



PROYECTO DE TORRES Y ESTRUCTURAS DE SOPORTES PARA ANTENAS DE TRANSMISIÓN EN ESCENARIOS DE AMENAZAS MÚLTIPLES

■ Arnaldo Gutiérrez
email: agutierr@ucab.edu.ve

Escuela de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería,
Universidad Católica "Andrés Bello"

Fecha de Recepción: 25 de noviembre de 2008
Fecha de Aceptación: 12 de enero de 2009

Resumen

Las nuevas Normas CANTV NT 2007 comparten los principios de la Resiliencia al Desastre y el Proyecto por Desempeño. Además de responder a las necesidades de actualización del sector de telecomunicaciones, resuelven algunos temas pendientes en las Normas COVENIN, y las antiguas Normas MOP, no derogadas.

Palabras claves: Resiliencia al desastre, proyecto por desempeño, acciones sísmicas, acciones del viento, fundaciones y anclajes.

Abstract

Project of Antenna Supporting Structures and Antennas in multiply hazards scenes

The news Standards CANTV NT 2007 shares the Disaster Resilience and Performance Project principles. Also resolves some topics pending in the COVENIN Standards, and the old MOP Standards, not abolished.

Key words: Disaster resilience, Performance project, seismic actions, wind actions, foundations and anchorages.



Figura 1. Ciclo de vida de las torres de telecomunicaciones

1. Introducción

Las Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soportes de Antenas de Transmisión CANTV NT-001:2007, NT-002:2007 y NT-003:2007 sustituyen a las Normas y Especificaciones vigentes desde 1990. Las nuevas Normas y Especificaciones además de ampliar su alcance y contenido, de responder a las necesidades de actualización en el sector de telecomunicaciones y de los nuevos conceptos de la ingeniería contemporánea, resuelven algunos temas pendientes en las Normas COVENIN 1618:1998, 1756:2001, 2002:1988, 2003:1986 y de las Normas MOP para suelos y fundaciones, no derogadas, de 1955, 1963 y 1966.

2. Naturaleza del problema

Los eventos naturales catastróficos como los producidos por lluvias intensas, deslaves, temperaturas extremas, sequías, extensas temporadas de tormentas, huracanes, trombas y tornados, o la presencia sorpresiva de los mismos fuera de temporada o en lugares donde raramente ocurren, recrudescimiento en la frecuencia de los tsunamis y los terremotos con sus secuelas de incendios, pérdidas de líneas vitales, la disminución de la población de abejas entre otros fenómenos, evidencian el cambio climático del planeta, o el nuevo clima como otros expertos prefieren denominarlo, y la necesidad de prepararse para enfrentar exitosamente otros desastres, incluyendo los desastres industriales. La Ingeniería conoce que minimizando la vulnerabilidad a los desastres naturales se pueden reducir las afectaciones sociales, económicas, y daños al medio ambiente, pero también ha reconocido que los enfoques tradicionales, como el de la Ductilidad en la ingeniería sísmorresistente ya no es suficiente y por eso en la búsqueda de soluciones más eficaces ha empezado a evolucionar hacia nuevos enfoques, como

el de Proyecto por Desempeño [22] o el más general de la Resiliencia al Desastre. El equipo responsable por la actualización de las Normas CANTV, ya había previsto algunos de los cambios que la norma de referencia TIA/EIA 222, introdujo en su edición G-2005. El particular ciclo de vida de las torres de telecomunicaciones, Figura 1, y la dinámica de este sector tecnológico facilitó que la elaboración de las Normas CANTV 2007 fuera consecuentes con las citadas corrientes de la ingeniería mundial.

3. Introducción a la resiliencia al desastre

Los eventos naturales catastróficos como los debidos a lluvias y granizadas intensas, temperaturas extremas, extensas temporadas de huracanes y tornados (Katrina, Golfo de México , 24 al 31 de Agosto 2005; Nargis, Golfo de Bengala, 27 Abril al 4 de Mayo de 2008), la presencia sorpresiva de los mismos fuera de temporada o en lugares donde raramente ocurren, ocurrencia muy repetida de tsunamis, la disminución de la población de abejas, etc., evidencian el cambio climático del planeta y la necesidad de prepararse para enfrentar otros desastres (incluyendo los desastres industriales como Chernobil, etc) además del de los terremotos y sus secuelas (incendios, pérdidas de líneas vitales, etc).

Por todo lo anterior, en el Plan Estratégico del NE-HRP 2009- 2013 se declarara como Visión: "A nation that is *earthquake-resilient* in public safety, economic strength, and national security" (Una nación sísmicamente resiliente en seguridad pública, fortaleza económica y seguridad nacional).

El término *resiliencia* es muy conocido por los ingenieros estructurales y de materiales, y fue incorporado a las ciencias sociales en los años 70 por el psiquiatra Michael Rutter. En la ingeniería sísmica lo ha venido desarrollando el *Multidisciplinary Center for Earthquake*

Engineering Research, MCEER, de la Universidad de Buffalo. La resiliencia referida a los materiales, la magnitud que cuantifica la cantidad de energía que absorbe un material al romperse bajo la acción de un impacto. En ingeniería sísmica (y de sistemas), es la capacidad de una comunidad, organización o unidad social, y de los sistemas, de reducir las probabilidades de daño o fallas (de la infraestructura crítica, sistemas y componentes, los heridos y pérdidas de vidas, los impactos negativos sobre la sociedad y la economía), y la reducción del tiempo de recuperación a su condición normal o de funcionamiento antes del desastre. Es decir, la resiliencia combina información técnica de la sismológica y la ingeniería sismorresistente, con la de las ciencias sociales y la economía.

La resiliencia se define entonces como la siguiente función normalizada que cuantifica la capacidad para mantener un nivel de desempeño o funcionamiento de una determinada infraestructura, sistema o comunidad. Esta función comprende las funciones de pérdida y de recuperación, que a su vez consideran pueden desagregarse en otras funciones, así la de pérdida incluye la de fragilidad, etc.

El objetivo de la Resiliencia al Desastre es minimizar las pérdidas de vida, lesionados y heridos, la interrupción de los sistemas importantes, y en todo caso minimizar y reducir las pérdidas de la calidad de vida y la economía en caso de desastres. Por tanto, la resiliencia al desastre se caracteriza por reducir la probabilidad de fallas, reducir las consecuencias de las fallas, y reducir el tiempo de recuperación de los sistemas a su condición de normalidad o nivel de funcionalidad pre- nivel de funcionalidad pre-desastre. Se reduce la vulnerabilidad al:

- Maximizar la robustez (*robustness*) de los sistemas.
- Maximizar la rapidez o minimizar el tiempo de recuperación de los sistemas dañados.

y se cumplen estos objetivos mediante:

- El incremento de la redundancia del sistema (componentes en paralelo, componentes en inventario para el reemplazo).
- Incrementando los recursos (*resourcefulness*), por ejemplo reduciendo la fragilidad del sistema para estados límites específicos.

Las mismas variables utilizadas en los objetivos de la resiliencia, sirven para medir su desempeño, lo que en inglés se conoce como las 4R ó r^4 , como se muestra en la Figura 2 y la Tabla 1. El triángulo de resiliencia

señala que cuando ocurre el desastre (t_0), los daños a la infraestructura crítica se traducen en la disminución del rendimiento de su función, la cual puede restablecerse en el tiempo.

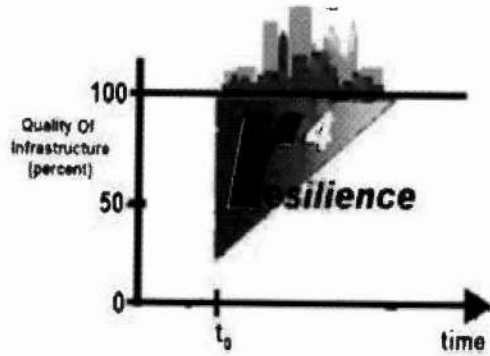


Figura 2. Resiliencia al desastre

Tabla 1. Variables de la Resiliencia al Desastre

Robustez (Robustness)	Capacidad de un sistema y sus componentes de resistir un determinado nivel de demanda sin degradación o pérdida de la función resistente.
Redundancia (Redundancy)	La medida en que los sistemas y sus componentes son sustituibles y capaces de satisfacer los requisitos funcionales en caso de degradación, interrupción o pérdida de la función.
Recurso (Resourcefulness)	Capacidad de identificar problemas, establecer prioridades y movilizar los recursos cuando existen condiciones que amenazan perturbar al sistema o sus componentes.
Rapidez (Rapidity)	Capacidad de atención de las prioridades para alcanzarlos objetivos de manera oportuna a fin de contener las pérdidas y evitar futuras perturbaciones.

En el proyecto de sistemas en condiciones de amenazas múltiples se utilizan:

- Modelos en computadora.
 - Discretización temporal y espacial.
 - Niveles de respuesta.
- Fragilidad del sistema.
 - Topología del sistema.
 - Niveles de riesgo.
- Riesgos múltiples.
 - Consecuencias
 - Determinar los niveles de seguridad
 - Confiablez de sistemas en riesgos múltiples

Los criterios de desempeño y su cuantificación bajo amenazas múltiples se evalúan mediante la Tabla 2.

4. Aportes de la norma cantv nt 2007

El que la actualización de las Normas CANTV 2007[5] haya coincidido con el cambio más significativo de la Norma TIA/EIA 222, y que los cambios introducidos sirvan de referencia para futuras revisiones de las normas COVENIN señalan la importancia de las nuevas Normas CANTV. Las Tablas 4 a 7 resumen conceptualmente el alcance y contenido de los principales cambios introducidos en las Normas CANTV 2007 que se comentan a continuación.

Contribución a la Norma Sismorresistente (Tablas 3 y 4)

Como la cuantificación de la modificación de las formas espectrales por cercanía las trazas de fallas activas escapa al alcance de las Normas CANTV, se dan recomendaciones sobre las distancias mínimas a

respetar en la localización de las torres e instalaciones cuando no sea posible reubicarlas.

Además de la evaluación de la estabilidad de los taludes, deberá cuantificarse el incremento en la aceleración cuando la torre se ubique cerca de los bordes de un talud o colina, como se indica en la Figura 3. Esta disposición tiene antecedentes en las Normas de la C.A. Electricidad de Caracas, 1994.

Como la cuantificación de la modificación de las formas espectrales por cercanía las trazas de fallas activas escapa al alcance de las Normas CANTV, se dan recomendaciones sobre las distancias mínimas a respetar en la localización de las torres e instalaciones cuando no sea posible reubicarlas.

Además de la evaluación de la estabilidad de los taludes, deberá cuantificarse el incremento en la aceleración cuando la torre se ubique cerca de los bordes de un talud o colina, como se indica en la Figura 3. Esta disposición tiene antecedentes en las Normas de la C.A. Electricidad de Caracas, 1994.

Tabla 2. Matriz de Criterios de Desempeño versus Medición del Desempeño

MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO	CRITERIOS DE DESEMPEÑO			
	Técnica	Organizacional	Social	Económico
Robustez	Evitar daños y continuidad del servicio	Habilidad continua de desempeñar las funciones asignadas	Evitar siniestros y desorganización en la comunidad	Evitar las pérdidas, económicas, directas e indirectas
Redundancia	Respaldo y duplicación de los sistemas, equipos y repuestos	Respaldo de los recursos para mantener las operaciones	Medios opcionales para suplir las necesidades de la comunidad	Mantenimiento de la capacidad económica y sus excedentes
Recursos	Metodologías y técnicas para el diagnóstico y la detección de daños	Planes y recursos para detener el daño y la interrupción de funciones	Planes y recursos para enfrentar las necesidades de la comunidad	Estabilización de las mediciones
Rapidez	Optimización del tiempo de recuperación de las funciones a los niveles previos al evento	Reducción del tiempo necesario para recuperar los servicios y tareas	Optimización del tiempo para restablecer las funciones a los niveles previos al evento	Mejorar el tiempo de recuperación de la capacidad, y minimizar la pérdida de ingresos

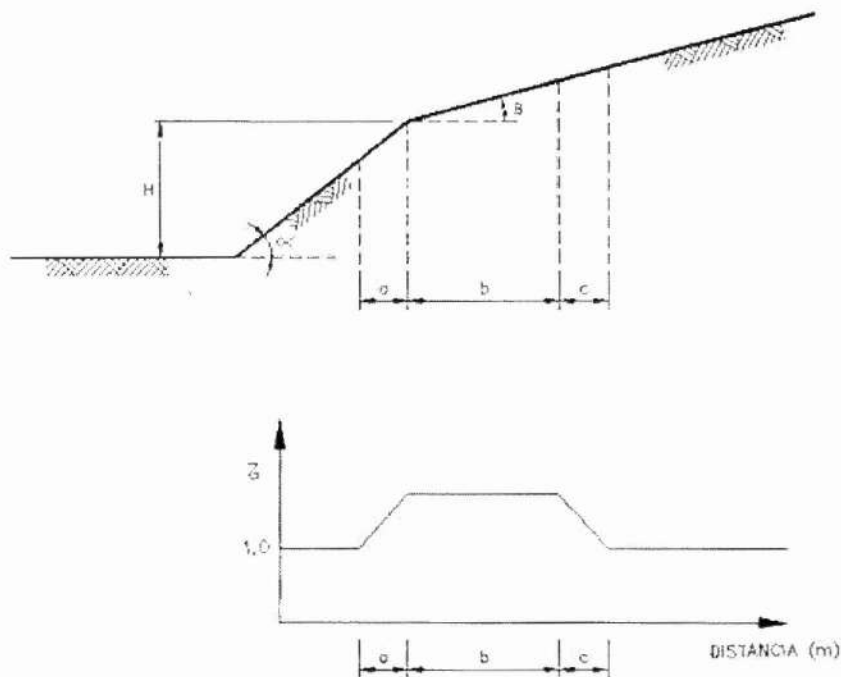


Figura 3. Factor de amplificación sísmico por efectos topo

TABLA 3. ESTUDIOS PARA LA SELECCIÓN DE SITIOS

CAPÍTULO 5 Norma NT-001:2007

Objeto de los estudios (Art. 5.1)

Identificación de amenazas naturales, urbanas y rurales que puedan afectar directa o indirectamente de los potenciales sitios de instalación de torres y estructuras de soporte para antenas de telecomunicaciones, a fin de tomar decisiones pertinentes a la reducción de la vulnerabilidad de las estructuras e instalaciones.

Identificación de amenazas (Art. 5.2)

Amenazas naturales: geológicas y geodinámicas, geotécnicas, hidrometeorológicas y sísmicas.

Amenazas urbanas y rurales: vulnerabilidad de la estructura sobre la cual se apoya la torre o estructura de soporte de las antenas; daños a terceros; otras (vandalismo y robo de piezas, dificultades de acceso, explosiones, etc.)

Recomendaciones generales (Art. 5.3)

Viento

Datos que permitan caracterizar las acciones del viento en el sitio de ubicación o utilizar datos climatológicos regionales o locales, especialmente en regiones con condiciones especiales de viento (Ver Artículos 7.1, 7.5, 7.6,7.7).

Regiones propensas a terremotos (Art. 8.5)

Nuevos proyectos a no menos de 2 km de las trazas conocidas de fallas activas.

Desechar sitios potencialmente licuables. En caso de no tener opciones, aplicar métodos para reducir daños por efectos de licuefacción.

Tomar en cuenta efectos de amplificación del movimiento sísmico por efectos del suelo, topografía o por estar la estructura soportada sobre otras estructuras (Capítulo 10, NT-002:2007; Ver Anexo 1 Espectro de Piso).

Áreas de costas afectadas por maremotos.

Información topográfica (Sección 5.3.3).

Identificar dentro de los 300 m alrededor de la torre o estructura de soporte, tuberías subterráneas, cables de energía enterrados, subestaciones eléctricas y cualquier otro elemento que pueda inducir fenómenos de corrosión electrolytica.

Aspectos geotécnicos y de ingeniería de fundaciones (Sección 5.3.4).

Ubicación para minimizar efectos de deslizamiento, caída de materiales, etc.

La investigación geotécnica deberá proporcionar información y ensayos que permitan interpretar en forma confiable las características del subsuelo y los parámetros requeridos para el proyecto y la construcción del sistema de fundaciones de conformidad con la Norma COVENIN 1756:2001 (Capítulos 5 y 11) y la Norma Fondonorma 1753:2006 (Capítulo 15), y advertir sobre el peligro de suelos expansivos, potencialmente licuables, o inestabilidades, o la necesidad de estudios adicionales o particulares para el proyecto y la construcción de pilotes, anclajes en rocas, el emplazamiento del asiento de las fundaciones (Capítulo 8, NT-002:2007; Artículos 6.4 a 6.9, NT-003:2007).

TABLA 4. CONSIDERACIONES SISMORRESISTENTES PARA TORRES Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENAS DE TRANSMISIÓN

Las Normas CANTV NT-001:2007 y NT-002:2007 contienen modificaciones y complementos respecto a la Norma COVENIN 1756:2001 *Edificaciones Sismorresistentes*.

Objetivos de Desempeño (Artículo 8.1, NT-001)

Aminorar los daños esperados y mantener operativas las torres y estructuras de soporte para antenas de transmisión clasificadas como esenciales.

Requisitos de Seguridad (Artículo 8.3, NT-001)

El análisis y el diseño se fundamentan en la selección de las acciones sísmicas dependientes del desempeño de la estructura y de su eventual mal funcionamiento. Se admite incursiones moderadas en el rango de deformaciones inelásticas sin pérdida apreciable de su resistencia.

Las verificaciones de seguridad están orientadas a eliminar la posibilidad de fallas frágiles. Los desplazamientos totales de la estructura, incluyendo la eventual componente inelástica, no excederán los valores permisibles, de manera de proteger su integridad y la de instalaciones adyacentes.

Alcance (Artículo 8.2, NT-001)

Nuevas estructuras de comportamiento tipificable y la evaluación adecuación o reparación de torres existentes (Capítulo 11, NT:001 y Capítulo 9, NT-002:2007)

Sitio de construcción y suelos de fundación (Artículo 8.5, NT-001)

Especial importancia requieren los estudios para la selección de sitios (Artículo 5), con especial énfasis en las consideraciones de cercanía a las trazas conocidas de fallas activas (Sección 5.3.2), terrenos potencialmente licuables, amplificación del movimiento sísmico por efectos del suelo o de la topografía (Subsección 8.5.2.4; Ver Anexo 1), y las áreas costeras propensas a ser afectadas por maremotos.

Los criterios y modelos para el análisis de torres y soportes de antenas soportadas en otras estructuras se tratan en el Capítulo 10 de la NT-002 (Ver Anexo 1).

Amenaza sísmica (Sección 8.5.3, NT-001)

La amenaza sísmica corresponde al mapa de zonificación sísmica de la Norma COVENIN 1756:2001. El Anexo D1 de la Norma NT-001 explica como modificar la probabilidad de excedencia y el factor de importancia.

Acción sísmica (Artículo 8.5, NT-001)

Se adoptan las formas espectrales de la Norma COVENIN 1756: 2001, con las siguientes modificaciones:

Factor de importancia, α_s (Tabla 4.1, NT-001).

Factor de amplificación del espectro normalizado, β_s (Tabla 8.1, NT-001)

Coefficiente de amortiguamiento referido al crítico, ξ (Tabla 8.2, NT-001)

Factor de reducción de respuesta, R (Tabla 8.3, NT-001)

Factor de amplificación sísmico en sitios cercanos al borde superior de taludes (Subsección 8.5.2.4, NT-001)

La construcción de los espectros de piso para las torres y soportes de antenas soportadas sobre otras estructuras se encuentra en el Artículo 10.4 de la Norma CANTV NT-002:2007 (Ver Anexo 1).

Clasificación estructural (Capítulo 4, NT-001)

La clasificación estructural considera: el riesgo que representa a la vida y propiedades (Art.4.1, NT-001) que determina el Factor de importancia α_s (Tabla 4.1, NT-001); la clasificación de los sistemas estructurales (Art. 4.2, NT-001) y la clasificación según la regularidad o irregularidad en masa, rigideces y torsional (Art. 4.3, NT-001) que condiciona los métodos de análisis sísmicos (Tabla 3.1, NT-001).

Métodos de análisis (Artículo 3.5, NT-001; Capítulo 6, NT-002)

Los métodos de análisis sísmicos, con algunas pocas modificaciones coinciden con los métodos del Capítulo 9 de la Norma COVENIN 1756:2001. Los métodos de análisis para torres y estructuras de soportes de antenas de telecomunicaciones están condicionados por la altura y la clasificación por regularidad en las masas o rigideces (Tabla 3.1, NT-001).

Solicitaciones (Artículo 3.3 y Sección 3.3.2; NT-001)

Las solicitaciones sísmicas se dan a nivel cedente, razón por la cual no se aplican factores de mayoración.

Se establece un cortante basal mínimo (Artículo 8.6, NT-001). Cuando el cortante sísmico, obtenido por métodos estáticos o dinámicos, sea inferior al 50 % del correspondiente cortante mayorado debido a la acción del viento, y siempre que la estructura sea clasificada como regular, podrán omitirse las consideraciones del proyecto sismorresistente (Artículo 8.4, NT-001). En el Estado Límite de Agotamiento Resistente (Sección 3.3.1, NT-001) se considera la combinación de las solicitaciones sísmicas en sus componentes horizontales y vertical, como se indica a continuación: $S = SH \pm (0.2 \alpha_s \beta_s A_0) CP$.

Estructuras existentes (Artículo 11, NT-001 y Capítulo 9, NT-002)

Los criterios generales para la evaluación de torres y soportes de antenas existentes se dan en el Artículo 11 de la Norma NT-001, y los procedimientos en el Capítulo 9 de la NT-002.

Verificaciones de seguridad (Artículos 3.3 y 3.4, Secciones 3.3.2, 3.3.3 y 3.3.4; NT-001; Capítulo 7, NT-002)

Las verificaciones de seguridad en la superestructura y sus fundaciones se realizarán en los Estados Límites de Servicio (Sección 3.3.2 y Artículo 3.4) y de Agotamiento Resistente (Sección 3.3.3, Artículo 3.3).

El criterio general de estabilidad (Sección 3.3.4) se vincula con el Capítulo 7 de la Norma NT-002, donde se establecen los requisitos de estructuración y redundancia estructural (diafragmas horizontales, arriostramientos, miembros, conexiones) para los sistemas estructurales y sus fundaciones.

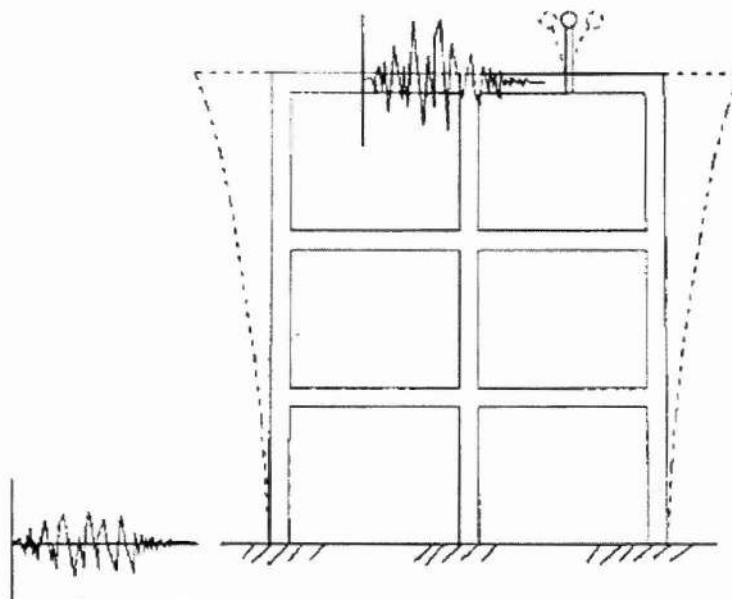
Diseño y Detallado (Artículo 8.7, NT-001)

El Artículo 8.7 de la Norma NT-001 establece los criterios generales sobre las condiciones de ductilidad global y local de los materiales, componentes y conexiones de las estructuras, que deben cumplirse según lo especifica la Norma CANTV NT-002:2007.

Construcción y Montaje (NT-003)

Los controles de construcción y montaje que puedan afectar el comportamiento sismorresistente de las torres y soportes de antenas de construcción se regirán por lo dispuesto en la Norma NT-003.

Figura 4.
Esquema conceptual del modelo matemático para la obtención de los espectros de piso.



Como la cuantificación de la modificación de las formas espectrales por cercanía las trazas de fallas activas escapa al alcance de las Normas CANTV, se dan recomendaciones sobre las distancias mínimas a respetar en la localización de las torres e instalaciones cuando no sea posible reubicarlas.

Además de la evaluación de la estabilidad de los taludes, deberá cuantificarse el incremento en la aceleración cuando la torre se ubique cerca de los bordes de un talud o colina, como se indica en la Figura 3. Esta disposición tiene antecedentes en las Normas de la C.A. Electricidad de Caracas, 1994.

La calibración del Artículo 8.4 de la Norma NT-002 sobre cuando tomar en consideración las acciones sísmicas en relación con las del viento para el caso de torres ubicadas en el terreno (en el caso de torres sobre edificaciones siempre debe tomarse en cuenta la acción sísmica) analizó el caso de torres fundadas sobre depósitos aluvionales recientes en zonas de baja sismicidad, y encontró que estos casos siempre requerirán mayor atención porque la comparación de cortantes fundamentada solamente en la respuesta del primer modo de vibración puede no ser siempre confiable.

Las acciones a considerar en la base de un equipo o torre a ser anclada sobre una estructura existente que a su vez tiene respuesta dinámica a la excitación sísmica en su nivel de base, se obtienen convenientemente mediante el empleo de los denominados *espectros de piso*, cuyo modelo conceptual se presenta en la Figura 4. Debido a las diferencias en masas y rigideces entre

la torre y la edificación que la soporta, se puede ignorar el efecto de la torre sobre la estructura de soporte, pero no la de la estructura de soporte sobre la torre; particular incidencia tiene la respuesta dinámica en el proyecto de anclaje de la torre [6].

Contribución a la Norma Acciones del Viento (Tabla 5)

Los cambios de mayor incidencia corresponden a la Amenaza y la Acción eólica, y a las Solicitaciones. La amenaza está caracterizada en el Mapa de Velocidad Básica del Viento, basado en la velocidad de la ráfaga de tres segundos, que es la práctica internacionalmente aceptada. En las Normas CANTV 2007 se estableció como velocidad básica mínima 80 km/h y en las zonas afectadas por vientos huracanados, 140 km/h. La Tabla de Zonificación Eólica por Municipios elimina la necesidad de interpolación en el Mapa; esta misma Tabla suministra la Velocidad Básica a utilizar en los Estados Límites de Agotamiento Resistente, y de Servicio, así como en la Etapa de Construcción o Montaje de la estructura.

La acción eólica se obtiene a través de la presión dinámica del viento, en la cual se incluyen varios factores. La simplificación introducida para el cálculo del factor de topografía K_{tw} es consistente con la protección a los montantes en la parte inferior de las torres y monotubos autosoportados implícito en la aplicación del concepto de los patrones de fuerza por viento. El criterio de los patrones de fuerza está recogido en la Figura C-6.2.5.9 de la Norma COVENIN 2003 y en otras

normas internacionales, que al igual que las Normas CANTV han extendido su aplicación a otras torres y estructuras de soporte de antenas distintas a las torres atirantadas.

Contribución a las Normas Geotécnicas, de Fundaciones y Anclajes (Tabla 6)

Además de cumplir con los requisitos del Capítulo 15 de la Norma Fondonorma 1753:2006 y el Capítulo 11 de COVENIN 1756:2001, lo más destacable de la Tabla 7, es la adopción del Método de los Estados Límites para el diseño de las fundaciones y anclajes[18], y la indicación de los estudios requeridos en particular por los sistemas de fundación.

TABLA 5. ACCIONES DEL VIENTO SOBRE LAS TORRES Y ESTRUCTURAS DE SOPORTE DE ANTENAS DE TRANSMISIÓN

Objetivos de Desempeño (Artículo 3.1, NT-001)

Las torres y estructuras de soporte de antenas de transmisión serán proyectadas y construidas para resistir las acciones del viento, sin fallas estructurales, locales o globales, que puedan afectar su operación, integridad estructural y su capacidad resistente post eventos eólicos.

Requisitos de Seguridad (Artículos 3.1 y 3.4, Secciones 3.3.3 y 3.3.4; NT-001)

Se tomarán todas las previsiones para la adecuada selección del sitio, el uso de métodos de análisis y diseño apropiados a las características de la estructura, la no excedencia de los Estados Límites (Secciones 3.3.3 y 3.3.4; Artículo 3.4), así como los detalles constructivos apropiados al material de construcción, y en especial a los componentes más vulnerables del conjunto estructural que puedan afectar tanto a los mecanismos de redundancia como los posibles mecanismos de falla.

Alcance (Capítulo 1; NT-001)

Nuevas torres y estructuras de soporte de antenas de transmisión, de comportamiento tipificable (Artículo 4.2, NT-001), y sus fundaciones. La evaluación, adecuación o reparación de torres y soportes de antenas existentes se rige por el Capítulo 11 de la Norma NT-001 y el Capítulo 9 de la Norma NT-002.

Selección del sitio de ubicación (Sección 5.3.1 y Artículo 7.5; NT-001)

Los estudios de sitio además de facilitar la toma de decisiones pertinentes al riesgo eólico, facilitarán toda la información requerida para el análisis por viento: velocidades y direcciones del viento (Artículos 7.1 y 7.5; Anexo A), Tipos de exposición (Artículo 7.6), Efectos de topografía (Artículo 7.7).

Amenaza eólica (Artículo 7.5, Anexo A; NT-001)

La velocidad básica del viento se seleccionará de acuerdo con la región geográfica utilizando la Tabla del Anexo A o el Mapa de la Figura 7.2. La velocidad básica del viento, V_b , es la velocidad correspondiente a una ráfaga de 3 segundos, medida a 10 metros sobre el nivel de un terreno con Tipo de Exposición C, y asociada a un período de retorno de 50 años. En el Anexo A se suministra la velocidad a utilizar en la etapa de construcción, y en los Estados Límites de Agotamiento Resistente y de Servicio.

Acciones eólicas (Capítulo 7, NT-001)

El viento se considera como procedente horizontalmente desde cualquier dirección, por lo que en el análisis de será seleccionarse la dirección que produzcan la condición más desfavorable para la estructura, sus componentes y accesorios (discretos o lineales), y los cables de arriostamientos. En la Sección 7.8.4 se establece la condición para considerar el efecto de protección en los elementos paralelos.

La cuantificación de la presión dinámica del viento deberá incorporar el factor de exposición a la presión dinámica del viento, K_z (Sección 7.6.2), el factor de direccionalidad del viento, K_d (Sección 7.1.2), el factor de importancia, α_w (Tabla 4.1 y Anexo D2, NT-001), el factor de topografía por viento, K_{tw} (Artículo 7.7), y la velocidad básica del viento, V_b (Artículo 7.5).

Clasificación estructural (Capítulo 4, NT-001)

Todos los sistemas estructurales serán concebidos para transferir las solicitaciones debidas al viento en el sistema de fundaciones. Las torres y estructuras de soporte para antenas deberán quedar clasificadas según: (a) el riesgo que representan para la vida y las propiedades; (b) el sistema estructural.

Métodos de análisis (Sección 3.5.1, NT-001 y Capítulo 5 de la NT-002)

Los modelos matemáticos dependerán del tipo de estructura (Sección 3.5.1, NT-001) y de los dispuestos en el Capítulo 5 de la Norma NT-002, en la cual se establecen los patrones de carga sobre la estructura.

Solicitaciones (Artículos 3.3, 7.2, 7.4, 7.8, Sección 7.8.4 y Anexo B; NT-001; Capítulo 5 y Sección 7.1.2, NT-002)

Estado Límite (Artículo 3.3). Las solicitaciones debidas al viento, se calcularán según se especifica en el Artículo 7.2 de la NT-001 y el Capítulo 5, NT-002, considerando las fuerzas de diseño del viento y el área efectiva (Artículo 7.8) sobre la estructura, los accesorios (Anexo B, Fuerzas sobre antenas típicas) y sobre los cables de arriostamiento. Los efectos dinámicos y aeroelásticos se incorporarán mediante el factor de respuesta ante ráfagas, G_h (Artículo 7.4) y los patrones de fuerza de viento (Artículo 5.3, NT-002). En la Sección 7.1.2 de la NT-002, se dan recomendaciones para el dimensionamiento de miembros a fin de evitar efectos inducidos como la vorticidad de von Karman a bajas velocidades del viento.

Estructuras existentes (Artículo 11, NT-001 y el Capítulo 9, NT-002)

Los criterios generales para la evaluación de torres y soportes de antenas existentes se dan en el Artículo 11 de la Norma NT-001 y los procedimientos en el Capítulo 9 de la Norma NT-002.

Verificaciones de seguridad (Artículos 3.2 a 3.4, Sección 7.8.2 y Anexo B, NT-001; Anexo B, NT-002; Anexos A y C, NT-003).

Las verificaciones de seguridad en la superestructura y sus fundaciones se realizarán en los Estados Límites de Servicio (Sección 3.3.2 y Artículo 3.4) y de Agotamiento Resistente (Sección 3.3.3 y Artículo 3.3). El criterio general de estabilidad de la Sección 3.3.4 está vinculado con la Norma NT-002, donde se establecen los requisitos de estructuración y redundancia estructural (diafragmas horizontales, arriostamientos, miembros, conexiones) para los sistemas estructurales y sus fundaciones. En el Anexo B de la NT-002 se suministra un procedimiento simplificado para el análisis de la ruptura de las guayas de arriostamiento.

Se considera que la disposiciones de la Norma NT-001 (Sección 7.8.2 y el Anexo B) son suficientemente seguras para evitar el desprendimiento de accesorios y antenas que puedan causar daños como objetos llevados por el viento.

Las solicitaciones producidas por la acción del viento, W , se dan en estado de servicio y se combinarán según el Durante el montaje de las torres y estructuras de soporte de antenas de transmisión, el control de la tracción en las guayas de contraventeo y la verticalidad y alineación de las torres se regirá por los Anexos A y C de la Norma NT-003, respectivamente.

Diseño y Detallado (NT-002)

Los requisitos de diseño y detallado que debe cumplir el proyecto estructural de torres y las estructuras de soporte de las antenas de un sistema de transmisión, incluyendo las fundaciones se regirán por la Norma NT-002. En el caso particular de las estructuras de acero, se introducen modificaciones a la Norma COVENIN 1618:1998.

Construcción, Montaje y Mantenimiento (NT-003)

Los aspectos referentes a los controles durante la fabricación, la construcción, el montaje y el mantenimiento que puedan afectar la respuesta de las torres y estructuras de soporte a las acciones del viento se regirán por la Norma NT-003 y sus Anexos.

TABLA 6. FUNDACIONES Y ANCLAJES

(Sección 5.3.4, NT-001; Capítulo 8 NT-002 y Artículos 6.4 a 6.9, NT-003)

Investigación geotécnica (Artículo 5.3.4, NT-001)

La investigación geotécnica deben cubrirse los siguientes aspectos, sin limitarse estrictamente a ellos, en caso de que apliquen:

Descripción topográfica, geológica y estratigráfica del sitio.

Descripción del procedimiento de exploración y caracterización del sitio.

Los ensayos de laboratorio, además de las propiedades físicas, dinámicas, de permeabilidad, compresibilidad/consolidación, deben incluir densidad del suelo, ángulo de fricción interna y cohesión de cada estrato.

Documentación completa con los resultados de las perforaciones y ensayos de laboratorio de cada estrato. Profundidad a la cual ocurren cambios en los estratos.

Posición del nivel freático.

Recomendaciones sobre los tipos o sistemas de fundación. Condiciones que condicionan su resistencia, deformación, estabilidad, y llamada de atención sobre problemas especiales de tipo constructivo.

Resistencia eléctrica, pH y naturaleza corrosiva del suelo.

Estudios adicionales requeridos para pilotes excavados, anclajes en roca, emplazamiento de la fundación, y en situaciones de suelos expansivos, licuables, inestabilidades, cercanía a fallas activas y otros peligros sísmicos.

Advertencia importante: Los valores preliminares de parámetros del suelo del Anexo A de la Norma NT-002:2007 es únicamente con fines estimativo de anteproyecto, no de proyecto y construcción, y deberán validarse para el sitio específico mediante el estudio geotécnico.

Proyecto de Fundaciones y Anclajes (Capítulo 8, NT-002)**Alcance** (Artículo 8.1, NT-002)

El terreno debe soportar las solicitaciones transferidas por las fundaciones y la rigidez del conjunto terreno-fundación debe ser suficiente para no experimentar desplazamientos que comprometan la funcionalidad de la fundación o la superestructura.

Estados Límites (Artículo 8.3, NT-002)

El Estado Límite de Agotamiento se define en el Artículo 8.3, como ϕR_s , donde la capacidad del suelo, R_s , se determinada mediante ensayos de laboratorio y el factor de minoración en la Tabla 8.1, NT-002.

El Estado Límite de Servicio (Artículo 8.6, NT-002) es consistente con la Sección 3.3.2 y Artículo 3.4 de la Norma NT-001.

Métodos de diseño (Artículo 8.4, NT-002)

Este Artículo contiene las directrices para el análisis y el diseño de los sistemas de fundación y anclajes, los arriostamientos y la transferencia de solicitaciones al pedestal, zapata o cabezal, según corresponda para torres y postes o monopoles autosoportadas, torres y monopoles contraventeadas.

(Artículo 8.5 y Artículo 9 la NT-002; Artículos 6.4 a 6.9, NT-003)

Pilotes (Artículo 8.5, NT-002)

Criterios para el dimensionamiento, el detallado del acero de refuerzo y la distribución de los pilotes en los cabezales de fundación.

Evaluación de las fundaciones de torres y soportes de antenas de transmisión existentes (Secciones 9.3.2.3 y 9.3.3.3; Artículo 9.5.3; NT-002)

Construcción y Montaje (Artículos 6.4 a 6.9, NT-003)

Disposiciones para la puesta a tierra (Artículo 6.4), el control de la corrosión (Artículo 6.5), el anclaje de las guayas de contraventeo (Sección 56.5.1), las estructuras de postes embebidas en el terreno (Sección 6.5.2), las zapatas (Artículo 6.7), las losas de fundación (Artículo 6.8) y los pilotes (Artículo 6.9)

5. Conclusiones

La actualización de las Normas CANTV se enmarca dentro de las corrientes contemporáneas (por ejemplo el primer canon de la American Society of Civil Engineers [1] establece que la seguridad, la salud y el bienestar públicos serán la suprema obligación de los ingenieros quienes se esforzarán en cumplir con *los principios del desarrollo sostenible* en el desempeño de sus tareas profesionales), y los nuevos paradigmas (proyecto por desempeño [22]; resiliencia en escenarios de amenazas múltiples [19][20]) de la ingeniería contemporánea que recogen los cambios en las normas para el proyecto de estructuras, sus conexiones y fundaciones. Todo lo anterior permite concluir:

- Se justifica la actualización de las Normas CANTV 1990, porque en 17 años se han producido avances significativos en la comprensión de las acciones del viento y los sismos en torres y estructuras de soporte de antenas de transmisión.
- La actualización de las Normas CANTV es oportuna por cuanto coincide con una profunda revisión de la Norma TIA/EIA 222, a la vez que resuelven las principales recomendaciones sugeridas por el Proyecto de la Asociación de Estados del Caribe, AEC, 2003, para la Actualización de los Códigos de Construcción del Gran Caribe para Vientos y Sismos.
- Las nuevas Normas CANTV pueden servir de orientación en una futura revisión de las Normas COVENIN 1756, 2002 y 2003.
- El Mapa de Velocidades de Viento, además de utilizar la nueva velocidad estándar basada en la ráfaga de 3 segundos, incorpora los efectos de las tormentas tropicales y huracanes que han afectado y pueden azotar al territorio nacional.

6. Recomendaciones

Hasta tanto se revisen o actualicen las correspondientes Normas COVENIN se recomienda:

A. Para las acciones del viento

1. Para mejorar la estimación de la amenaza por viento:

- a) Usar el Mapa y la Tabla de Zonificación Eólica de la Norma CANTV en el proyecto de las estructuras contempladas en la Norma COVENIN 2003.

- b) Calcular la presión dinámica del viento según la Norma CANTV 2007.

2. Para minimizar la vulnerabilidad de las construcciones:

- a) Usar conjuntamente con las recomendaciones para mejorar la estimación de la amenaza por viento, el Método 2 Procedimiento Analítico de la Norma ASCE 7-05.

- b) Las combinaciones producidas por la acción del viento serán de acuerdo con la Tabla 9.3 de la Fondonorma 1756:2006, que ya ha incorpora el efecto de direccionalidad del viento. Reemplazar las Hipótesis de Solicitaciones de la Figura C-3.2 de la Norma COVENIN 2003:1987, por las que se proponen en [17].

B. Para las acciones sísmicas

1. En estructuras cercanas a taludes, colinas, y accidente topográficos similares, incorporar el factor de amplificación del coeficiente de aceleración horizontal.

7. Reconocimientos

Las Normas y Especificaciones para Torres y Estructuras de Soporte para Antenas de Transmisión, NT-001, NT-002 y NT-003, CANTV 2007, así como el material y ejemplos preparados para los talleres dictados sobre su aplicación [6], es de la autoría del equipo organizado por BCA Ingenieros Consultores, integrado por José Grases G., Arnaldo Gutiérrez, Pietro De Marco y Francisco Corredor, con la colaboración de Marilú Perdomo, Giannina del Re, Elines Lares, Ricardo Zerpa y Luis Nuñez L, de BCA, y por Lisandro Altuve, Héctor Angel, Alfonso Cañizales y Carlos Suárez, de CANTV.

8. Bibliografía comentada

- [1] American Society of Civil Engineers, 2000. *ASCE Standards of Professional Conduct*. Recuperable en www.asce.org/pdf/ethics_manual.pdf.
- [2] American Society of Civil Engineers; 2005. *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Publication SEI/ASCE 7-05, Virginia, 424 págs.
- [3] Asociación de Estados del Caribe, 2003. *Códigos de Construcción. Vientos y Sismos*. Port of Spain, Trinidad and Tobago, ACS-AEC. Versión CD. <http://www.acs-aes.org>. Contiene una Evaluación de los Códigos del Caribe, y propone Códigos Modelo para Viento y Sismo, basados en la Norma SEI/ASCE 7-02.
- [4] Association Française du Génie Parasismique-AFPS, 1995. *Guidelines for Seismic Microzonification Studies*. Delegation of Major Risks of the French Ministry of the Environment, Paris, 44 págs.
- [5] BCA Ingenieros Consultores, 2007a. *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión de CANTV- Fase I*. Normas CANTV NT-001, Rev F, Diciembre, 124 págs; NT-002, Revisión F, Diciembre 100 págs; NT-003, Revisión E, Diciembre 39 págs. Basadas en la Norma ANSI/TIA 222-G-2005, con contribuciones propias del equipo BCA, reemplaza a las Normas CANTV de 1990.
- [6] BCA Ingenieros Consultores, 2007b. *Taller sobre la utilización de las Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*. Caracas, 15 y 16 Junio; 14 y 15 Diciembre.
- [7] Beltran, Juliette; Castiblanco, William y Alfaro, Andrés; 2006. *Evaluación de zonas con posible amplificación topográfica y susceptibles a deslizamientos debido a un sismo en Ibagué-Colombia*. Boletín Técnico IMME, Vol. 44 No.3, Noviembre, págs. 9-16, Caracas.
- [8] C.A. Electricidad de Caracas, 1994. *Diseño sismorresistente para el sistema eléctrico*. Norma DNI ND-C-B-01-94. Documento J, págs 509-533, del Volumen XXXIII Diseño Sismorresistente. Especificaciones y Criterios Empleados en Venezuela. Academia Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales. Caracas, Julio 1997.
- [9] CANTV;1990. *Normas y Especificaciones para Torres y Soportes de Acero para Antenas de Transmisión*. Gerencia de Obras Civiles, CANTV, 44 págs. Sustituye a las "Especificaciones de torres para antenas -CANTV" - Código 10-08-003-GD-E, del 29 de Marzo de 1975. En los Talleres dictados por BCA sobre las nuevas Normas CANTV, se demostró que el perfil de velocidades de viento de la CANTV 1990, es inseguro para torres de más de 40 m de altura.
- [10] Fondonorma, Editor; 2007. *Proyecto y Construcción de Obras en Concreto Estructural*. Norma Fondonorma 1753:2006. Caracas, 329 págs. La propuesta entregada en Diciembre de 2003 por la Sociedad Venezolana de Ingeniería Sísmica, SOCVIS, al Ministerio de Ciencia y Tecnología, fue largamente discutida públicamente, y adicionalmente durante un año en reuniones semanales en la sede de AVECRETO, antes de pasar por la discusión pública convocada por Fondonorma, tras lo cual fue publicada como Norma Fondonorma 1753:2006, sin que hasta la fecha, haya podido ser aprobadas como Norma COVENIN.
- [11] Gobierno del Condado de Orange, Florida. *Estrategias de Mitigación Local*. Ver en <http://www.orangecountryFL.net>
- [12] Grases, J. Coodinador, 1997. *Diseño sismorresistente . Especificaciones y Criterios empleados en Venezuela*. Academia de Ciencias Físicas Matemáticas y Naturales, Volumen XXXIII, Caracas, Julio, 662 págs.
- [13] Grases, José y Gutiérrez, Arnaldo, editores; 2004. *Normas y Especificaciones para el Análisis, Diseño y Ejecución de Obras Civiles. Tomo I Estructuras*. Volumen XL, Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales, publicación co-auspiciada por la Academia Nacional de la Ingeniería y el Hábitat, Caracas, Octubre, 718 págs. + CD. En el texto se recopilan los siguientes documentos, que deberán ser incluidos entre las tareas de una Comisión de Normas: *Investigación de suelos para fundaciones de edificios*, MOP 1963; *Ejecución de fundaciones para edificios*, MOP 1966; *Diseño de fundaciones para edificios*, MOP 1966; *Especificaciones para pruebas de*

- cargas de pilotes*, MOP 1966. En el CD, las Normas COVENIN referentes a los ensayos de laboratorio y el documento CCA:1973 *Ensayos de clasificación de suelos*. A esta lista hay que añadir las Normas ASTM citadas en el Comentario del Capítulo 11 de la Norma COVENIN 1756:2001 (Ver Gutiérrez,2005).
- [14] Gutiérrez, Arnaldo; 2008a. *Propuesta para la actualización de la Norma COVENIN 2003:1987 "Acciones del Viento sobre las Construcciones"*. Trabajo de Ascenso a la Categoría de Profesor Agregado, Universidad Católica Andrés Bello, Caracas Enero, 178 págs.
- [15] Gutiérrez, Arnaldo; 2008b. *Evolución y Perspectivas de la Normativa Sismorresistente*. Seminario Técnico Evolución y Perspectivas de la Normativa Sismorresistente, SIDETUR, Caracas Noviembre 2007, Valencia Septiembre 2008, 131 págs. En los Anexos se incluye Terminología, Erratas de las Normas COVENIN, Proyecto sismorresistente basado en desplazamiento, etc.
- [16] Gutiérrez, Arnaldo; 2008c. *Proyecto de torres y estructuras de soportes para antenas de transmisión en escenarios de amenazas múltiples*. A ser publicado en el Volumen II de "Ingeniería Forense y Estudios de Sitio. Guía para la Prevención de Gestión de Riesgos.", Caracas, Diciembre 2008. Versión resumida del presente trabajo.
- [17] Gutiérrez, Arnaldo; 2006. *Tormentas tropicales y vientos huracanados en Venezuela*. Capítulo 1 de "Ingeniería Forense y Estudios de Sitio. Guía para la Prevención de Gestión de Riesgos"; páginas 15 a 30. José Grases, Editor. Banesco Seguros, Caracas, Julio, 389 págs. Contiene la información básica que sirvió de base para actualizar el Mapa de Velocidad Básica del Viento de la Norma CANTV 2007.
- [18] Gutiérrez, Arnaldo; 2005. *Propuesta de Normas Venezolanas COVENIN para Puentes*. Seminario Técnico Los puentes en Venezuela, SIDETUR, Caracas Noviembre 2001, Mérida Mayo 2005, 22 págs.
- [19] MCEER, 2008. *MCEER's Relicience. Framework*. Varios documentos disponibles en el sitio de internet del Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research de la Universidad de Buffalo, <http://mceer.buffalo.edu/research/resilience>. Ver la referencia NEHRP.
- [20] NEHRP, 2008. *Strategic Plan 2008-2012, Draft*. En la visión del plan estratégico se lee "Una nación sísmicamente resiliente en seguridad pública, fortaleza económica y seguridad nacional". Y se define la resiliencia como la capacidad de una comunidad, organización o unidad social, y de los sistemas, de reducir las probabilidades de daño o fallas (de la infraestructura crítica, sistemas y componentes, los heridos y pérdidas de vidas, los impactos negativos sobre la sociedad y la economía), y la reducción del tiempo de recuperación a su condición normal o de funcionamiento antes del desastre. Para más detalles ver www.nehrp.gov/plans/publiccomment.htm y la referencia MCEER.
- [21] Subcomité SC8 del Comité CT6 Higiene, Seguridad y Protección; 2004. *Gestión de riesgos, emergencias y desastres. Definiciones de términos*. Norma COVENIN 3661:2004, 1ª Revisión. Caracas, 4 págs. Contiene 42 definiciones.
- [22] Rose School, Escuela Europea para los Estudios Avanzados en la Reducción del Riesgo Sísmico, Universidad de Pavia, Italia. Varios documentos disponibles en el sitio de internet www.roseschool.it, y la publicación Priestley, Nigel M.J.; Calvi, G.M; Kowalsky, M.J; 2007. *Displacement – Based Seismic Design of Structures*. IUSS Press, USS Press, Pavia, Italy; 721 págs + CD. En la Referencia [Gutiérrez 2008b] se presenta un proyecto de Norma de Proyecto por Desplazamiento.
- [23] Sherlock, R.H., 1952. *Variation of Wind Velocity and Gust with Height*. Proceedings ASCE, Vol. 78, April, pp. 463-508. ASCE. Este artículo aparecen las Figuras correspondiente a los ensayos de R.H. Sherlock y M.B. Stout publicadas en el Journal of Aeronautical Science, Vol. 5, No. 2, pp. 51-61, December 1937.
- [24] Telecommunications Industry Association, 2005. *Structural Standard for Antenna Supporting Structures and Antenas*. ANSI/TIA 222-G-2005. Arlington VA, 256 pp. Sustituye a la Norma TIA/EIA -222-E-1996. Por primera vez incluye requisitos sismorresistentes, y hay un cambio radical en las acciones de viento. Adopta la Velocidad de Ráfaga de 3 segundos. Es la base de las Normas CANTV 2007, NT-001 a 003.