

PERFIL BIO-SISMICO DE RASCACIELOS

Ricardo Henoch¹, Jorge Lindenberg¹, Tomás Guendelman¹ y Mario Guendelman¹

¹ I.E.C. INGENIERÍA S.A., Revisión Sísmica.
Santiago. CHILE
e-mail: iec@iec.cl

RESUMEN

El satisfactorio comportamiento que experimentaron los edificios chilenos en el sismo de marzo de 1985, motivaron el estudio "Perfil Bio-Sísmico de Edificios" (T. Guendelman, M. Guendelman y J. Lindenberg), presentado en las VII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica y Primer Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica, La Serena, Chile, 1997.

El uso de este instrumento de calificación estructural se ha masificado y es posible encontrar numerosas referencias de él en la comunidad de ingeniería, en las que se le reconoce confiabilidad para detectar las debilidades y fortalezas de una determinada estructuración. Sin embargo, la amplia base de datos con las que fue desarrollado estaba limitada a edificios de hasta treinta pisos, con la sola excepción de dos edificios en Santiago.

El presente trabajo amplía su cobertura, al hacer extensiva la evaluación de indicadores a los así denominados "Rascacielos". Para tales fines se escogieron dos grandes rascacielos emplazados en China (Torre Jin Mao, de 88 pisos, en Shanghai y Central Plaza, de 78 pisos, en Hong Kong), uno en Taiwán (Taipéi 101, de 101 pisos, Taipéi) y uno en Malasia (Torres Petronas, de 88 pisos, en Kuala Lumpur), considerados como algunos de los principales referentes de los rascacielos que se construyen hoy en el mundo. A esta tendencia mundial se ha sumado Chile, con dos proyectos, ambos en Santiago.

La conclusión más importante de este trabajo la constituye la confirmación de la validez de los indicadores propuestos en el estudio original, en el caso de rascacielos.

SUMMARY

The satisfactory behavior of the Chilean buildings in the March 1985 earthquake, motivated the study "Bio-Seismic Profile" (T. Guendelman, M. Guendelman y J. Lindenberg), presented in the VII Chilean Seismology and Earthquake Engineering Conference and the First Iberoamerican Conference of Earthquake Engineering, La Serena, Chile, 1997.

The use of this instrument of structural qualification has been used proficiently and it is possible to find several references to it by the engineering community, in which it is recognized as a confident tool in finding weaknesses and strengths in a given structure. Nevertheless, the wide data base was limited to 30 floor buildings, with the exception of two buildings in Santiago.

This work widens the scope by applying the parameters to the so denominated Skyscrapers. For that purpose, 4 tall buildings were chosen. Two buildings in China (Jin Mao Tower, Shanghai and Central Plaza, Hong Kong), one building in Taiwan (Taipei 101, Taipei) and one in Malaysia (Petronas Towers, Kuala Lumpur), considered as some of the main reference in skyscrapers in the World. Chile has added two projects to this trend.

The main conclusion of this work is the validation of the original work indicators for the skyscraper cases.

EVOLUCION EN ALTURA DE LOS EDIFICIOS.

Desde la antigüedad el hombre dirige su mirada a las alturas. Comenzando con las pirámides construidas en el imperio Egipcio, llegando al actual edificio más alto del mundo - el Burj Khalifa en Dubái con 828 metros de altura - vemos que algunas estructura prevalecen como objetos para demostrar poder y riqueza, con la diferencia que hoy se requiere a la vez entregar utilidad y espacios habitables seguros para las personas.

Si bien los objetivos de estabilidad son casi los mismos que en las estructuras antiguas, son los usos, los materiales y los métodos los que más han cambiado. En estructuras antiguas se usaban grandes elementos sólidos, que ocupan gran parte del espacio para levantarse sobre el nivel de suelo a alturas considerables. En la actualidad, la densidad de aquellos elementos, claves para la resistencia y la estabilidad, ha disminuido notablemente. Existe además una necesidad de espacio, por lo que estos elementos resistentes deben poseer tamaños óptimos que ahorren y otorguen mayor disponibilidad de áreas para oficinas, departamentos o el uso para el que estén diseñados.

Además, la arquitectura ha pasado a jugar un rol fundamental en el proceso de crear edificios útiles que a su vez sean verdaderos monumentos. Las formas y el espacio ya no son recursos de los que dispone el ingeniero para solucionar los problemas de estabilidad y resistencia, sino que son restricciones y éste debe saber optimizarlos y mejorarlos dentro de estos nuevos límites.

Según el Council on Tall Buildings and Urban Habitat (en adelante CTBUH) (1), un edificio alto se define por su altura o por su entorno. El criterio importante a considerar es si el diseño se vio o no influenciado por algún aspecto de su altura. Es un edificio alto cuando su altura crea condiciones diferentes con respecto a los otros edificios “comunes” de una cierta región o en un periodo de tiempo. Además cuantifica dos categorías: Edificio Alto, aquel con más de 200 metros de altura desde el nivel de la calle y Súper-Edificio Alto, para los que tienen más de 300 metros de altura.

Actualmente, cada vez existen más proyectos de grandes edificaciones para lograr satisfacer la alta demanda de espacio que poseen ciertas zonas, o sencillamente para promover turismo y demostrar el gran crecimiento de ciertos países.

Chile no se ha quedado atrás. Actualmente dos son los mega-proyectos que están en desarrollo, uno en construcción y otro ya terminado. Estos edificios, con sobre 150 metros, se encuentran en uno de los barrios de Santiago con más demanda de oficinas del país.

No cabe duda que la ingeniería chilena ha tenido éxito en la construcción de estructuras sismo-resistentes, ya que a pesar que el país continuamente se ve enfrentado a movimientos sísmicos no ha habido daños de consideración en los últimos años.

Para caracterizar este fenómeno chileno se generó el Perfil Bío-Sísmico de Edificios (2), realizado por T. Guendelman, M. Guendelman y J. Lindenberg., que buscó saber cuáles eran las características o parámetros de mayor importancia que poseen los edificios construidos en el país, que hacen que se comporten satisfactoriamente frente a los sismos. Sin embargo, este estudio posee una limitante: se basó en edificios de menos de treinta pisos, salvo dos casos en los que, de todas formas, tienen menos de 150 metros de altura.

Finalmente, existen otros países con alta sismicidad que construyen exitosamente rascacielos (como por ejemplo EE.UU., Japón, Taiwán, etc.) y en donde algunos de estos edificios altos han soportado sismos o se emplazan en lugares donde los vientos llegan a generar cargas aun más importantes, logrando soportarlas y continuando en servicio hasta el día de hoy.

Toda la evidencia mencionada es la que nos motiva a comparar y determinar si la validez de los parámetros del Perfil Bío-Sísmico anterior se amplía bajo este nuevo escenario con edificios altos Chilenos y ciertos edificios internacionales que superan los 200 metros.

PERFIL BIO-SISMICO.

El Perfil Bío-Sísmico es un instrumento, que mediante la medición de algunos indicadores permite evaluar la “salud” de un edificio. En su desarrollo se analizaron 585 edificios reales construidos en el país. De estos se obtuvieron los resultados de diversos puntos de control y que fueron resumidos en 13 indicadores. De éstos, 5 corresponden a la rigidez del edificio, 6 reportan las características de acoplamiento traslación-rotación y traslación-traslación y 2 describen la redundancia estructural y demanda de ductilidad. A continuación, en la Tabla 1, se presenta un resumen con los límites saludables de cada uno de los indicadores.

Tabla 1 - Resumen de límites para indicadores del Perfil Bío-Sísmico.

Indicadores del Perfil Bío-Sísmico	Valores dentro de rangos normales.	Valores aceptables ligeramente apartados de rangos normales.
Rigidez		
1 H/T [m/s]	30 - 70	20 - 30 y 70 - 150
2 $M_{p-\Delta}/M_{volc. basal directo}$	0 - 0,1	
3 $1000 \cdot \delta/H$	0,2‰ - 2,0‰	0‰ - 0,2‰
4 $1000 \cdot \delta_{centro gravedad}/h$	0,2‰ - 2,0‰	0‰ - 0,2‰
5 $1000 \cdot \delta_{extremo}/h$	0‰ - 1,0‰	
Acoplamiento Traslación-Rotación y Traslación-Traslación		
6 $T_{rotacional}/T_{traslacional}$	0 - 0,8 y 1,2 - 1,5	0,8 - 1,2 y 1,5 - 2,0
7 $M_{eq. rot. acoplada}/M_{eq. transl. directa}$	0 - 0,2	0,2 - 0,5
8 $(M_{torsor basal}/Q_{basal})/r_{basal}$	0 - 0,2	0,2 - 0,5
9 $M_{eq. transl. acoplada}/M_{eq. transl. directa}$	0 - 0,5	0,5 o más
10 $Q_{basal acoplado}/Q_{basal directo}$	0 - 0,5	0,5 o más
11 $M_{volc. basal acoplado}/M_{volc. basal directo}$	0 - 0,5	0,5 o más
Redundancia Estructural y Demanda de Ductilidad		
12 Número Ejes Resistentes	más de 3	2 - 3
13 R**	inferior a 3	3 - 7

INFORMACIÓN RELEVANTE PARA EL DISEÑO SISMICO DE EDIFICIOS ALTOS.

Normalmente en edificios altos, las cargas por viento son las que controlan el diseño de la mayoría de los elementos estructurales que soportan cargas laterales. Sin embargo, en los países de alta actividad sísmica, como es el caso de Chile, se tienen que obligatoriamente revisar y diseñar elementos especiales para satisfacer la demanda de esfuerzos de las solicitaciones sísmicas.

La naturaleza de las solicitaciones sísmicas se materializa a través de fuerzas inerciales debidas a la masa inherente del edificio y las aceleraciones que se generan a través de la vibración de suelo y la estructura. Esto hace que en los edificios altos, junto con aumentar la altura, también se aumenta la masa que participa de este fenómeno, lo que a su vez aumenta las fuerzas inerciales. También los elementos estructurales verticales, como columnas y muros, pueden colapsar debido a efectos secundarios que se suman a los esfuerzos que normalmente soportan. Entre estos efectos secundarios, destaca el efecto p-Δ, asociado al levantamiento de la hipótesis de pequeñas deformaciones.

Otro aspecto importante a considerar es que los edificios altos por lo general poseen periodos fundamentales mayores a los de edificios normales lo que provoca que las aceleraciones a las que está sujeta la estructura sean menores. Por otro lado, los desplazamientos que se generan aumentan considerablemente.

Si bien los eventos sísmicos severos suceden con menor frecuencia que el viento, estos poseen consecuencias devastadoras si no se toman las medidas previsoras pertinentes. Es necesario tener un control sobre los desplazamientos que ocurren en la estructura. Esto busca evitar daños en los elementos principales así como en los elementos no estructurales como los tabiques y muros cortina, entre otros, y así también proteger los contenidos que existen dentro de las oficinas, que se suman a la protección de las personas que utilizan y habitan estos edificios.

El desplazamiento de entrepisos es un parámetro muy importante a ser controlado, ya que ayuda a cumplir con los objetivos anteriores. Considerando el hecho que la norma chilena aborda esto controlando el desplazamiento entrepisos para todo tipo de estructuras, en el caso de normas y códigos extranjeros no es tan claro. Algunas plantean límites de esfuerzos sobre elementos estructurales, los que pueden no ser exitosos en proteger a los ocupantes o los elementos no estructurales.

Los edificios altos, como cualquier otra estructura, estarán sujetos a un planteamiento previo, es decir, qué solución estructural aplicar para poder resistir los esfuerzos. Dependiendo de la cantidad de pisos o altura que se desee alcanzar, van a existir diversas soluciones estructurales. Además dependiendo de la región en que se construye, existen ciertos materiales que poseen mayor o menor disponibilidad.

En una estructura alta se debe buscar principalmente una serie de elementos claves que faciliten el flujo de esfuerzos, agilicen la construcción, minimicen los costos, etc. El principal elemento en este caso es la simetría. Un edificio alto debe ser preferentemente simétrico, tanto en planta como en elevación. Esto sirve para evitar efectos inducidos debido a excentricidades de la rigidez en ciertas zonas, con el objeto de evitar las aperturas en losas o muros de manera desordenada, además de buscar la continuidad de ciertos elementos principales.

Los sistemas estructurales que resisten los esfuerzos laterales deben poseer controles en sus desplazamientos relativos de entrepisos, así como de esfuerzos en sus elementos, para evitar fallas frágiles.

En general, es necesario ver el sistema estructural como un todo, no individualmente como muros, losas, columnas y vigas. Concebirlo como un sistema integrado que va a sufrir grandes esfuerzos, algunos más allá de su rango elástico y que éstos pueden hacer fallar ciertas partes del sistema, es el centro de mayor atención para lograr un buen diseño. Sin embargo, deben existir otros elementos (redundantes) que estarán dispuestos a soportar la redistribución de esfuerzos y que ayudaran a la estabilidad y seguridad del edificio.

Es por esto que además de incluir los dos casos Chilenos de edificios por sobre los 150 metros, se han incorporado 4 edificios altos internacionales. Cada uno posee distintas características de estructuración y aportaran información valiosa sobre su comportamiento dinámico frente a sismos. Estos edificios fueron modelados e investigados como parte de un trabajo de título llamado “Calificación Sísmica de Edificios Altos” (3).

RASCACIELOS EMPLEADOS.

a) Torre Jin Mao. (4)

La Torre Jin Mao fue terminada el año 1998 y se ubica en Shanghái, China. El proyecto consiste en un edificio de 88 pisos útiles y posee una altura de 421 metros hasta su antena, siendo el 8° edificio más alto del mundo.

El conjunto de elementos estructurales del edificio diseñados para resistir las cargas laterales de viento y sismo está constituido por: 1) 8 mega-columnas compuestas de hormigón armado y perfiles de acero. 2) Un núcleo de muros de hormigón armado donde sus muros varían de espesor desde los 850[mm] en la base hasta llegar a los 450[mm] en los últimos pisos. 3) Un sistema de riostras de acero

(Outrigger Truss) de dos pisos de altura que unen las mega-columnas con el núcleo. 4) Finalmente, un enrejado superior de acero (Cap Truss) que funciona como un “techo” mecánico que une el trabajo de las columnas frente a cargas laterales.

Adicionalmente a estos elementos, el edificio cuenta con una piscina en el piso 57 que actúa como un disipador pasivo de energía.

b) Taipéi 101. (5)

El Taipéi 101 es el 2º edificio más alto del mundo con 509 metros hasta la cúspide de la torre de comunicaciones. Su construcción terminó en fines del 2004 y encontrándose ubicado en la ciudad de Taipéi, capital de Taiwán. El edificio tuvo su primera prueba de resistencia en marzo del 2002 cuando un terremoto de 6.8 grados en escala Richter azotó la ciudad.

El detalle de los elementos estructurales es: 1) 8 Mega-Columnas CFT (Concrete Filled Tube: tubo de acero relleno de hormigón) hasta el piso 62, ya que desde ese piso hacia arriba dejan de estar llenas de hormigón. 2) 8 Sub-Mega-Columnas CFT que llegan hasta el piso 26. 3) 8 Columnas CFT en las esquinas del edificio hasta el piso 26. 4) En el núcleo del edificio se ubican 16 Columnas CFT con riostras que varían entre diagonales y riostras tipo chevron, dependiendo de la ubicación de entradas a la zona de elevadores y puertas. 5) Marco especial para resistencia del momento (Special Moment Resisting Frame o SMRF). Este sistema se ubica en todo el perímetro uniendo las columnas, creando una grilla, siguiendo la forma exterior de la torre. Cada 8 pisos, las cargas son transmitidas desde el SMRF a las Mega-Columnas. 6) Desde el subterráneo hasta el piso 8, la zona que comprende el núcleo del edificio posee muros de corte de hormigón armado dejando las columnas, vigas y riostras de acero, embebidas en el hormigón. 7) Para unir el núcleo al perímetro se ubican riostras tipo Outrigger Truss. También se agrega a este sistema otro tipo de riostras perimetral del tipo Belt truss. 8) Al mismo tiempo, el edificio posee el amortiguador de masa sintonizada más grande del mundo. Pesa 662 toneladas, se ubica en el piso 92 colgado hasta el piso 88 y se encuentra visible para el público.

c) Torres Petronas. (6)

Las Torres Petronas se ubican en la ciudad de Kuala Lumpur, capital de Malasia. Las torres corresponden a dos edificios gemelos que se levantan 452 metros de altura, que las convierten en el 4º edificio más alto del mundo.

Las características estructurales del edificio son: 1) 16 Columnas de hormigón armado que forman parte de un marco tubular que rodea el núcleo en forma circular. Las columnas están unidas por vigas de hormigón armado en todos los pisos. 2) Núcleo de muros de hormigón armado. Los muros que componen este núcleo poseen espesores que van desde los 750 [mm] hasta los 350 [mm] 3) Entre el piso 38 y el 40 se ubica un sistema de 4 vigas de traspaso de esfuerzo (Outrigger Beams). Estas traspasan los esfuerzos desde el anillo de columnas al núcleo de muros, otorgándole mayor rigidez a la estructura. 4) Finalmente, los dos edificios poseen un Bustle o Edificio Talón que llega hasta el piso 41, el que está compuesto por un anillo de columnas y vigas de hormigón armado unido por vigas a la estructura principal.

d) Central Plaza. (7)

El Central Plaza se encuentra en la ciudad de Hong Kong, China. Este edificio de 374 metros y 78 pisos de altura vio terminada su construcción el año 1992. Actualmente es el 13º edificio más alto del mundo.

El detalle de la estructuración de este edificio de base triangular se explica a continuación: 1) En los primeros 30 metros de la estructura existen 24 columnas de hormigón armado con un diámetro de 3 metros. 2) Núcleo de muros de hormigón armado que está compuesto por una serie de muros paralelos a las fachadas del edificio. El espesor de los muros varía según la ubicación que éstos posean. La parte inferior del núcleo de la torre está hecho para resistir el 100% de los esfuerzos de

corte que presentase la estructura. 3) En la parte superior del edificio se ubica un SMRF que soporta la mayoría de las cargas laterales. Las columnas que conforman este sistema varían sus dimensiones como su distribución, a medida que aumentan los pisos. 4) El edificio posee una zona de transferencia de esfuerzos compuesta por una gran viga (de 5,5 x 2,8 metros) que se ubica entre los pisos 3 y 4. Esta gran viga transmite los esfuerzos del marco superior al sistema de columnas inferior que es más flexible y que sólo resiste cargas verticales. Todos los esfuerzos de corte son transmitidos a través de una losa de 1,0 metro de espesor que se ubica en el piso 3. Para asegurar una transferencia de esfuerzos en ese lugar todas las losas cercanas se dejan con apoyos deslizantes.

e) Torre Titanium.

La Torre Titanium se encuentra en la zona oriente de la ciudad de Santiago, Chile. Tiene 190 metros de altura y 52 pisos y fue terminado el año 2010, convirtiéndose en el edificio más alto de Chile. La arquitectura estuvo a cargo de Senarq y la ingeniería estructural estuvo a cargo de la oficina de Alfonso Larraín Vial y Asociados.

A continuación se presentan algunos detalles de la estructura: 1) La torre posee 12 columnas perimetrales que nacen en los subterráneos y que van disminuyendo de tamaño y capacidad en su altura. En la sección inicial las columnas se revisten con una camisa de acero. 2) El núcleo está formado por muros de hormigón armado que varía en espesor y resistencia a lo largo de la altura de la torre. Además, un eje de muros longitudinales posee, distribuidos en la altura del edificio, disipadores de energía para mejorar el confort frente a cargas eventuales. 3) Finalmente, el edificio posee en cada extremo, dos muros muy esbeltos, que se conectan mediante diagonales en cruz, en cuyo cruce se ubica un disipador de energía.

f) Gran Torre Costanera.

La Gran Torre Costanera se encuentra también en la zona oriente de Santiago, Chile. Este edificio de 300 metros de altura y 70 pisos, se encuentra en construcción desde 2006. Al término de su construcción se convertirá en el edificio más alto de Latinoamérica. La arquitectura está a cargo de la oficina Alemparte Barreda y Asociados junto con el apoyo del connotado arquitecto Cesar Pelli y la ingeniería estructural está a cargo de la oficina de René Lagos y Asociados.

Algunos detalles de la estructura se explican a continuación: 1) 12 columnas perimetrales de hormigón armado unidas con vigas. 2) Un núcleo de muros de hormigón armado cuyo espesor varía con la altura.

ESPECTRO DE RESPUESTA UTILIZADO EN LOS EDIFICIOS INTERNACIONALES.

El espectro utilizado en los edificios es el de la norma NCh2745.Of03 (8) sección 8.4. Esto es debido a que este espectro se encuentra calibrado para estructuras de periodos más largos que los que tradicionalmente se construyen en el país, ya que está hecha para edificios con aislación sísmica. Si bien los edificios que se modelaron no poseen aislación sísmica, sí poseen períodos muy largos para la práctica en Chile lo que hace que el espectro de la norma NCh433.Of96 (9) no sea aplicable.

Según los parámetros del espectro de Newmark & Hall (8) se utilizaron los valores indicados para un suelo tipo II (Zona Santiago).

Si bien este espectro no fue el utilizado para diseñar realmente estos edificios, si nos dará una base para poder comparar los resultados que se obtengan en los distintos edificios en estudio.

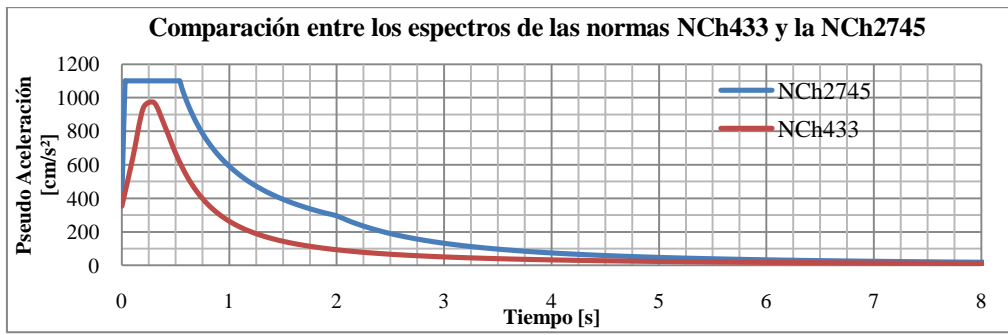


Figura 1 - Comparación entre los espectros de la NCh2745 y la NCh433 para R=1.

RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos para los edificios altos contrastados con los resultados del perfil original. El número de casos corresponde a las dos direcciones ortogonales de análisis para cada uno de los edificios, es decir, 12 y 1170 respectivamente.

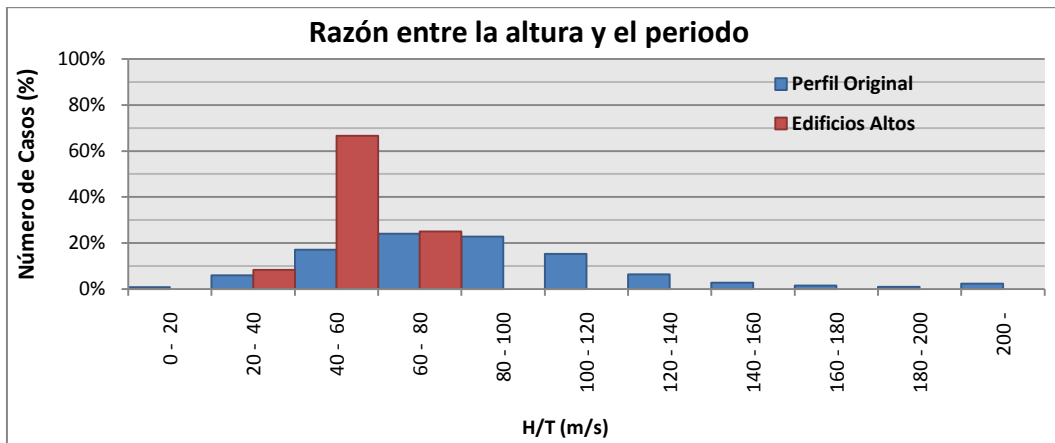


Figura 2 – Resultados para el indicador 1.

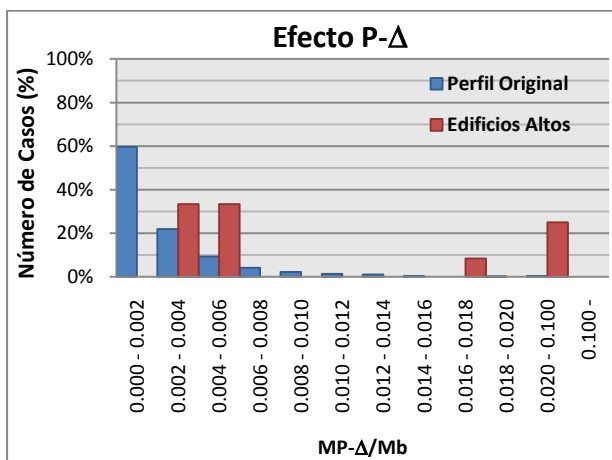


Figura 3 – Resultados para el indicador 2.

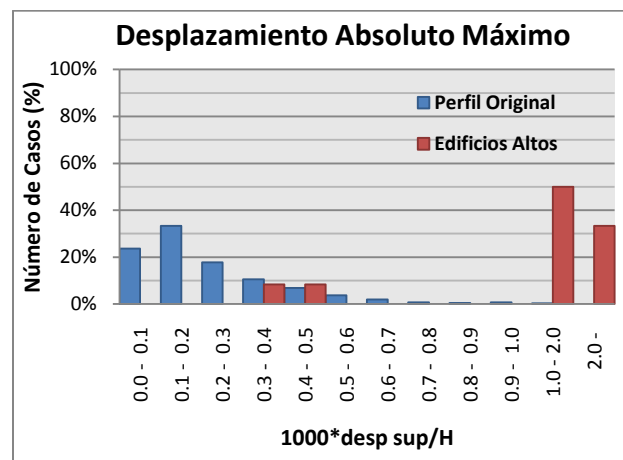


Figura 4 – Resultados para el indicador 3.

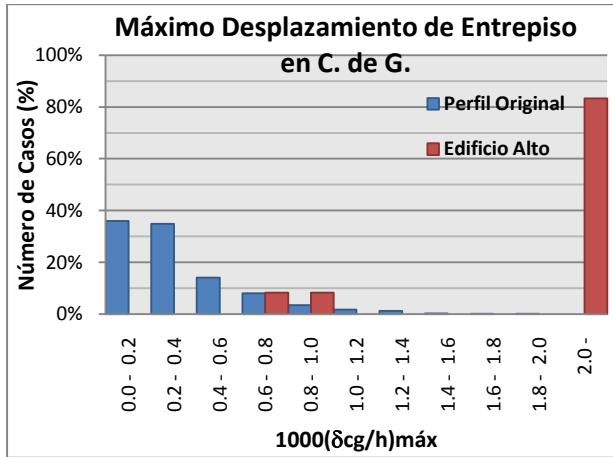


Figura 5 – Resultados para el indicador 4.

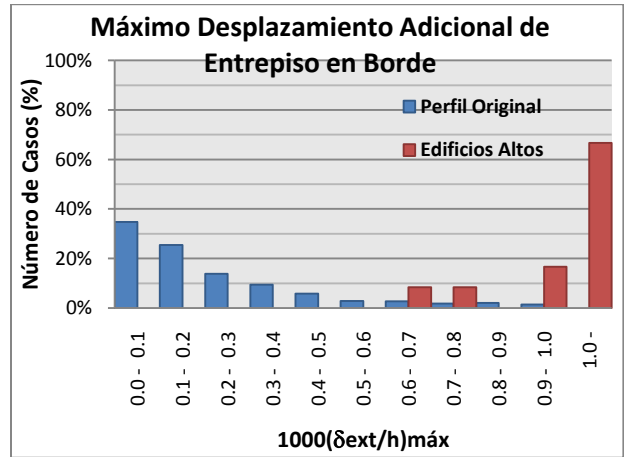


Figura 6 – Resultados para el indicador 5.

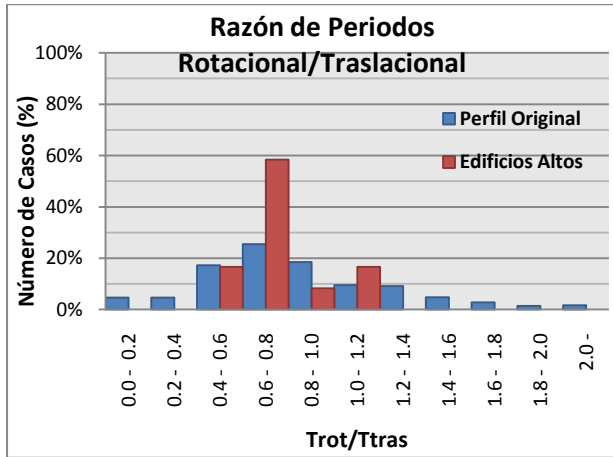


Figura 7 – Resultados para el indicador 6.

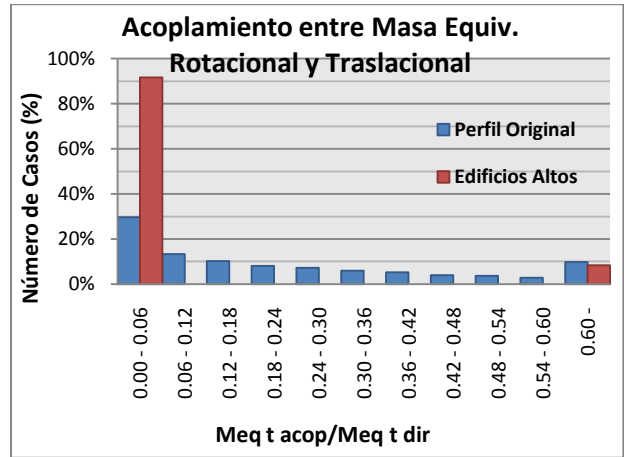


Figura 8 – Resultados para el indicador 7.

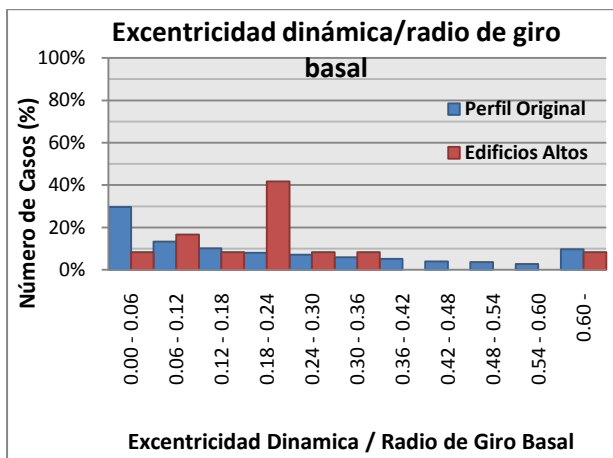


Figura 9 – Resultados para el indicador 8.

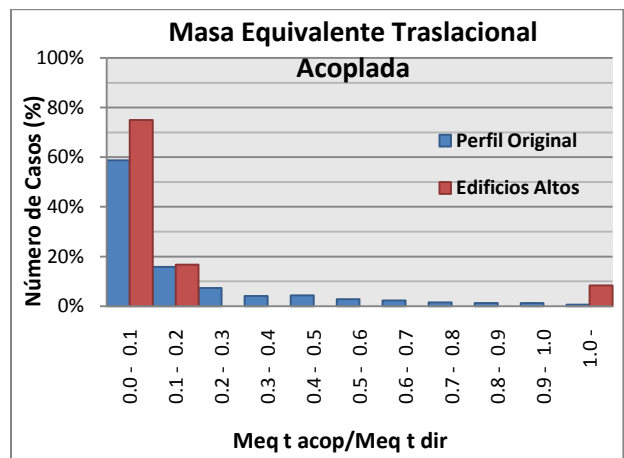


Figura 10 – Resultados para el indicador 9.

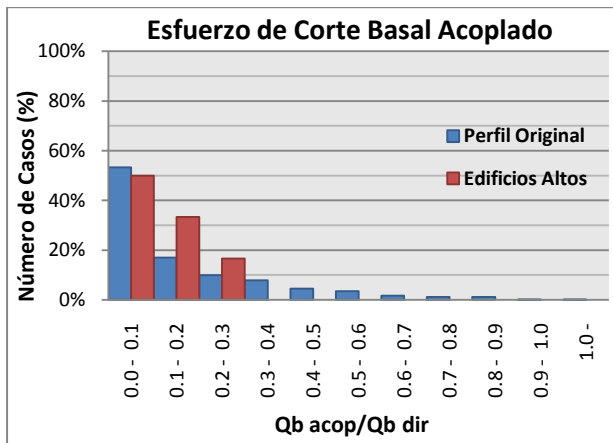


Figura 11 – Resultados para el indicador 10.

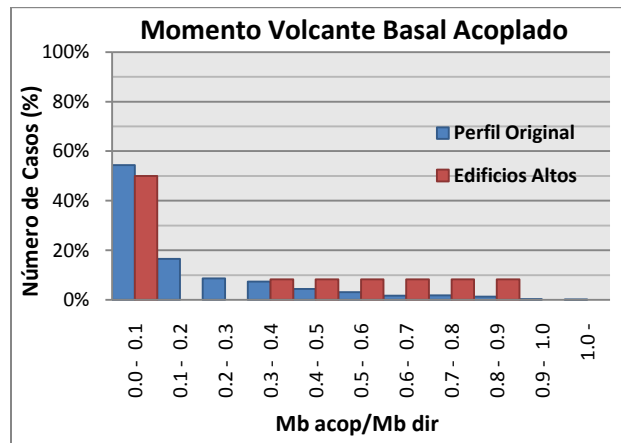


Figura 12 – Resultados para el indicador 11.

CONCLUSIONES

En el marco de este trabajo, se logró utilizar los datos obtenidos de modelos aproximados de alguno de los edificios más altos del mundo a partir de información disponible públicamente. Estos modelos, si bien no son exactos, tuvieron un comportamiento muy cercano a la estructura real, lo cual fue corroborado con información de la literatura. Además se incluyeron los datos de dos proyectos construidos en Chile.

Se puede concluir que los indicadores del perfil Bío-Sísmico siguen teniendo validez, en su mayoría, para calificar estructuras de este tipo. Además, los rangos determinados en el estudio original siguen teniendo utilidad y describen la “salud” del edificio.

El parámetro H/T sigue teniendo validez absoluta y logra calificar exitosamente los edificios. También es válido el indicador del efecto $P-\Delta$, cuyos valores describen si va a ser necesario un análisis más minucioso de este efecto.

En el caso de los indicadores de los desplazamientos en los niveles superiores y en los de entresijos, la respuesta fue variada. Si bien el indicador es absolutamente válido para medir la respuesta de la estructura, se detectó que los valores máximos superan los rangos establecidos en el estudio de Guendelman et al. Esto requirió un análisis más profundo de lo que sucedía piso a piso con la estructura y evidenció que la gran mayoría de las zonas en que se obtenían desplazamientos muy por sobre los rangos aceptados eran lugares puntuales de la estructura, ubicadas generalmente donde el edificio variaba en dimensiones de planta y altura de forma exagerada. Por lo general estas zonas se ubicaban en los últimos pisos que eran los que arrojaban resultados que escapaban a la media.

Viendo la distribución de los desplazamientos de entresijo, se pudo observar que en ambos casos medidos la mayoría de estos valores se encuentra por debajo del 6%, valor que si bien supera el 2%, que establece la norma chilena NCh433.Of96, es aceptable tomando en cuenta que el límite del 2% de la NCh433.Of96 está pensado para un sismo de diseño y en el caso de los edificios altos internacionales se usó un sismo elástico. Un caso similar sucede con los edificios chilenos donde el espectro fue reducido por R y luego se amplificó por corte mínimo provocando un estado de diseño muy próximo al elástico. En estos edificios fue necesario generar una estructura resistente que cumpliera cabalmente la NCh433.

Parece necesario replantear el límite de desplazamiento de entresijo para que pueda ser escalado o ajustado en función del tipo de espectro que se utiliza.

Respecto a los indicadores de acoplamiento, se pudo observar que poseían un comportamiento satisfactorio, restringiendo sus valores en la mayoría de los casos a los postulados en el Perfil Bío-Sísmico.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la valiosa colaboración de los ingenieros que participaron en el análisis y diseño de los edificios constituyentes de la muestra original. Así como también, agradecen a los ingenieros que ayudaron a resolver dudas respecto de los rascacielos internacionales.

REFERENCIAS

- (1) Council on Tall Buildings and Urban Habitat, www.cbtuh.org
- (2) Guendelman B., Tomas, Guendelman B., Mario, Lindenberg B., Jorge, 1997, “Perfil Bio-Sísmico de Edificios”, *VII Jornadas Chilenas de Sismología e Ingeniería Antisísmica y Primer Congreso Iberoamericano de Ingeniería Sísmica*, La Serena, Chile.
- (3) Henocho, Ricardo, 2007, “Calificación Sísmica de Edificios Altos”, Trabajo de título.
- (4) Korista, Stanton D., Sarkisian, Mark P., Abdelrazaq, Ahmad K., 1997, “An optimal use of concrete in high-rise concrete building design – The Jin Mao Tower”, *NCMEC Session: High-Rise Concrete Buildings. International Case Studies*.
- (5) Shieh, Shaw-Song, Chang, Ching-Chang, Jong, Jiun-Hong, 2003, “Structural design of composite super-columns for the Taipei 101 Tower”, *National Center for Research on Earthquake Engineering*, Taiwan.
- (6) Mohamad, Hamdan, Choon, Tiam, Azam, Tarique, Tong, Stephen, 1995, “The Petronas Towers – The Tallest Building in the World”, *Proceedings of the fifth World Congress*.
- (7) Ayres, P. G., Macarthur, J. M., 1993, “The structural engineering design of Central Plaza, Hong Kong”, *The Structural Engineer*, Vol. 71, No. 11.
- (8) Instituto Nacional de Normalización, 2003, “Análisis y Diseño de edificios con aislación sísmica”, NCh2745.Of03.
- (9) Instituto Nacional de Normalización, 1996, “Diseño Sísmico de edificios”, NCh433.Of96.