

🚩 **El Palacio Nacional** de Haití (Palacio Presidencial), ubicado en Puerto Príncipe, severamente dañado tras el terremoto del 12 de enero de 2010. Este edificio era de dos plantas; el segundo piso se hundió completamente. WIKIPEDIA. LOGAN ABASSI



➤ **En Concepción**, Chile, el edificio Alto Río, de 15 pisos, colapsó a menos de un año de su inauguración, siendo una de las imágenes emblemáticas del terremoto. WIKIPEDIA. CLAUDIO NÚÑEZ

Polos opuestos:

Evaluación post-sísmica de estructuras tras los eventos de Haití y Chile

Álvaro Camilo Bravo López. Ingeniero Civil M.Sc.

Víctor Manuel Hewitt Valbuena. Ingeniero Civil M.Sc.

Coordinación de Asistencia Técnica de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias-DPAE

Introducción

El 12 de enero de 2010 se presentó un sismo de magnitud 7.0 que afectó Puerto Príncipe, la capital de Haití, con un saldo cercano a 220 mil muertos. Tan solo mes y medio después, el 27 de febrero un sismo con magnitud 8.8 azotó la costa central de Chile afectando, entre otras, la ciudad de Concepción, la segunda más importante del país.

La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias – DPAE, en cumplimiento de su función como ente coordinador del riesgo en la ciudad de Bogotá, desplazó equipos a ambos países con el propósito de evaluar los protocolos establecidos por la entidad para la atención de un probable evento de gran magnitud que afecte al Distrito Capital, así como con el propósito de entrenar su equipo profesional en la evaluación post-sísmica de estructuras e infraestructura. Las actividades fueron realizadas en coordinación con la Dirección Nacional de Gestión del Riesgo del Ministerio del Interior y de Justicia de Colombia.

El artículo presentado a continuación, dividido en dos partes, contiene sendas recopilaciones desde el punto de vista de la ingeniería, de las evaluaciones realizadas por los ingenieros de la Coordinación de Asistencia Técnica a estructuras indispensables en la ciudad de Cabaret, ubicada al costado nor-occidental de la ciudad de Puerto Príncipe (Haití) y en edificios en altura en la región de Biobío, 500 km al sur de Santiago de Chile. Se incluye también una serie de observaciones y conclusiones que tienen en cuenta las lecciones de las experiencias alcanzadas durante las dos misiones, aplicadas al trabajo que desarrolla la DPAE en Bogotá D.C. con el propósito de preparar la ciudad ante un evento sísmico de gran magnitud.

Evaluación de edificaciones en la ciudad de Cabaret (Haití)

Resumen del evento

Hacia las 16:30 horas del 12 de enero de 2010, se presentó un sismo de magnitud $M_w = 7.0$, con epicentro a 13 km de profundidad y localizado a 25 km al Suroeste de la ciudad de Puerto Príncipe; de acuerdo con el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS), el evento causó la muerte de al menos 200.000 personas y adicionalmente causó el colapso de cerca de 250.000 viviendas y 30.000 edificios comerciales.

Población y economía antes del sismo

La población estimada de Haití para el año 2009 es de 9.035.536 personas, con cerca del 47% de la población habitando zonas urbanas; el pueblo haitiano sufre los efectos de la alta tasa de mortalidad debido al SIDA, la alta tasa de mortalidad infantil y la disminución en las expectativas del tiempo de vida, situando el mismo alrededor de los 60 años.

Haití es el país más pobre de América; cerca del 80% de su población está por debajo de la línea de pobreza (el 54% vive en la pobreza extrema), con una economía principalmente de subsistencia, es decir, se vive prácticamente para obtener alimentos. Gran parte de su economía (40% del Producto Interno Bruto) proviene de las remesas enviadas por emigrantes.

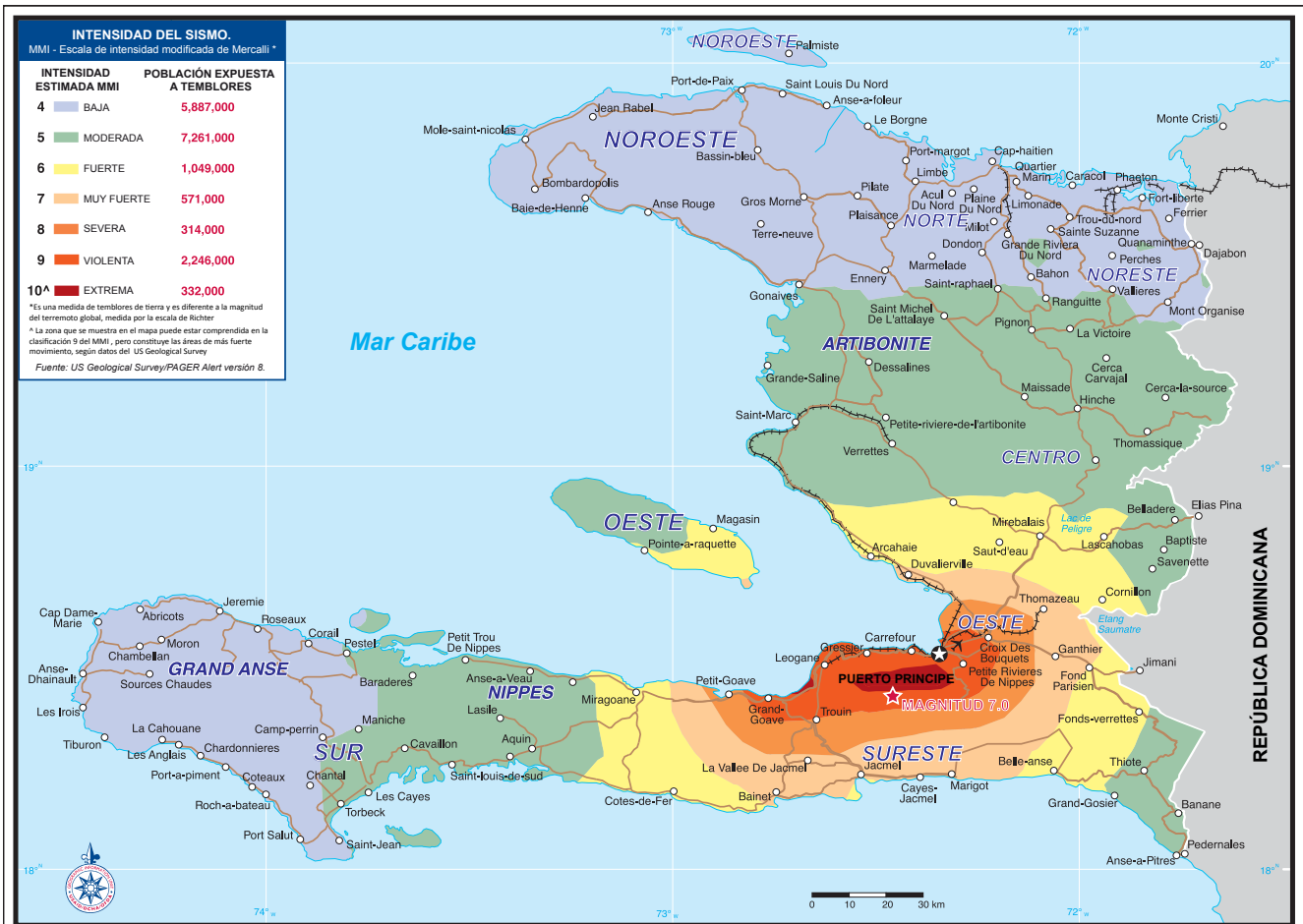
Dos tercios de la población haitiana depende de la agricultura, lo que genera un alto grado de vulnerabilidad ante daños por frecuentes desastres naturales. Si bien la economía registró un crecimiento positivo desde el 2005, en 2008 tuvieron lugar cuatro tormentas tropicales que afectaron gravemente la infraestructura de transporte y el sector agrícola. Haití sufre, además, un vacío en el sector de inversiones extranjeras debido a la inseguridad, a la infraestructura limitada y a un severo déficit comercial, aspectos que en conjunto potencializan el retroceso en los esfuerzos por la recuperación del país; todo ello denota una condición de extrema vulnerabilidad tanto en lo social como en la economía y la política.

Reglamentación de la construcción

En Haití no existe una ley de ordenamiento territorial ni normativa propia alguna que regule la actividad constructiva en lo referente a establecer lineamientos para implementar las condiciones mínimas de calidad, tipo de materiales y especificaciones técnicas de diseño y construcción de estructuras sismo-resistentes, que tengan el objetivo de garantizar aspectos como estándares de calidad, seguridad, funcionalidad y durabilidad de las edificaciones. Según la conveniencia de los propietarios de las edificaciones se adaptan códigos de construcción franceses y americanos, por lo cual hay grandes diferencias en cuanto a distribución arquitectónica y número de niveles, como también en calidad, tipo y método de instalación de los materiales, que dependen principalmente de la capacidad económica y los deseos del propietario de la obra. Por lo anterior hay una vulnerabilidad física de gran magnitud, intrínsecamente relacionada con la vulnerabilidad económica, política y social que presenta el país.

Localización y descripción del área de trabajo

La ciudad de Cabaret se localiza a 50 km al NW de Puerto Príncipe, con un área de 211,7 km² y 63.450 habitantes; se encuentra dividida en cinco secciones 1, 2, 4, 9 y centro, secciones en las cuales se llevaron a cabo las actividades de evaluación post sísmica a edificaciones indispensables, tanto gubernamentales como privadas, de comercio y algunas viviendas, escogidas de acuerdo con las necesidades primarias planteadas por el Ministerio del Interior y de la Colectividad Territorial y la Dirección de Protección Civil del Gobierno haitiano, con base en un censo preliminar levantado por dicho ente estatal.



Localización del epicentro del terremoto en Haití - 12 de enero de 2010. WIKIPEDIA

Tipología estructural de los edificios evaluados

Durante la permanencia en la ciudad de Cabaret, se evaluaron 117 edificaciones, identificando los niveles de afectación y de generación de riesgo público, actividad que benefició a aproximadamente 28.985 personas usuarias y/o vecinas de dichas edificaciones.

Ninguna de las edificaciones evaluadas supera dos niveles en altura; no presentan unidades funcionales ni habitacionales bajo el nivel de superficie del terreno, caracterizándose por propender por diseños arquitectónicos convencionales, dando mayor importancia a la funcionalidad de la edificación. Se destaca que 83 de las estructuras evaluadas (79,5% del total), presentan sistemas constructivos como estructuras confinadas, aperticadas y parcialmente confinadas, reflejando una tendencia a implementar mejor calidad de estructuras en edificaciones indispensables, gubernamentales, educativas y/o donde se presentan aglomeraciones de público, lo cual contrasta con el 20,5% restante que corresponde a estructuras construidas en mampostería simple y materiales de recuperación.

El 51,3% del total de las estructuras evaluadas (60) se encuentran construidas en mampostería parcialmente confinada, por lo cual el presente artículo las analiza con mayor detalle. Al hablar de un sistema estructural parcialmente confinado nos referimos a estructuras en las cuales los muros de cerramiento perimetral y divisorios, conformados por mampuestos del tipo bloque hueco de concreto, funcionan como muros de carga, observándose la existencia de columnas aisladas en concreto reforzado, las cuales carecen de vigas u otros elementos estructurales de amarre entre las mismas. Dicha configuración estructural presenta alto nivel de vulnerabilidad física puesto que los muros en mampostería son los responsables de soportar todos los esfuerzos generados no solo por las

cargas normales de servicio sino también por las cargas dinámicas impuestas en este caso por un evento sísmico.

En general, las estructuras evaluadas presentan serias deficiencias constructivas relacionadas con la baja calidad y la incorrecta disposición de los materiales utilizados en los elementos estructurales. A continuación se describen algunas edificaciones que fueron evaluadas o sujetas a inspección en Cabaret:

Alcaldía: es un edificio institucional de dos niveles que presenta columnas de sección cuadrada de cerca de 20 cm de lado y de sección circular de cerca de 60 cm de diámetro, cuya localización se concentraba especialmente en la zona de acceso de la edificación. Se observaron agrietamientos de tendencia diagonal en las dos direcciones en muros del primer nivel. De igual manera se apreció que el refuerzo –debido a la exposición del acero en las placas de concreto que conforman las escaleras de acceso al segundo nivel de la edificación consistía en barras lisas con diámetros de entre 8 mm y 9 mm. Se comprobó la baja calidad del concreto de los elementos estructurales, dado que se presenta un porcentaje muy bajo de agregado fino y cemento, en contraste con una alta cantidad de agregado grueso, constituido principalmente por cantos redondeados de río con diámetros nominales de entre 2 cm y 3 cm, en elementos con dimensiones cercanas a los 10 cm.



Vista del acceso al edificio de la Alcaldía de Cabaret, evidencia de agrietamientos diagonales en muros. CORTESÍA DPAE



Detalle refuerzo en escaleras de acceso al segundo nivel de la Alcaldía de Cabaret. CORTESÍA DPAE

Comisaría: edificio institucional de un nivel, con piso y cubierta conformados por losas macizas de concreto reforzado de espesor aproximado de 30 cm. La edificación sufrió colapsos totales y parciales de muros, especialmente los de cerramiento perimetral, así como agrietamientos de tendencia diagonal en dos direcciones hacia la parte media de los muros, y de tendencia horizontal hacia la sección alta de los mismos, en el sector de unión con la placa de cubierta. Adicionalmente, hubo desprendimiento de capas de pañete con espesores de aproximadamente 1 cm en muros, situación que genera una condición de riesgo, dada la posibilidad de desprendimiento total de dichos materiales en el corto plazo y por lo cual se tomaron acciones inmediatas, tendientes al retiro controlado de los mismos.

AVISO METECNO



Colapso parcial en muros de cerramiento perimetral de la Comisaría de Cabaret. CORTESÍA DPAE



Retiro controlado de pañete en muros de cerramiento perimetral de la Comisaría de de Cabaret. CORTESÍA DPAE

Marche - Cabaret: Edificio para funcionamiento de comercio público, ubicado hacia el sector central de la ciudad. Se encuentra conformado por una estructura de dos niveles donde funcionan oficinas administrativas y una estructura tipo bodega que presenta columnas aisladas de secciones variables entre 20 y 30 cm de lado. Dichos elementos estructurales no presentan un orden específico en su disposición espacial, situación que sugiere la carencia de diseños arquitectónicos y estructurales detallados de la edificación.



Deficiencias constructivas en columnas de la estructura del Marche - Cabaret. CORTESÍA DPAE

Se presentaron agrietamientos de tendencia diagonal y horizontal en muros de cerramiento perimetral. De igual manera, ocurrió la falla por cortante de algunas columnas, afectación directamente relacionada con la presencia de graves deficiencias de diseño y construcción, entre las que se cuenta la reducida cuantía de acero de refuerzo para cortante, dado que los flejes están constituidos por barras lisas y fueron dispuestos con un espaciamiento cercano a los 20 cm, el cual no varía en toda la longitud del elemento. De nuevo pudo apreciarse una baja calidad del concreto, con un porcentaje muy bajo de agregado fino y cemento, en contraste con una alta cantidad de agregado grueso, principalmente constituido por cantos redondeados de río, con diámetros nominales de entre 2 cm y 3 cm; se destaca también la incorrecta disposición de las tuberías de la red de alcantarillado interno de la estructura evaluada, dado que las mismas se fueron colocadas al interior de algunas columnas.

Centre de Lecture y D'Animation Culturelle: Edificio de función educativa, ubicado en el sector central de la ciudad, correspondiente a una estructura de dos niveles donde funcionan oficinas administrativas y aulas de clase, con entresuelo en losa maciza de concreto reforzado de 30 cm de espesor aproximado. El edificio sufrió colapsos parciales de muros de cerramiento perimetral y divisorios, así como agrietamientos de tendencia diagonal en la altura total de dichos elementos. Se destacan algunas deficiencias constructivas de gravedad, relacionadas con la falta de continuidad en los elementos estructurales, especialmente en las columnas.



Agrietamientos de tendencia diagonal en muros divisorios en la estructura del Centre de Lecture y D'Animation Culturelle. CORTESÍA DPAE



Carencia de continuidad en columnas presentes en la estructura del Centre de Lectura y D'Animation Culturelle. CORTESÍA DPAAE

Entre los factores que posiblemente contribuyeron a la ocurrencia de las afectaciones y daños presentes en las edificaciones descritas anteriormente se consideran:

- Condiciones de suelos arenosos y depósitos coluviales que se encuentran en las zonas costeras, los cuales facilitan la amplificación de las ondas sísmicas, propician fenómenos de licuación e inducen una importante interacción suelo-estructura.
- Ausencia de elementos estructurales de confinamiento y amarre tipo vigas y columnas en todas las edificaciones inspeccionadas y descritas en los párrafos anteriores.
- Incorrecta disposición, baja cantidad y deficientes características del acero de refuerzo tanto longitudinal como transversal en elementos estructurales como columnas, dado que se trata de barras lisas; en los estribos presentan espaciamientos no menores de 20 cm que son constantes en toda su longitud.
- Baja calidad en la mezcla de concreto, asociada a una relación de los materiales utilizados, rica en agregado grueso correspondiente a cantos redondeados y lisos de río, y pobre en cemento y agregado fino.
- Carencia de diseños estructurales y geotécnicos apropiados que determinen las especificaciones técnicas de cada elemento estructural que ha de conformar las estructuras a construir. Esta situación pone al descubierto la inminente necesidad de generar y aplicar una normatividad para la construcción de edificaciones sismo-resistentes.

Evaluación de edificaciones en altura en San Pedro de La Paz y Concepción, Chile

Resumen del evento

En la madrugada del 27 de febrero de 2010 (3:34 a.m., hora local) tuvo lugar un sismo con magnitud $M_w = 8,8$ con epicentro a 35 km de profundidad y localizado a 335 km al Suroeste de Santiago, en las costas del Pacífico chileno. De acuerdo con el USGS, el fenómeno causó la muerte de al menos 507 personas, gran parte de ellas inmoladas por el tsunami que golpeó las zonas costeras pocos minutos después, además de daños en por lo menos 200 mil viviendas. El sismo se sintió con intensidad en Chile y Argentina y con menor fuerza en Brasil, Paraguay, Perú y Uruguay. En el período entre el 27 de febrero y el 11 de marzo se registraron 297 réplicas de magnitud mayor o igual a 5,0 y 21 réplicas con magnitud mayor o igual a 6,0.

Notas sobre la población y la economía chilena antes del sismo

La población estimada de Chile para el año 2009 fue ligeramente superior a los 17 millones, con una densidad de 22,62 habitantes por km^2 . Se estima que el crecimiento demográfico ha disminuido en los últimos años. La esperanza de vida de los chilenos se sitúa en 77 años, la más alta de América Latina. El más reciente censo (2002) estableció que cerca del 87% de la población habita zonas urbanas.

El Producto Interno Bruto nominal de Chile para el año 2008 fue estimado en USD 169.458 millones, entregando un PIB per cápita de USD 10.117 (segundo en Latinoamérica después de Venezuela) y una Paridad de Poder Adquisitivo (PPA) de USD 14.530 per cápita (la mayor de la región). Adicionalmente, cuenta con el Índice de Desarrollo Humano más alto de Latinoamérica. A causa de estos indicadores, la economía chilena es considerada una de las más desarrolladas de la región, estimándose que llegará a ser un país desarrollado entre 2018 y 2020. La tasa de desempleo para 2006 se estimó en 7,8% y el porcentaje de pobreza

Terremoto de Chile



Localización del epicentro del terremoto del 27 de febrero de 2010, así como de la ciudad de Concepción, perteneciente al área en la que se concentraron los trabajos de evaluación por parte del personal de DPAAE. FUENTE: USGS

en 13,7% (llegaba a 45,1% en 1987). A pesar de sus grandes avances económicos, Chile sigue mostrando gran inequidad en la distribución de los ingresos, que lo ubica junto con Brasil, Bolivia y Paraguay entre los cuatro países más desiguales de Latinoamérica.

La normativa de sismo-resistencia

La NCh 433 corresponde a la norma que contiene las especificaciones mínimas para el diseño sísmico de edificios. La NCh 433 ha presentado tres versiones (1972, 1993 y 1996) y, al igual que la normativa colombiana, está orientada a lograr estructuras que: a) resistan sin daños movimientos sísmicos de intensidad moderada; b) limiten los daños en elementos no estructurales durante sismos de mediana intensidad; c) aunque presenten daños, eviten el colapso durante sismos de intensidad excepcionalmente severa.

A diferencia de la norma sismo resistente colombiana, NSR-10, que integra en una sola publicación los requisitos para todas las cargas y sistemas estructurales, la NCh 433 sólo hace referencia a las cargas sísmicas, equivaliendo al Título A de la NSR-10, por lo cual su aplicación no es suficiente para completar el diseño sísmico de las estructuras. Para proceder a la etapa de dimensionamiento de los elementos estructurales es necesario recurrir a las normas de diseño para el material específico de la estructura. Por ejemplo, para las estructuras de concreto reforzado, la norma chilena establece que deben usarse las disposiciones de las normas estadounidenses redactadas por el Instituto Americano del Concreto (ACI). Para las construcciones en mampostería reforzada se debe acudir a la norma NCh 1928, mientras que para la mampostería confinada (albañilería confinada por pilares y cadenas de concreto armado) se debe aplicar la NCh 2123.

Se destaca la existencia de la NCh 2369 enfocada al diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales, excluidas del alcance de la NCh 433, y que se basa en las experiencias obtenidas durante los sismos de Valdivia en 1960 y Valparaíso en 1985. Las disposiciones de la NCh 2369 implican mayor nivel de seguridad sísmica, lo cual pretende cubrir dos consideraciones:

- La magnitud de las pérdidas económicas que pueden producirse en una industria debido a la interrupción o suspensión del proceso productivo ante los daños ocasionados por el sismo en la estructura o en los equipos.
- El menor costo relativo de la estructura sismo-resistente de una obra industrial en comparación con el costo de los equipos que alberga. Es posible que esta norma, referida exclusivamente a instalaciones industriales, sea única de su tipo en el Mundo.

Volviendo a la NCh 433, la norma divide el país en tres zonas sísmicas, denominadas de oriente a occidente 1, 2 y 3, según lo cual la 1 corresponde a la zona Andina y la 3 a la zona costera sobre el Pacífico. Las edificaciones se clasifican en cuatro categorías de importancia, denominadas A, B, C y D, en que el grupo A agrupa las edificaciones indispensables del NSR-10 y el grupo D las de ocupación normal.

Localización y descripción del área de trabajo

La Región VIII o Región del Biobío se localiza aproximadamente en la parte central del territorio chileno, siendo su capital la ciudad de Concepción, localizada sobre el margen norte del río Biobío y a unos diez kilómetros de su desembocadura sobre el océano Pacífico. Se denomina Gran Concepción el área metropolitana de la capital, integrada entre otras ciudades y poblaciones por Concepción, Talcahuano (ubicado al norte, el más afectado por el tsunami que sobrevino al sismo) y San Pedro de La Paz, al sur. Concepción se localiza aproximadamente a 95 km al sur del epicentro del terremoto del 27 de febrero de 2010. San Pedro de La Paz está separado de Concepción por el Biobío cuyo cauce en dicho punto supera los 2 km de ancho; funciona como una ciudad dormitorio, con una población actual estimada en 180 mil personas.

La desembocadura del río se encuentra sobre una planicie litoral fluvio-marina generada por los cambiantes lechos fluviales del cuaternario. La sedimentación fluvial corresponde a arenas negras de origen volcánico (margen norte) y arenas blancas asociadas a alteración de granito intrusivo costero. Se destaca que a lo largo de miles

de años el cauce del Biobío ha sufrido cambios de dirección, por lo que hay sectores de Concepción construidos sobre antiguos brazos del río.

Tipología estructural de los edificios evaluados

En los años recientes, Chile ha experimentado un aumento muy notable en la construcción de edificios de gran altura (mayores a ocho niveles) en los que se usa un sistema estructural basado en muros de cortante en concreto, caracterizado por concebir edificaciones que omiten los muros exteriores en el sentido longitudinal (dimensión larga) con el propósito de proveer espacios para los parqueaderos en el primer nivel y ventanales amplios de fachada en los siguientes pisos. De este modo, los únicos muros de cortante en la dirección longitudinal se localizan a lado y lado del corredor central del edificio, dejando espacios abiertos en los ejes exteriores.

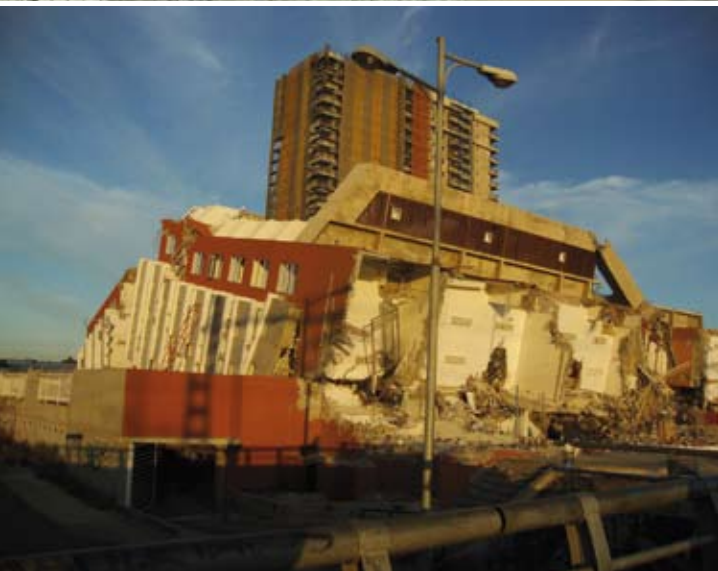
Dicha configuración pone en situación vulnerable los muros de cortante ubicados en la dirección transversal (dimensión corta) ya que ellos son los responsables de soportar todos los esfuerzos que impone la oscilación generada por el sismo en la dirección corta, que es a su vez la más esbelta.

Los muros transversales son ubicados generalmente con espaciamientos fijos a lado y lado del corredor, a diferencia de los dos muros extremos que cubren la totalidad del lado. Por lo general, los muros presentan aberturas para puertas y ventanas, lo que aumenta su vulnerabilidad.

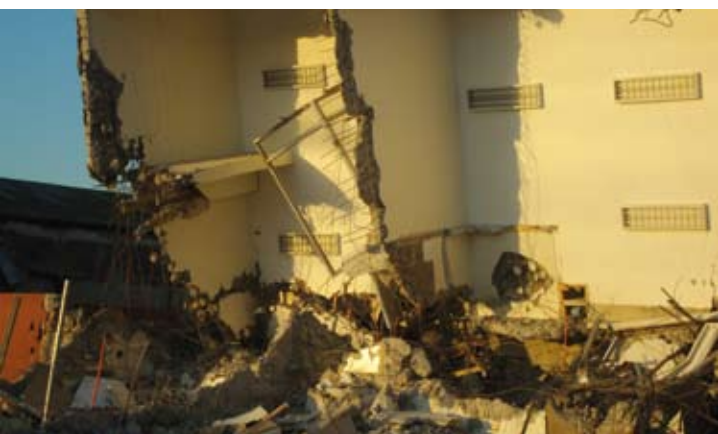
Se destaca igualmente que en ninguna de las edificaciones inspeccionadas (más de 20) se encontró el uso de losas aligeradas. Únicamente se encontraron losas macizas de concreto con espesores entre 15 y 20 cm, sin presencia de vigas de amarre entre los muros y que, a juicio del autor, en algunos casos se veían extremadamente delgadas para las luces que salvaban (estimadas mayores a 5 m) o para los voladizos que formaban (de hasta casi 3 m). Bajo tales condiciones surgen inquietudes acerca de la existencia real de la condición de diafragma rígido con el que muy probablemente fueron modelados y diseñados los edificios.

A continuación se describen algunos de los edificios que fueron evaluados o sujetos a inspección:

Edificio Alto Río (Concepción): Edificio residencial de 15 niveles, de edad no mayor a un año, con su dimensión larga en planta orientada en dirección Noroeste. Presentó falla en su base, se volcó hacia el norte y se partió a nivel del piso 9. En su interior fallecieron 8 personas, mientras que 79 fueron rescatadas con vida. De acuerdo con los testimonios de los sobrevivientes, el edificio no aguantó más de 30 segundos del movimiento sísmico. Según algunos informes, el edificio ya había sufrido daños durante un sismo de magnitud 5,3 que había afectado a Concepción dos meses antes. Durante la inspección visual desde el exterior fue posible apreciar la presencia de barras de acero de diámetro 8 o 9 mm en el refuerzo vertical principal de los muros estructurales, la carencia de elementos de borde y la presencia de traslapes de longitudes mínimas en la base misma del edificio, sin alternancia de los traslapes dado que absolutamente todas las barras traslapaban en el mismo punto; igualmente llamó la atención que los fragmentos de concreto presentaban bordes redondeados y no angulosos, lo que siembra dudas sobre la calidad y resistencia del material.



Antes y después del edificio Alto Río: la torre de apartamentos de 15 niveles se volcó desde la base hacia el costado oriental, causando la muerte de 8 personas. CORTESÍA RODRIGO SEPÚLVEDA. [HTTP://CONCEPCIONUNDERCONSTRUCTION.BLOGSPOT.COM](http://CONCEPCIONUNDERCONSTRUCTION.BLOGSPOT.COM)



Estado de los muros de cortante del primer nivel del edificio Alto Río, con posterioridad al colapso sufrido por la estructura. CORTESÍA DPAE

AVISO CENTRAL

Torre O'Higgins (Concepción): Edificio de oficinas de 22 niveles, con irregularidades en planta y altura asociadas a detalles y retrocesos arquitectónicos y con su dimensión larga en planta orientada en dirección Noroeste. Es el edificio más alto de la ciudad, inaugurado a finales de 2009. Presentó falla en su piso 12, sin sufrir colapso general, pero sufriendo averías irreparables desde el piso 12 hasta la corona. La posibilidad de colapso ante las réplicas obligó a evacuar las edificaciones cercanas y a cerrar las calles vecinas.

Los responsables de la construcción acusaron a los responsables de las oficinas ubicadas en el nivel fallado de haber demolido los muros estructurales de un eje interior. Actualmente se considera la posibilidad de demoler los niveles superiores y rehabilitar los inferiores.



Antes y después de la Torre O'Higgins: Torre de oficinas de 22 niveles cuyo piso 12 falló, aparentemente a causa de la demolición de un eje estructural de muros, por parte de los responsables de las oficinas ubicadas en dicho nivel. CORTESÍA DPAE



Detalles de los daños sufridos en los pisos altos de la Torre O'Higgins. Se evidencia la desaparición del nivel 12 y daños severos e irreparables en los muros estructurales de los pisos altos de la edificación. CORTESÍA DPAE



Edificio Olas en San Pedro de La Paz. CORTESÍA DPAE

Edificio Olas (San Pedro de La Paz): Proyecto de tres edificaciones adosadas entre sí, que en planta formarían una S y que presentaban arquitectura escalonada; en el momento del sismo se habían construido dos torres: la primera de ellas varía entre 5 y 10 niveles y la segunda entre 11 y 15 niveles, ambas con la dimensión larga en planta orientada en sentido norte-sur. La tercera torre estaba proyectada para 20 niveles. La segunda torre presentó daño severo en muros estructurales transversales, sobre todo en el costado sur, donde alcanzaba su altura máxima.



Daños en el muro del costado sur de la segunda torre del proyecto. CORTESÍA DPAE

El muro del costado sur presentó una fractura en todo su ancho, a nivel del primer entrepiso, con desplazamiento horizontal que indujo una pérdida de verticalidad de toda la edificación. Se evidenciaron pandeo, fluencia y falla de las barras de acero verticales, carencia de amarres adecuados de las barras de acero horizontales con las verticales y presencia de ganchos a 90° en el cierre de las barras horizontales, en ocasiones con longitudes de desarrollo insuficientes.



Detalles de los daños sufridos en el muro del cortante del costado sur de la segunda torre del proyecto Olas. CORTESÍA DPAE

Edificio Alto Huerto (San Pedro de La Paz): Edificio de 15 niveles de apartamentos y oficinas, en etapa de entrega; dimensión larga orientada en sentido norte-sur. Se observó la existencia de capiteles en la zona de los sótanos (posiblemente para subsanar las grandes luces de la losa maciza), la presencia de muros estructurales de pequeña sección transversal, reducidos prácticamente a columnas pero sin los requisitos de refuerzo a cortante de las mismas, y la existencia de grandes voladizos en su perímetro (más de 3 m, con espesor de losa no mayor de 17 cm). Además, existen muros de corte apoyados sobre vigas, dado que los muros se interrumpían en el sótano para dar lugar a vías y espacios de parqueadero. El edificio presentó daños en muros transversales del primer nivel y del sótano de parqueaderos, en algunos casos con falla por compresión evidenciada por el pandeo y falla de las barras de acero verticales y la desaparición del concreto posiblemente por falla explosiva, y en algunos otros con fallas a flexocompresión. Se observó también la separación y abertura de los estribos o barras horizontales, cerrados con ganchos a 90°. Igualmente se presentó punzonamiento de las losas de entrepiso por parte de los muros en los voladizos, posiblemente por oscilación de los mismos ante la componente vertical del movimiento. Se destaca la falla de los dinteles que coronaban las puertas de acceso a los apartamentos, lo que impidió la evacuación de las viviendas durante y después del sismo, obligando en muchos casos a derribar puertas.



Vista de la Torre Sur del Conjunto Bosquemar. CORTESÍA DEPAE



1

1. Vista exterior del edificio Alto Huerto



2



3



4



5

2 y 3. Falla a compresión de muro de cortante ubicado en el sótano de parqueaderos - Detalle de la falla del muro

4. Falla por flexo-compresión en muro del primer nivel (sector parqueadero) del edificio Alto Huerto

5. Daños severos en dinteles de puertas del edificio Alto Huerto. Varias puertas quedaron bloqueadas por lo que para evacuar los apartamentos y oficinas debió derribarse o romperse la puerta

FOTOS CORTESÍA DEPAE

Torre Conjunto Bosquemar (San Pedro de La Paz): un proyecto que contempla un total de 9 torres de alturas entre 16 y 22 niveles; en el momento del sismo solo dos torres estaban construidas. La torre sur, con 20 niveles y con la dimensión larga orientada en sentido norte-sur presentó daño severo en muros transversales de los niveles 1 y 2, similares a los descritos en los edificios Olas y Alto Huerto, así como la falla de muros de cortante de pequeña sección transversal ubicados en el perímetro; también se identificaron varios muros con patrones de falla en X. Además del daño a nivel de dinteles de puertas, similar al descrito en el edificio anterior, fueron notables los daños a nivel de la cara inferior de las losas de entrepiso frente a dichas puertas.

En el caso de los tres edificios ubicados en San Pedro de La Paz, la Municipalidad exigió la evacuación inmediata de los mismos; a pesar de su severo grado de afectación, se determinó que su colapso no era inminente ante cargas normales de servicio. No había edificaciones vecinas a Bosquemar y Olas que pudieran verse afectadas ante un eventual colapso por réplicas de alta intensidad; en el caso del edificio Alto Huerto, al encontrarse dentro de la ciudad, se exigió al constructor responsable diseñar un plan inmediato para garantizar la seguridad del entorno.

Entre los posibles factores que contribuyeron a la escala del daño apreciado en estos edificios se consideran:

- Las condiciones de suelos blandos que gobiernan a Concepción y San Pedro de La Paz, las cuales permiten la amplificación de las ondas sísmicas e inducen una importante interacción suelo-estructura. De hecho, algunos reportes establecen que se presentaron aceleraciones espectrales en el rango de periodos largos mayores que aquellas especificadas por la normativa chilena de sismo-resistencia.
- La ausencia de muros exteriores en la dimensión larga de los edificios.
- Aunque es muy probable que en su diseño los edificios hayan sido modelados considerando diafragmas rígidos –ante lo cual los muros habrían sido diseñados esencialmente como muros de cortante, sobreestimando las fuer-



Daño en muro perimetral de pequeña sección transversal de la Torre Sur del Conjunto Bosquemar. CORTESÍA DEPAE

zas de corte y subestimando las fuerzas axiales y las fuerzas actuantes en el plano de dichos elementos verticales— también es posible que el espesor de las losas macizas usadas y las luces existentes no garantizaran el cumplimiento de dicha suposición de diseño.

- La posible direccionalidad del movimiento fuerte generado por el sismo: en la mayor parte de las ciudades chilenas, incluyendo a Concepción, las calles se orientan en sentido norte-sur y oriente occidente, y por ello mismo, los edificios y sus muros estructurales se orientan en las mismas direcciones. Por su parte, las placas tectónicas involucradas en la zona de subducción bajo el territorio chileno se orientan paralelas a la costa —esto es, en dirección norte-sur— y presentan movimiento con tendencia oeste-este. Por lo anterior, existe alta probabilidad de que el movimiento fuerte generado por el sismo tuviera una tendencia direccional, sobre todo en áreas cercanas al epicentro, creando aceleraciones altas en una dirección.
- El detallado pobre del acero: es altamente probable que en el diseño de dichos edificios se hayan considerado detalles para el acero de refuerzo basados en las especificaciones del ACI. Sin embargo, se apreció con alta frecuencia la carencia de estribos que amarren las barras de acero perimetrales de los muros, así como el uso de ganchos a 90° en la barras de acero horizontales ubicadas en los extremos de los muros de cortante; ambas situaciones posiblemente favorecieron la falla a compresión de los muros con el consecuente pandeo y falla de las barras verticales y la separación de las barras horizontales que debieron suministrar confinamiento a las verticales.

Cuadro comparativo

	HAÍTÍ	CHILE
Población	10,03 millones	17,09 millones
Densidad	255 hab/km ²	22,6 hab/km ²
PIB total (PPA)	USD 11.570 millones	USD 243.357 millones
PIB per cápita	USD 1.317	USD 14.341
Porcentaje población pobre	80%	17%
Normativa sismo resistente	No existe	NCh 433
Fecha sismo	12 enero 2010	27 febrero 2010
Magnitud Mw	7.0	8.8
Equivalencia energía TNT	199.000 t	100.000.000 t
Profundidad	13 km	35 km
Distancia ciudad cercana	25 km al SW de Puerto Príncipe	105 km al N de Concepción
Intensidad máxima MMI	10	9
Víctimas	222.570	521
Daños en edificaciones	250.000 viviendas y 30.000 edificios comerciales colapsados	Afectaciones en cerca de 200.000 viviendas

De lo observado en las dos misiones, se pone en evidencia una vez más que el grado de desarrollo económico de las sociedades y de los países condiciona la capacidad de preparación, respuesta y recuperación ante los desastres naturales. De este modo se encuentra que el sismo de Haití, que liberó una energía mucho menor que el terremoto de Chile (500 veces menos en equivalencia a toneladas de TNT), generó cerca de 400 veces más víctimas, trayendo más desesperación al que ya de por sí era el país más pobre del continente; desde luego, debe tenerse en cuenta que el epicentro del sismo de Haití fue más superficial que en el caso chileno. Si bien no se desconocen los cuantiosos daños económicos en infraestructura, industria y edificaciones que el sismo del 27 de febrero generó a la República Chilena, también es necesario tener en cuenta que sus edificaciones se construyen a la luz de una normativa de sismo resistencia moderna y además destacar que sus instituciones, economía y sociedad poseen un grado de resiliencia más que suficiente para sobreponerse al evento en pocos años; en comparación, ni los pobladores ni el Gobierno Haitiano habían contemplado especificaciones para un diseño apropiado de sus construcciones ni un plan de ordenamiento territorial que determine su ubicación ni su uso y en la actualidad no poseen los medios económicos y logísticos para recuperarse de la catástrofe acaecida el 12 de enero de 2010, dependiendo para ello de las ayudas de la Comunidad Internacional.

La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (DPAE), se ha posicionado como una entidad reconocida a nivel nacional e internacional como ente competente para la prevención y reducción del riesgo público, así como también en la coordinación de las entidades del Sistema Distrital para la Prevención y Atención de Emergencias (SDPAE) en la atención de eventos de emergencia, comprometida con la región en la realización de acciones conjuntas para tal fin, mediante la implementación tanto de procedimientos específicos como la realización de asistencia técnica, la elaboración de estudios de riesgo, la elaboración de conceptos de riesgo y el monitoreo de amenazas, así como también de políticas de mejoramiento y actualización de dichos procedimientos y del personal calificado que tiene a su cargo los mismos. **[N]**

Bibliografía

- CADE-IDEPE, Consultores en Ingeniería. Diagnóstico y clasificación de los Cuerpos de Agua Según Objetivos de Calidad. Cuenca del Biobío. Gobierno de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.
- Instituto Nacional de Normalización – INN Chile. Norma Chilena Oficial NCh 433. Of 96. Diseño Sísmico de Edificios.
- Ingeniería Civil UC – Departamento de Estructuras y Geotécnica. La Ingeniería Antisísmica. http://ciperchile.cl/wp-content/uploads/DocumentoUC.sobre_normas.pdf
- Instituto Nacional de Normalización – INN Chile. Norma Chilena Oficial NCh 2369. Of 2003. Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales.
- http://en.wikipedia.org/wiki/2010_Haiti_earthquake
- <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/recenteqsww/Quakes/us2010rja6.php>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Hait%C3%AD_de_2010
- http://en.wikipedia.org/wiki/2010_Haiti_earthquake
- Reporte; Republique d'Haiti, Analisis of Multiple Natural Hazards in Haiti; Marzo 26 de 2010.