

MODIFICACIONES A LA NORMA DE DISEÑO SISMORRESISTENTE DE 1997

Dr. Javier Piqué del Pozo (1)

INTRODUCCION

En 1997 se promulgó la Norma de Diseño Sismorresistente que reemplazó a la versión de 1977. Esta introdujo una serie de cambios importantes que en opinión de los miembros del Comité Técnico Especializado, han contribuido a reducir los daños en edificaciones, a la luz de lo ocurrido en el sismo de Atico de junio del 2001. Varios de dichos cambios constituyeron sin embargo exigencias que fueron consideradas en algunos casos muy severas y en otros insuficientes.

A iniciativa del SENCICO, se constituyó el Comité Permanente de la Norma de Diseño Sismorresistente, el único con este carácter entre todos aquellos constituidos para proponer normas. Esta condición ha sido una ventaja para esta Norma ya que ha permitido continuar estudiando las modificaciones que surgieron a raíz de su promulgación.

El criterio para el desarrollo de la versión 2001, aunque seguramente recién será promulgada este año, constituyéndose en la versión 2002, ha sido mantener el esquema básico de la Norma anterior. Es decir los cambios se limitan solamente a algunos aspectos. No se ha alterado el nivel de diseño único ni los procedimientos para determinar la fuerza sísmica.

APORTES MÁS SIGNIFICATIVOS DE LA VERSIÓN DE 1997

Es oportuno recordar que la NTE-030-97 incluyó varios aportes con respecto a la de 1977. Estos se pueden resumir en los siguientes:

- ✓ Cuantificación de irregularidades
- ✓ Reducción de distorsiones admisibles
- ✓ Limitación de la torsión
- ✓ Mayor claridad en la intensidad de los sismos a resistir
- ✓ Declaración de 'evitar el colapso' como filosofía de diseño
- ✓ Exigencia de sistemas regulares para obras esenciales

Sin embargo debe recordarse también que no se incorporaron nuevas tendencias en cuanto a la implementación de varios niveles de diseño, que ya están siendo considerados en varios países e inclusive la propuesta de norma ISO, con el fin de reducir los daños a las edificaciones ante terremotos moderados. Tampoco los criterios del diseño por capacidad de la práctica neozelandesa para asegurar un mecanismo de colapso dúctil y estable.

En la tabla de la siguiente página se presenta un resumen de las modificaciones introducidas:

(1) Decano de la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI). Presidente del comité técnico permanente de la norma de diseño sismorresistente

A continuación se describirá el detalle de los cambios en cada capítulo de los 8 que tiene la Norma. Este resumen supone que el lector está familiarizado con el contenido de la versión 1997 de la NTE E-030. Sólo se hace referencia a los acápite que han sufrido cambios. En general los que no son mencionados no han experimentado cambios.

1. GENERALIDADES

En esta sección se han modificado la introducción, los anteriormente llamados objetivo del diseño sismorresistente y la exigencia de presentación del proyecto.

Alcances

La Secc. 1.1 Introducción, se denomina ahora Alcances. Se ha introducido la siguiente nueva redacción:

(Nota.- Todo texto transcrito literalmente de la norma se presenta en lo sucesivo en letra cursiva)

Esta redacción precisa mejor los alcances de la Norma y los refiere a la siguiente sección donde se han modificado los llamados objetivos del diseño sismorresistente. También se ha agregado el siguiente párrafo con la finalidad de llamar la atención de los usuarios sobre otros efectos derivados del sismo:

Adicionalmente a lo indicado en esta Norma, se deberá tomar medidas de prevención contra los desastres que puedan producirse como consecuencia del movimiento sísmico: fuego, fuga de materiales peligrosos, deslizamiento masivo de tierras u otros.

Esta Norma establece las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico acorde con los principios señalados en la sección 1.2

RESUMEN DE MODIFICACIONES INTRODUCIDAS EN LA NORMA NTE-030-1997

Capítulo	Modificaciones en las secciones o valores:
1. Generalidades:	Alcances, objetivo, y presentación
2. Parámetros de sitio:	Estudios de sitio Forma de la curva del factor de amplificación sísmica, C
3. Requisitos Generales:	Dirección de la fuerza, Redefinición de algunas irregularidades, Coeficiente R, Rango de aplicación del método estático, Límite de desplazamientos, Control de giros en planta, Redacción
4. Análisis de Edificios:	Ordenamiento acápite modelos y pesos Cálculo de los desplazamientos laterales Excentricidad accidental Fuerzas sísmicas verticales Modificación del término superposición, por combinación
5. Cimentaciones:	No hay modificaciones
6. Elementos no Estructurales:	Algunos valores de CI
7. Evaluación y Reparación	Posibilidad de usar otros criterios y Procedimientos
8. Instrumentación	Extensión de la aplicación de la exigencia, Reducción del número de instrumentos Definición de la ubicación

Objetivos

La versión 1997 establecía “objetivos” para el diseño sismorresistente; como sigue:

El proyecto y la construcción de edificaciones deberán desarrollarse con la finalidad de garantizar un comportamiento que haga posible:

- a) *Resistir sismos leves sin daño.*
- b) *Resistir sismos moderados considerando la posibilidad de daños estructurales leves.*
- c) *Resistir sismos severos con posibilidad de daños estructurales importantes, evitando el colapso de la edificación.*

Esta descripción podía mal interpretarse como una obligación directa del proyectista y constructor de garantizar el comportamiento descrito. El Comité estimó que la obligación de los proyectistas es aplicar la Norma y como consecuencia se espera que las estructuras presenten un comportamiento esperado. Esto se considera como una filosofía con unos criterios de diseño asociados. En ese sentido se optó por adecuar los principios y filosofía de diseño propuestos en la Norma ISO 3010.

La Secc. 1.2 se denomina ahora **Filosofía y Principios del diseño sismorresistente** y dice:

La filosofía del diseño sismorresistente consiste en:

- *Evitar pérdidas de vidas*
- *Asegurar la continuidad de los servicios básicos*
- *Minimizar los daños a la propiedad.*

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en esta Norma los siguientes principios para el diseño:

- a. *La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio.*
- b. *La estructura debería soportar movimientos sísmicos moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.*

Es relevante puntualizar que el Comité optó por abstenerse de incluir en la Norma una descripción de que se entiende por “movimientos sísmicos severos y moderados”. Asimismo definir “daños severos o dentro de límites aceptables”. En ambos casos será el criterio ingenieril el que particularice estos términos y no los letrados que no conocen del problema y sus implicancias. En consecuencia se ha eliminado el Apéndice 2, donde se señalaba las intensidades correspondientes a sismo leve, moderado o severo. La tendencia que probablemente se adopte en el futuro será describir el movimiento moderado o severo en términos de la aceleración máxima que se espera en el sitio para un período de retorno específico. Algunas normas de otros países consideran 500 años para el sismo severo y 50 para el moderado.

Presentación del proyecto

La Secc. 1.3 referente a las exigencias de presentación del proyecto se han mantenido pero con carácter transitorio mientras se publica el reglamento sobre presentación de proyectos que está en preparación. Asimismo se ha eliminado la mención a que la memoria descriptiva contenga la información que también debe ir en los planos ya que se tiene información que esta mención era interpretada por algunos revisores

municipales como una exigencia de presentar memoria de cálculos.

Se ha incluido un pequeño cambio de redacción

Para su revisión y aprobación por la autoridad competente, los proyectos de edificaciones con más de 70 m de altura deberán estar respaldados con una memoria de datos y cálculos justificativos.

Hubo requerimientos para definir a que se refiere la Norma con autoridad competente, sin embargo se optó por no especificarla en vista de que puede ser un tema cambiante, y por lo general se entiende que es la autoridad municipal o quien otorgue las licencias de construcción.

2. PARÁMETROS DE SITIO

En la Secc. 2.1 Zonificación, no hay cambios. Para evitar confusiones en el factor de zona, se ha suprimido (g) después del factor de zona, Z. La Tabla ha quedado como se muestra.

ZONA	FACTOR DE ZONA -Z
3	0.4
2	0.3
1	0.15

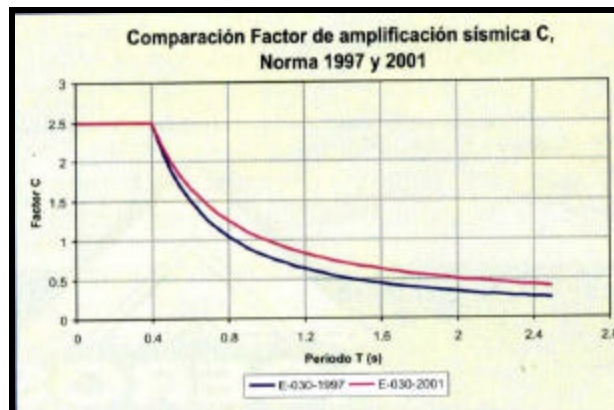
En la Secc. 2.2.1 referida a los estudios de sitio, se ha suprimido la exigencia de realizarlos para edificaciones de categoría A.

Secc. 2.3 Factor de Amplificación Sísmica

Uno de los cambios importantes es la forma de la curva del factor de amplificación sísmica C, la misma que se usa en la definición del espectro de diseño. Se ha suprimido el exponente 1,5 de manera que ahora la curva baja mas lentamente para períodos largos. De esta manera se regresa a la de la versión de 1977 y coincide nuevamente con otras como la del UBC. T es el periodo según se define en la sección 4.2.2 ó 4.3.2.1

$$C=2,5 * \left[\frac{T_p}{T} \right] ; C < 25$$

En la figura se muestra una comparación entre la curva anterior y la modificada



3. REQUISITOS GENERALES

Se ha modificado la redacción del párrafo 3.1.2 a fin de enfatizar que la fuerza sísmica debe ser considerada en la dirección más desfavorable.

3.1.2 Para estructuras regulares, el análisis podrá hacerse considerando que el total de la fuerza sísmica actúa independientemente en dos direcciones ortogonales. Para estructuras irregulares deberá suponerse que la acción sísmica ocurre en la dirección que resulte más desfavorable para el diseño de cada elemento o componente en estudio.

3.2 Concepción estructural sismorresistente

Se han introducido pequeños ajustes a la redacción de estas excelentes recomendaciones sobre concepción estructural sismorresistente que se listaban en la norma de 1977.

El comportamiento sísmico de las edificaciones mejora cuando se observan las siguientes condiciones:

- ✓ Simetría, tanto en la distribución de masas como en las rigideces.
- ✓ Peso mínimo, especialmente en los pisos altos.
- ✓ Selección y uso adecuado de los materiales de construcción.
- ✓ Resistencia adecuada.
- ✓ Continuidad en la estructura, tanto en planta como en elevación.
- ✓ Ductilidad.
- ✓ Deformación limitada.
- ✓ Inclusión de líneas sucesivas de resistencia.
- ✓ Consideración de las condiciones locales.
- ✓ Buena práctica constructiva e inspección estructural rigurosa.

3.4 Configuración Estructural

Se ha mantenido la clasificación de las estructuras en regulares e irregulares, así como la exigencia de que las edificaciones esenciales posean una estructura regular. Solamente se han introducido modificaciones en dos de las características para clasificar a una estructura como irregular.

Irregularidades estructurales en altura

Se ha introducido una modificación en la definición de irregularidad para piso blando con el fin de considerar variaciones en la altura del piso, a pesar de que la configuración estructural o áreas resistentes sean las mismas en dos pisos consecutivos.

En la figura se muestra una comparación entre la curva anterior y la modificada.

Irregularidades de Rigidez — Piso blando

..... Para pisos de altura diferente multiplicar los valores anteriores por (h_l / h_d) donde

hl es altura diferente de piso y hd es la altura típica de piso.

Irregularidades estructurales en planta

Se ha limitado la aplicación de la irregularidad torsional solamente a los casos

.....en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible indicado en la tabla N° 8 del acápite 3.8.1.

Asimismo el desplazamiento relativo del centro de masas que era la referencia para decidir si hay irregularidad torsional ha sido sustituido por el promedio de los desplazamientos en los extremos de la edificación.

En cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, en un extremo del edificio, es mayor que 1,3 veces el promedio de este desplazamiento relativo máximo con el desplazamiento relativo que simultáneamente se obtiene en el extremo opuesto.

3.5 Sistemas Estructurales

Se han introducido mas variantes entre los sistemas estructurales, se han eliminado las limitaciones en altura y se han modificado los valores de R para que las fuerzas que se obtienen incluyan la magnificación propia de los factores de carga, o sea fuerzas en condición última. Por lo tanto, mientras las normas de diseño vigentes no introduzcan un factor unitario para las fuerzas de sismo, se tendrá que modificar el valor de R leído de la Tabla 6. El texto de la Sec. 3.5 se le ha agregado la siguiente aclaración

.....Para el diseño por resistencia última las fuerzas sísmicas internas deben combinarse con factores de carga unitarios. En caso contrario podrá usarse como (R) los valores establecidos en Tabla N° 6 previa multiplicación por el factor de carga de sismo correspondiente.

TABLA N° 6 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coficiente de Reducción, R Para estructuras regulares (*) (**)
Acero	
Pórticos dúctiles con uniones resistentes a momentos.	9,5
Otras estructuras de acero.	
Arriostres Excéntricos	6,5
Arriostres en Cruz	6,0
Concreto Armado	8
Pórticos ⁽¹⁾ .	7
Dual ⁽²⁾ .	6
De muros estructurales ⁽³⁾ .	4
Muros de ductilidad limitada ⁽⁴⁾ .	3
Albañilería Armada o Confinada ⁽⁵⁾ .	7
Madera (Por esfuerzos admisibles)	

1. Por lo menos el 800/o del cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos que cumplan los requisitos de la NTE E.060 Concreto Armado. En caso se tengan muros estructurales, estos deberán diseñarse para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez.

2. Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos 250/o del cortante en la base. Los muros estructurales serán diseñados para las fuerzas obtenidas del análisis según acápite 4.1.2

3. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 800/o del cortante en la base.

Edificación de baja altura con alta densidad de muros de ductilidad limitada.

5. Para diseño por esfuerzos admisibles el valor de R será 6

(*) Estos coeficientes se aplicarán únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(**) Para estructuras irregulares, los valores de R deben ser tomados como $\frac{3}{4}$ de los anotados en la Tabla.

Para construcciones de tierra referirse a la Norma Técnica de Edificaciones E.080. Este tipo de construcciones no se recomienda en suelos S3, ni se permite en suelos S4.

Como se señala en la Tabla 6, para el diseño de estructuras de madera, el valor de R corresponde a fuerzas elásticas ya que la Norma de diseño en madera considera diseño por esfuerzos admisibles..

3.6 Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones

No hay cambios.

3.7 Procedimientos de Análisis

Se ha introducido un cambio importante para permitir que edificaciones de muros portantes de hasta cinco pisos se puedan analizar con el método de fuerzas estáticas equivalentes, aunque sean irregulares

Las estructuras clasificadas como regulares según el acápite 3.4 de no más de 45 m de altura y las estructuras de muros portantes de no más de 15 m de altura, aún cuando sean irregulares, podrán analizarse mediante el procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes del acápite 4.2.

3.8 Desplazamientos Laterales

3.8.1 Desplazamientos Laterales Permisibles

El cambio introducido consiste en exceptuar a las naves industriales de los límites de la Tabla 8, independientemente del material predominante.

TABLA 8 LÍMITES PARA DESPLAZAMIENTO LATERAL DE ENTREPISO Estos límites no son aplicables a naves industriales	
Material Predominante	(D_i / h_{e_i})
Concreto Armado	0.007
Acero (*)	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

3.8.3 Control de Giros en Planta

Ha sido suprimido

4. ANÁLISIS DE EDIFICIOS

El acápite 4.1.1.3 se ha suprimido y se ha redactado conjuntamente con el 3.1.2, y del que ya se dio cuenta anteriormente.

Se ha modificado el orden de la Sec. 4.1, anteponiendo el acápite 4.1.3 Modelos al de cálculo del peso que era, lea 4.1 .2. Ahora lo referente a modelos irá previamente.

4.1.4 Desplazamientos Laterales

Se ha introducido un cambio con respecto a la norma anterior. Se ha reducido la estimación de desplazamientos volviendo a lo especificado en la versión de 1977 en que los calculados se multiplican por $\frac{3}{4}$ de R. Esto permitirá reducir la demanda de rigidez en las estructuras y se espera que no constituya un sacrificio de la notable mejora conseguida en exigir edificaciones más rígidas. Este fue uno de los reclamos más reiterativos de la profesión señalando que nuestra Norma había excedido lo razonable. Esperemos que no hayamos sacrificado un logro demostrado por la práctica. La redacción ha quedado como sigue:

Los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0,75R los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. Para el cálculo de los desplazamientos laterales no se considerarán los valores mínimos de C/R indicados en los acápites 4.2.3 y 4.3.2.4.

4.2.5 Efectos de Torsión

Otro cambio importante ha sido reducir la excentricidad accidental a los niveles anteriores, que además también fueron reducidos en otras normas del mundo. Esta es ahora el 5% de la dimensión

Se supondrá que la fuerza en cada nivel (F_i) actúa en el centro de masas del nivel respectivo, debiendo considerarse además el efecto de excentricidades accidentales como se indica a continuación.

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental en cada nivel (e), se considerará como 0,05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la de la acción de las fuerzas.

En cada nivel además de la fuerza actuante, se aplicará el momento accidental denominado $M_{t i}$ que se calcula como:

$$M_{t i} = \pm F_i e$$

4.2.6 Fuerzas Sísmicas Verticales

Se ha modificado la determinación de la fuerza sísmica vertical haciéndola función de Z. El nuevo texto es el siguiente:

La fuerza sísmica vertical se considerará como una fracción del peso. Para las zonas 3 y 2 esta fracción será de $\frac{2}{3} Z$ Para la zona 1 no será necesario considerar este efecto.

4.3 Análisis Dinámico

4.3.2. Análisis por combinación modal espectral

En todo el acápite se ha cambiado el término

Superposición por combinación ya que expresa con mayor precisión el procedimiento seguido. Superposición por lo general implica una suma algebraica de resultados en cambio combinación expresa acumular los efectos con criterios particulares aplicables al problema. En el análisis espectral se consideran los máximos efectos modales y por lo tanto no se los superpone sino combina de acuerdo a las reglas que se incluyen en la Norma.

4.3.2.5 Efectos De Torsión

Consistentemente con la especificación para la torsión accidental en el método estático, se establece la excentricidad accidental igual a 5% de la dimensión del edificio transversal a la dirección de análisis, es decir una reducción de 10 a 5%.

5. CIMENTACIONES

No han habido cambios

6. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES, APÉNDICES Y EQUIPO

Los valores del coeficiente C han sido modificados por dos razones. Primeramente se han reducido los correspondientes al primer grupo, elementos cuya falla entrañe peligro para las personas, que eran muy severos. Basados en algunas investigaciones preliminares efectuadas por el autor y tesisistas se ha determinado que las aceleraciones son del orden de 0,5g. Esto ha permitido reducir el valor de C1.

Adicionalmente los valores se han incrementado para incorporar el factor de carga para que las fuerzas obtenidas sean también últimas. Si se desean fuerzas elásticas, estos valores deberían ser divididos por 1,25 (que es el factor de carga vigente al momento de preparar esta versión).

- Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación en la cual la dirección de la fuerza es perpendicular a su plano.	1,3
- Elementos cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras.	0,9
- Muros dentro de una edificación (dirección de la fuerza perpendicular a su plano).	0,6
- Cercos.	0,9
- Tanques, torres, letreros y chimeneas conectados a una parte del edificio considerando la fuerza en cualquier dirección.	0,6
- Pisos y techos que actúan como diafragmas con la dirección de la fuerza en su plano.	

7. EVALUACIÓN Y REPARACIÓN DE ESTRUCTURAS DAÑADAS POR SISMOS

Se ha introducido un nuevo acápite 7.5 para permitir criterios diferentes a los de la Norma. Esta especificación facilita la reparación de estructuras antiguas a cuyos elementos no se podría dotar de todas las características que exige esta Norma.

Para el reforzamiento sísmico de edificaciones existentes se podrá emplear otros

critérios y procedimientos diferentes a los indicados en esta Norma, con la debida justificación y aprobación de la autoridad competente.

8. INSTRUMENTACIÓN

Las exigencias de colocar acelerógrafos en edificaciones en función de su área y zona sísmica se han uniformado a una única que es la siguiente:

En todas las zonas sísmicas los proyectos de edificaciones con un área igual o mayor de 10,000 m², deberán instrumentarse con un registrador acelerográfico triaxial.

Se espera que esto facilite el cumplimiento y control de este requerimiento de la Norma, que no ha tenido buenos resultados.

También se ha modificado las exigencias sobre la ubicación del acelerógrafo, especificando una espacio de 4m².

APÉNDICES

Se han suprimido los apéndices que contenían las escalas de intensidades, la clasificación de los sismos, manteniéndose solamente el que contiene la relación de provincias de cada zona sísmica.

CONCLUSIÓN.

La Norma NTE E-030 tuvo su prueba de fuego en el sismo de Atico de junio del 2001. Las edificaciones, especialmente escolares, diseñadas con sus requerimientos han demostrado un buen comportamiento. No hay daños a pesar de que el sismo en ciudades como Arequipa produjo intensidades moderadas. Las fotografías muestran que los colegios diseñados con la Norma de 1977, que permitía mayores desplazamientos no se han comportado bien, porque han resultado dañadas como consecuencia del eterno problema de la columna corta. Esta se ha producido a pesar de la existencia de la junta debido a la flexibilidad de la obra. Desplazamiento es sinónimo de daño. La tendencia mundial es a diseñar las estructuras sismorresistentes para limitar el desplazamiento, antes de dotarlas de la resistencia requerida. En ese sentido la ingeniería peruana ha demostrado haber respondido adecuadamente al reto de los sismos frecuentes y moderados. Nos falta demostrar, mediante las futuras modificaciones a la Norma que también aseguraremos la vida de las personas cuando se produzca un terremoto severo.

Revista: El Ingeniero Civil N° 122 Ene-Feb 2002 Modificaciones a la Norma de Diseño Sismorresistente de 1997.