Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org

El Peruano
Firmado Digitalmente por:
EDITORA PERU
Fecha: 06/11/2019 04:34:18

Decreto Supremo que aprueba la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" y la incorpora al Índice del Reglamento Nacional de Edificaciones

DECRETO SUPREMO
N° 030-2019-VIVIENDA

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, de conformidad con la Ley Nº 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, es competencia del Ministerio formular, normar, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar las políticas nacionales y sectoriales en materia de vivienda, construcción, saneamiento, urbanismo y desarrollo urbano, bienes estatales y propiedad urbana, para lo cual dicta normas de alcance nacional y supervisa su cumplimiento;

Que, mediante Decreto Supremo Nº 015-2004-VIVIENDA se aprueba el Índice y la Estructura del Reglamento Nacional de Edificaciones, norma rectora en el territorio nacional que establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño y ejecución de habilitaciones urbanas y edificaciones, así como por Decreto Supremo Nº 011-2006-VIVIENDA se aprueban sesenta y seis (66) Normas Técnicas comprendidas en el referido índice;

Que, el artículo 15 de la Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente" del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado por Resolución Ministerial N° 355-2018-VIVIENDA, dispone que los nuevos establecimientos de salud públicos y privados de nivel

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

II y III, según la clasificación del Ministerio de Salud, categorizados como Edificaciones Esenciales A1, deben contar con sistemas de aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3; y, según el artículo 23, se encuentra permitida la utilización de sistemas de aislamiento sísmico en otros tipos de edificaciones, a fin de mejorar su desempeño sísmico, proteger su estructura y mantener su operatividad en caso de siniestros;

Que, con el Informe Nº 007-2018-CPARNE de fecha 12 de noviembre de 2018, la Comisión Permanente de Actualización del Reglamento Nacional de Edificaciones - CPARNE eleva, entre otras, la propuesta sobre la viabilidad de la incorporación de la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" al Reglamento Nacional de Edificaciones, según el acuerdo que consta en el Acta de su Septuagésima Primera Sesión;

Que, mediante los Informes Nº 072-2019-VIVIENDA/VMCS-DGPRCS y N° 1127-2019-VIVIENDA/VMCS-DGPRCS-DC, la Dirección General de Políticas y Regulación en Construcción y Saneamiento, emite opinión favorable sobre el proyecto de Decreto Supremo que aprueba la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" del Reglamento Nacional de Edificaciones y la incorpora a su Índice, señalando que dicha norma técnica establece los requisitos mínimos a cumplir en el diseño y construcción de las edificaciones con aislamiento sísmico y los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico, siendo el instrumento técnico óptimo que subsana el vacío existente en la materia;

Que, en atención a lo expuesto, corresponde aprobar la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico", incorporándola al Índice del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado por el Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, con la finalidad de mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, proteger su estructura y buscar su operatividad continua;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118 de la Constitución Política del Perú; el numeral 3) del artículo 11 de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo; la Ley N° 30156, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; su Reglamento de Organización y Funciones, aprobado por el Decreto Supremo N° 010-2014-VIVIENDA, modificado por el Decreto Supremo N° 006-2015-VIVIENDA; y, el Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, que aprueba el Índice del Reglamento Nacional de Edificaciones;

DECRETA:

Artículo 1.- Aprobación de la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" del Reglamento Nacional de Edificaciones

Aprobar la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" del Reglamento Nacional de Edificaciones, la misma que forma parte integrante del presente Decreto Supremo.

Artículo 2.- Incorporación la Norma Técnica E.031 al Reglamento Nacional de Edificaciones

Incorporar la Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" al numeral III.2 Estructuras del Título III Edificaciones del Índice del Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado por el artículo 2 del Decreto Supremo N° 015-2004-VIVIENDA, conforme al texto siguiente:

"REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES
(...)

III
EDIFICACIONES
(...)

III.2 ESTRUCTURAS
(...)

E.030 Diseño sismorresistente
E.031 Aislamiento Sísmico
(…)".

Artículo 3.- Publicación y Difusión

Publicar el presente Decreto Supremo y la Norma Técnica aprobada en el artículo 1, en el portal institucional del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (www.gob.pe/vivienda), el mismo día de su publicación en el diario oficial El Peruano.

Artículo 4.- Refrendo

El presente Decreto Supremo es refrendado por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA TRANSITORIA

Única.- Aplicabilidad de la norma en los proyectos de inversión pública y privada en ejecución

La Norma Técnica E.031 "Aislamiento Sísmico" es de aplicación a los proyectos de inversión pública o privada que, a partir de la entrada en vigencia del presente Decreto Supremo, no cuenten con expediente técnico aprobado en el marco del Sistema Nacional de Programación Multianual y Gestión de Inversiones - Invierte.pe o en los que no se haya solicitado la licencia de edificación ante las Municipalidades, respectivamente.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los cuatro días del mes de noviembre del año dos mil diecinueve.

MARTÍN ALBERTO VIZCARRA CORNEJO
Presidente de la República

RODOLFO YAÑEZ WENDORFF
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

NORMA TÉCNICA E.031
AISLAMIENTO SÍSMICO DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES

ÍNDICE

CAPÍTULO I
DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto
Artículo 2.- Finalidad
Artículo 3.- Ámbito de aplicación
Artículo 4.- Definiciones
Artículo 5.- Nomenclaturas

CAPÍTULO II
REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

Artículo 6.- Desarrollo y presentación del proyecto
Artículo 7.- Características técnicas a indicar en los planos
Artículo 8.- Configuración del sistema estructural
Artículo 9.- Sistema de aislamiento sísmico
Artículo 10.- Sistema Estructural
Artículo 11.- Elementos estructurales y componentes no estructurales
Artículo 12.- Efectos de las cargas sísmicas y combinaciones de cargas
Artículo 13.- Propiedades del sistema de aislamiento sísmico

CAPÍTULO III
DEFINICIÓN DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO

Artículo 14.- Espectro del diseño
Artículo 15.- Registros de aceleración del suelo

CAPÍTULO IV
SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

Artículo 16.- Diseño de las estructuras sísmicamente aisladas
Artículo 17.- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes
Artículo 18.- Análisis dinámico

Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

CAPÍTULO V
PROCEDIMIENTO DE FUERZAS ESTÁTICAS EQUIVALENTES

Artículo 19.- Características de deformación del sistema de aislamiento sísmico
Artículo 20.- Desplazamientos laterales considerados para el diseño
Artículo 21.- Fuerzas laterales mínimas requeridas para el diseño
Artículo 22.- Distribución vertical de la fuerza
Artículo 23.- Límites de la distorsión angular de entrepiso o deriva

CAPÍTULO VI
PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DINÁMICO

Artículo 24.- Modelo estructural de la edificación
Artículo 25.- Descripción de procedimientos
Artículo 26.- Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos

CAPÍTULO VII
REVISIÓN DEL DISEÑO

Artículo 27.- Criterios para la revisión del diseño

CAPÍTULO VIII
ENSAYOS

Artículo 28.- Validación de propiedades de los aisladores
Artículo 29.- Ensayos de cualificación
Artículo 30.- Ensayos de los aisladores prototipo
Artículo 31.- Secuencia y ciclo de los ensayos de los aisladores prototipo
Artículo 32.- Ensayos dinámicos de los aisladores prototipo
Artículo 33.- Aisladores prototipo cuyas propiedades dependen de cargas bidireccionales
Artículo 34.- Carga vertical máxima y mínima de los aisladores prototipo
Artículo 35.- Ensayos de prototipos de unidades similares
Artículo 36.- Determinación de las características fuerzas - deformación
Artículo 37.- Verificación de la calidad de los ensayos
Artículo 38.- Ensayos de aisladores de obra
Artículo 39.- Criterios de aceptación para cada aislador de obra ensayado
Artículo 40.- Ensayo de deslizadores de obra
Artículo 41.- Criterios de aceptación para cada deslizador de obra ensayado
Artículo 42.- Criterio de aceptación para el sistema de aislamiento sísmico

ANEXO I. FACTORES EXTREMOS MODIFICATORIOS DE LAS PROPIEDADES

ANEXO II. VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS

ANEXO III. SECUENCIA Y CICLOS PARA ENSAYOS DE PROTOTIPOS

CAPÍTULO I

DISPOSICIONES GENERALES

Artículo 1.- Objeto
La presente Norma Técnica establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como las disposiciones aplicables de los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico.

Artículo 2.- Finalidad
Mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, proteger su estructura y contenido y buscar su operatividad continua.

Artículo 3.- Ámbito de aplicación
La presente Norma Técnica es de cumplimiento obligatorio en todo el territorio nacional, para las edificaciones con sistemas de aislamiento sísmico incluyendo aquellas indicadas en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, es aplicable en todo aquello que no contradiga las disposiciones de la presente norma técnica.

Artículo 4.- Definiciones
Para efectos de la aplicación de la presente Norma Técnica se entiende por:

4.1 Aislador: Elemento estructural del sistema de aislamiento sísmico que es verticalmente rígido y horizontalmente flexible, y que permite grandes deformaciones laterales bajo solicitaciones sísmicas.
4.2 Amortiguamiento efectivo: Valor del amortiguamiento viscoso equivalente correspondiente a la energía disipada en la respuesta cíclica del sistema de aislamiento sísmico, expresado como fracción del amortiguamiento crítico.
4.3 Desplazamiento traslacional: Desplazamiento lateral máximo en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, 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 sísmico.
4.4 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 sísmico, 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 sísmico.
4.5 Edificaciones sísmicamente aisladas: Edificaciones que incluyen un sistema de aislamiento sísmico, el cual permite desacoplar las vibraciones horizontales del suelo con las de la estructura, disipando de forma pasiva la energía sísmica.
4.6 Interfaz de aislamiento: Zona o espacio generado por el sistema de aislamiento sísmico 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.
4.7 Nivel de base: 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.
4.8 Proyectista: Ingeniero civil colegiado responsable del diseño estructural de la edificación y del sistema de aislamiento sísmico.
4.9 Rigidez efectiva o secante: El valor de la fuerza lateral en el sistema de aislamiento sísmico, o en parte de él, dividido entre el correspondiente desplazamiento lateral.
4.10 "Scragging": Degradación temporal de las propiedades mecánicas de los aisladores elastoméricos, como resultado de acciones cíclicas.
4.11 Sismo máximo considerado (SMC): Sismo cuyo efecto sísmico se define como 1,5 veces el del sismo de diseño especificado en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
4.12 Sistema de aislamiento sísmico: Conjunto de elementos estructurales que incluye los aisladores, así como todos los elementos que transfieren fuerzas entre elementos del sistema de aislamiento sísmico, como vigas, losas, capiteles y sus conexiones. Asimismo, incluye los sistemas de restricción contra viento, los dispositivos de disipación de energía y los sistemas de restricción de desplazamiento, siempre que estos elementos sean usados para satisfacer los requisitos mínimos de diseño de esta Norma Técnica. Ver figura Nº 1.

ICG
Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

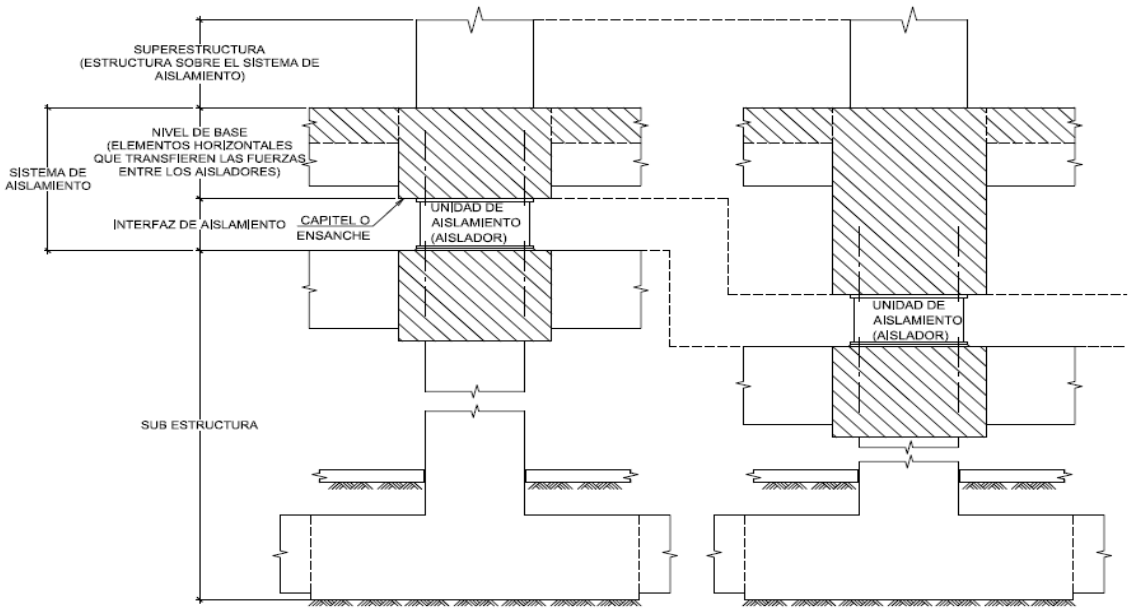


Figura N°1: Sistema de aislamiento sísmico

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

4.14 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 5.- Nomenclaturas

N°	Nomenclatura	Significado
1	B_M =	Factor de amortiguamiento, correspondiente a la razón entre la ordenada espectral para 5% del amortiguamiento crítico y la ordenada espectral para el amortiguamiento efectivo β_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, expresada en milímetros.
3	C =	Factor de amplificación sísmica definido en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
4	D_M =	Desplazamiento traslacional en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis, determinado con la ecuación 6, expresada en milímetros.
5	D'_M =	Desplazamiento en el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis, determinado con la ecuación 16, expresada en milímetros.
6	D_{TM} =	Desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento sísmico, en la dirección de análisis, que incluye la traslación en el centro de rigidez y la componente torsional, determinado con la ecuación 8, expresada en milímetros.
7	d =	Dimensión mayor de la proyección en planta de la estructura, expresada en milímetros.
8	E_{ciclo} =	Energía disipada en un aislador durante un ciclo completo de ensayo con carga reversible, para un rango de desplazamiento desde Δ^+ hasta Δ^-, medida por el área encerrada en la curva fuerza – desplazamiento, expresada en kilonewton por milímetro (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 sísmico, 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, expresada en milímetros.
10	F^- =	Mínima fuerza negativa en un aislador durante un ciclo de ensayo de un prototipo, correspondiente a la amplitud de desplazamiento Δ^-, expresada en kN .
11	F^+ =	Máxima fuerza positiva en un aislador durante un ciclo de ensayo de un prototipo, correspondiente a la amplitud de desplazamiento Δ^+, expresada en kN .
12	F_1 =	Fuerza sísmica lateral en el nivel de base, determinada con la ecuación 13 del artículo 22, expresada en kN .
13	F_i =	Fuerza lateral en el nivel i determinada con la ecuación 14 del artículo 22, expresada en kN .
14	g =	Aceleración de la gravedad (9 810 mm/s^2).
15	h_i =	Altura del nivel i respecto al nivel de base, expresada en milímetros.
16	K_M =	Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento sísmico en el desplazamiento traslacional en la dirección de análisis, determinada con la ecuación 3 del artículo 13, expresada en kN.mm .
17	K_{eff} =	Rigidez efectiva (secante) de un aislador, determinada con la ecuación 17 del artículo 36, expresada 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, determinada en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, expresado en kN .
21	P_i =	Parte del peso P que se ubica en o se asigna al nivel, expresada en kN.mm .
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, expresado en kN.mm .
23	r_a =	Radio de giro del sistema de aislamiento sísmico, expresado en milímetros, el cual es igual a $\frac{1}{12}(b^2 + d^2)^{1/2}$ en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones b x d.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

N°	Nomenclatura	Significado
24	R_0 =	Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la superestructura considerándola como si fuera de base fija, según lo indicado en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
25	R_a =	Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico, calculado como $3/8R_0$ pero no menor que 1 ni mayor que 2.
26	S =	Factor de amplificación del suelo definido en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
27	S_{aM} =	Ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado, expresado en milímetros sobre segundo al cuadrado (mm/s^2), determinada con la ecuación 5 del artículo 14.
28	T_f =	Período fundamental de la estructura considerada con base fija, en la dirección de análisis, evaluado con los procedimientos dinámicos indicados en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, expresada en segundos.
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 artículo 20, expresado en segundos.
30	U =	Factor de uso e importancia, igual a 1.
31	V_b =	Fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico o en los elementos bajo el nivel de aislamiento, determinada con la ecuación 10, expresada en kN .
32	V_s =	Fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico, determinada con la ecuación 11 y con los límites indicados en el numeral 21.3 del artículo 21 de la presente Norma Técnica, expresada en kN .
33	V_{st} =	Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, determinada con la ecuación 12, expresada en kN .
34	X_i, y_i =	Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento sísmico y el aislador i-ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento sísmico, expresada en milímetros.
35	y =	Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico y el elemento de interés, medida perpendicularmente a la dirección de la solicitación sísmica considerada, expresada en milímetros.
36	Z =	Factor de zona definido en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.
37	β_M =	Amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico para el desplazamiento traslacional D_M, determinado con la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).
38	β_{eff} =	Amortiguamiento efectivo de un dispositivo del sistema de aislamiento sísmico, determinado con la ecuación 18 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).
39	Δ^+ =	Desplazamiento positivo máximo de un aislador durante cada ciclo de ensayo de un prototipo, expresado en milímetros.
40	Δ^- =	Desplazamiento negativo mínimo de un aislador durante cada ciclo de ensayo de un prototipo, expresado en milímetros.
41	$\lambda_{máx}$ =	Factor modificatorio para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, teniendo en cuenta todas las fuentes de variabilidad, como se indica en el numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
42	λ_{min} =	Factor modificatorio para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, teniendo en cuenta todas las fuentes de variabilidad, como se indica en el numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
43	$\lambda_{(ac,máx)}$ =	Factor modificatorio para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento, como se indica en el numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
44	$\lambda_{(ac,min)}$ =	Factor modificatorio para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones ambientales y el envejecimiento, como se indica en el numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
45	$\lambda_{(tvs,máx)}$ =	Factor modificatorio para determinar el máximo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y scragging, como se indica en el numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
46	$\lambda_{(tvs,min)}$ =	Factor modificatorio para determinar el mínimo valor de una propiedad del aislador, considerando las condiciones de temperatura, velocidad de carga y scragging, como se indica en el numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
47	$\lambda_{(fab,máx)}$ =	Factor modificatorio 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 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
48	$\lambda_{(fab,min)}$ =	Factor modificatorio 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 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
49	P_T =	Razón entre el período traslacional efectivo del sistema de aislamiento sísmico y el período rotacional efectivo del sistema de aislamiento sísmico, 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 sísmico durante un ciclo completo de respuesta al desplazamiento D_M , expresada en kN.mm .
51	$\sum\lvert F_M^+\rvert$ =	Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento sísmico para un desplazamiento positivo igual al desplazamiento D_M, expresada en kN .
52	$\sum\lvert F_M^-\rvert$ =	Sumatoria de los valores absolutos de las fuerzas en todos los aisladores del sistema de aislamiento sísmico para un desplazamiento negativo igual al desplazamiento D_M, expresada en kN .

CAPÍTULO II

REQUISITOS GENERALES DE DISEÑO

Artículo 6.- Desarrollo y presentación del proyecto

6.1 El proyecto de aislamiento debe especificar las características técnicas del sistema de aislamiento sísmico sin especificar el tipo de dispositivos, fabricante o proveedor.

6.2 Los rangos para las características técnicas de diseño del sistema de aislamiento sísmico deben ser definidos para garantizar que en la ejecución del proyecto puedan ser utilizadas distintas alternativas de dispositivos de aislamiento existentes en el mercado.

6.3 El programa de monitoreo, inspección y mantenimiento se debe preparar y presentar como parte del proyecto.

Artículo 7.- Características técnicas a indicar en los planos

7.1. En los planos estructurales se debe indicar como mínimo lo siguiente:

a) Para el sistema de aislamiento sísmico:

- Desplazamientos traslacional y total correspondientes al SMC.
- Rigidez y amortiguamiento efectivos al desplazamiento traslacional correspondiente al SMC.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

b) 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.

7.2. Las propiedades de los componentes y del sistema de aislamiento sísmico provistos para la obra deben ser verificadas por el proyectista, en función de los resultados de los ensayos de unidades prototipos y de obra.

Artículo 8.- Configuración del sistema estructural

8.1 **Calificación de la regularidad estructural:** La estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico 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:

- 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.

8.2 **Restricciones a las irregularidades:** De acuerdo a la categoría de una edificación, según la Tabla "Categoría de las edificaciones" de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, y la zona donde se ubique, la edificación se debe diseñar respetando las restricciones a la irregularidad de la Tabla N°1.

Tabla N° 1
Categoría y regularidad de edificaciones aisladas

Categoría de la edificación	Zona	Restricciones
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 9.- Sistema de aislamiento sísmico

Para el diseño del sistema de aislamiento sísmico se deben tener en cuenta los aspectos siguientes:

9.1 **Condiciones ambientales:** Adicionalmente a los requerimientos por cargas verticales y cargas laterales inducidas por viento y sismo, el sistema de aislamiento sísmico 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 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

9.2 **Fuerzas de viento:**

a) Las edificaciones sísmicamente 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 Técnica E.020 Cargas.

b) 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 sísmico a un valor igual al que se permite en los entrepisos de la superestructura.

9.3 **Resistencia al fuego**:

a) No se permiten materiales inflamables en la zona del sistema de aislamiento sísmico.

b) 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.

c) En el caso de estacionamientos, el sistema contrafuego debe tomar en cuenta la ubicación de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico, para darles mayor protección.

9.4 **Fuerza de restitución lateral:** El sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado 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 a la fuerza lateral correspondiente al 50% del desplazamiento máximo.

9.5 **Restricción al desplazamiento sísmico:** Cuando se provea un sistema de restricción de desplazamiento sísmico que limite el desplazamiento lateral, este no debe restringir los desplazamientos por debajo del desplazamiento total máximo (D_{TM}) producido por el SMC, a menos que la estructura sísmicamente aislada sea diseñada cumpliendo con todos los siguientes criterios:

a) La respuesta al SMC debe ser calculada con los procedimientos de análisis dinámico establecidos en el capítulo VI de la presente Norma Técnica, considerando explícitamente las características no lineales del sistema de aislamiento sísmico, de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico y del sistema de restricción de desplazamiento sísmico.

b) Las capacidades últimas del sistema de aislamiento sísmico y de los elementos estructurales, bajo el sistema de aislamiento sísmico, deben exceder las demandas de resistencia y de desplazamiento del SMC.

c) El dispositivo de restricción de desplazamiento sísmico no debe activarse para un desplazamiento menor que 0,60 veces el desplazamiento total máximo (D_{TM}).

d) La estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico debe ser revisada para las demandas de estabilidad y de ductilidad del SMC.

9.6 **Estabilidad por carga vertical**:

a) Cada elemento del sistema de aislamiento sísmico debe ser diseñado para ser estable bajo la máxima y mínima carga vertical indicada en el numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica, en ambos casos estando sometido al desplazamiento total.

b) Los factores de seguridad y la metodología de cálculo para los aisladores elastoméricos se detallan en el Anexo II de la presente Norma Técnica.

9.7 **Volteo**:

a) 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.

b) Todas las condiciones de carga de gravedad y sísmicas deben ser analizadas durante el proceso de diseño de la edificación.

c) 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.

d) 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.

9.8. **Monitoreo, inspección y reemplazo:**

a) Las edificaciones sísmicamente aisladas deben contar con un programa de monitoreo, inspección y mantenimiento del sistema de aislamiento sísmico, que es establecido por el proyectista y es considerado parte integrante del proyecto.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

Las operaciones de mantenimiento deben incluir inspecciones adecuadas y periódicas, que garanticen el cumplimiento de la presente Norma Técnica.

b) Los proyectos de instituciones públicas sísmicamente aislados 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.

c) Estos sistemas de instrumentación deben ser compatibles con las especificaciones técnicas, sistemas de conexión y transmisión de datos, los cuales deben estar debidamente aprobados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), conforme lo establecido por la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

d) Se debe proveer acceso para la inspección y para el eventual reemplazo de los componentes del sistema de aislamiento sísmico.

e) La altura mínima efectiva del nivel de piso terminado a fondo de losa debe ser 1,5 m.

f) El proyectista debe garantizar la factibilidad de reemplazo de las unidades de aislamiento.

g) 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.

h) 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.

i) Luego de la conformidad de obra, el propietario es responsable de mantener operativo el sistema de aislamiento sísmico, para lo cual debe ordenar la inspección del mismo, al menos una vez cada dos años, por un ingeniero civil colegiado con experiencia en el diseño o construcción de edificaciones sísmicamente aisladas.

j) En la inspección referida en el literal i) precedente, se debe revisar como mínimo lo siguiente:

- Las juntas de separación sísmicas, según proyecto.
- 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.
- Las interferencias de instalaciones de cualquier tipo en la zona de interfaz de aislamiento que restrinjan el desplazamiento del edificio o que, después de su rotura, puedan causar inoperatividad en la edificación.
- La implementación y funcionamiento del sistema de monitoreo instalado en la edificación.
- La correcta operatividad del sistema de protección contra el fuego instalado en la interfaz de aislamiento.
- 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.
- La ausencia de material inflamable en la zona del sistema de aislamiento sísmico.

k) Terminada la inspección, el ingeniero debe emitir un informe detallado de los hallazgos, el cual es entregado al propietario para el levantamiento de las observaciones.

l) Cualquier modificación o reparación en la interfaz del sistema de aislamiento sísmico, 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.

m) 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 10.- Sistema Estructural

10.1 **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.

10.2 **Separación entre edificaciones**:

La separación mínima entre la estructura sísmicamente aislada y los muros de contención u otros obstáculos fijos en los alrededores, así como la distancia al límite de propiedad, no debe ser menor que el desplazamiento total máximo (D_{TM}).

10.3 **Estructuras que no son edificaciones**:

Las estructuras que no califican como edificaciones - tales como tanques elevados o apoyados, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, estructuras industriales y todas aquellas estructuras cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones - se pueden diseñar y construir como estructuras sísmicamente aisladas, empleando los desplazamientos y fuerzas calculadas, de acuerdo a la tipología de la estructura a diseñar.

Artículo 11.- Elementos estructurales y componentes no estructurales

11.1 **Componentes sobre la interfaz de aislamiento**:

Los elementos de las estructuras sísmicamente aisladas y los componentes no estructurales, o parte de ellos, situados sobre la interfaz de aislamiento, deben ser diseñados para resistir acciones conforme a lo establecido en los capítulos V y VI de la presente Norma Técnica.

11.2 **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 (D_{TM}), incluyendo cualquier desplazamiento residual permanente.

11.3 **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.

11.4 **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 14.4 del artículo 14 de la presente Norma Técnica. Para el caso de voladizos se debe considerar un factor de reducción R_0=3.

Artículo 12.- Efectos de las cargas sísmicas y combinaciones de cargas

12.1 Todos los elementos de la estructura sísmicamente aislada, incluidos los que no forman parte del sistema sismorresistente, deben ser diseñados utilizando las cargas sísmicas establecidas en esta Norma Técnica y las combinaciones de cargas adicionales para el diseño del sistema de aislamiento sísmico y para las pruebas de prototipos de unidades de aislamiento indicadas en el numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

12.2 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 SMC, y a 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 13.- Propiedades del sistema de aislamiento sísmico

Todos los componentes del sistema de aislamiento sísmico 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 sísmico. Los criterios que se debe cumplir son:

13.1 Propiedades nominales de un aislador:

a) 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 31 de la presente Norma Técnica.

b) 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 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica en cada nivel de desplazamiento, cuando deba considerarse, según lo establece el artículo 31 de la presente Norma Técnica.

c) Si los valores medidos de rigidez efectiva y amortiguamiento efectivo de un aislador para la Carga vertical promedio indicada en el numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica 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 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica, las propiedades de diseño nominal deben ser calculadas sólo para la combinación de Carga vertical promedio del numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica.

13.2 Propiedades límites de los componentes del sistema de aislamiento sísmico:

Las propiedades límites del sistema de aislamiento sísmico son calculadas para cada tipo de componente y deben incluir las variaciones relacionadas con:

a) Las mediciones en el ensayo del prototipo del artículo 31 (Secuencia y ciclos de los ensayos de los aisladores prototipo) de la presente Norma Técnica 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.

b) 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 38 de la presente Norma Técnica.

c) Las debidas al envejecimiento y efectos ambientales incluyendo flujo plástico (creep), fluencia, fatiga, contaminación, temperatura de funcionamiento, duración de la exposición a esta temperatura, y el desgaste durante la vida de la estructura.

13.3 Factores de modificación de las propiedades:

a) El diseño de estructuras sísmicamente aisladas, incluyendo la cimentación, sistema de aislamiento sísmico 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.

b) Los factores de modificación de las propiedades, máximo y mínimo (λ) 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.

c) Cuando los datos de ensayo de cualificación de un fabricante específico, en concordancia con lo especificado en el artículo 29 (Ensayos de Cualificación) de la presente Norma Técnica, hayan sido aprobados por el ingeniero responsable del diseño estructural, y los valores de modificación (λ) estén comprendidos en la Tabla N° 2, los valores para los factores de modificación de las propiedades (λ) deben tomarse de la Tabla N° 2: Factores de modificación máximos y mínimos de las propiedades de los dispositivos clase I.

d) Cuando los datos de los ensayos de cualificación, en concordancia con el artículo 29 (Ensayos de Cualificación) de la presente Norma Técnica, no hayan sido aprobados por el ingeniero responsable del diseño estructural, o los valores de modificación (λ) estén comprendidos en la Tabla N°3, los valores para los factores de modificación de las propiedades (λ) deben tomarse de la Tabla N° 3: Factores de modificación máximos y mínimos de las propiedades de los dispositivos clase II.

e) Los factores de modificación de las propiedades (λ) se calculan para cada tipo de unidad de aislamiento y cuando son aplicados a los parámetros de diseño nominal deben envolver la respuesta histerética para el rango de demandas de ± 0,5 D_M e incluyendo el desplazamiento máximo, ± 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 35 (Ensayos de prototipos de unidades similares) de la presente Norma Técnica.

f) Para cada tipo de aislador, el factor máximo de modificación de las propiedades, λ max, y el factor mínimo de modificación de propiedad, λ min, se establecerán a partir de la contribución de los factores de modificación de propiedad de acuerdo con la Ecuación 1 y 2, respectivamente:

$$\lambda_{máx.} = (1+ (0{,}75*(\lambda_{(ae,\ máx.)} -1))) * \lambda_{(tvs,\ máx.)} * \lambda_{(fab,\ máx.)} \quad \text{..... (1)}$$

$$\lambda_{min} = (1- (0{,}75*(1- \lambda_{(ae,\ min)}))) * \lambda_{(tvs,mín)} * \lambda_{(fab,\ min)} \quad \text{..... (2)}$$

Donde:

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

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

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

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

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

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

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

g) Los valores de λ proporcionados por el fabricante deben estar contenidos entre los valores extremos de los factores de modificación de las propiedades de los dispositivos clase I y clase II desarrollados a continuación:

g.1) Los dispositivos Clase I son aquellos cuyos factores de modificación de propiedades se encuentran sustentados mediante ensayos y estudios de investigación y los valores de modificación de sus propiedades se encuentran acotados por los valores indicados en la Tabla N° 2.

Los dispositivos de aislamiento sísmico son sometidos a la evaluación del proyectista, para lo cual requerirá los resultados de las pruebas de calificación, el análisis de los datos más recientes y los estudios científicos de respaldo que cuantifican los efectos del calentamiento debido al movimiento cíclico, la velocidad de carga, el scragging, la variabilidad e incertidumbre del proceso de producción de los dispositivos, la temperatura, el envejecimiento, la exposición ambiental y la contaminación. La metodología empleada para calcular los factores de modificación de propiedades debe seguir procedimientos y consideraciones consistentes con el documento ASCE 7-16.

Las pruebas de calificación deben ser efectuadas a los tipos de componentes, modelos, materiales y tamaños de aisladores que se utilizarán en la construcción. Las pruebas de calificación deben haberse efectuado en componentes producidos por el mismo fabricante que suministra los componentes que se utilizan en el dispositivo.

Cuando se usen especímenes a escala para los ensayos de calificación, la interpretación de los resultados debe considerar los factores de escalamiento y similitud entre el espécimen y la muestra que tiene la verdadera dimensión.

Cuando se usen especímenes a escala para los ensayos de calificación, la interpretación de los resultados debe considerar los factores de escalamiento y similitud entre el espécimen y la muestra que tiene la verdadera dimensión.

Tabla N° 2: Factores de modificación máximos y mínimos de las propiedades de los dispositivos clase I (*)

	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 λ max	1.6	2.25	1.3	1.3	1.5	2	1.7
Máximo Factor de Modificación λ min	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

(*) Fuente: Valores indicados en los comentarios del Capítulo 17 de la ASCE 7-16

g.2) Los dispositivos Clase II son aquellos que no cumplan con los requisitos establecidos para la Clase I y sus valores se encuentran acotados por los valores indicados en la Tabla N° 3.

Tabla N° 3: Factores de modificación máximos y mínimos de las propiedades de los dispositivos clase II (*)

	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 λ max	2.1	3.2	1.8	1.8	1.8	2.2	1.8
Máximo Factor de Modificación λ min	0.6	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

(*) Fuente: Valores indicados en los comentarios del Capítulo 17 de la ASCE 7-16

h) Los valores de modificación (λ) que se deben emplear para cada uno de los dispositivos se deben tomar de las tablas N° 2 ó N° 3 según los dispositivo se hayan clasificado como clase I ó clase II respectivamente.

13.4 Límite superior y límite inferior del comportamiento fuerza-desplazamiento de los componentes del sistema de aislamiento sísmico:

a) Se debe desarrollar un modelo matemático correspondiente al límite superior del comportamiento histerético (fuerza-desplazamiento) de cada tipo de componente del sistema de aislamiento sísmico.

b) El límite superior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento sísmico 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 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

c) El límite superior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento sísmico que son esencialmente dispositivos viscosos (por ejemplo, amortiguadores viscosos suplementarios), se debe modelar de acuerdo con los requisitos del Capítulo 18 del ASCE 7-16 “Minimum Design Loads for Building and Other Structures” para este tipo de dispositivos.

d) Se debe desarrollar un modelo matemático del límite inferior del comportamiento histerético (fuerza-desplazamiento) de cada tipo de componente del sistema de aislamiento sísmico.

e) El límite inferior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento sísmico 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 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

f) El límite inferior del comportamiento histerético de los componentes del sistema de aislamiento sísmico que son esencialmente dispositivos viscosos (por ejemplo, amortiguadores viscosos suplementarios), se debe modelar de acuerdo con los requisitos del Capítulo 18 del ASCE 7-16 “Minimum Design Loads for Building and Other Structures” para este tipo de dispositivos.

13.5 Propiedades del sistema de aislamiento sísmico en el desplazamiento máximo:

a) La rigidez efectiva, K_M , del sistema de aislamiento sísmico 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:

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

$$k_M = \frac{\sum \left|F_M^+\right| + \sum \left|F_M^-\right|}{2D_M} \quad \text{.....} \quad (3)$$

El amortiguamiento efectivo, β_M, del sistema de aislamiento sísmico 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:

$$\beta_M = \frac{\sum E_M}{2\pi k_M D_M^2} \quad \text{.....} \quad (4)$$

Donde

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

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

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

13.6 Límite superior y límite inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico en el desplazamiento máximo:

El análisis del sistema de aislamiento sísmico y la estructura se realiza por separado para las propiedades del límite superior y del límite inferior, y el resultado del caso más desfavorable para cada parámetro de respuesta de interés es utilizado para el diseño. Además, el análisis debe cumplir con lo siguiente:

a) 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 sísmico:

K_M y β_M del numeral 13.5 (Ec. 3 y la Ec. 4), D_M del numeral 20.1 (Ec. 6), T_M del numeral 20.2 (Ec.7), D_{TM} del numeral 20.3 (Ec. 8), V_b del numeral 21.1 (Ec.10), y V_S y V_{ST} del numeral 21.2 (Ec. 11 y la Ec. 12)

b) Los límites de V_S establecidos en el numeral 21.3 del artículo 21 de la presente Norma Técnica, deben ser evaluados independientemente para el límite superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, prevaleciendo el requisito más desfavorable.

c) 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 de la presente Norma Técnica, se determina separadamente para el límite superior y para el límite inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico. Esto requiere del cálculo independiente de F_1, F_i, y k, empleando las ecuaciones 13, 14 y 15.

CAPITULO III

DEFINICIÓN DEL MOVIMIENTO DEL TERRENO

Artículo 14.- Espectro del diseño

14.1 El espectro de diseño se debe obtener mediante un estudio de sitio o empleando las indicaciones de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

14.2 Cuando el espectro de diseño se obtenga aplicando los perfiles del suelo de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, se debe verificar que el periodo fundamental del estrato Ts, obtenido mediante ensayos de micro trepidación corresponda con lo indicado en la Tabla N° 4.

Tabla N° 4

Suelo Tipo		Ts (s)
S0	Roca dura	< 0,15
S1	Roca o suelos muy rígidos	< 0,30
S2	Suelos intermedios	< 0,40
S3	Suelos blandos	< 0,60

14.3 Para periodos Ts mayores que 0,6 segundos es obligatorio efectuar un estudio de sitio.

14.4 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:

$$S_{aM} = 1{,}5\, ZUCS\, g \quad \text{.....} \quad (5)$$

Donde Z, U y S son los parámetros definidos en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Para estructuras aisladas, el factor U es en todos los casos igual a 1.

El parámetro C es definido por las siguientes ecuaciones:

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

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

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

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

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

Artículo 15.- Registros de aceleración del suelo

15.1 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, tal como se indica en los numerales 15.5 al 15.7 del artículo 15 de la presente Norma Técnica.

15.2 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 SMC para el sitio.

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

15.4 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.

15.5 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% del amortiguamiento crítico. Cuando se usa escalamiento de amplitudes, se debe usar el mismo factor para cada componente.

15.6 Cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo 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 sísmico, y 1,25 T_M, calculado con el límite inferior, el promedio de los valores espectrales SRSS

Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

obtenido para los distintos pares de registros empleados no sea menor que la ordenada dada por la ecuación 5 de la presente Norma Técnica.

15.7 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 sísmico, y 1,25 T_M, calculado con el límite inferior, el espectro de respuesta del componente en la dirección de análisis no sea menor que el 90% de la correspondiente ordenada dada por la ecuación 5.

CAPÍTULO IV

SELECCIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS PARA ESTRUCTURAS AISLADAS

Artículo 16.- Diseño de las estructuras sísmicamente aisladas

16.1 Las estructuras sísmicamente aisladas, excepto las definidas en el artículo 17 de la presente Norma Técnica, deben ser diseñadas usando los procedimientos dinámicos del capítulo VI de la presente Norma Técnica.

16.2 Cuando adicionalmente se utilicen amortiguadores de fluido viscoso en el sistema de aislamiento sísmico, debe usarse el procedimiento de análisis dinámico tiempo-historia, como se indica en el numeral 18.2 del artículo 18 de la presente Norma Técnica.

Artículo 17.- Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

El procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes, establecido en el capítulo V de la presente Norma Técnica, 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 sísmico, predominando la de mayor exigencia:

17.1 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.

17.2 El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional, T_M, será menor o igual a 5,0 s .

17.3 La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 m de altura. Esta altura debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.

17.4 El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico correspondiente al desplazamiento traslacional, β_M, debe ser menor o igual a 30% del amortiguamiento crítico.

17.5 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 sísmico, considerada con base fija.

17.6 La estructura por encima del nivel de aislamiento sísmico no debe tener ninguna de las irregularidades listadas en el numeral 8.1 del artículo 8 de la presente Norma Técnica.

17.7 El sistema de aislamiento sísmico debe satisfacer los siguientes criterios:

a) La rigidez efectiva del sistema de aislamiento sísmico correspondiente al desplazamiento traslacional debe ser mayor que 1/3 de la rigidez efectiva, a un 20 % del desplazamiento máximo.

b) El sistema de aislamiento sísmico debe ser capaz de producir una fuerza de restitución lateral, tal como está especificado en el numeral 9.4 del artículo 9 de la presente Norma Técnica.

c) El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe ser como mínimo el desplazamiento total máximo, D_{TM} .

Artículo 18.- Análisis dinámico

Los procedimientos de análisis dinámicos desarrollados en el Capítulo VI de la presente Norma Técnica se aplican conforme a las siguientes disposiciones:

18.1 Análisis modal espectral

El análisis dinámico modal espectral puede ser usado en el diseño de estructuras sísmicamente aisladas, si se cumplen los criterios establecidos en los numerales 17.1, 17.2, 17.3, 17.4 y 17.6 del artículo 17 de la presente Norma Técnica.

18.2 Análisis tiempo – historia

El análisis tiempo – historia es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y debe ser necesariamente desarrollado para el diseño de todas las estructuras sísmicamente aisladas que no cumplan los criterios del numeral 18.1 del artículo 18 de la presente Norma Técnica.

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.

CAPÍTULO V

PROCEDIMIENTO DE FUERZAS ESTÁTICAS EQUIVALENTES

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

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 sísmico, los cuales deben incluir los efectos del sistema de restricción contra viento si es que ese sistema se usa para satisfacer los requisitos de diseño de esta Norma Técnica.

19.2 Las características de deformación del sistema de aislamiento sísmico se basan en ensayos de prototipos realizados conforme al capítulo VIII de la presente Norma Técnica e incorporan los factores de modificación de las propiedades según se especifica en el artículo 13 de la presente Norma Técnica.

19.3 El análisis del sistema de aislamiento sísmico 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 sísmico 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:

$$D_M = \frac{S_{aM}\, T_M^2}{4\pi^2\, B_M} \qquad \text{.....} \qquad (6)$$

Donde:

- S_{aM} = Ordenada del espectro elástico de pseudo aceleraciones correspondiente al sismo máximo considerado, en mm/s^2, 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, expresada en segundos.
- B_M = Factor de amortiguamiento, correspondiente a la razón entre la ordenada espectral para 5% del amortiguamiento crítico y la ordenada espectral para el amortiguamiento efectivo β_M correspondiente al desplazamiento traslacional D_M que se indica en la Tabla N° 5.

ICG
Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

Tabla N° 5 Factor de amortiguamiento B_M	
Amortiguamiento Efectivo, β_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] : β_M se basará en el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico determinado en concordancia con los requisitos del numeral 13.5 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

[b] : Para valores de β_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 sísmico, con la ecuación 7 siguiente:

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{k_M g}} \qquad \text{.....} \qquad (7)$$

Donde:

P = Peso de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, expresado en kN .

K_M = Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento sísmico en la dirección de análisis, calculada con la ecuación 3, expresada en kN/mm .

g = Aceleración de la gravedad (9 810 mm/s^2).

20.3 Desplazamiento total:

a) El desplazamiento total (D_{TM}) de los elementos del sistema de aislamiento sísmico 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 sísmico y la ubicación más desfavorable de la masa excéntrica.

b) El desplazamiento total (D_{TM}) de los elementos de un sistema de aislamiento sísmico no debe ser menor que lo prescrito en las siguientes ecuaciones 8 y 9:

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

Nota: El desplazamiento total (D_{TM}) no será menor que 1.15 D_M

Donde:

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

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

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

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

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

$$P_T = \frac{1}{r_a} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \left(x_i^2 + y_i^2 \right)}{N}} \qquad \text{.....} \qquad (9)$$

Donde:

r_a = Radio de giro del sistema de aislamiento sísmico, expresado en mm, el cual es igual a $\frac{1}{12}(b^2 + d^2)^{1/2}$ en sistemas de aislamiento con planta rectangular de dimensiones b x d.

N = Número de aisladores.

x_i, y_i = Distancias horizontales entre el centro de masas del sistema de aislamiento sísmico y el aislador *i*-ésimo, medidas en las direcciones de los ejes del sistema de aislamiento sísmico, expresadas en mm .

Artículo 21.- Fuerzas laterales mínimas requeridas para el diseño

20.1 Sistema de aislamiento sísmico y elementos estructurales bajo el nivel de base:

a) El sistema de aislamiento sísmico, la cimentación, y todos los elementos estructurales bajo el nivel de base deben 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 sísmico:

$$V_b = k_M \, D_M \qquad \text{.....} \qquad (10)$$

Donde:

k_M = Rigidez efectiva (secante) del sistema de aislamiento sísmico en la dirección horizontal de análisis, calculada con la ecuación 3, expresada en kN/mm .

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

b) V_b no puede ser menor que la máxima fuerza que pueda desarrollarse en el sistema de aislamiento sísmico en cualquier desplazamiento, incluyendo el desplazamiento traslacional D_M como se define en el artículo 20 de la presente Norma Técnica.

c) Las cargas sobre los elementos del sistema de aislamiento sísmico, la cimentación, y los elementos estructurales por debajo del nivel de base debidas al momento de volteo originado por la fuerza sísmica lateral V_b se calculan con la distribución vertical de las fuerzas del artículo 22 de la presente Norma Técnica, 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:

a) La estructura por encima del nivel de base debe ser diseñada y construida utilizando todos los requisitos

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

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 sísmico, como se indica en la ecuación 11:

$$V_s = \frac{V_{st}}{R_a} \quad \text{.....} \quad (11)$$

Donde:

- R_a = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico, calculado como $3/8R_0$, pero no menor que 1 ni mayor que 2.
- R_0 = 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 E.030 Diseño sismorresistente.
- V_{st} = Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación 12, expresada en kN.

b) 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 sísmico y como se indica en la ecuación 12:

$$V_{st} = V_b \left(\frac{P_s}{P} \right)^{(1-2,5\beta_M)} \quad \text{.....} \quad (12)$$

Donde:

- P = Peso sísmico de la estructura sobre la interfaz de aislamiento, determinado según la Norma Técnica E.030 Diseño sismorresistente, expresado en kN .
- 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, expresado en kN .
- β_M Amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico para el desplazamiento traslacional D_M según la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).

c) 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, se debe considerar el peso sísmico efectivo P_s igual a P.

d) Excepcionalmente, para los sistemas de aislamiento sísmico 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 β_M) en la ecuación 12 es reemplazado por (1-3,5 β_M).

21.3 Límites de Vs

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

a) La fuerza sísmica lateral requerida por la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente 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 sísmico (T_M) calculado con las propiedades correspondientes al límite superior y considerando U=1.

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

c) La fuerza lateral sísmica (V_{st}), calculada con la ecuación 12 de la presente Norma Técnica y con V_b igual a la fuerza requerida para activar plenamente el sistema de aislamiento sísmico utilizando el mayor valor de los siguientes:

- Las propiedades del sistema de aislamiento sísmico correspondientes al límite superior.
- 1,5 veces las propiedades nominales, requeridas para activar completamente el sistema de aislamiento sísmico.
- La capacidad máxima de un sistema “fusible” de restricción al viento.
- La fuerza de fricción de ruptura de un sistema de deslizamiento, o,
- 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 sísmico usando las ecuaciones siguientes:

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

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

$$k = 14 \, \beta_M \, T_f \quad \text{.....} \quad (15)$$

Donde:

- F_1 = Fuerza sísmica lateral en el nivel de base, expresada en kN
- F_i = Fuerza sísmica lateral en el nivel i, expresada en kN
- h_i = Altura del nivel i respecto al nivel de base, expresada 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, expresada en kN.
- R_a = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas para la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico, calculado como $3/8R_0$, pero no menor que 1 ni mayor que 2.
- T_f = 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, expresado en segundos.
- V_b = Fuerza cortante total en el sistema de aislamiento sísmico o en los elementos bajo el nivel de aislamiento, como se indica en la ecuación 10, expresada en kN .
- V_s = Fuerza cortante en la base de la estructura sobre el sistema de aislamiento sísmico, como se prescribe en la ecuación 11 y con los límites indicados en el numeral 21.3 del artículo 21 de la presente Norma Técnica, expresada en kN .
- V_{st} = Fuerza cortante no reducida actuante sobre los elementos por encima del nivel de base, como se indica en la ecuación 12, expresada en kN .
- β_M = Amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico para el desplazamiento traslacional según la ecuación 4 (expresado como fracción del amortiguamiento crítico).

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 sísmico, mediante análisis tiempo-historia escalado para V_b / R_a al nivel de base.

Artículo 23.- Límites de la distorsión angular de entrepiso o 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 se calcula multiplicando por R_a los valores obtenidos en la superestructura al aplicar las fuerzas distribuidas correspondientes a la fuerza cortante de diseño Vs.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

CAPÍTULO VI

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS DINÁMICO

Artículo 24.- Modelo estructural de la edificación
En el procedimiento de análisis dinámico, el modelo estructural de la edificación, que incluye el sistema de aislamiento sísmico, el sistema resistente a fuerzas sísmicas y otros elementos estructurales, debe encontrarse conforme a lo dispuesto por la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente y a los requerimientos siguientes:

24.1 Sistema de aislamiento sísmico:

a) El sistema de aislamiento sísmico se modela usando las características de deformación desarrolladas de acuerdo a los requerimientos del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
b) Los desplazamientos y fuerzas laterales deben ser calculados de forma separada para las propiedades límite superior e inferior del sistema de aislamiento sísmico tal como se define en el numeral 13.4 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.
c) El sistema de aislamiento sísmico se debe modelar de forma detallada, de manera que permita:

- Considerar la distribución espacial de las unidades de aislamiento.
- Estimar la traslación en ambas direcciones horizontales y la torsión de la superestructura considerando la ubicación más desfavorable de la excentricidad de la masa.
- Evaluar los efectos del momento de volteo y el posible levantamiento de las unidades de aislamiento.
- 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.

d) El desplazamiento total (D_{TM}) en el sistema de aislamiento sísmico, es calculado mediante un modelo matemático que incorpora el sistema resistente a fuerzas laterales y las características fuerza - deformación de los elementos no lineales del sistema de aislamiento sísmico.

24.2 Estructura aislada:

a) 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.
b) El análisis del sistema de aislamiento sísmico 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 25.- Descripción de procedimientos
Los procedimientos de análisis dinámico modal espectral y análisis tiempo-historia se deben realizar de acuerdo a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente y a los requerimientos siguientes:

25.1 Solicitación 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 sísmico, 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 sísmico para resistir el efecto P-Delta.

25.2 Procedimiento modal espectral:

a) Para los modos de vibración asociados al aislamiento sísmico, se debe emplear el menor valor entre el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico y el 30 % del amortiguamiento crítico.
b) Los valores de amortiguamiento modal para los otros modos deben ser seleccionados consistentemente con aquellos valores correspondientes a la estructura con base fija.
c) 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.
d) En cada dirección de análisis, el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe calcularse como la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales.

25.3 Análisis tiempo-historia:

a) 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 15 de la presente Norma Técnica y lo señalado en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.
b) 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.
c) El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe ser calculado mediante la suma vectorial de los dos desplazamientos ortogonales en cada instante de tiempo.
d) 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.
e) Para zonas cercanas a una falla geológica, cada par de componentes horizontales se debe rotar para ubicarse en la dirección paralela y perpendicular a la falla, y aplicarse a la edificación en cada dirección. En otros casos, no es necesario aplicar las componentes en múltiples direcciones.

25.4 Excentricidad accidental de la masa:

a) La respuesta torsional ocasionada por la falta de simetría de masa y rigidez debe ser considerada en el análisis.
b) Cada una de las dos direcciones ortogonales de análisis debe considerar, 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 26.- Fuerzas y desplazamientos laterales mínimos

26.1 Sistema de aislamiento sísmico y elementos estructurales en la subestructura:

a) El sistema de aislamiento sísmico, 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.
b) Esta fuerza lateral de diseño para el sistema de aislamiento sísmico, la subestructura y la cimentación, no debe ser menor a 90% de V_b determinada con la ecuación 10.
c) El desplazamiento total del sistema de aislamiento sísmico debido al SMC, no debe ser menor que el 80 % de D_{TM} especificado en el numeral 20.3 del artículo 20 de la presente Norma Técnica pudiendo usar D'_M en lugar de D_M.

$$D'_M = \frac{D_M}{\sqrt{1+\left(\frac{T_f}{T_M}\right)^2}} \quad \text{.....} \quad (16)$$

Donde:

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

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

TT_f = 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, expresado 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, expresado en segundos.

26.2 Elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento sísmico:

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

b) 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.

c) Para el análisis tiempo-historia en estructuras regulares, el valor de V_b no debe considerarse por debajo del 80 % de lo especificado el numeral 21.1 del artículo 21 de la presente Norma Técnica y el valor de V_s no debe considerarse por debajo del 100 % de lo especificado en el numeral 21.3 del artículo 21 de la Norma Técnica.

d) Para el análisis tiempo-historia en estructuras irregulares, el valor de V_b no debe considerarse por debajo del 100 % de lo especificado en el numeral 21.1 del artículo 21 de la presente Norma Técnica y el valor de V_s no debe considerarse por debajo del 100 % de lo especificado en el numeral 21.3 del artículo 21 de la presente Norma Técnica.

26.3 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 26.1 y 26.2 del artículo 26 de la presente Norma Técnica, las fuerzas en los elementos de la estructura deben ser aumentadas proporcionalmente.

26.4 Límites de la deriva:

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

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

b) 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.

CAPÍTULO VII

REVISIÓN DEL DISEÑO

Artículo 27.- Criterios para la revisión del diseño

27.1 Se debe efectuar una revisión del diseño del sistema de aislamiento sísmico y de los programas de ensayos requeridos.

27.2 La revisión debe ser realizada por ingeniero(s) civil(es) colegiado(s) y habilitado(s) independiente del proyectista y del fabricante o proveedor de dispositivos, con experiencia demostrada en proyectos que incluyan sistemas de aislamiento sísmico.

27.3 La revisión debe incluir, pero no limitarse, a los siguientes temas:

a) Criterios de diseño del proyecto, que deben incluir los espectros de respuesta y registros de aceleración del terreno usados.

b) Diseño preliminar, incluyendo la selección de los dispositivos, determinación del desplazamiento traslacional y total, y la fuerza cortante en el sistema de aislamiento sísmico.

c) 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.

d) Programa de ensayos de los prototipos.

e) Diseño final del sistema estructural y los análisis que lo sustentan.

f) Compatibilidad del diseño final de las instalaciones correspondientes a las distintas especialidades con los desplazamientos previstos en la interfaz de aislamiento.

g) Programa de ensayos de los aisladores a instalarse en obra.

CAPÍTULO VIII

ENSAYOS

Artículo 28.- Validación de propiedades de los aisladores

28.1 Las relaciones constitutivas fuerza-deformación y los valores de amortiguamiento del sistema de aislamiento sísmico 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.

28.2 Todos los componentes del sistema de aislamiento sísmico deben ser ensayados, incluyendo el sistema de restricción contra viento si tal sistema se ha considerado en el diseño.

28.3 Los ensayos especificados en este capítulo deben emplearse para validar las propiedades de las unidades y del sistema de aislamiento sísmico consideradas en el diseño final, en concordancia con lo dispuesto en el artículo 13 de la presente Norma Técnica.

28.4 Estos ensayos podrán ser efectuados en los laboratorios del 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.

28.5 El proveedor o 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.

28.6 El proveedor y fabricante de los dispositivos de aislamiento sísmico son responsables de la calidad y procesos de fabricación de todos los insumos.

28.7 Los ensayos de los aisladores serán divididos en dos tipos:

a) Ensayos de dos aisladores prototipo por tipo (aisladores adicionales a los necesarios en obra, del mismo tipo y características).

b) Ensayos de cada uno de los aisladores a instalarse en la obra.

28.8 En el Anexo III se muestra una tabla resumen de las secuencias y ciclos para ensayos de prototipos, según lo establecido en los numerales 31, 32, 33 y 34".

Artículo 29.- Ensayos de cualificación

El proveedor de los dispositivos de aislamiento sísmico debe proporcionar 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

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

incertidumbre en las propiedades de fabricación de los aisladores, exposición medioambiental y contaminación.

Artículo 30.- Ensayos de los aisladores prototipo

30.1 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 sísmico.

30.2 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.

30.3 Los ensayos de los aisladores prototipo, especificados en los artículos 30 al 36 de la presente Norma Técnica, no deben ser considerados como pruebas que puedan reemplazar a las estipuladas en los artículos 38 al 42 de la presente Norma Técnica, para los aisladores que serán instalados en obra.

30.4 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.

30.5 Los aisladores usados en el ensayo de prototipos no deben ser usados en la construcción.

Artículo 31.- Secuencia y ciclo de los ensayos de los aisladores prototipo

31.1 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.

31.2 Las pruebas de los aisladores prototipo deben realizarse previamente a los ensayos de aisladores de obra especificados en los artículos 38 al 42 de la presente Norma Técnica.

31.3 Los ensayos de los prototipos deben incluir, como mínimo, lo siguiente:

a) Veinte ciclos completos con inversión de carga, para una fuerza correspondiente a la fuerza lateral de diseño para viento.

b) Cualquiera de las siguientes secuencias:

- 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 del artículo 20 de la presente Norma Técnica.
- 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: $1{,}0D_M$, $0{,}67D_M$, $0{,}5D_M$ 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 $1{,}0D_M$. Se permite un intervalo de reposo entre estas dos secuencias.

c) Tres ciclos completos al desplazamiento traslacional, $1{,}0\ D_M$

d) Cualquiera de las siguientes secuencias:

- Ciclos completos a 0,75 veces el desplazamiento traslacional, $0{,}75D_M$.
- La prueba del anterior ítem, 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.

31.4 Adicionalmente, el literal b) del numeral 31.3 de la presente Norma Técnica de la secuencia de ensayos cíclicos especificada anteriormente se debe realizar para las combinaciones de carga verticales 2 y 3 indicadas en el numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica.

31.5 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.

31.6 Los valores de carga axial y desplazamiento para cada prueba serán los mayores valores de los determinados por análisis utilizando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico determinados de acuerdo con el numeral 13.4 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

31.7 El período efectivo (T_M) es el más bajo de los determinados por análisis utilizando los valores de límite superior y límite inferior, conforme a lo indicado en el Anexo I de la presente Norma Técnica.

Artículo 32.- Ensayos dinámicos de los aisladores prototipo

Si se opta por ensayos dinámicos establecidos en el segundo ítem del literal b) y en el segundo ítem del literal d) del numeral 31.3 del artículo 31 de la presente Norma Técnica, 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 33.- Aisladores prototipo cuyas propiedades dependen de cargas bidireccionales

33.1 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 %.

33.2 En tal caso, cada conjunto de pruebas especificadas en los artículos 31 y 32 de la presente Norma Técnica, 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 34.- Carga vertical máxima y mínima de los aisladores prototipo

34.1 Los prototipos deben ser sometidos a un ciclo adicional de carga para desplazamiento total D_{TM} tanto para una carga vertical máxima como para una carga vertical mínima estipulada en el numeral 12.2 del artículo 12 de la presente Norma Técnica.

34.2 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 sísmico determinados de acuerdo con el numeral 13.4 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

34.3 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 sísmico, respectivamente, determinadas de acuerdo con el numeral 13.4 del artículo 13 de la presente Norma Técnica.

Artículo 35.- Ensayos de prototipos de unidades similares

35.1 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 30 al 35 de la presente Norma Técnica.

35.2 Además, el prototipo de unidades similares debe cumplir lo siguiente:

a) Haber sido elaborado por el mismo fabricante con iguales o más estrictos procedimientos de fabricación y control de calidad debidamente documentados.

b) 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.

Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

c) 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.

35.3 La anterior exención de pruebas de prototipo debe ser aprobada por el proyectista y el profesional revisor de acuerdo a lo indicado en el artículo 27 de la presente Norma Técnica.

Artículo 36.- Determinación de las características fuerzas - deformación

36.1 Las características fuerza - deformación del sistema de aislamiento sísmico deben estar basadas en las pruebas de carga cíclica del aislador, especificadas en los artículos del 30 al 35 de la presente Norma Técnica.

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

$$k_{eff} = \frac{|F^+|+|F^-|}{|\Delta^+|+|\Delta^-|} \quad \text{.....} \quad (17)$$

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

36.3 El amortiguamiento efectivo, β_{eff}, de una unidad de aislador debe ser calculado para cada ciclo de carga por la ecuación:

$$\beta_{eff} = \frac{2}{\pi} \frac{E_{ciclo}}{k_{eff}(|\Delta^+|+|\Delta^-|)^2} \quad \text{.....} \quad (18)$$

Nota: Donde la energía disipada por ciclo de carga E_{ciclo}, y la rigidez efectiva K_{eff}, debe estar basada en las pruebas de desplazamiento de Δ^+ y Δ^-.

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

a) Se asume un ciclo de prueba para tener unas características histeréticas bilineales con valores de k_e, k_d, Q, F_y, K_{eff}, y E_{ciclo} como se muestra en la Figura Nº 2.

b) El ciclo calculado tiene los mismos valores de rigidez efectiva, K_{eff}, y la energía disipada por ciclo de carga, E_{ciclo}, que el ciclo de prueba.

c) 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.

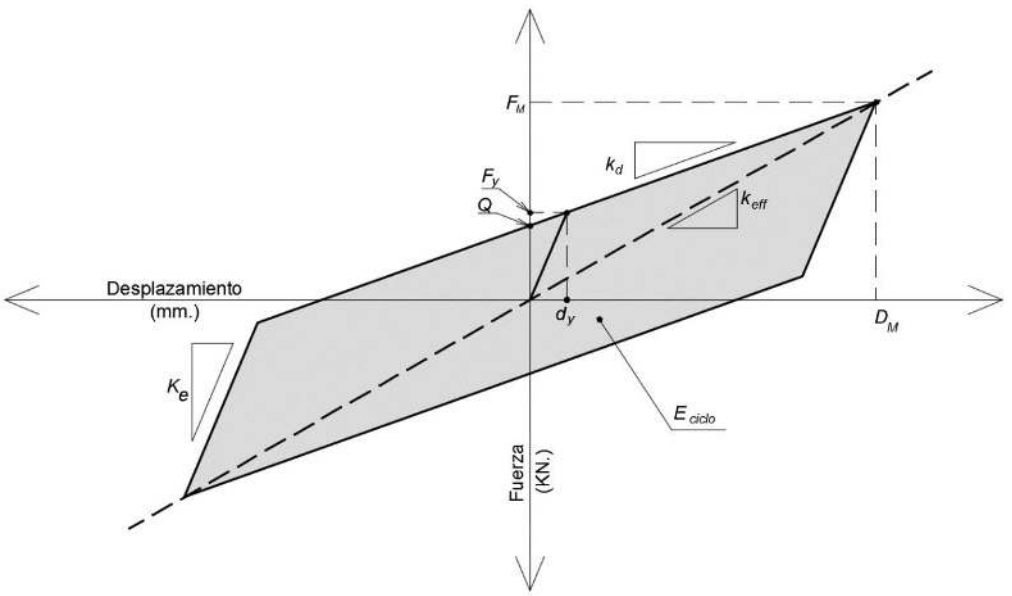


Figura Nº 2: Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza – deformación del aislador

36.5 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_{ciclo}, o la definición de D_y y F_y por ajuste visual y luego determinar k_d para que coincida con E_{ciclo}.

Artículo 37.- Verificación de la calidad de los ensayos

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

37.1 La curva fuerza-deformación para todos los ensayos especificados en los artículos 30 al 34 de la presente Norma Técnica, es ascendente.

37.2 La rigidez media post-fluencia, k_d, y la energía disipada por ciclo, E_{ciclo}, para los tres ciclos de prueba especificados en el literal c) del numeral 31.3 del artículo 31 de la presente Norma Técnica, 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 13.2 (propiedades límite de los componentes del sistema de aislamiento sísmico), del artículo 13 de la presente Norma Técnica, 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 $\lambda_{(fab,min)}$ y $\lambda_{(fab,máx)}$ rango para el promedio de todos los aisladores.

37.3 Para cada incremento de desplazamiento de los ensayos especificados en los literales a) y b) del numeral 31.3 del artículo 31 de la presente Norma Técnica y para cada caso de carga vertical especificado en el artículo 31 de la presente Norma Técnica, se debe cumplir lo siguiente:

a) 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 $\lambda_{(tvs,min)}$ y $\lambda_{(tvs,máx)}$ multiplicado por el valor nominal de la rigidez post-fluencia.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

b) 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 %.

37.4 Para los ensayos especificados en el literal d) del numeral 31.3 del artículo 31 de la presente Norma Técnica no hay un cambio mayor al 20 % de la rigidez efectiva en cada ciclo de ensayo sobre la rigidez efectiva inicial.

37.5 Para cada aislador ensayado, el valor de la rigidez post-fluencia, k_d, y la energía disipada por ciclo, E_{ciclo}, para cualquier ciclo de cada conjunto de cinco ciclos de prueba establecido en el literal d) del numeral 31.3 del artículo 31 de la presente Norma Técnica, debe estar dentro del rango de los valores nominales de diseño definido por $\lambda_{(tvs,min)}$ y $\lambda_{(tvs,máx)}$.

37.6 Para cada dispositivo no habrá una disminución mayor al 20 % del amortiguamiento efectivo inicial, durante los ciclos de prueba especificados en el literal d) del numeral 31.3 del artículo 31 de la presente Norma Técnica.

37.7 Todas las muestras de los aisladores deben mantenerse estables para carga vertical y ensayados según lo indicado en el artículo 34 de la presente Norma Técnica.

37.8 El proyectista puede ajustar los límites de los numerales 37.3, 37.4 y 37.6 del artículo 37 de la presente Norma Técnica para tener en cuenta los factores de variación de la propiedad del numeral 13.3 del artículo 13 de la presente Norma Técnica, utilizados para el diseño del sistema de aislamiento sísmico.

Artículo 38.- Ensayos de aisladores de obra

38.1 El programa de ensayos para las unidades de aislamiento a ser utilizadas en la construcción, debe ser establecido por el proyectista en base a los requisitos mínimos de este ítem.

38.2 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.

38.3 La rigidez y los amortiguamientos obtenidos de los últimos tres ciclos del ensayo de un dispositivo deben estar entre el 0,85 y el 1,15 del valor nominal establecido para el dispositivo.

Tabla n° 6
Ensayos de aisladores de obra

Orden de ensayo	Carga (tonf)	Tiempo / N° de ciclos	Desplazamiento (mm)
1°	Promedio 1,2D+L + Eprom	5 minutos	0
2°	Promedio D +0,5L	4 ciclos	$0,67D_M$

Artículo 39.- Criterios de aceptación para cada aislador de obra ensayado

39.1 El dispositivo no debe presentar fallas como falta de adherencia entre el caucho y acero o grietas superficiales en el caucho que sean más anchas o más profundas que 2/3 del espesor de la cobertura de caucho, ni deformaciones permanentes.

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

39.3 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 ±15 % respecto a los valores nominales asociados a un desplazamiento a $0,67D_M$.

Artículo 40.- Ensayo de deslizadores de obra

40.1 Los deslizadores sísmicos de superficie plana (que trabajan en combinación con los aisladores elastoméricos) deben ser sometidos a ensayos según las siguientes consideraciones:

a) 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.

b) Se debe aplicar una carga axial equivalente al promedio de carga sobre los deslizadores del mismo tipo para la combinación.

$$P = 1,2CM + 0,5CV + CS \quad \text{..... (19)}$$

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.

c) 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 $0,67D_M$.

40.2 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 41.- Criterios de aceptación para cada deslizador de obra ensayado

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

41.2 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.

41.3 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 ±15% respecto a los valores nominales asociados a un desplazamiento a $0,67D_M$.

41.4 El proveedor 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 42.- Criterio de aceptación para el sistema de aislamiento sísmico

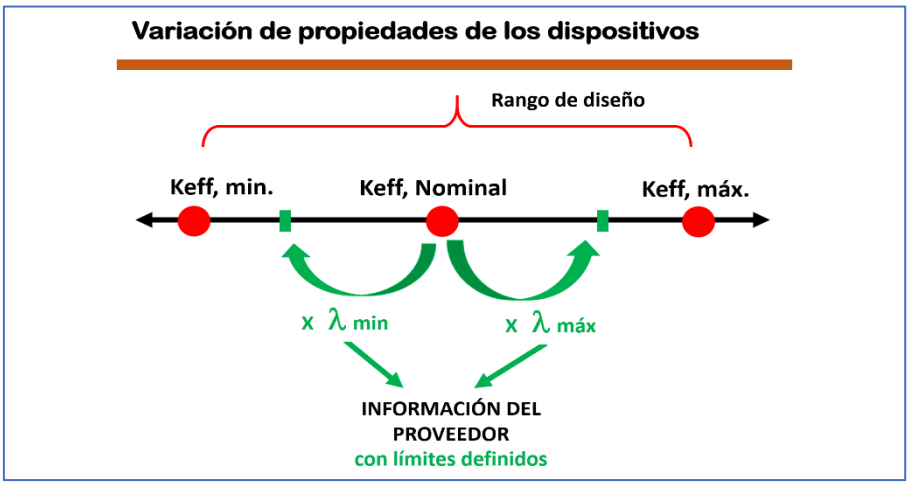
42.1 La rigidez y amortiguamiento global del sistema de aislamiento sísmico son determinados en función al aporte de cada dispositivo ensayado. En el caso de deslizadores, el aporte de cada dispositivo es considerado como el promedio de valores de rigidez y amortiguamiento de los deslizadores ensayados.

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

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

ANEXO I

FACTORES EXTREMOS MODIFICATORIOS DE LAS PROPIEDADES



VALORES MÍNIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÁXIMO PARA LOS DISPOSITIVOS CLASE I							
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 **(λae,max)**	1.21	1.65	1	1	1	1.2	1.2
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, *scragging* **(λtvs,max)**	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 **(λfab,max)**	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Factor de Modificación Máximo Límite Superior: λmax= [1+0.75(λae,max - 1)] * λtvs,max * λfab,max	**1.6**	**2.25**	**1.3**	**1.3**	**1.5**	**2**	**1.7**

Fuente: Numeral C 17.2.8.4 de los comentarios al Capítulo 17 del ASCE 7-16.

VALORES MÁXIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÍNIMO PARA PARA LOS DISPOSITIVOS CLASE I							
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 **(λae,min)**	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, scragging**(λtvs,min)**	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 **(λfab,min)**	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior: λmin= [1-0.75(λae,min - 1)] * λtvs,min * λfab,min	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**

Fuente: Numeral C 17.2.8.4 de los comentarios al Capítulo 17 del ASCE 7-16.

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

FACTORES DE MODIFICACION SUPERIOR PARA LOS DISPOSITIVOS CLASE II							
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 **(λae,max)**	1.56	2.52	1.3	1.3	1	1.4	1.3
Factor Máximo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, scragging **(λtvs,max)**	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 **(λfab,max)**	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
Factor de Modificación Máximo Límite Superior: λmax= [1+0.75(λae,max - 1)] * λtvs,max * λfab,max	**2.1**	**3.2**	**1.8**	**1.8**	**1.8**	**2.2**	**1.8**

Fuente: Numeral C 17.2.8.4 de los comentarios al Capítulo 17 del ASCE 7-16.

FACTORES DE MODIFICACION INFERIOR PARA LOS DISPOSITIVOS CLASE II							
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 **(λae,min)**	1	1	1	1	1	1	1
Factor Mínimo para variaciones por temperatura, velocidad de carga, scragging**(λtvs,min)**	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 **(λfab,min)**	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85
Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior: λmin= [1+0.75(λae,min - 1)] * λtvs,min * λfab,min	**0.6**	**0.6**	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**	**0.8**

Fuente: Numeral C 17.2.8.4 de los comentarios al Capítulo 17 del ASCE 7-16.

ANEXO II

VERIFICACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE LOS AISLADORES ELASTOMÉRICOS

1. Capacidad axial:

• Módulo Elástico: $E_0 = f \cdot G$; 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: $E_c = E_0 (1 + 2\,kS^2)$, en MPa.

Donde:

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

• Área reducida (AR):

$$AR = A_A \cdot 2\frac{\left[D_e^2 \cdot sin^{-1}\left(\frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e}\right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}\right]}{\pi \cdot D_e^2}$$

Donde:

A_A = Área del aislador, en mm².

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:

$$Pcrítico = \frac{\pi}{\sqrt{8}} G \cdot S \frac{D_e}{N \cdot t_r} A_R$$

Donde:

N = número de capas de caucho

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

ICG Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org
Síguenos:
/ConstruccionICG

• 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:

$$\gamma_D = \frac{D_{TM}}{H_r} \leq 2{,}5$$

• 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:

$$\gamma_\theta = \frac{0{,}375 \cdot D_e^2 \cdot \theta}{t_r \cdot H_r}$$

Donde:

θ ≥ 0,003 en radianes.

• Deformación total por corte:

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

Referencia: Capítulo 14 de la norma AASHTO LRFD *Bridge Design Specifications*

ANEXO III

SECUENCIA Y CICLOS PARA ENSAYOS DE PROTOTIPOS

1) OPCIÓN A

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 ESTATICO	3	0,25D_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	0,25D_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)		3	0,25D_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 ESTATICO	1	1,00D_{TM}
8.2.5	17	0,9 CM-1,0(SCH+CSV)	QUASI ESTATICO	1	1,00 D_{TM}

2) Opción B

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(*)
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	0,25D_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	1,00 D_M
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
	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	0,25D_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	0,25D_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 ESTATICO	1	1,00 D_{TM}
8.2.5	29	0,9 CM-1,0(SCH+CSV)	QUASI ESTATICO	1	1,00 D_{TM}

(*) Wh: Carga de viento

1823291-2