inspección y para el eventual remplazo de los componentes del sistema de aislamiento.
- 8.8.5 La altura mínima efectiva del nivel de piso terminado a fondo de losa debe ser 1,5 m como mínimo.
- 8.8.6 El proyectista debe garantizar la factibilidad de reemplazo de las unidades de aislamiento.
- 8.8.7 El proyectista, o un ingeniero civil colegiado que lo represente, debe efectuar inspecciones u observaciones de las zonas de separación de la estructura sísmicamente aislada, de los componentes que cruzan la interfaz de aislamiento y del sistema de monitoreo, antes de la conformidad final de la obra.
- 8.8.8 Estas inspecciones y observaciones deben quedar asentadas en el cuaderno de obra, debiendo indicar que las condiciones son tales que permitirán el libre desplazamiento de la estructura sin trabas hasta los niveles máximos de diseño y que todos los componentes que cruzan la interfaz de aislamiento son capaces de acomodarse a los desplazamientos relativos indicados en los planos del proyecto.
- 8.8.9 Luego de la conformidad de obra, el propietario es responsable de mantener operativo el sistema de aislamiento, para lo cual debe ordenar la inspección del mismo, al menos una vez cada dos años, por un proyectista o ingeniero civil colegiado con experiencia en el diseño o construcción de edificios aislados.
- 8.8.10 En la inspección referida en el subnumeral 8.8.9 se debe revisar como mínimo lo siguiente:
  - a) Las juntas de separación sísmicas según proyecto.
  - b) Las obstrucciones que impidan o limiten el desplazamiento del edificio a valores menores que el desplazamiento máximo (incluyendo torsión) indicado en los planos del proyecto.
  - c) Las interferencias de instalaciones de cualquier tipo en la zona de interfaz de aislamiento que restrinjan desplazamiento del edificio o que después de su rotura puedan causar inoperatividad en la edificación.
  - d) La implementación y funcionamiento del sistema de monitoreo instalado en la edificación.
  - e) La correcta operatividad del sistema de protección contra el fuego instalado en la interfaz de aislamiento.



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

- f) En edificaciones sin sótanos, verificar que el ambiente por debajo de la interfaz de aislamiento destinado a inspección y reemplazo no sea usado como depósito de materiales u otro fin para el cual no fue proyectado.
- g) La ausencia de material inflamable en la zona del sistema de aislamiento.

8.8.11 Terminada la inspección, el ingeniero debe emitir un informe detallado de los hallazgos, que debe entregar al propietario para el levantamiento de las observaciones.

8.8.12 Cualquier modificación o reparación en la interfaz del sistema de aislamiento, incluyendo los componentes que la cruzan, debe llevarse a cabo bajo la dirección de un ingeniero civil colegiado con experiencia en el diseño o construcción de edificios sísmicamente aislados.

8.8.13 Después de la ocurrencia de un evento sísmico con intensidades de Mercalli mayores o iguales a 6, se debe realizar una inspección y elaborar un informe del estado del sistema de aislamiento sísmico.

## **Artículo 9.- Sistema Estructural**

### **9.1 Distribución de la fuerza horizontal**

En la parte superior de la interfaz de aislamiento debe existir un diafragma rígido u otros elementos estructurales que provean continuidad y que posean resistencia y ductilidad adecuadas para transmitir fuerzas de una parte a otra de la estructura.

### **9.2 Separación entre edificios**

La separación mínima entre la estructura aislada y los muros de contención u otros obstáculos fijos en los alrededores, así como la distancia al límite de propiedad, no deben ser menores que el desplazamiento total máximo,  $D_T$ .

### **9.3 Estructuras que no son edificios**

Las estructuras que no califican como edificios, pero que soportan cargas de gravedad y pueden estar sometidas a acciones de sismo, se pueden diseñar y construir como estructuras sísmicamente aisladas, empleando los desplazamientos y fuerzas calculados según los capítulos V y VI de esta norma.





## **Artículo 10.- Elementos estructurales y componentes no estructurales**

### **10.1 Componentes sobre la interfaz de aislamiento**

Los elementos de las estructuras aisladas sísmicamente y los componentes no estructurales, o parte de ellos situados sobre la interfaz de aislamiento, deben ser diseñados para resistir acciones conforme a lo especificado en los Capítulos V y VI de esta norma.

### **10.2 Componentes que cruzan la interfaz de aislamiento**

Los elementos de las estructuras sísmicamente aisladas y los componentes no estructurales, o parte de los mismos, que cruzan la interfaz de aislamiento deben ser diseñados de manera que no sufran daños frente al desplazamiento total  $U_T$ , incluyendo cualquier desplazamiento residual permanente.

### **10.3 Componentes por debajo de la interfaz de aislamiento**

Todos los elementos que están por debajo de la interfaz de aislamiento deben ser diseñados considerando la fuerza  $V_b$  calculada según el procedimiento de análisis utilizado, sin reducir.

### **10.4 Componentes estructurales de grandes luces**

En elementos horizontales de grandes luces, incluyendo volados, se requerirá un análisis dinámico con los 2/3 del espectro elástico definido en el numeral 13.4. Para el caso de voladizos se debe considerar un factor de reducción  $R_0=3$ .

## **Artículo 11.- Efectos de las cargas sísmicas y combinaciones de cargas**

11.1 Todos los elementos de la estructura aislada, incluidos los que no forman parte del sistema sismorresistente, deben ser diseñados utilizando las cargas sísmicas establecidas en esta norma y las combinaciones de cargas adicionales para el diseño del sistema de aislamiento y para las pruebas de prototipos de unidades de aislamiento indicadas en el numeral 11.2.

11.2 Los promedios mínimo y máximo de la carga vertical aplicada a cada unidad tipo de aislador, deben ser calculados aplicando cargas sísmicas horizontales, debidas al sismo máximo considerado SMC, y las siguientes combinaciones de cargas:

- a) Carga vertical promedio:  
1,0 CM + 0,5 CV



- b) Carga vertical máxima:  
 $1,25 (CM + CV) + 1,0 (CSH + CSV) + 0,2 CN$
- c) Carga vertical mínima:  
 $0,9 CM - 1,0 (CSH + CSV)$

Donde:

- CM : Carga muerta.  
CV : Carga viva.  
CSH : Carga sísmica horizontal.  
CSV : Carga sísmica vertical =  $0,5 (1,5 ZS) CM$ .  
CN : Carga de nieve.

## Artículo 12.- Propiedades del sistema de aislamiento

Todos los componentes del sistema de aislamiento se clasifican y agrupan según el tipo y tamaño del aislador y de acuerdo al tipo y tamaño de los dispositivos de amortiguamiento suplementario, cuando estos últimos componentes formen parte del sistema de aislamiento.

### 12.1 Propiedades nominales de un aislador

- 12.1.1 Las propiedades nominales de diseño de cada tipo de unidad de aislamiento están basadas en las propiedades promedio de tres ciclos del ensayo de los prototipos, definidos en el artículo 32.
- 12.1.2 La variación de las propiedades de la unidad de aislamiento con la carga vertical aplicada se establece en un solo ciclo de deformación representativo, promediando las propiedades determinadas al emplear las tres combinaciones de cargas verticales especificadas en el numeral 11.2 en cada nivel de desplazamiento, cuando deba considerarse según lo establece el artículo 32.
- 12.1.3 Si los valores medidos de rigidez efectiva y amortiguamiento efectivo de un aislador para la carga a) “Carga vertical promedio” indicada en el numeral 11.2 difieren en menos de 15%, de aquellos basados en el promedio de los valores medidos para las tres combinaciones de cargas verticales definidas en el numeral 11.2, las propiedades de diseño nominal deben ser calculadas sólo para la combinación de carga a): “Carga vertical promedio” del numeral 11.2.

### 12.2 Propiedades límites de los componentes del sistema de aislamiento

Las propiedades límites del sistema de aislamiento se calculan para cada tipo de componente y deben incluir las variaciones relacionadas con:



- 12.2.1 Las mediciones en el ensayo del prototipo, del artículo 32 (Secuencia y ciclos de los ensayos de los aisladores prototipo), considerando la variación en las propiedades de la unidad de aislamiento prototipo, debido a la variación requerida en el ensayo de carga vertical, velocidad de carga de prueba o efectos de velocidad, efectos de calentamiento durante el movimiento cíclico, historia de carga, degradación temporal de las propiedades mecánicas con ciclos repetidos (*scragging*) y otras posibles fuentes de variación medidas en el ensayo del prototipo.
- 12.2.2 Las permitidas por las tolerancias de especificación de fabricación empleadas para determinar la aceptabilidad de la producción de los aisladores, como es requerido en el artículo 39.
- 12.2.3 Las debidas al envejecimiento y efectos ambientales incluyendo flujo plástico (*creep*), fluencia, fatiga, contaminación, temperatura de funcionamiento, duración de exposición a ésta, y el desgaste durante la vida de la estructura.

### 12.3 Factores de modificación de las propiedades

- 12.3.1 El diseño de estructuras aisladas sísmicamente, incluyendo la cimentación, sistema de aislamiento y la superestructura, debe considerar la posible influencia de la velocidad de carga y las variaciones en las propiedades del aislador durante la vida útil esperada de la estructura, incluyendo cambios debidos al envejecimiento, contaminación, exposición al ambiente y temperatura.
- 12.3.2 Los factores de modificación máximo y mínimo ( $\lambda$ ) se utilizan para tener en cuenta la variación de los parámetros de diseño nominal de cada tipo de unidad de aislamiento por los efectos del calentamiento debido al movimiento dinámico cíclico, velocidad de carga, *scragging* y recuperación, variabilidad en las propiedades de producción, temperatura, envejecimiento, exposición ambiental y contaminación.
- 12.3.3 Cuando los datos de ensayo de cualificación de un fabricante específico, en concordancia con lo especificado en el artículo 30 (Ensayos de Cualificación), hayan sido aprobados por el ingeniero responsable del diseño estructural, estos pueden ser empleados para calcular los factores de modificación de las propiedades y los límites máximos y mínimos de las ecuaciones 1 y 2, no requieren aplicarse.
- 12.3.4 Cuando los datos de los ensayos de cualificación en concordancia con el artículo 30 (Ensayos de Cualificación) no hayan sido



“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

aprobados por el ingeniero responsable del diseño estructural, deben aplicarse los límites máximos y mínimos de las ecuaciones 1 y 2.

12.3.5 Los factores de modificación de propiedad ( $\lambda$ ) se calculan para cada tipo de unidad de aislamiento y cuando es aplicada a los parámetros de diseño nominal deben envolver la respuesta histerética para el rango de demandas de  $\pm 0,5 D_M$  hasta e incluyendo el desplazamiento máximo,  $\pm D_M$ . Se permite que los factores de modificación de propiedades para condiciones ambientales sean desarrollados a partir de datos que no necesitan satisfacer los requisitos de similitud del artículo 36 “Ensayos de prototipos de unidades similares”.

12.3.6 Para cada tipo de aislador, el factor máximo de modificación de propiedad,  $\lambda_{max}$  y el factor mínimo de modificación de propiedad,  $\lambda_{min}$  se establecerán a partir de la contribución de los factores de modificación de propiedad de acuerdo con la Ecuación 1 y 2, respectivamente:

$$max = (1 + (0,75 * (\lambda_{(a, max)} - 1))) * \lambda_{(t, min)} * \lambda_{(f, max)} \quad 1,8 \quad \dots\dots (1)$$

$$min = (1 - (0,75 * (1 - \lambda_{(a, min)}))) * \lambda_{(t, min)} * \lambda_{(f, min)} \quad 0,60 \quad \dots\dots (2)$$

Donde:

$\lambda_{(a, max)}$  = Factor modificadorio para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento.

$\lambda_{(a, min)}$  = Factor modificadorio para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento.

$\lambda_{(t, max)}$  = Factor modificadorio para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y **scragging**.

$\lambda_{(t, min)}$  = Factor modificadorio para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y **scragging**.

$\lambda_{(f, max)}$  = Factor modificadorio para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando la variabilidad en la fabricación de aisladores de la misma dimensión.



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

$\lambda_{(f, min)}$  = Factor modificador para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando la variabilidad en la fabricación de aisladores de la misma dimensión.

12.3.7 Cuando los aisladores prototipos sean ensayados dinámicamente según el artículo 33 (Ensayos dinámicos), los valores de los factores de modificación de propiedades deben basarse en los resultados de los ensayos y los límites superior e inferior de las ecuaciones 1 y 2 no requieren aplicarse.

12.3.8 Los valores de  $\lambda$  deben estar contenidos entre los valores extremos precisados en las tablas N° 2 y N°3 indicadas a continuación:

TABLA N° 2: FACTORES DE MODIFICACIÓN MÁXIMOS Y MÍNIMOS PARA FABRICANTES DESCONOCIDOS							
	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de Caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
Variable	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Mínimo Factor de Modificación max	2.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8
Máximo Factor de Modificación min	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

TABLA N° 3: FACTORES DE MODIFICACION MÁXIMOS Y MINIMOS PARA FABRICANTES CALIFICADOS							
	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de Caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
Variable	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Mínimo Factor de Modificación max	1.6	2.25	1.3	1.3	1.5	2	1.7
Máximo Factor de Modificación min	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8



#### 12.4 Límite superior y límite inferior del comportamiento fuerza-desplazamiento de los componentes del sistema de aislamiento

- 12.4.1 Se debe desarrollar un modelo matemático correspondiente al límite superior del comportamiento histerético (fuerza-desplazamiento) de cada tipo de componente del sistema de aislamiento.
- 12.4.2 El límite superior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento que son esencialmente dispositivos histeréticos (por ejemplo, los aisladores), se debe modelar utilizando los valores máximos de las propiedades del aislador calculados utilizando los factores de modificación de las propiedades según el numeral 12.3.
- 12.4.3 El límite superior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento que son esencialmente dispositivos viscosos (por ejemplo, amortiguadores viscosos suplementarios), se debe modelar de acuerdo con los requisitos del Capítulo 18 del Estandar ASCE 7-16 "Minimum Design Loads for Building and Other Structures" para este tipo de dispositivos.
- 12.4.4 Se debe desarrollar un modelo matemático del límite inferior del comportamiento histerético (fuerza-desplazamiento) de cada tipo de componente del sistema de aislamiento.
- 12.4.5 El límite inferior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento que son esencialmente dispositivos histeréticos (por ejemplo, los aisladores) se debe modelar utilizando los valores mínimos de las propiedades del aislador calculados utilizando los factores de modificación de las propiedades según el numeral 12.3
- 12.4.6 El límite inferior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento que son esencialmente dispositivos viscosos (por ejemplo, amortiguadores viscosos suplementarios), se debe modelar de acuerdo con los requisitos del Capítulo 18 del Estandar ASCE 7-16 "Minimum Design Loads for Building and Other Structures" para este tipo de dispositivos.

#### 12.5 Propiedades del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo

- 12.5.1 La rigidez efectiva,  $k_M$ , del sistema de aislamiento para el desplazamiento traslacional,  $D_M$ , se debe calcular utilizando tanto el límite superior como el límite inferior del comportamiento histerético fuerza-desplazamiento de una unidad de cada tipo de aislador, de acuerdo con la ecuación 3:

“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
 “Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

$$k_M = \frac{\sum |F_M^+| + \sum |F_M^-|}{2D_M} \dots\dots\dots (3)$$

12.5.2 El amortiguamiento efectivo,  $\beta_M$ , del sistema de aislamiento para el desplazamiento traslacional,  $D_M$ , se debe calcular utilizando tanto el límite superior como el límite inferior del comportamiento histerético fuerza-desplazamiento de una unidad de cada tipo de aislador, de acuerdo con la ecuación 4:

$$S_M = \frac{\sum E_M}{2fk_M D_M^2} \dots\dots\dots (4)$$

Donde

$\sum E_M$  = Energía total disipada por el sistema de aislamiento durante un ciclo completo de respuesta al desplazamiento,  $D_M$ , en kN-mm.

$\sum |F_M^+|$  = Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento para un desplazamiento positivo igual al desplazamiento  $D_M$ , en kN.

$\sum |F_M^-|$  = Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento para un desplazamiento negativo igual al desplazamiento  $D_M$ , en kN.

## 12.6 Límite superior y límite inferior de las propiedades del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo

El análisis del sistema de aislamiento y la estructura se realiza por separado para las propiedades del límite superior y del límite inferior, y se utiliza para el diseño el caso que gobierne para cada parámetro de respuesta de interés. Además, el análisis deberá cumplir con lo siguiente:

12.6.1 Para el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes, y para los propósitos de establecer fuerzas mínimas y desplazamientos mínimos para el análisis dinámico, las siguientes variables se calcularán de forma independiente para el límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento:

$k_M$  y  $\beta_M$  del numeral 12.5 (Ec. 3 y la Ec. 4),  $D_M$  del numeral 20.1 (Ec. 6),  $T_M$  del numeral 20.2 (Ec.7),  $D_T$  del numeral 20.3 (Ec. 8),  $V_D$  del





“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

- numeral 21.1 (Ec.10), y  $V_s$  y  $V_{s\bar{}}$  del numeral 21.2 (Ec. 11 y la Ec. 12)
- 12.6.2 Los límites de  $V_s$  establecidos en el numeral 21.3 deben ser evaluados independientemente para el límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento y gobierna el requisito más desfavorable.
- 12.6.3 Para el procedimiento de fuerza lateral equivalente, y para los propósitos de establecer fuerzas de corte mínimas de entrepiso para el análisis espectral de respuesta, la distribución de fuerza vertical indicada en el artículo 22 se determina separadamente para el límite superior y para el límite inferior de las propiedades del sistema de aislamiento. Esto requiere del cálculo independiente de  $F_{1\bar{}}$ ,  $F_{1\bar{}}$ , y  $k$ , empleando las ecuaciones 13, 14 y 15.

### CAPITULO III DEFINICION DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO

#### Artículo 13.- Espectro del diseño

- 13.1 El espectro de diseño se debe obtener mediante un estudio de sitio o empleando las indicaciones de la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” vigente.
- 13.2 Cuando el espectro de diseño se obtenga aplicando los perfiles del suelo de la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” vigente, se debe verificar que el periodo fundamental del estrato  $T_s$ , obtenido mediante ensayos de micro trepidación corresponda con lo indicado en la tabla N°4.

TABLA N° 4		
SUELO TIPO		$T_s$ (s)
S0	Roca dura	< 0,15
S1	Roca o suelos muy rígidos	< 0,30
S2	Suelos intermedios	< 0,40
S3	Suelos blandos	< 0,60

- 13.3 Para periodos  $T_s$  mayores que 0,6 segundos es obligatorio efectuar un estudio de sitio.
- 13.4 Sólo cuando los estudios de micro trepidación confirmen el periodo del estrato, el espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado (SMC) se determina como:

$$S_{aM} = 1,5 ZCS g \quad \dots\dots\dots (5)$$



Donde Z y S son los parámetros definidos en la norma técnica E.030 “Diseño Sismo resistente” vigente.

El parámetro C es definido por las siguientes ecuaciones:

$$T < 0,2 T_P \quad \rightarrow \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left( \frac{T}{T_P} \right)$$

$$0,2 T_P < T < T_P \quad \rightarrow \quad C = 2,5$$

$$T_P < T < T_L \quad \rightarrow \quad C = 2,5 \cdot \left( \frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad \rightarrow \quad C = 2,5 \cdot \left( \frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

13.5 Cuando se desarrollen espectros para un sitio específico, no se pueden considerar ordenadas espectrales menores que las antes indicadas.

13.6 Para estructuras aisladas, el factor U al que se refiere la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” será en todos los casos igual a 1.

#### **Artículo 14.- Registros de aceleración del suelo**

14.1 Cuando se empleen procedimientos de respuesta tiempo-historia, el movimiento del terreno se define con un conjunto mínimo de siete registros, cada uno con dos componentes horizontales de aceleración, elegidos de eventos individuales y escalados como se indica en los numerales 14.5 al 14.7.

14.2 Los registros de aceleración deben ser obtenidos de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, mecanismos de fuente y condiciones locales de suelo sean consistentes con el sismo máximo considerado para el sitio.

14.3 Se permite escalar registros mediante el escalamiento de amplitudes o del ajuste de frecuencias hacia espectros definidos.

14.4 En el caso que no se cuente con la cantidad requerida de pares de componentes horizontales de movimientos de suelo, se permite el uso de registros simulados para completar el total requerido.

14.5 Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construye un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados

separadamente para cada componente escalada, con 5% de amortiguamiento. Cuando se usa escalamiento de amplitudes, se debe usar el mismo factor para cada componente.

14.6 Cada par se debe escalar de modo que en el rango de periodos entre  $0,75 T_M$ , calculado usando el límite superior para las propiedades del sistema de aislamiento, y  $1,25 T_M$ , calculado con el límite inferior, el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos pares de registros empleados no sea menor que la ordenada dada por la ecuación 5.

14.7 Para registros espectro-compatibles, cada par de componentes horizontales se deben escalar de modo que en el rango de periodos entre  $0,2 T_M$ , calculado usando el límite superior para las propiedades del sistema de aislamiento, y  $1,25 T_M$ , calculado con el límite inferior, el espectro de respuesta de la componente en la dirección de análisis no sea menor que el 90% de la correspondiente ordenada dada por la ecuación 5.

## CAPITULO IV

### SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANALISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

#### Artículo 15.- Diseño de las estructuras sísmicamente aisladas

- 15.1 Las estructuras sísmicamente aisladas, excepto las definidas en el artículo 16, deben ser diseñadas usando los procedimientos dinámicos del capítulo VI.
- 15.2 Cuando adicionalmente se utilicen amortiguadores de fluido viscoso en el sistema de aislamiento, debe usarse el procedimiento de análisis dinámico tiempo-historia, como se indica en el numeral 17.2.

#### Artículo 16.-Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

El procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes del capítulo V se puede utilizar para el diseño de una estructura sísmicamente aislada siempre que se cumplan todas las siguientes condiciones, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento gobernando la de mayor exigencia:

- 16.1 La estructura debe estar ubicada en las zonas sísmicas 1 o 2, o en la zona 3 sobre suelos del tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.
- 16.2 El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional,  $T_M$ , será menor o igual a 5,0 s.



- 16.3 La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 metros de altura. Esta altura debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.
- 16.4 El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento traslacional,  $\beta_M$ , debe ser menor o igual a 30%.
- 16.5 El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional,  $T_M$ , debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura por encima del sistema de aislamiento, considerada con base fija.
- 16.6 La estructura por encima del nivel de aislamiento no debe tener ninguna de las irregularidades listadas en el numeral 7.1.
- 16.7 El sistema de aislamiento debe satisfacer los siguientes criterios:
- 16.7.1 La rigidez efectiva del sistema de aislamiento correspondiente al desplazamiento traslacional debe ser mayor que 1/3 de la rigidez efectiva a un 20 % del desplazamiento máximo.
- 16.7.2 El sistema de aislamiento debe ser capaz de producir una fuerza de restitución lateral como está especificado en el numeral 8.4.
- 16.7.3 El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento debe ser como mínimo el desplazamiento total máximo,  $D_T$ .

### **Artículo 17.- Análisis dinámico**

A continuación, se establecen cuándo se puede usar los procedimientos dinámicos del Capítulo VI.

#### **17.1 Análisis Modal Espectral**

El análisis dinámico modal espectral puede ser usado en el diseño de estructuras sísmicamente aisladas, si se cumplen los criterios de los numerales 16.1, 16.2, 16.3, 16.4 y 16.6 del artículo 16.

#### **17.2 Análisis Tiempo – Historia**

17.2.1 Este análisis es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y debe ser necesariamente desarrollado para el diseño de todas las estructuras aisladas que no cumplan los criterios del numeral 17.1.

17.2.2 En todos los casos los resultados usados para el diseño de los elementos de la estructura no serán menores que los obtenidos por el análisis dinámico modal espectral.



## CAPITULO V

### PROCEDIMIENTO DE FUERZAS ESTATICAS EQUIVALENTES

#### Artículo 18.- Aplicación del procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes

Cuando se utilice el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes se deben aplicar los artículos del presente capítulo.

#### Artículo 19.- Características de deformación del sistema de aislamiento

19.1 Los desplazamientos laterales de diseño mínimos y las fuerzas sobre las estructuras sísmicamente aisladas deben basarse en las características de deformación del sistema de aislamiento, los cuales deben incluir los efectos del sistema de restricción al viento si es que ese sistema se usa para satisfacer los requisitos de diseño de esta norma.

19.2 Las características de deformación del sistema de aislamiento se basan en ensayos de prototipos realizados conforme al capítulo VIII de esta norma técnica e incorporan los factores de modificación de las propiedades según se especifica en el artículo 12.

19.3 El análisis del sistema de aislamiento y de la estructura se realiza por separado para las propiedades límite superior e inferior y se debe emplear para el diseño el resultado más desfavorable para cada parámetro de respuesta de interés.

#### Artículo 20.- Desplazamientos laterales considerados para el diseño

##### 20.1 Desplazamiento Traslacional

El sistema de aislamiento debe ser diseñado y construido para soportar, como mínimo, el desplazamiento máximo,  $D_M$ , determinado utilizando los límites superiores e inferiores de las propiedades, en la dirección más crítica para la respuesta horizontal, calculado con la ecuación 6:

$$D_M = \frac{S_{aM} T_M^2}{4f^2 B_M} \dots\dots\dots (6)$$

Donde:

$S_{aM}$  = Ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo, en mm/s<sup>2</sup>, determinada como se indica en la ecuación 5.

$T_M$  = Período efectivo de la estructura sísmicamente aislada, asociado al desplazamiento traslacional  $D_M$  en la dirección de análisis, tal como se indica en la ecuación 7, en segundos.



“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

$B_M =$  Factor de amortiguamiento, correspondiente a la razón entre ordenada espectral para 5% de amortiguamiento y la ordenada espectral para el amortiguamiento efectivo  $\beta_M$  correspondiente al desplazamiento traslacional  $D_M$ , que se indica en la Tabla N° 5.

Tabla N° 5 Factor de amortiguamiento $B_M$	
Amortiguamiento Efectivo, $s_M$ (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor $B_M$
2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
40	1,9

Donde:

- a:  $\beta_M$  se basará en el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento determinado en concordancia con los requisitos del numeral 12.5.
- b: Para valores de  $\beta_M$  diferentes de los indicados en la tabla, el factor  $B_M$  se obtendrá por interpolación lineal.

### 20.2 Período Efectivo Correspondiente al Desplazamiento Traslacional

El periodo efectivo de la estructura aislada,  $T_M$ , correspondiente al desplazamiento traslacional,  $D_M$ , debe determinarse usando los límites superior e inferior de las características de deformación del sistema de aislamiento, con la ecuación 7:

$$T_M = 2f \sqrt{\frac{P}{k_M g}} \dots\dots\dots (7)$$

Donde:

- $P =$  Peso de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado según la norma técnica de edificación E.030, en kN.
- $k_M =$  Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento en la dirección de análisis, calculada con la ecuación 3, en kN/mm.
- $g =$  Aceleración de la gravedad (9 810 mm/s<sup>2</sup>).



### 20.3 Desplazamiento total

20.3.1 El desplazamiento total,  $D_T$ , de los elementos del sistema de aislamiento debe incluir el desplazamiento adicional debido a la torsión real y accidental, calculado con la distribución espacial de la rigidez lateral del sistema de aislamiento y la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica.

20.3.2 El desplazamiento total,  $D_T$ , de los elementos de un sistema de aislamiento no debe ser menor que lo prescrito en las siguientes ecuaciones:

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T^2} \right) \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (8)$$

Nota: El desplazamiento total,  $D_{TM}$ , no será menor que  $1.15D_M$

Donde:

$D_M$  = Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, como se indica en la ecuación 6, en mm.

$y$  = Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento y el elemento de interés, medida perpendicularmente a la dirección de la solicitación sísmica considerada, en mm.

$e$  = Excentricidad obtenida como la suma de la distancia en planta entre el centro de masa de la estructura sobre la interfaz de aislamiento y el centro de rigidez del sistema de aislamiento, más la excentricidad accidental, tomada como 5% de la mayor dimensión en planta del edificio en dirección perpendicular a la de la fuerza sísmica considerada, en mm.

$b$  = Dimensión menor de la proyección en planta de la estructura, medida perpendicularmente a la dimensión mayor,  $d$ , en mm.

$d$  = Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura, en mm.

$P_T$  = Razón entre el período traslacional efectivo del sistema de aislamiento y el período rotacional efectivo del sistema de aislamiento; calculada mediante un análisis dinámico o como se indica en la ecuación 9, pero no requiere ser menor que 1:





“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i^2 + y_i^2)}{N}} \dots\dots\dots (9)$$

Donde:

- $r_a =$  Radio de giro del sistema de aislamiento, en mm, el cual es igual a  $\frac{1}{2}(b^2 + d^2)^{1/2}$  en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones  $b \times d$ .
- $N =$  Número de aisladores.
- $x_i, y_i =$  Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento y el aislador  $i$ -ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento, en mm.

**Artículo 21.- Fuerzas laterales mínimas requeridas para el diseño**

**21.1 Sistema de aislamiento y elementos estructurales bajo el nivel de base**

21.1.1 El sistema de aislamiento, la cimentación, y todos los elementos estructurales bajo el nivel de base deberán ser diseñados y construidos para resistir una fuerza sísmica lateral mínima,  $V_b$ , usando todos los requisitos aplicables para estructuras no aisladas y como se indica en la ecuación 10, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento:

$$V_b = k_M D_M \dots\dots\dots (10)$$

Donde:

- $k_M =$  Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento en la dirección horizontal de análisis, calculada con la ecuación 3, en kN/mm.
- $D_M =$  Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, como se indica en la ecuación 6, en mm.

21.1.2  $V_b$  no podrá ser menor que la máxima fuerza que pueda desarrollarse en el sistema de aislamiento en cualquier desplazamiento, incluyendo el desplazamiento traslacional  $D_M$  como se define en el artículo 20.

21.1.3 Las cargas sobre los elementos del sistema de aislamiento, la cimentación, y los elementos estructurales por debajo del nivel de base debidas al momento de volteo originado por la fuerza sísmica



“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

lateral  $V_b$  se calculan con la distribución vertical de las fuerzas del artículo 22, excepto que debe usarse la fuerza lateral sísmica de diseño no reducida,  $V_{st}$ , en lugar de  $V_s$  en la ecuación 14.

### 21.2 Elementos estructurales sobre el nivel de base

21.2.1 La estructura por encima del nivel de base debe ser diseñada y construida utilizando todos los requisitos aplicables para una estructura no aislada, para una fuerza de corte mínima,  $V_s$ , determinada considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento, como se indica en la ecuación 11:

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a} \dots\dots\dots (11)$$

Donde:

$R_a$  = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como  $\frac{3}{8}R_U$ , pero no menor que 1 ni mayor que 2.

$R_U$  = Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre base fija, dependiente de las características de la estructura, definido en la norma técnica de edificación E.030.

$V_s$  = Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación 12, en kN.

21.2.2 La fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base,  $V_{st}$ , se determina utilizando tanto los límites superior como inferior de las propiedades del sistema de aislamiento y como se indica en la ecuación 12:

$$V_{st} = V_b \left( \frac{P_s}{P} \right)^{(1-2,5S_M)} \dots\dots\dots (12)$$

Donde:

$P$  = Peso sísmico de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado según la norma técnica de edificación E.030, en kN.



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

$P_s$  = Peso sísmico efectivo de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, calculado en forma similar a  $P$  pero sin incluir el nivel de base, en kN.

$\beta_M$  = Amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento para el desplazamiento traslacional  $D_M$  según la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).

21.2.3 Cuando la distancia promedio desde la parte superior del aislador a la parte inferior de la estructura del diafragma del nivel de base de aislamiento exceda de 900 mm, el peso sísmico efectivo  $P_s$  se toma igual a  $P$ .

21.2.4 Excepcionalmente, para los sistemas de aislamiento cuyo comportamiento histerético se caracteriza por una transición abrupta desde el comportamiento pre-fluencia (o pre-deslizamiento) al comportamiento post-fluencia (o post-deslizamiento), el exponente  $(1-2,5 \beta_M)$  en la ecuación 12 es reemplazado por  $(1-3,5 \beta_M)$ .

### 21.3 Límites de $V_s$

El valor de la fuerza cortante en la base sobre el sistema de aislamiento,  $V_s$ , debe ser mayor o igual que el máximo valor de los numerales siguientes:

21.3.1 La fuerza sísmica lateral requerida por la norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" vigente para una estructura con base fija, con un peso igual al peso sísmico efectivo  $P_s$  y un período igual al período del sistema de aislamiento  $T_M$  calculado con las propiedades correspondientes al límite superior.

21.3.2 La fuerza cortante en la base correspondiente a la carga de viento de diseño factorada.

21.3.3 La fuerza lateral sísmica,  $V_{st}$ , calculada con la ecuación 12 y con  $V_b$  igual a la fuerza requerida para activar plenamente el sistema de aislamiento utilizando la mayor de:

- Las propiedades del sistema de aislamiento correspondientes al límite superior.
- 1,5 veces las propiedades nominales, requeridas para activar completamente el sistema de aislamiento.
- La capacidad máxima de un sistema "fusible" de restricción al viento.



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

- d) La fuerza de fricción de ruptura de un sistema de deslizamiento, o
- e) La fuerza para cero desplazamientos de un sistema de deslizamiento después de un ciclo dinámico completo de movimiento de amplitud  $D_M$ .

## Artículo 22.- Distribución vertical de la fuerza

22.1 La fuerza sísmica lateral  $V_s$  debe distribuirse entre los distintos niveles de la estructura sobre el sistema de aislamiento usando las ecuaciones siguientes:

$$F_1 = (V_b - V_{st}) / R_a \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$F_i = \frac{p_i h_i^k}{\sum_{j=2}^n p_j h_j^k} V_s \quad (i > 1) \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$k = 14 S_M T \quad \dots\dots\dots (15)$$

Donde:

- $F_1$  = Fuerza sísmica lateral en el nivel de base, en kN
- $F_i$  = Fuerza sísmica lateral en el nivel  $i$ , en kN
- $h_i$  = Altura del nivel  $i$  respecto al nivel de base, en mm
- $n$  = Número de pisos de la estructura sobre la interfaz de aislamiento.
- $p_i$  = Parte del peso  $P$  que se ubica en o se asigna al nivel  $i$ , en kN.
- $R_a$  = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento, calculado como  $\frac{3}{8} R_u$ , pero no menor que 1 ni mayor que 2.
- $T$  = período fundamental de la estructura considerada con base fija, en la dirección de análisis, evaluado con cualquiera de los procedimientos indicados en la norma técnica de edificación E.030, en s.
- $V_b$  = Fuerza cortante total en el sistema de aislamiento o en los elementos bajo el nivel de aislamiento, como se indica en la ecuación 10, en kN.



$V_s =$  Fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento, como se prescribe en la ecuación 11 y con los límites indicados en el numeral 21.3 en kN.

$V_s =$  Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación 12, en kN.

$\beta_M =$  Amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento para el desplazamiento traslacional según la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).

22.2 En lugar de las ecuaciones 11 y 14, se permite calcular la fuerza sísmica lateral  $F_i$  como el promedio de las fuerzas obtenidas para el nivel  $i$  en la dirección de análisis, utilizando un modelo simplificado de acoplamiento cercano con una representación concentrada del sistema de aislamiento, mediante análisis tiempo-historia escalados para  $V_b/R_u$  al nivel de base.

#### **Artículo 23.- Límites de la deriva**

23.1 La máxima deriva en la estructura por encima del nivel de base no debe exceder de 0,0035.

23.2 Esta deriva es calculada multiplicando los resultados de un análisis lineal elástico por  $R_u$ .

### **CAPITULO VI**

#### **PROCEDIMIENTOS DE ANALISIS DINÁMICO**

#### **Artículo 24.- Aplicación de procedimientos de análisis dinámico**

Cuando se utilicen procedimientos de análisis dinámico se debe aplicar los artículos del presente capítulo.

#### **Artículo 25.- Modelo estructural**

El modelo matemático de la estructura aislada incluyendo el sistema de aislamiento, el sistema resistente a fuerzas sísmicas y otros elementos estructurales, debe estar conforme con lo dispuesto por la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” vigente y los requerimientos de los numerales 25.1 y 25.2.

##### **25.1 Sistema de Aislamiento**

25.1.1 El sistema de aislamiento se modela usando las características de deformación desarrolladas de acuerdo con los requerimientos del artículo 12.



25.1.2 Los desplazamientos y fuerzas laterales deben ser calculados de forma separada para las propiedades límite superior e inferior del sistema de aislamiento tal como se define en el numeral 12.4.

25.1.3 El sistema de aislamiento se debe modelar con suficiente detalle para:

- a) Considerar la distribución espacial de las unidades de aislamiento.
- b) Estimar la traslación en ambas direcciones horizontales y la torsión de la superestructura considerando la ubicación más desfavorable de la excentricidad de la masa.
- c) Evaluar los efectos del momento de volteo y el posible levantamiento de las unidades de aislamiento.
- d) Considerar los efectos de la carga vertical, las acciones bidireccionales y la velocidad de carga en caso que las relaciones de fuerza - deformación sean dependientes de una o más de estas variables.

25.1.4 El desplazamiento total,  $D_T$  en el sistema de aislamiento es calculado mediante un modelo matemático que incorpore el sistema resistente a fuerzas laterales y las características fuerza - deformación de los elementos no lineales del sistema de aislamiento.

## 25.2 Estructura Aislada

25.2.1 Se permite calcular el desplazamiento de cada nivel y las fuerzas de diseño en los elementos del sistema sismorresistente, mediante un modelo elástico lineal de la superestructura.

25.2.2 El análisis del sistema de aislamiento y de la estructura se realizará por separado para las propiedades límite superior e inferior y se usa para el diseño el resultado más crítico para cada parámetro de respuesta de interés.

## Artículo 26.- Descripción de procedimientos

Los procedimientos de análisis modal espectral y análisis tiempo-historia se deben realizar de acuerdo a la norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" vigente y a los requerimientos de este artículo

### 26.1 Solicitud sísmica

El sismo máximo considerado se debe usar para calcular las fuerzas laterales, los desplazamientos de la superestructura, el desplazamiento total del sistema de aislamiento, las fuerzas en las unidades de aislamiento, las fuerzas en sus conexiones y las fuerzas en el sistema de vigas que se ubican sobre y por debajo del sistema de aislamiento para resistir el efecto P-Delta.



## 26.2 Procedimiento modal espectral

- 26.2.1 Para el análisis modal espectral se emplea un valor de amortiguamiento modal para el modo fundamental en la dirección de interés que no sea mayor que el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento o 30% del amortiguamiento crítico, el que sea menor.
- 26.2.2 Los valores de amortiguamiento modal para los otros modos deben ser seleccionados consistentemente con aquellos valores correspondientes a la estructura con base fija.
- 26.2.3 El análisis modal espectral de cada dirección debe efectuarse empleando el espectro al 100% en la dirección de análisis más el 30% en la dirección perpendicular.
- 26.2.4 En cada dirección de análisis, el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento debe calcularse como la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.

## 26.3 Análisis tiempo-historia

- 26.3.1 Este procedimiento se debe desarrollar con un conjunto de pares de registros del movimiento del terreno que deben ser seleccionados y escalados según el artículo 14 y lo señalado en la norma técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" vigente.
- 26.3.2 Cada par de componentes del movimiento de terreno debe ser aplicado simultáneamente al modelo considerando la orientación y la ubicación de la excentricidad de la masa más desfavorable.
- 26.3.3 El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento debe ser calculado mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada instante de tiempo.
- 26.3.4 Los parámetros de interés deben ser calculados para cada movimiento del terreno usado para el análisis tiempo-historia y el valor promedio de los parámetros de respuesta de interés debe ser empleado para el diseño.
- 26.3.5 Para zonas cercanas a una falla geológica, cada par de componentes horizontales se debe rotar y ubicar en la dirección paralela y perpendicular a la falla, y aplicarse al edificio en cada orientación. En otros casos no es necesario aplicar las componentes en múltiples orientaciones.





“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

**26.4 Excentricidad accidental de la masa**

- 26.4.1 La respuesta torsional ocasionada por la falta de simetría de masa y rigidez debe ser considerada en el análisis.
- 26.4.2 Cada una de las dos direcciones ortogonales de análisis debe considerarse, por separado, la excentricidad accidental consistente en el desplazamiento del centro de masa de la posición calculada en una magnitud igual a 5% de la dimensión del diafragma.

**Artículo 27.- Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos**

**27.1 Sistema de aislamiento y elementos estructurales en la subestructura**

- 27.1.1 El sistema de aislamiento, la cimentación y todos los elementos estructurales de la subestructura deben ser diseñados usando todos los requerimientos apropiados para una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas del análisis dinámico sin reducción.
- 27.1.2 Esta fuerza lateral de diseño para el sistema de aislamiento, la subestructura y la cimentación, no debe ser menor a 90% de  $V_b$  determinada con la ecuación 10.
- 27.1.3 El desplazamiento total del sistema de aislamiento debido al sismo máximo considerado, no debe ser menor que el 80% de  $D_T$  especificado en el numeral 20.3 pudiendo usar  $D'_M$  en lugar de  $D_M$

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1 + \left(\frac{T}{T_M}\right)^2}} \dots\dots\dots (16)$$

Donde:

$D_M$  = Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, correspondiente al sismo máximo, como se indica en la ecuación 6, en mm.

$T$  = Periodo fundamental de la estructura considerada con base fija, en la dirección de análisis, evaluado con cualquiera de los procedimientos indicados en la norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” vigente, en segundos.

$T_M$  = Período efectivo de la estructura sísmicamente aislada, asociado al desplazamiento traslacional  $D_M$  en la dirección de análisis, tal como se indica en la ecuación 7, en segundos.



## 27.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento

27.2.1 Los elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento deben ser diseñados usando los requerimientos para una estructura no aislada y las fuerzas obtenidas de un análisis dinámico reducidas por  $R_a$ .

27.2.2 Para el procedimiento modal espectral, la fuerza cortante de diseño en cualquier piso no debe ser menor a la fuerza de corte que resulta de la aplicación de fuerzas según el cálculo en la ecuación 14 y un valor de  $V_b$  igual a la cortante basal obtenida por el procedimiento modal espectral en la dirección de interés.

27.2.3 Para el análisis tiempo-historia en estructuras regulares, el valor de  $V_b$  no debe ser tomado menor que el 80% de lo especificado el numeral 21.1 y el valor de  $V_s$  no debe ser tomado menor que el 100% de lo especificado en el numeral 21.3.

27.2.4 Para el análisis tiempo-historia en estructuras irregulares, el valor de  $V_b$  no debe ser tomado menor que el 100% de lo especificado en la numeral 21.1 y el valor de  $V_s$  no debe ser tomado menor que el 100% de lo especificado en el numeral 21.3.

## 27.3 Escalamiento de resultados

Cuando la fuerza cortante lateral de los elementos estructurales, determinada usando el procedimiento modal espectral o el procedimiento de tiempo-historia, es menor que el valor mínimo indicado en los numerales 27.1 y 27.2, las fuerzas en los elementos de la estructura deben ser aumentadas proporcionalmente.

## 27.4 Límites de la deriva

La deriva máxima de entrepiso correspondiente al SMC y un factor de reducción  $R_a=1$ , incluyendo el desplazamiento ocasionado por la deformación vertical del sistema de aislamiento, debe cumplir con alguno de los siguientes límites:

27.4.1 La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis modal espectral no debe exceder 0,0035.

27.4.2 La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis tiempo-historia, considerando las características de fuerza-deformación no lineales de la interfaz de aislamiento, no debe exceder 0,005.



## **CAPITULO VII**

### **REVISIÓN DEL DISEÑO**

#### **Artículo 28.- Criterios para la revisión del diseño**

- 28.1 Se debe efectuar una revisión del diseño del sistema de aislamiento y de los programas de ensayos requeridos.
- 28.2 La revisión debe ser realizada por ingenieros civiles colegiados y habilitados independientes del diseñador y proveedor de dispositivos, con experiencia demostrada en proyectos que incluyan sistemas de aislamiento sísmico.
- 28.3 La revisión debe incluir, pero no limitarse a los siguientes temas:
- 28.3.1 Criterios de diseño del proyecto, que deben incluir los espectros de respuesta y registros de aceleración del terreno usados.
  - 28.3.2 Diseño preliminar, incluyendo la selección de los dispositivos, determinación del desplazamiento traslacional y total, y la fuerza cortante en el sistema de aislamiento.
  - 28.3.3 Revisión de la información técnica de los aisladores y de los factores de modificación de sus propiedades correspondientes al fabricante y a los tipos de dispositivos previstos
  - 28.3.4 Programa de ensayos de los prototipos.
  - 28.3.5 Diseño final del sistema estructural y todos los análisis que lo sustentan.
  - 28.3.6 Compatibilidad del diseño final de las instalaciones correspondientes a las distintas especialidades con los desplazamientos previstos en la interfaz de aislamiento.
  - 28.3.7 Programa de ensayos de los aisladores a instalarse en obra.

## **CAPITULO VIII**

### **ENSAYOS**

#### **Artículo 29.- Validación de propiedades de los aisladores**

- 29.1 Las relaciones constitutivas fuerza-deformación y los valores de amortiguamiento del sistema de aislamiento utilizados en el análisis y diseño de estructuras con aislamiento sísmico, deben ser verificadas con anterioridad a su uso en la construcción de acuerdo a los ensayos indicados en este capítulo.
- 29.2 Todos los componentes del sistema de aislamiento deben ser ensayados, incluyendo el sistema de restricción de viento si tal sistema se ha considerado en el diseño.



- 29.3 Los ensayos especificados en este capítulo deben emplearse para validar las propiedades de las unidades y del sistema de aislamiento consideradas en el diseño final en concordancia con el artículo 12.
- 29.4 Estos ensayos podrán ser efectuados en los laboratorios de fabricante o en laboratorios independientes, en ambos casos el laboratorio deberá contar con certificación de acuerdo a la Norma ASTM E04 (Standard Practices for Force Verification of Testing Machines) o similar.
- 29.5 El fabricante debe acreditar mediante reportes o investigaciones, que ha efectuado ensayos de caracterización de propiedades y de alta performance de aisladores sísmicos en un laboratorio de cualquier universidad o instituto de investigación reconocido a nivel mundial, estableciendo claramente la normativa utilizada.
- 29.6 El fabricante de los dispositivos de aislamiento sísmico es responsable de la calidad y procesos de fabricación de todos los insumos, según estándares internacionales reconocidos.
- 29.7 Los ensayos de los aisladores serán divididos en dos tipos:
- 29.7.1 Ensayos de dos aisladores prototipo por tipo (aisladores adicionales a los necesarios en obra, del mismo tipo y características).
  - 29.7.2 Ensayos de cada uno de los aisladores a instalarse en la obra.

### **Artículo 30.- Ensayos de cualificación**

El fabricante de los dispositivos de aislamiento sísmico debe remitir al proyectista, para su aprobación, los análisis y resultados de los ensayos de cualificación y los estudios científicos que pueden ser usados para cuantificar los efectos de calentamiento debido a cargas cíclicas, velocidad de carga, *scragging*, variabilidad e incertidumbre en las propiedades de fabricación de los aisladores, exposición medioambiental y contaminación.

### **Artículo 31.- Ensayos de los aisladores prototipo**

- 31.1 Se fabricarán dos aisladores prototipo a escala natural, idénticos a los aisladores de obra, por cada tipo y tamaño diferente de aislador que exista dentro del sistema de aislamiento.
- 31.2 Las pruebas de los prototipos deben incluir el efecto de los sistemas de restricción para las cargas de viento contemplados en el diseño. La capacidad máxima de dichos sistemas debe ser establecida mediante ensayos.



- 31.3 Los ensayos de los aisladores prototipo, especificados en los artículos 31 al 37, no deben ser considerados como pruebas que puedan reemplazar a las estipuladas en los artículos 39 al 43 para los aisladores que serán instalados en obra.
- 31.4 Los ensayos de los aisladores prototipo serán hechos preferentemente antes de la fabricación de aisladores de obra; sin embargo, a riesgo del fabricante será posible proceder a la fabricación de los dispositivos de obra antes de la fabricación y ensayo de los prototipos.
- 31.5 Los aisladores usados en el ensayo de prototipos no deben ser usados en la construcción.

### **Artículo 32.- Secuencia y ciclo de los ensayos de los aisladores prototipo**

- 32.1 Cada una de las siguientes secuencias de ensayo deben realizarse para el número de ciclos prescritos, a una carga vertical igual al promedio del 100% de la carga muerta más el 50% de los efectos debidos a la carga viva en todas las unidades del aislamiento del mismo tipo y tamaño.
- 32.2 Las pruebas de los aisladores prototipo deben realizarse previamente a los ensayos de aisladores de obra especificados en los artículos 39 al 43.
- 32.3 Los ensayos de los prototipos deben incluir como mínimo lo siguiente:
- 32.3.1 Veinte ciclos completos con inversión de carga, para una fuerza correspondiente a la fuerza lateral de diseño para viento.
- 32.3.2 Cualquiera de las siguientes secuencias a) o b):
- a) Tres ciclos completos en cada uno de los siguientes incrementos de desplazamientos:  $0,25D_M$ ,  $0,5D_M$ ,  $0,67D_M$  y  $1,0D_M$ , donde  $D_M$  está determinado de acuerdo al numeral 20.1.
  - b) La secuencia subsiguiente realizada dinámicamente con un período efectivo  $T_M$  con un ciclo completo de carga y descarga para cada una de las siguientes amplitudes de desplazamiento:  $1,0 D_M$ ,  $0,67D_M$ ,  $0,5 D_M$  y  $0,25D_M$ ; aplicando luego una secuencia análoga y un ciclo completo para cada una de las amplitudes de desplazamiento:  $0,25D_M$ ,  $0,5D_M$ ,  $0,67D_M$  y  $1,0 D_M$ . Se permite un intervalo de reposo entre estas dos secuencias.
- 32.3.3 Tres ciclos completos al desplazamiento traslacional,  $1,0 D_M$
- 32.3.4 Cualquiera de las siguientes secuencias a) o b):



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

- a) Ciclos completos a 0,75 veces el desplazamiento traslacional,  $0,75D_M$
- b) La prueba del anterior ítem (a), llevada a cabo de forma dinámica con un período efectivo  $T_M$ . Esta prueba puede incluir conjuntos separados de varios ciclos de carga, donde cada conjunto consiste en no menos de cinco ciclos continuos.

32.4 Adicionalmente, el sub numeral 32.3.2 de la secuencia de ensayos cíclicos especificada anteriormente se debe realizar para las combinaciones de carga verticales 2 y 3 indicadas en el numeral 11.2.

32.5 En estos ensayos las cargas verticales combinadas se deben considerar como la fuerza de compresión promedio en todos los aisladores del mismo tipo y tamaño.

32.6 Los valores de carga axial y desplazamiento para cada prueba serán los mayores de los determinados por análisis utilizando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento determinados de acuerdo con el numeral 12.4.

32.7 El período efectivo  $T_M$  es el más bajo de los determinados por análisis utilizando los valores de límite superior y límite inferior. Ver Anexo I.

### **Artículo 33.- Ensayos dinámicos de los aisladores prototipo**

Si se opta por ensayos dinámicos establecidos en el literal b) del numeral 32.3.2 y en el literal b) del numeral 32.3.4., estos ensayos deben ser realizados con el menor de los periodos efectivos  $T_M$  determinado usando los límites superior e inferior de las propiedades de los aisladores.

### **Artículo 34.- Aisladores prototipo cuyas propiedades dependen de cargas bidireccionales**

34.1 Se considera que las propiedades de un aislador dependen de cargas bidireccionales, si la rigidez efectiva cuando se somete a cargas bidireccionales es diferente de la rigidez efectiva del dispositivo sometido a una carga unidireccional en más de un 15 %.

34.2 En tal caso, cada conjunto de pruebas especificadas en los artículos 32 y 33 deben ser ampliadas para incluir el efecto de la carga bidireccional en las siguientes combinaciones del desplazamiento traslacional  $D_M$  : 0,25 y 1,0; 0,5 y 1,0; 0,67 y 1,0; y 1,0 y 1,0.



### **Artículo 35.- Carga vertical máxima y mínima de los aisladores prototipo**

- 35.1 Los prototipos deben ser sometidos a un ciclo adicional de carga para desplazamiento total  $D_T$  tanto para una carga vertical máxima como para una carga vertical mínima estipulada en el numeral 11.2
- 35.2 Los valores de carga axial y desplazamiento para cada prueba debe ser el mayor de los determinados por el análisis utilizando los valores de límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento determinados de acuerdo con el numeral 12.4.
- 35.3 En lugar de usar valores de una envolvente para un único ensayo, es aceptable efectuar dos ensayos, cada uno para la combinación de carga vertical y el desplazamiento horizontal obtenidos del análisis utilizando los valores límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento, respectivamente, determinadas de acuerdo con el numeral 12.4.

### **Artículo 36.- Ensayos de prototipos de unidades similares**

- 36.1 Los ensayos en los prototipos no son requeridos para una unidad exactamente igual a una que haya sido previamente ensayada por el mismo fabricante usando la secuencia especificada para los ensayos indicados en los artículos 31 al 36.
- 36.2 Además, debe cumplir lo siguiente:
- 36.2.1 Haber sido elaborada por el mismo fabricante con iguales o más estrictos procedimientos de fabricación y control de calidad debidamente documentados.
  - 36.2.2 Para los aisladores tipo elastoméricos, el diseño del aislador no debe tener un mayor desplazamiento lateral ni mayor esfuerzo vertical que el del prototipo previamente probado.
  - 36.2.3 Para aisladores tipo deslizante, el diseño del aislador no debe tener un esfuerzo vertical o velocidad de deslizamiento mayor que el del prototipo probado anteriormente y usando el mismo material deslizante.
- 36.3 La anterior exención de pruebas de prototipo debe ser aprobada por el ingeniero diseñador del sistema de aislamiento y el profesional revisor de acuerdo a lo indicado en el artículo 28.



**Artículo 37.- Determinación de las características fuerzas - deformación**

37.1 Las características fuerza - deformación del sistema de aislamiento deben estar basadas en las pruebas de carga cíclica del aislador especificadas en los artículos del 31 al 36.

37.2 La rigidez efectiva de una unidad de aislador  $k_e$  , debe ser calculada para cada ciclo de carga de acuerdo a:

$$k_e = \frac{|F^+| + |F^-|}{|\Delta^+| + |\Delta^-|} \quad \dots\dots (17)$$

Donde  $F^+$  y  $F^-$  son las máximas fuerzas positivas y negativas, en  $\Delta^+$  y  $\Delta^-$  respectivamente.

37.3 El amortiguamiento efectivo,  $\beta_e$  , de una unidad de aislador debe ser calculado para cada ciclo de carga por la ecuación:

$$\beta_e = \frac{2}{n} \frac{E_c}{k_e (|\Delta^+| + |\Delta^-|)^2} \quad \dots\dots (18)$$

Nota: Donde la energía disipada por ciclo de carga  $E_c$  , y la rigidez efectiva  $k_e$  , debe estar basada en las pruebas de desplazamiento de  $\Delta^+$  y  $\Delta^-$ .

37.4 La rigidez post-fluencia,  $k_d$ , de cada unidad de aislamiento se calcula para cada ciclo de carga utilizando los siguientes supuestos:

37.4.1 Se asume un ciclo de prueba para tener unas características histeréticas bilineales con valores de  $k_e$ ,  $k_d$ ,  $Q$ ,  $F_y$ ,  $k_e$  y  $E_c$  como se muestra en la Figura 2.

37.4.2 El ciclo calculado tiene los mismos valores de rigidez efectiva,  $k_e$  , y la energía disipada por ciclo de carga,  $E_c$  , que el ciclo de prueba.

37.4.3 El valor asumido de  $k_e$ , es mediante un ajuste visual a la rigidez elástica de la unidad de aislador durante la descarga inmediatamente después de  $D_M$ .

“Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

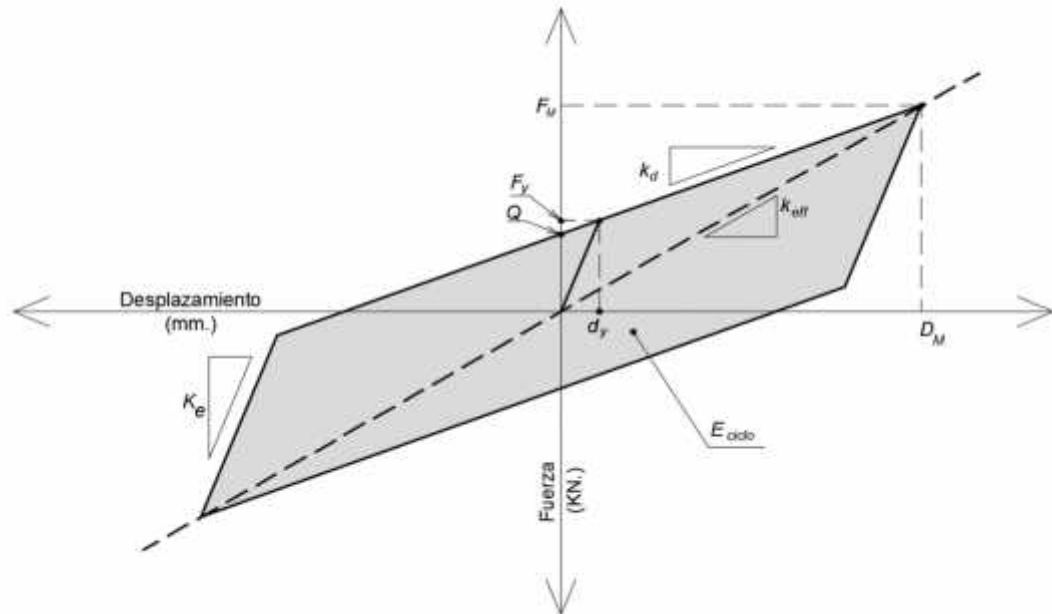


Figura 2: Propiedades Nominales del modelo bilineal Fuerza – Deformación del Aislador

37.5 Se permite utilizar diferentes métodos para ajustar los parámetros, tal como un ajuste de la recta de,  $k_d$ , directamente en la curva de histéresis y luego determinar  $k_e$  para que coincida con  $E_c$ , o la definición de  $D_y$  y  $F_y$  por ajuste visual y luego determinar  $k_d$  para que coincida con  $E_c$ .

### Artículo 38.- Verificación de la calidad de los ensayos

Los ensayos de los prototipos se consideran adecuados si se cumplen las condiciones siguientes:

- 38.1 La curva fuerza-deformación para todos los ensayos especificados en los artículos 31 al 35 es ascendente.
- 38.2 La rigidez media post-fluencia,  $k_d$ , y la energía disipada por ciclo,  $E_c$ , para los tres ciclos de prueba especificados en el numeral 32.3.3 para la carga vertical igual al promedio de la carga muerta más la mitad del promedio de la carga viva, incluyendo los efectos de temperatura y velocidad de carga de conformidad con el numeral 12.2 (propiedades límite de los componentes del sistema de aislamiento) debe estar dentro del rango de los valores de diseño nominales definidas por el rango aislador individual admisible que son típicamente +/- 5% mayor que el  $\lambda_{(f, \text{mín})}$  y  $\lambda_{(f, \text{máx})}$  rango para el promedio de todos los aisladores.



- 38.3 Para cada incremento de desplazamiento de los ensayos especificados en los subnumerales 32.3.2 y 32.3.3 y para cada caso de carga vertical especificado en el artículo 32.
- 38.3.1 Para cada muestra de ensayo el valor de la rigidez post-fluencia,  $k_d$ , en cada uno de los ciclos de prueba en un desplazamiento igual, cae dentro del intervalo definido por  $\lambda_{(t_i, \text{mín})}$  y  $\lambda_{(t_i, \text{máx})}$ , multiplicado por el valor nominal de la rigidez post-fluencia.
- 38.3.2 Para cada ciclo de ensayo, la diferencia entre la rigidez efectiva de cada uno de los dos especímenes (del mismo tipo y tamaño de aislador) y la rigidez efectiva promedio de ambos no será mayor al 15 %.
- 38.4 Para los ensayos especificados en el sub numeral 32.3.4 no hay un cambio mayor al 20 % de la rigidez efectiva en cada ciclo de ensayo sobre la rigidez efectiva inicial.
- 38.5 Para cada aislador ensayado el valor de la rigidez post-fluencia,  $k_d$ , y la energía disipada por ciclo,  $E_c$ , para cualquier ciclo de cada conjunto de cinco ciclos de prueba establecida en el sub numeral 32.3.4 debe estar dentro del rango de los valores nominales de diseño definido por  $\lambda_{(t_i, \text{mín})}$  y  $\lambda_{(t_i, \text{máx})}$ .
- 38.6 Para cada dispositivo no habrá una disminución mayor al 20% del amortiguamiento efectivo inicial, durante los ciclos de prueba especificados en el sub numeral 32.3.4
- 38.7 Todas las muestras de los aisladores deben mantenerse estables para carga vertical, ensayados según lo indicado en el artículo 35.
- 38.8 El profesional de diseño responsable puede ajustar los límites de los numerales 38.3, 38.4 y 38.6 para tener en cuenta los factores de variación de la propiedad del numeral 12.3 utilizados para el diseño del sistema de aislamiento.

### **Artículo 39.- Ensayos de aisladores de obra**

- 39.1 El programa de ensayos para las unidades de aislamiento a ser utilizadas en la construcción, debe ser establecido por el ingeniero diseñador del sistema de aislamiento en base a los requisitos mínimos de este ítem.
- 39.2 El programa de ensayos debe evaluar la consistencia de los valores medidos para las propiedades ensayando el 100% de los aisladores bajo la acción combinada de compresión y corte a  $0,67D_M$ ; determinado utilizando el límite inferior de las propiedades del dispositivo de aislamiento.



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

39.3 La rigidez y los amortiguamientos obtenidos de los últimos tres ciclos del ensayo de un dispositivo deben estar entre el 0,8 y el 1,2 del valor nominal establecido para el dispositivo.

TABLA N° 6 ENSAYOS DE OBRA			
ORDEN DE ENSAYO	CARGA (tonf)	TIEMPO / N° DE CICLOS	DESPLAZAMIENTO (mm)
1°	Promedio $1,2D+L + E_{prom}$	5 minutos	0
2°	Promedio $D + 0,5L$	4 ciclos	$0,67D_M$

#### Artículo 40.-Criterios de aceptación para cada aislador de obra ensayado

- 40.1 El dispositivo no debe presentar fallas como falta de adherencia entre el caucho y acero, grietas superficiales en el caucho que son más anchas o más profundas que  $2/3$  del espesor de la cobertura de caucho, ni deformaciones permanentes.
- 40.2 Para el cálculo de la rigidez y amortiguamiento se considera únicamente los valores de lecturas de los últimos 3 ciclos de las secuencias de deformación.
- 40.3 De estos 3 últimos ciclos se obtiene el promedio de las rigideces y amortiguamientos, los cuales deben estar dentro de un rango de variación de  $\pm 15\%$  respecto a los valores nominales asociados a un desplazamiento a  $0,67D_M$

#### Artículo 41.- Ensayo de deslizadores de obra

- 41.1 Los deslizadores sísmicos de superficie plana (que trabajan en combinación con los aisladores elastoméricos) deben ser sometidos a ensayos según las siguientes consideraciones:
- 41.1.1 Cuando existan menos de 5 deslizadores del mismo tipo en el proyecto, estos deben ser ensayados en su totalidad. En caso de mayor cantidad de deslizadores debe ensayarse el 15% de cada tipo de deslizadores y como mínimo 4 de ellos.
- 41.1.2 Se debe aplicar una carga axial equivalente al promedio de carga sobre los deslizadores del mismo tipo para la combinación



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

$$P = 1,2CM + 0,5CV + CS \quad \dots\dots \quad (19)$$

Donde, **CS** representa la carga de compresión producto del sismo de diseño.

Después de haber cargado al valor requerido total, se debe mantener la carga por 5 minutos. Antes de descargar, el deslizador debe ser inspeccionado por fallas.

41.1.3 Después del ensayo de compresión pura, someter al deslizador a 4 ciclos completos al promedio de la combinación CM +0,5CV, a un desplazamiento de  $0,67D_M$ .

41.2 Los valores de rigidez y amortiguamiento deben ser obtenidos de los ensayos, según el siguiente cuadro:

ORDEN DE ENSAYO	CARGA	DURACIÓN	DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL
1°	1,2CM+CV+ CS	5 minutos	0
2°	CM +0,5 CV	4 ciclos	$0,67D_M$

#### Artículo 42.- Criterios de aceptación para cada deslizador de obra ensayado

42.1 El dispositivo no debe presentar fallas como punzonamientos, desprendimiento de material, ni deformaciones permanentes.

42.2 Para el cálculo de la rigidez y amortiguamiento se considera únicamente los valores de lecturas de los últimos 3 ciclos de las secuencias de deformación.

42.3 De estos 3 últimos ciclos se obtiene el promedio de las rigideces y amortiguamientos, los cuales deben estar dentro de un rango de variación de  $\pm 15\%$  respecto a los valores nominales asociados a un desplazamiento a  $0,67D_M$

42.4 El fabricante debe entregar reportes de ensayos de caracterización del material de contacto usado en los deslizadores, donde se aprecie la variación del coeficiente de fricción en función de la velocidad y bajo distintas presiones de contacto.

#### Artículo 43.- Criterio de aceptación para el sistema de aislamiento

43.1 La rigidez y amortiguamiento global del sistema de aislamiento es determinada en función al aporte de cada dispositivo ensayado; en el caso de deslizadores, el aporte de cada dispositivo es considerada como el



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

promedio de valores de rigidez y amortiguamiento de los deslizadores ensayados.

43.2 Las propiedades globales en cuanto a la rigidez y al amortiguamiento debe presentar una variación de  $\pm 10\%$  respecto a los valores nominales asociados a un desplazamiento a  $0,67D_M$



PERÚ

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Viceministerio de Construcción y Saneamiento

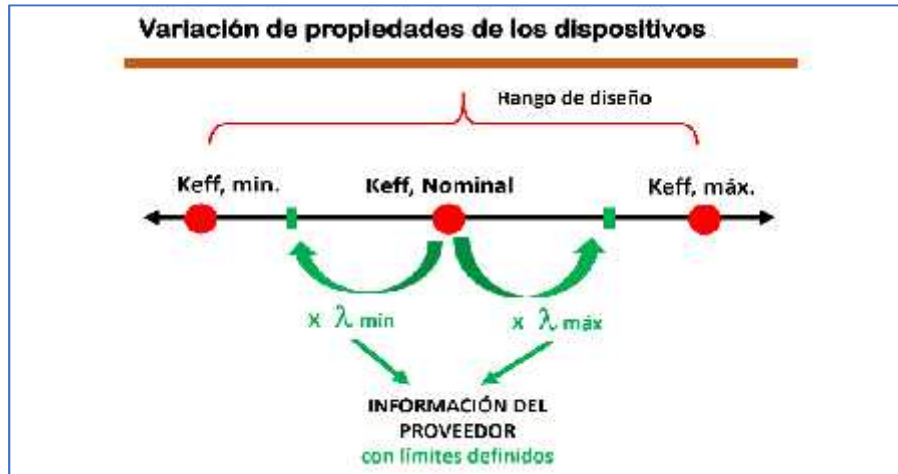
Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento

Dirección de Construcción

*"Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombre"*  
*"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"*

## ANEXO I

### FACTORES EXTREMOS MODIFICATORIOS DE LAS PROPIEDADES







PERÚ

Ministerio  
de Vivienda, Construcción  
y SaneamientoViceministerio de  
Construcción y SaneamientoDirección General de  
Políticas y Regulación en  
Construcción y Saneamiento

Dirección de Construcción

“Decenio de la Igualdad de oportunidades para mujeres y hombre”  
“Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional”

**VALORES MÍNIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÁXIMO PARA FABRICANTES CALIFICADOS**

VALOR MÍNIMO PARA:	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Factor Máximo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ( <b>ae,max</b> )	1.21	1.65	1	1	1	1.2	1.2
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, <i>scragging</i> ( <b>tv<sub>s</sub>,max</b> )	1.2	1.3	1.03	1.03	1.3	1.5	1.3
Factor Máximo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ( <b>fab,max</b> )	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
<b>Factor de Modificación Máximo Límite Superior:</b> <b>max= [1+0.75( ae,max - 1)]</b> <b>* tv<sub>s</sub>,max * fab,max</b>	<b>2.1</b>	<b>3.2</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>2.2</b>	<b>1.8</b>



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

### VALORES MÁXIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÍNIMO PARA FABRICANTES CALIFICADOS

VALOR MÁXIMO PARA:	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Factor Mínimo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ( <b>ae,min</b> )	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, scragging( <b>tvS,min</b> )	0.95	0.95	0.98	0.98	0.95	0.95	0.95
Factor Mínimo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ( <b>fab,min</b> )	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<b>Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior:</b> min= [1-0.75( <b>ae,min</b> - 1)] * <b>tvS,min</b> * <b>fab,min</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

### FACTORES DE MODIFICACION SUPERIOR PARA FABRICANTES DESCONOCIDOS

Variable	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Factor Máximo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ( <b>ae,max</b> )	1.56	2.52	1.3	1.3	1	1.4	1.3
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, scragging ( <b>tv,max</b> )	1.3	1.3	1.3	1.3	1.6	1.95	1.59
Factor Máximo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ( <b>fab,max</b> )	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
<b>Factor de Modificación Máximo Límite Superior:</b> <b>max= [1+0.75( ae,max - 1)] * tvs,max * fab,max</b>	<b>2.1</b>	<b>3.2</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>1.8</b>	<b>2.2</b>	<b>1.8</b>



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

### FACTORES DE MODIFICACION INFERIOR PARA FABRICANTES DESCONOCIDOS

Variable	Interfaz sin lubricación	Interfaz lubricada	Aislador de bajo amortiguamiento	Aislador de caucho con núcleo de plomo	Aislador de caucho con núcleo de Plomo	Aislador de Alto Amortiguamiento	Aislador de Alto Amortiguamiento
	u o Qd	u o Qd	K	Kd	Qd	Kd	Qd
Factor Mínimo para Envejecimiento y Efectos Ambientales ( <b>ae,min</b> )	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, scragging( <b>tvS,min</b> )	0.7	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Factor Mínimo para verificar los ensayos de aisladores de obra- variaciones de fabricación ( <b>fab,min</b> )	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
<b>Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior:</b> <b>min= [1+0.75( ae,min - 1)] * tvS,min * fab,min</b>	<b>0.6</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>

**ANEXO II****VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS**1. Capacidad axial:

- Módulo Elástico:  $E_U = f \cdot G$  ; el valor de f depende del proveedor.  
Se recomienda utilizar el valor de  $f=4,0$ , salvo que el proveedor demuestre mediante el ensayo ASTM D945 u otro similar reconocido internacionalmente un valor diferente.

Donde:

$G$  = Módulo de corte del caucho, en MPa.

- Factor de Forma (S): ratio entre el área efectiva de una capa de caucho dividida entre su área de la superficie de borde.

- Módulo de Compresión:  $E_C = E_U (1 + 2 k S^2)$  , en MPa.

Donde:

$k$  = constante empírica que está en función del módulo de corte.

- Área reducida (AR):

$$A = A_A \cdot 2 \frac{\left[ D_e^2 \cdot S \cdot -1 \left( \frac{\sqrt{D_e^2 - D_T^2}}{D_e} \right) - D_T \cdot \sqrt{D_e^2 - D_T^2} \right]}{\pi \cdot D_e^2}$$

Donde:

$A_A$  = Área del aislador, en mm<sup>2</sup>.

$D_e$  = Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, en mm.

$D_{TM}$  = Desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, que incluye la traslación en el centro de rigidez y la componente torsional, determinado con la ecuación 5.3, en mm.

- Capacidad de Pandeo:

$$P_{\text{íti}} = \frac{\pi}{8} G \cdot S \frac{D_e}{N \cdot t_r} A_R$$

Donde:

$N$  = número de capas de caucho

$t_r$  = espesor de cada capa de caucho, en mm.

- Factores de seguridad (FS):

Solo para carga axial, FS = 3,0

Para carga axial última a  $D_{TM}$ , FS > 1,0



## 2. Deformaciones por corte:

- Deformación por corte debido a deformación:

$$\gamma_D = \frac{D_T}{H_T} \leq 2,5$$

- Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_C = \frac{6 \cdot P \cdot S}{E_C A_R}$$

- Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta = \frac{0,375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_T \cdot H_T}$$

Donde:

0,003 en radianes.

- Deformación total por corte:

$$\gamma_D + \gamma_C + 0,5\gamma_\theta \leq 6$$



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

### ANEXO III SECUENCIA Y CICLOS PARA ENSAYOS DE PROTOTIPOS

Numeral	Orden de ensayo	Carga Axial por tipo de aislador (kN)	Tipo de Carga horizontal (kN)	Nº de ciclos	Desplazamiento inducido (mm)
1	1	1,0CM+0,5CV	QUASI ESTÁTICO	20	1,00 $Wh$ (*)
2a	2	1,0CM+0,5CV	QUASI ESTÁTICO	3	0,25 $D_M$
	3			3	0,50 $D_M$
	4			3	0,67 $D_M$
	5			3	1,00 $D_M$
3	6	1,0CM+0,5CV	QUASI ESTÁTICO	3	1,00 $D_M$
4a	7	1,0CM+0,5CV	QUASI ESTÁTICO	10	0,75 $D_M$
2a (Adicionalmente)	8	1,25(CM+CV)+1,0(SCH+CSV)+0,2N	QUASI ESTÁTICO	3	0,25 $D_M$
	9			3	0,50 $D_M$
	10			3	0,67 $D_M$
	11			3	1,00 $D_M$
	12	0,9 CM-1,0(SCH+CSV)	QUASI ESTÁTICO	3	0,25 $D_M$
	13			3	0,50 $D_M$
	14			3	0,67 $D_M$
15	3	1,00 $D_M$			
8.2.5	16	1,25(CM+CV)+1,0(SCH+CSV)+0,2N	QUASI ESTÁTICO	1	1,00 $D_T$



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
 "Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

8.2.5	17	0,9 CM-1,0(SCH+CSV)	QUASI ESTÁTICO	1	1,00 $D_T$
-------	----	---------------------	----------------	---	------------

Alternativamente se podrá utilizar esta secuencia de ensayos:

Numeral	Orden de ensayo	Carga Axial por tipo de aislador (kN)	Tipo de Carga horizontal (kN)	Nº de ciclos	Desplazamiento inducido (mm)
1	1	1,0CM+0,5CV	QUASI ESTÁTICO	20	1,00 $W_h$ (*)
2b	2	1,0CM+0,5CV	DINÁMICO A $T_M$	3	1,00 $D_M$
	3			3	0,67 $D_M$
	4			3	0,50 $D_M$
	5			3	0,25 $D_M$
	INTERVALO DE REPOSO				
	6	1,0CM+0,5CV	DINÁMICO A $T_M$	3	0,25 $D_M$
	7			3	0,50 $D_M$
	8			3	0,67 $D_M$
	9			3	1,00 $D_M$
	3	10	1,0CM+0,5CV	QUASI ESTÁTICO	3
4b	11	1,0CM+0,5CV	DINAMICO A $T_M$	5	1,00 $D_M$
2b (Adicionalmente)	12	1,25(CM+CV) + 1,0(SCH+CSV) + 0,2N	DINÁMICO A $T_M$	3	1,00 $D_M$
	13			3	0,67 $D_M$
	14			3	0,50 $D_M$



"Decenio de la igualdad de oportunidades para mujeres y hombres"  
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"

	15			3	0,25 $D_M$
	INTERVALO DE REPOSO				
	16	$1,25(CM+CV) + 1,0(SCH+CSV) + 0,2N$	DINÁMICO A $T_M$	3	0,25 $D_M$
	17			3	0,50 $D_M$
	18			3	0,67 $D_M$
	19			3	1,00 $D_M$
	20	$0,9 CM - 1,0(SCH+CSV)$	DINÁMICO A $T_M$	3	1,00 $D_M$
	21			3	0,67 $D_M$
	22			3	0,50 $D_M$
	23			3	0,25 $D_M$
	INTERVALO DE REPOSO				
	24	$0,9 CM - 1,0(SCH+CSV)$	DINÁMICO A $T_M$	3	0,25 $D_M$
	25			3	0,50 $D_M$
	26			3	0,67 $D_M$
	27			3	1,00 $D_M$
8.2.5	28	$1,25(CM+CV) + 1,0(SCH+CSV) + 0,2N$	QUASI ESTÁTICO	1	1,00 $D_T$
8.2.5	29	$0,9 CM - 1,0(SCH+CSV)$	QUASI ESTÁTICO	1	1,00 $D_T$

(\*) Wh: Carga de viento