

Terremotos en Christchurch (Nueva Zelanda). Respuesta en casos de emergencia, una visión desde campo

Revista de Obras Públicas
nº 3.531. Año 159
Abril 2012
ISSN: 0034-8619
ISSN electrónico: 1695-4408

Earthquakes in Christchurch (New Zealand). Emergency response, a field perspective

Mar Serrano López. Dra. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Water Design Engineer at GHD and Design Engineer at SCIRT (Stronger Christchurch Rebuild Team).
Christchurch (Nueva Zelanda). mar.serranolopez@ghd.com

M^o Jesús Rosado García. Ingeniera de Caminos, Canales y Puertos
Directora del Departamento de Estructuras de Egis-Eyser.
Profesora Asociada de la UPM. Madrid (España). mj.rosado@eyser.com

Resumen: Después de más de un año del primer terremoto que sacudió la ciudad de Christchurch (4 de Septiembre de 2010 de 7.1 en la escala de Richter) muchos son los aspectos que han cambiado en la urbe. Al que sería el primer terremoto de entidad que sufrían los ciudadanos de la región de Canterbury le sucedieron dos más, que si bien fueron menores según la escala de Richter, tuvieron una mayor repercusión, en cuanto a daños estructurales y al efecto de la licuefacción sobre la totalidad de las infraestructuras. La ciudad, y el país en general, se enfrentan al mayor reto económico y de organización de su historia como secuela de los sucesivos terremotos. El costo de la Reconstrucción total se estima en unos NZ\$20 Billones, lo que supone el mayor presupuesto nacional en desastres naturales de la historia y el tercero mayor del mundo.

Palabras Clave: Terremotos; Christchurch; Licuefacción; Reconstrucción; Daños

Abstract: Much has changed in the city of Christchurch following the first earthquake that struck the city (4 September 2010, measuring 7.1 on the Richter scale). The first serious earthquake suffered by the population in the region of Canterbury was followed by two others which, while lower on the Richter scale, had a greater impact in terms of structural damage and the effect of liquefaction on the entire infrastructure of the area. The city and the country face one of the greatest economic and organizational challenges in their history as a result of these successive earthquakes. The total reconstruction bill is estimated at NZ \$20 Billion, this being the largest national budget assigned to natural disasters in the country's history and the third largest ever assigned worldwide.

Keywords: Earthquake; Christchurch; Liquefaction; Reconstruction; Damage

1. Introducción

La ciudad de Christchurch, localizada en la provincia de Canterbury, es la segunda mayor de Nueva Zelanda, con una población total de 348.435 habitantes (censo 2006¹). Fundada en 1850 sobre un terreno pantanoso, y custodiada por los ríos: Avon, Waimakariri, Rakaia y Hallswel (1), éste ha sido uno

(1) Fuente: Christchurch City Council: <http://www.ccc.govt.nz>. La revisión del censo prevista para el 8 de Marzo de 2011 ha sido pospuesta por la situación de emergencia y tendrá lugar en Marzo de 2013. Es la segunda vez en la historia de Nueva Zelanda que sucede un hecho así.

1. Introduction

The city of Christchurch, set in the region of Canterbury, is the second largest city in New Zealand with a population of 348,435 inhabitants (2006 census¹). The city was founded in 1850 on swampland, surrounded by the Avon, Waimakariri, Rakaia and Halswell rivers (1), this being one of the determining

(1) Source: Christchurch City Council: <http://www.ccc.govt.nz>. The census planned for 8 March 2011 was postponed due to the Christchurch earthquake and will take place in March 2013. This is the second time that this has happened in New Zealand's history.



Fig. 1. Nube de polvo creado minutos después del terremoto de Febrero de 2011. Fuente: <http://i.imgur.com/0vZbD.jpg>/ Cloud of dust minutes after the February 2011 earthquake. Source: <http://i.imgur.com/0vZbD.jpg>

de los grandes condicionantes en cuanto a la afectación sísmica se refiere, así como sobre la posterior evolución que la ciudad ha tenido en su reconstrucción.

Hasta la fecha, y en un intervalo de tiempo de menos de un año, la ciudad ha sufrido tres terremotos de gran envergadura (y numerosas réplicas, hasta 2270 en total, entre cada uno de los eventos) según Canterbury Quake Live. Los datos, que quedan representados en la ilustración 3, son:

- 4 Septiembre 2010: de a 7.1 (Mw), 10 km de profundidad, aceleración 1.26g (localizado a 40 km al oeste de la ciudad de Christchurch), Mercalli: X.
- 22 Febrero 2011: de 6.3 (Mw), 5 km de profundidad, aceleración 1.88g (localizado a 7 km del

factors in terms of seismic effects and in the ensuing work to reconstruct the city.

To date, and within a period of less than one year, the city has suffered three large earthquakes (and up to 2270 aftershocks following each event) according to Canterbury Quake Live. The details of these earthquakes, represented in graphic form in Figure 3, are as follows:

- 4 September 2010: magnitude 7.1 (Mw), depth of 10 km, 1.26g peak acceleration (located 40 km west of Christchurch), Mercalli intensity: X.
- 22 February 2011: magnitude 6.3 (Mw), depth of 5 km, peak acceleration 1.88g (located 7 km from city centre); 2.2g (epicentre), Mercalli intensity: VIII, 182 deaths (2).



Fig.2. Diferentes afecciones de los terremotos en Christchurch. Fuente propia y varios/ Different effects of the earthquakes in Christchurch. Source: Own and various other sources.

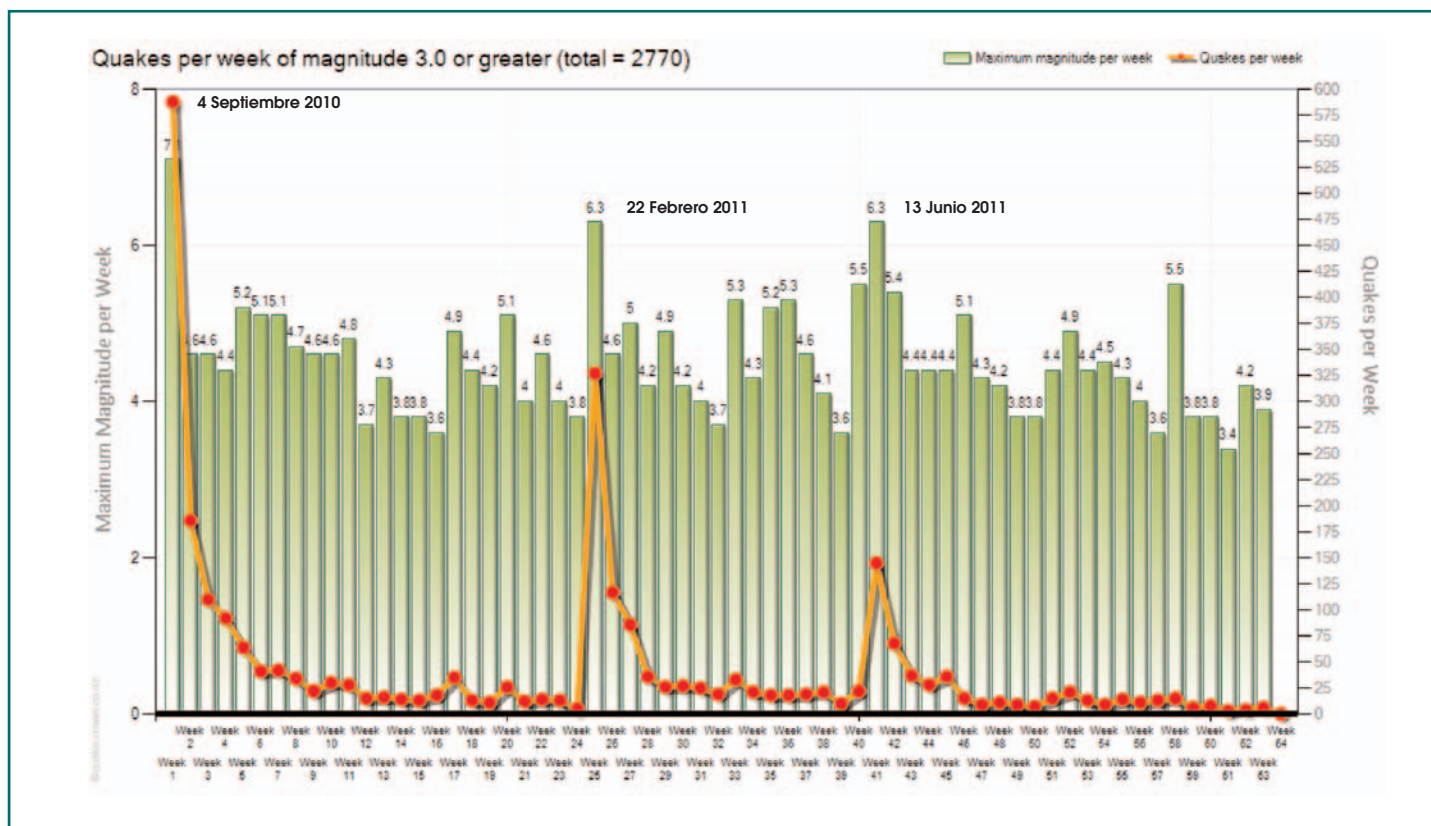


Fig. 3: Terremotos por semana de magnitud mayor de 3 (escala Richter) en Christchurch durante el último año. Fuente: GNS Science (<http://www.gns.cri.nz/>, Agencia gubernamental creada para la investigación y consultoría en el campo de la geociencia.) y Canterbury Quake Live (<http://www.canterburyquakelive.co.nz/>, Mapa web para la visión en tiempo real de los terremotos en la provincia de Canterbury)/Earthquakes per week of magnitude 3.0 or greater (Richter scale) in Christchurch over the last year. Source GNS Science (<http://www.gns.cri.nz/>, Government agency for geoscience research and consultancy services) and Canterbury Quake Live (<http://www.canterburyquakelive.co.nz/>, web map for real time display of earthquakes in the Canterbury region).

centro de la ciudad); 2.2g (epicentro), Mercalli: VIII, 182 muertes (2).

- 13 Junio 2011: de 6.3 (Mw), 6.0 km de profundidad, aceleración 0.78g (localizado a 9 km del centro de la ciudad); 2.13g (epicentro), Mercalli: VIII.

Nueva Zelanda posee una gran historia en terremotos ya que se localiza en la zona sísmica denominada Pacific Ring of Fire. Sin embargo lo llamativo de la situación es que, anteriormente a estos terremotos, la ciudad de Christchurch había experimentado una baja sismicidad durante los anteriores 100 años (3).

El terremoto del 22 de febrero 2011 de 6.3 grados Mw produjo mayores aceleraciones del suelo en el centro de Christchurch, siendo hasta 2,5 veces mayores, que las que se sintieron durante el terremoto de 7,1 Mw de septiembre 2010 (4).

De igual modo la licuefacción causada por el terremoto de febrero fue de tres a cinco veces ma-

- 13 June 2011: magnitude 6.3 (Mw), depth of 6.0 km, peak acceleration 0.78g (located 9 km from city centre); 2.13g (epicentre), Mercalli intensity: VIII.

New Zealand has a long history of earthquakes as it is located in the seismic belt known as the Pacific Ring of Fire. However, the striking feature of all this is that prior to these earthquakes, Christchurch had experienced low seismicity throughout the previous 100 years (3).

The Mw 6.3 earthquake of 22 February 2011 produced greater ground accelerations in the centre of Christchurch (up to 2.5 times higher) than those felt during the Mw 7.1 earthquake in September (4).

The liquefaction caused by the February earthquake was similarly three to five times bigger than that caused by the September earthquake (5). The closures of public services and roads in addition to property damage caused by the liquefaction throughout the Christchurch



Fig. 4. Descripción de los impactos de los terremotos en Christchurch. Fuente: (6). Fotos fuente: Elaboración propia/Description of the effects of the earthquakes in Christchurch. Source: (6). Photos: source: Prepared by author.

yor que la acontecida en septiembre (5). Los cortes de servicios públicos y carreteras, además de los daños a la propiedad causados por la licuefacción a lo largo de la zona de Christchurch, provocó la evacuación voluntaria de decenas de miles de personas de la ciudad en las semanas siguientes al terremoto en una escala nunca antes vivida en Nueva Zelanda.

Además de resultar con la muerte de 182 personas, provocó el daño y colapso de edificios de mampostería no reforzada (URM), el colapso de dos edificios de varias plantas en el centro de la ciudad, así como la licuefacción generalizado en toda la zona urbana con la afección a viviendas y propiedades comerciales como se muestra en la figura 4.

El gobierno, tras el terremoto de Septiembre, crea Canterbury Earthquake Recovery Authority

area led to the voluntary evacuation of tens of thousands of people from the city over the weeks following the earthquake on a scale that had never been witnessed before in New Zealand.

The event resulted in 182 fatalities and led to the damage and collapse of unreinforced masonry buildings (URM), the collapse of two multi-storey buildings in the city centre and widespread liquefaction affecting residential and commercial properties as may be seen in Fig. 4.

Following the September earthquake, the Government set up the Canterbury Earthquake Recovery Authority (CERA²), the agency leading and coordinating the recovery of the city over a minimum five-year period.

After the February earthquake the New Zealand Treasury estimated the reconstruction cost of the

(2) Fuente: Canterbury Earthquake Recovery Authority. <http://cera.govt.nz>

(2) Source: Canterbury Earthquake Recovery Authority. <http://www.cera.govt.nz>

(CERA²) agencia para gobernar y coordinar las acciones para la reconstrucción de la ciudad durante al menos durante 5 años.

Tras el terremoto de Febrero The New Zealand Treasury estima el costo de la Reconstrucción de los terremotos de Septiembre y Febrero en unos NZ\$15 billones. Aproximadamente el 25% de los edificios del centro de Christchurch (CBD) han sido catalogados como "rojo" o han sido considerados como peligrosos. Adicionalmente el Gobierno ha estimado la necesidad de comprar un total de 5.100 propiedades en las zonas más afectadas (anexas al río Avon), lo que supondrá un coste de \$635 M, llevado a cabo mediante una especie de expropiación forzosa. Una evaluación posterior, incluyendo las afectaciones por el terremoto de Junio ha llevado al gobierno a estimar una cantidad adicional al anterior presupuesto en NZ\$6 billones más. El presupuesto total de reconstrucción se estima en NZ\$20 billones, lo que supone el mayor presupuesto nacional en desastres naturales de la historia y el tercero mayor del mundo (3).

A nivel de respuesta ingenieril se ha creado una Alianza denominada Stronger Christchurch Infrastructure Rebuild Team (SCIRT³), con un presupuesto de más de NZ\$2 billones. Se trata de un acuerdo entre el Ayuntamiento de Christchurch, CERA, la Agencia de transporte y los grandes constructores: Downer EDI, Fulton Hogan, Fletcher Building, McConnell Dowell Constructors and City Care.

El objetivo de la Alianza es llevar a cabo la reconstrucción de carreteras, red de saneamiento y abastecimiento dañados durante los terremotos de Septiembre 2010, Febrero 2011 y Junio 2011. El ayuntamiento será el responsable de la ejecución de un plan general de actuación, coordinando la acción conjunta de las constructoras y asistido por un equipo multidisciplinar de consultoras e ingenierías de diseño.

2. Sismicidad

En Nueva Zelanda se localiza parte de la frontera entre las placas tectónicas de Australia y el Pací-

(3) Fuente: Stronger Christchurch Infrastructure Rebuild Team : <http://www.strongerchch.co.nz> . La que suscribe el presente artículo se encuentra en la actualidad trabajando en el equipo de Diseño de dicha Alianza.

September and February earthquakes at NZ\$ 15 billion. Approximately 25% of the building in the central business district of Christchurch (CBD) have been tagged "red" or unsafe. The Government have also estimated the need to purchase a total of 5,100 properties in the more affected areas (close to the River Avon), which will imply a further cost of \$635 M, and which will be carried out by compulsory acquisition. Following a subsequent update to include the effects of the June earthquake, the Government added an additional NZ\$6 billion to the original budget. The total reconstruction budget is now estimated at NZ\$20 billion, which makes up the highest national budget ever allocated for natural disasters in the country's history and the third largest in the world (3).

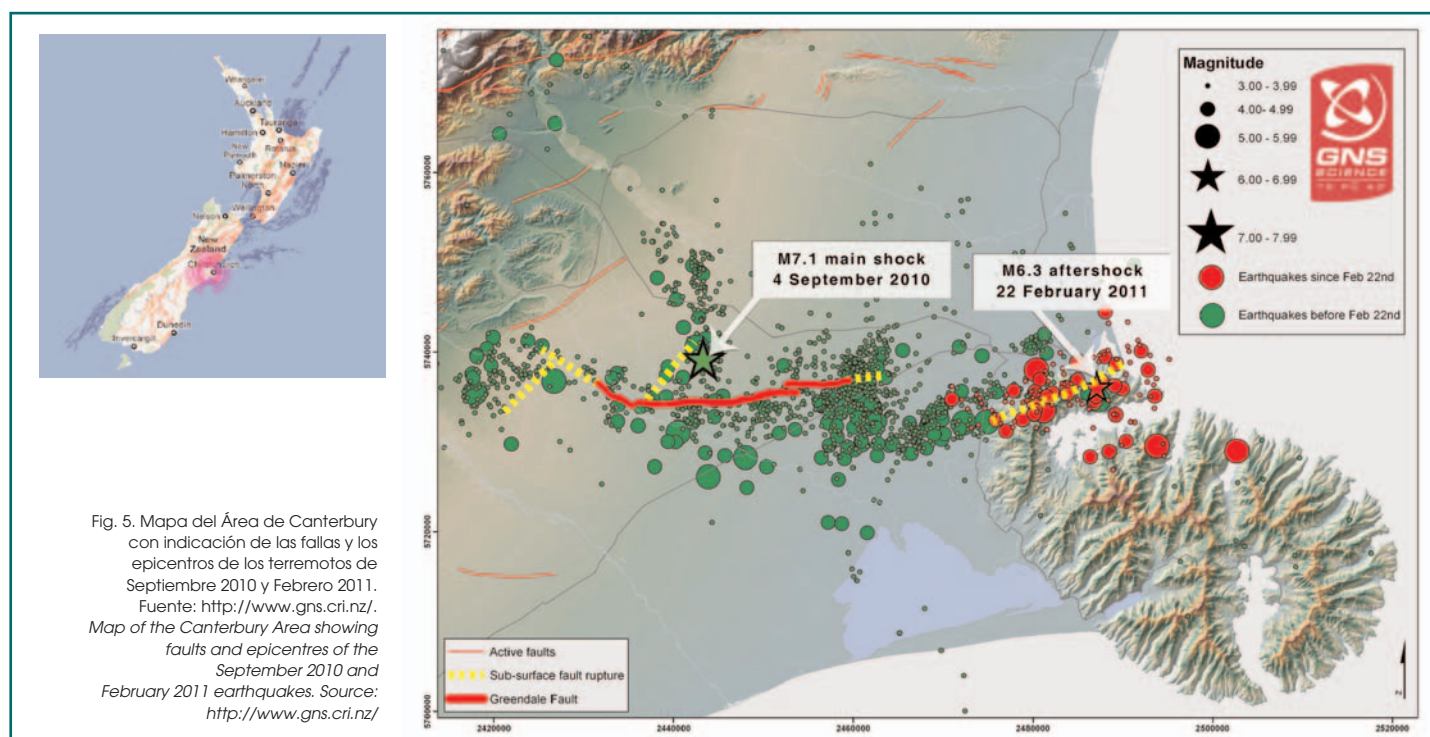
In terms of engineering response, an Alliance has been created under the name of the Stronger Christchurch Infrastructure Rebuild Team (SCIRT³), with a budget of over N\$2 billion. This alliance is formed by the Christchurch City Council, CERA, the NZ Transport Agency and by the major contractors: Downer EDI, Fulton Hogan, Fletcher Building, McConnell Dowell Constructors and City Care.

The object of the Alliance is to reconstruct roads, water supply, wastewater and stormwater networks damaged during the September 2010, February 2011 and June 2011 earthquakes. The city council is responsible for overseeing the execution of a general action plan, coordinating the joint action of the contractors and assisted by a multi-disciplinary group of consultants and design engineers.

2. Seismicity

New Zealand lies along the boundary of the Australian and Pacific Plates. In the South Island, much of the relative displacement between these plates is due to the Alpine Fault. In the North Island, the displacement is mainly taken up along the Hikurangi Subduction Zone. New Zealand has thousands of small earthquakes per year (less than magnitude 3 on the Richter scale) (7).

(3) Source: Stronger Christchurch Infrastructure Rebuild Team: <http://www.strongerchch.co.nz>. The author of this article is currently working in the Design team at this Alliance.



fico. En la Isla del Sur, gran parte del desplazamiento relativo entre estas placas, es debida a la falla de los Alpes (Alpine Fault). En el caso de la isla Norte, el desplazamiento se localiza principalmente a lo largo de la Zona de Subducción Hikurangi. Nueva Zelanda cuenta con unos 1000 pequeños terremotos al año (menores de 3 en la escala de Richter) (7).

2.1. Falla Alpina

La Falla Alpina se considera de gran actividad (se estima una tasa de deslizamiento de 27 mm / año) y es capaz de producir un terremoto del 8 Mw en cualquier momento. Sin embargo los terremotos de Septiembre y de Febrero han ocurrido en una falla previamente desconocida, por lo que no se tenía ningún tipo de registro de su existencia. Según datos posteriores, en el caso del terremoto de Septiembre provocado por la denominada Greendale Fault, Darfield Earthquake, se ha contabilizado una tasa deslizamiento de 0,2 mm / año, sin que hubiera un conocimiento previo de su existencia (7).

2.2. Marco geológico

El marco geológico de la región de Canterbury está constituido básicamente por arenas aluviales,

2.1. Alpine Fault

The Alpine Fault is considered highly active (estimated slip rate of 27 mm/year) and capable of producing a Mw 8 earthquake at any time. However, the actual fault that caused the September and February earthquakes was previously unknown to exist. According to recent information, the Darfield earthquake in September, caused by the since-named and previously unknown Greendale Fault has been assigned as having a 0.2 mm/year slip rate (7).

2.2. Geologic setting

The Canterbury Plains generally consist of alluvial sand, silt and gravel deposits previously deposited by the Waimakariri and Rakaia rivers. Surface layers in the urban Christchurch area are typically recent Holocene alluvial gravel, sand and silt of the Springston Formation. These deposits are the materials most susceptible to liquefaction (7).

Another aspect that affects the city of Christchurch is the ground water level which is generally between 2 to 3 meters below the ground surface.

sedimentos y depósitos de grava depositados por los ríos Waimakariri y Rakaia. Las capas superficiales de la zona urbana de Christchurch son típicamente del Holoceno aluvial reciente con grava, arena y limo de la Springston. Estos depósitos son los materiales más susceptibles a la licuefacción(7).

Otro aspecto que condiciona geológicamente a la ciudad de Christchurch es el nivel freático, generalmente entre 2 a 3 metros por debajo de la superficie de la tierra.

2.3. Códigos sísmicos

Nueva Zelanda, junto con los Estados Unidos y Japón, tiene uno de los códigos sísmicos más avanzados en cuanto a diseño sísmico se refiere en el mundo.

Normalmente el diseño estructural para soportar un terremoto está basado en una probabilidad del 10% de ocurrencia en más de 50 años (8), esto equivale a superar el evento 1 vez cada 150 años (9). Sin embargo el terremoto sufrido el 22 de Febrero de 2011 fue más violento que las exigencias indicadas en el New Zealand's Building Code NZS 1170.5:2004 (12) (de probabilidad 1 en 500 años), ya que se cuantificó como tres veces mayor (probabilidad 1 en 1500) (10).

Las características de dicho seísmo generó un efecto altamente destructivo por las características intrínsecas del mismo: epicentro localizado muy cerca de la superficie y tipología de onda. De hecho, en el epicentro del seísmo se midieron 2,2 veces la aceleración normal gravitacional (2.20g), esta aceleración pasó a ser de 1.88g en la zona edificada de la ciudad. Los códigos de diseño indican que las construcciones en Christchurch han de ser diseñadas para una aceleración entre 0.2g y 0.3g (13). Esta aceleración (también denominada aceleración pico: PGA) es de facto una medida importante en la evaluación del daño generado por un terremoto, ya que es un índice que indica la fuerza aplicada por el terremoto a un edificio. Comparado el terremoto de Febrero de 2011 con el terremoto de Japón de 9 de magnitud, al localizarse este último a 125 km de la costa, el PGA experimentado por los edificios en el territorio japonés fueron significativamente más bajos que en el segundo evento de Christchurch. Es decir, los edificios en Japón fueron sometidos a aceleraciones mucho más bajas (y

2.3. Seismic codes

New Zealand, along with United States and Japan, has the most advanced earthquake design codes in the world.

Structures are typically designed to withstand an earthquake that has a 10% chance of occurring over 50 years (8), this equating to a 1 in 150 year event (9). However, the earthquake of 22 February 2011 exceeded the specifications indicated in the New Zealand Build Code NZSS 1170.5:2004 (12) (for a probability of 1 in 500 years) and was three times greater (1 in 1500 year event) (10).

The destructive effect of the earthquake was further increased by the fact that the epicentre was very close to the surface and on account of ground shaking. The ground shaking close to the quake's epicentre measuring 2.2 times standard gravitational acceleration (2.20g) and was recorded at 1.88g in the built up area of the city. However, the Design Codes suggest that buildings in Christchurch should be designed for accelerations of 0.2g to 0.3g (13). This acceleration (also referred to as peak ground acceleration or PGA) serves as an important measurement in the evaluation of the damage caused by an earthquake, as it indicates the force applied by the quake on a building. When comparing the February 2011 event with the magnitude 9 earthquake in Japan, as this latter was located 125 km out to sea, the PGA experienced by the buildings in Japan was significantly lower than that in the second event in Christchurch. This means to say that the buildings in Japan were subjected to far lower accelerations (and subsequently lower forces) than those in Christchurch, but for a longer period of time. The Christchurch earthquake in February was very unusual in that the PGA were among the highest ever recorded in a modern city anywhere in the world (11).

3. Liquefaction

While the earthquakes may be considered as moderate, the number of structures that were affected (generally masonry structures) were primarily due to liquefaction, this being the main cause of damage to the water supply and drainage networks. This was further compounded by damage to the

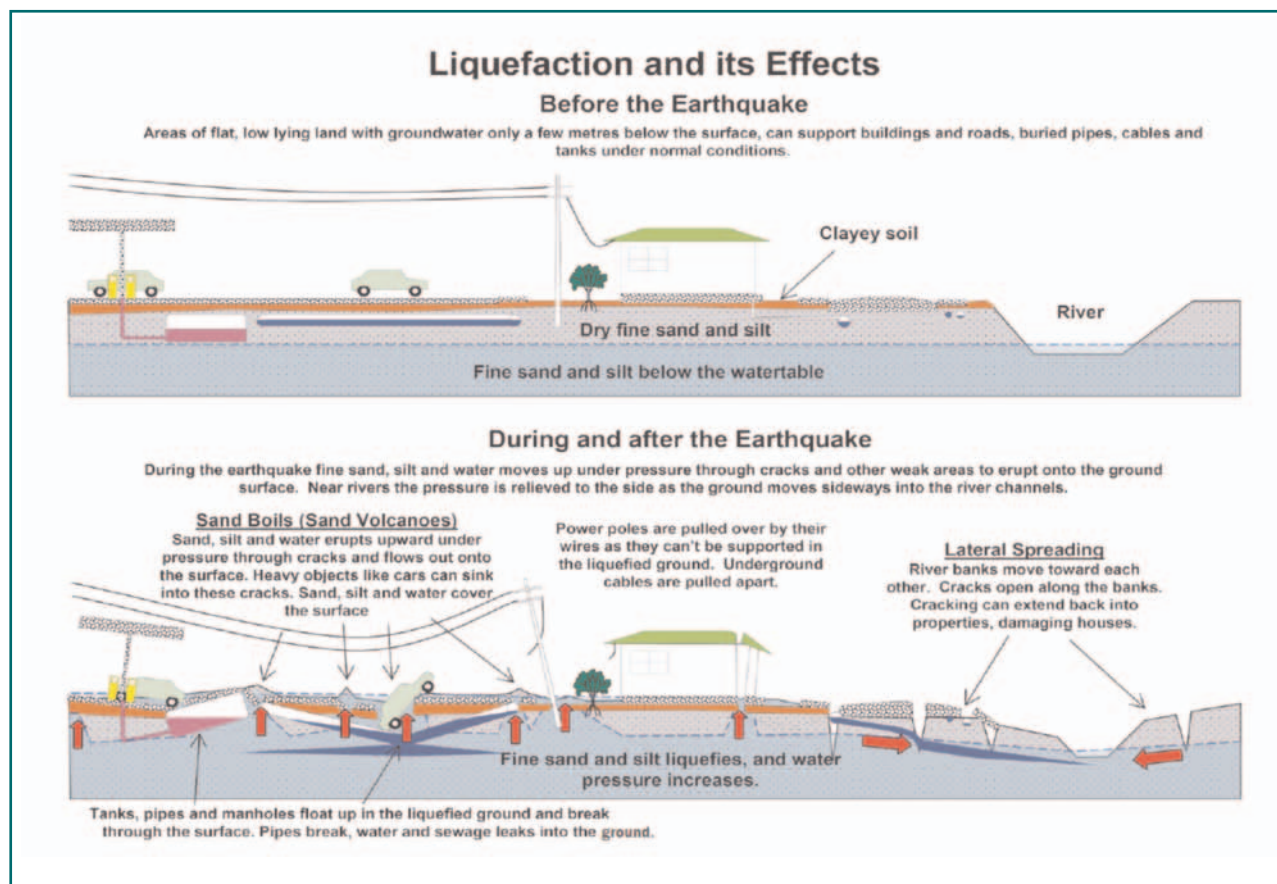


Fig. 6. Proceso de licuefacción antes y después del terremoto. Fuente (11)/ Liquefaction process before and after the earthquake. Source (11).

por tanto de menor fuerza) que los de Christchurch, pero por más tiempo. El terremoto de Christchurch de Febrero fue muy inusual, ya que la PGA se encontraba entre las más altas que jamás haya sido registrado en una ciudad moderna en cualquier parte del mundo (11).

3. Licuefacción

Mientras que los terremotos sufridos, se pueden considerar de moderados, en cuanto a la afección del número de estructuras (mayoritariamente a estructuras de mampostería), es la licuefacción el principal causante de los daños en la red de distribución del abastecimiento y saneamiento. A estos daños se le unieron las numerosas afecciones a los cimientos de decenas de puentes, carreteras y vías del tren (7).

La licuefacción es un proceso con gran repercusión en la ciudad. Tras el evento, al estar una gran parte de la ciudad asentada en arena y debido a

foundations of numerous bridges, roads and railway tracks (7).

Liquefaction is a process with great repercussions for the city. As a large party of the city has been built on sand and due to the large quantity of interstitial water present, the sands that rose to the surface, following the event, acted like a liquid. The continuous aftershocks meant that this effect has taken on even more importance than the structural damage itself.

When an earthquake occurs the shaking is so rapid and violent that the sand and silt grains try to compress the spaces filled with water, but the water pushes back and pressure builds up until the grains 'float' in the water. Once that happens the soil loses its strength - it has liquefied. Soil that was once solid now behaves like a fluid.

Liquefied soil cannot support the weight of whatever is lying above it - be it the surface layers of dry soil or buildings. The liquefied soil under that weight is forced into any cracks and crevasses it can find, including those in the dry soil above, or the cracks

la gran cantidad de agua intersticial existente, las arenas ascienden a la superficie actuando como un líquido. Los continuos aftershocks (réplicas de los principales terremotos) hacen que este efecto sea cada vez más importante que el propio daño estructural.

Cuando ocurre un terremoto, el temblor es tan rápido y violento que los granos de arena y limo intentan comprimir los espacios llenos de agua, pero el agua empuja hacia atrás y la presión se acumula hasta que los granos flotan en el agua. Una vez que esto sucede, el suelo pierde su consistencia, se ha licuado. El suelo que alguna vez fue sólido ahora se comporta como un líquido.

El suelo licuado, no es capaz de soportar la carga que se encuentra sobre él, ya sea terreno seco o edificación. Es por ello que en el suelo licuado se producen grietas y hendiduras para amoldarse a las diferentes cargas que soporta. Los granos más finos fluyen a través de las grietas hacia la superficie a modo de volcanes de arena y limo. En algunos casos el suelo licuado que fluye a través de una grieta puede erosionar y ampliarla lo suficiente como para dar cabida a un coche. Algunas consecuencias de la licuefacción por tanto son (11):

- Hundimiento de la superficie del suelo debido a la pérdida del terreno.
- La pérdida de estrato consistente para los cimientos de los edificios.
- Pozos de registro, depósitos y tuberías enterradas que flotan por estar parcialmente vacíos.
- Deslizamientos de las capas más secas de terreno en las cercanías de arroyos y ríos. A este efecto se le denomina dispersión lateral y puede dañar gravemente un edificio.

4. Daños estructurales

Durante las primeras semanas de cada evento se realizaron estudios particularizados de todos los edificios significativos: escuelas, edificios públicos y gubernamentales, y posteriormente se amplió a las propiedades particulares. Las inspecciones y etiquetado de los edificios fueron llevadas a cabo por voluntarios de la Sociedad de Ingeniería Sísmica de Nueva Zelanda (NZSE). Las Directrices de la Sociedad fueron consensuadas con Defensa Civil en lo

between concrete slabs. It flows out onto the surface as boils, sand volcanoes and rivers of silt. In some cases the liquefied soil flowing up a crack can erode and widen the crack to a size big enough to accommodate a car. Some other consequences of the soil liquefying are (11):

- *Settlement of the ground surface due to the loss of soil.*
- *Loss of support to building foundations.*
- *Floating of manholes, buried tanks and pipes in the liquefied soil – when these are mostly empty.*
- *Dry surface soil layers can slide sideways on the liquefied soil towards the streams. This is called lateral spreading and can severely damage a building.*

4. Structural damage

Individualised studies of all significant buildings were conducted throughout the first weeks of each event: schools, public and government buildings, and were subsequently extended to private property. The inspections and placarding of buildings were conducted by voluntary committees of the NZ Society of Earthquake Engineering (NZSE). The Society's guidelines have been implemented by the Civil Defence in what may be seen as an exemplary model by the international community (4).

The rapid evaluation placarding of buildings is a useful and pragmatic way to quickly assess the structural condition of buildings in the aftermath of an earthquake. This placarding system is an adaptation of the system used in the USA. This is based on the "triage" of buildings into the following categories (11):

- *Green carded buildings are considered safe to enter and appear to be in much the same structural condition as prior to the earthquake. The building owners are encouraged to obtain a detailed structural assessment of the building as soon as possible and report any unsafe conditions to the Territorial Authority.*
- *Yellow carded are considered suitable only for restricted use or access until repairs are completed. The building may be entered for short periods of time in order to retrieve essential items*

que es, probablemente, un modelo ejemplar para la comunidad internacional (4).

El etiquetado de los edificios responde a una evaluación rápida y eficaz en la que se definen las condiciones de los edificios como consecuencia del terremoto. Este sistema es una adaptación del sistema utilizado en los EE.UU. Se basa en la protocolización de la revisión de los edificios según las siguientes categorías (11):

- Green/Verde: el edificio se consideran seguros para entrar y gran parte de la condición estructural está como antes del terremoto. Los propietarios de edificios pueden obtener una evaluación estructural detallada del edificio lo más pronto posible e informar de cualquier condición insegura "a la Autoridad Territorial".
- Yellow/Amarillo: el edificio se considera únicamente adecuado para el uso restringido o de acceso hasta que se terminen las reparaciones. Se puede entrar en el edificio por pequeños periodos de tiempo para obtener lo esencial y pertenencias personales. El edificio necesitará ser revisado por un ingeniero encargado por el propietario.
- Red/ Rojo: el edificio se considera peligroso. Necesitará ser revisado por un ingeniero y, si así lo recomienda, ha de ser demolido (Tabla 1).

La zona de mayor peligrosidad, en cuanto a daños estructurales se refiere, fue el CDB Christchurch (centro de la ciudad) como resultado del terremoto de Febrero de 2011. Al igual que en el evento de Septiembre, los edificios más dañados fueron los de mampostería (URM), con un 62% etiquetados rojos. A finales de marzo de 2011 se había completado el marcado tricolor de todos los edificios del CBD. El recuento de edificios inspeccionados en el CBD fue el que se indica en la tabla 2.

En el New Zealand's Building Code NZS 1170.5:2004 (12), se definen las cargas sísmicas a aplicar en caso de terremoto. Éste establece el período de retorno promedio de 500 años para construcciones típicas. La base del Código es la de establecer un riesgo sísmico uniforme para todo el país. En algunas partes de Nueva Zelanda tiene mayores requerimientos que otras, en función de la evaluación de los riesgos sísmicos realizados por científicos sismológicos. En el Código de Edificación

Tabla 1: Etiquetado de edificios, actualizado por la NZSE: Fuente: (14)
Table 1. Placarding of buildings, updated by the NZSE. Source: (14)

Placard Category	Usability Category (Safety Focus)
Green	G1 – Occupiable, no immediate further investigation required G2 – Occupiable, repairs required
Yellow	Y1 – No entry to parts until affected sections repaired or demolished Y2 – Short-term entry only
Red	R1 – Significant damage – repairs/strengthening possible R2 – Significant damage – demolition likely R3 – At risk from adjacent premises or from ground failure

Tabla 2: Estado de evaluación en el CBD. Fuente: (3)
Table 2: Assessment levels in the CBD. Source: (3)

Level 1 Assessment (Tagging)	Number	Percentage
Red	826	23%
Yellow	862	24%
Green	1933	53%

and personal belongings. The building will need to be evaluated by an engineer appointed by the owner.

- Red carded buildings are considered unsafe to enter. These have to be evaluated by an engineer and, if recommended, be demolished (Table 1).

The Christchurch CBD (city centre) suffered the most extensive structural damage as a result of the February 2011 earthquake. As with the September event, unreinforced masonry (URM) buildings received the most damage and 62% of these received red-tags. By the end of March 2011, "tricolour placard tagging" had been completed for all the buildings in the CBD. The results of the tagging process in the CBD are as seen in Table 2.

The New Zealand Build Code NZS 1170.5:2004 (12) defines earthquake loads based on an earthquake with an average return period of 500 years for typical buildings. The basis of the Building Code is to establish a uniform seismic risk for the country as a whole. Some parts of New Zealand

de 2008, la amenaza sísmica en Wellington es aproximadamente el doble que la de Christchurch y tres veces la de Auckland (11).

5. Daños en red viaria

Los daños en la red viaria han sido causados, en su mayoría, por la caída de rocas, licuefacción del suelo, así como la aparición de fisuras en el firme debido al movimiento generado por la onda. Aproximadamente se han limpiado un total de 500.000 toneladas de material proveniente de licuefacción de la red viaria y de las propiedades adyacentes como resultado de los terremotos.

También se han producido daños en infraestructuras varias tales como puentes, alcantarillas y muros de contención. La respuesta inicial, después de cada uno de los eventos, fue la de despejar las carreteras de material licuado y rocas, para de este modo facilitar el acceso a los proveedores de servicios públicos y vehículos de emergencia, y a las propiedades particulares. Los daños en la red viaria que se han observado incluyen (15):

- Depresiones y/o protuberancias en la capa de rodadura debido a la licuefacción
- Colapso de trincheras y roturas de tuberías
- Pozos de registro elevados debido al pavimento colapsado
- Grietas debido a la extensión lateral y tensión generada por el terremoto
- Infiltración de arenas y limos provenientes de la licuefacción en las capas inferiores

Estos defectos, además de causar problemas de seguridad vial, han generado la reducción de tráfico. Incluso se ha notado un efecto inducido por las vibraciones, provocadas por el tránsito de los vehículos en las zonas licuadas, que revierte en las propiedades adyacentes.

6. Daños en abastecimiento

La ciudad Metropolitana de Christchurch se encuentra por encima del sistema acuífero Christchurch-West Melton, que se recarga por el río Waimakariri. El abastecimiento está basado en la ex-

have higher requirements than others, depending on the seismic hazard assessment made by seismological scientists. In the 2008 Building Code, Wellington's seismic hazard is approximately twice that of Christchurch and three times that of Auckland (11).

5. Road damage

The damage to the road network was mainly caused by rockfall, soil liquefaction and by the cracking of the road surface due to the movement generated by the seismic waves. Approximately 500,000 tons of silt from the liquefaction of roads and adjacent properties have been cleared following the earthquakes.

Damage was also caused to road infrastructure such as bridges, drainage and retaining walls. The initial response, after each of the events, was to clear the roads of liquid material and rocks in order to allow access to public service providers, emergency vehicles and property owners. The damage to the road network included (15):

- *Potholes and/or bumps in the road surface due to liquefaction*
- *Collapse of trenches and breakage of pipelines*
- *Uplifted manholes due to the collapse of the road surface*
- *Cracks due to lateral spreading and stress caused by the earthquake*
- *Infiltration of sand and silt as a result of the liquefaction in supporting layers.*

These defects, in addition to posing road safety problems, have also led to traffic reductions. Problems have also been recorded in adjacent properties as a result of vibrations caused by the passing of vehicles over liquefacted areas.

6. Damage to water supply

Metropolitan Christchurch is located above the Christchurch West-Melton aquifer system, which is recharged by the Waimakariri River. The supply is based on the extraction of water from five aquifers via a series of wells. The water system includes

tracción del agua de cinco acuíferos a través de una serie de pozos. La distribución de agua de abastecimiento se realiza a través de cerca de 3.317 kilómetros de tuberías. Los materiales más utilizados han sido: hierro fundido (CI), amianto-cemento (AC), PVC y PE (7).

Debido a la licuefacción generalizada, que abarca quizás un 5% a 10% de la superficie urbanizada en el Christchurch, ha habido un gran número de roturas de las tuberías, sobre todo en las de AC. En muchas de estas áreas, serán sustituidas en su totalidad por tuberías de PE (con mejor comportamiento en futuros eventos sísmicos por su condición flexible). Los daños en tuberías están siendo revisados mediante circuitos cerrados de televisión (CCTV).

Debido a los cortes eléctricos tras los terremotos, los pozos de extracción de agua de acuíferos cesaron su función y se cortó el suministro de agua a nivel local. Gran parte del sistema de abastecimiento se despresurizó, lo que acrecentó que se produjeran numerosas roturas de tuberías en las zonas de licuefacción.

Los ejemplos típicos de los daños el abastecimiento como consecuencia de los terremotos fueron (15):

- Roturas y daños en tuberías y valvulería anexa;
- Estaciones de bombeo giradas o elevadas respecto de su cimiento;
- Embalses dañados;
- Arquetas y pozos de registro con grietas;
- Suelo deformado;
- Posible infiltración y contaminación en la red de abastecimiento;
- Desgaste excesivo de las bombas en las estaciones de bombeo debido a la infiltración de arena / limo de los pozos por la licuefacción.

7. Daños en saneamiento

Christchurch realiza el tratamiento de aguas residuales a través de una única estación depuradora. En ésta se lleva a cabo el tratamiento de unos 130 millones a 160 millones de litros por día. El sistema de distribución de aguas residuales en Christchurch incluye cerca de 1.767 kilómetros de redes de saneamiento, 950 km de conducciones desde la conduc-

about 3,317 km of pipe. Common water main pipes are either cast iron (CI), fibrolite or asbestos cement (AC), PVC and PE (7).

Due to widespread liquefaction, covering perhaps 5% to 10% of the urbanized area within the CCC system (Figure 10), there have been a great number of failures to buried water pipes and particularly AC pipes. In many of these areas, these will be entirely replaced by PE pipes (that will perform better in future seismic events on account of their flexibility). The damage to pipeline is being inspected by closed circuit television (CCTV).

Due to power outages after the earthquakes, the wells to the aquifers stopped working and the water supply was cut at a local level. Major portions of the water system became depressurized and this was heightened by numerous failures in the pipelines in liquefaction areas.

Typical examples of the damage to the water supply as a result of the earthquakes, include (15):

- *Fracture and damage to pipes and associated valves;*
- *Pump stations offset or raised above foundations;*
- *Damage to reservoirs;*
- *Cracked tanks and man holes;*
- *Land deformation;*
- *Possible infiltration and pollution of supply system;*
- *Excessive wear of pumps at pumping stations due to infiltration of sand/silt in the wells due to liquefaction.*

7. Damage to sewage

All sewage in Christchurch is treated at one wastewater treatment plant. This facility treats most of the sewage for urban Christchurch, treating from 130 million to 160 million litres per day. The Christchurch wastewater system includes about 1,767 km of sewer mains, 950 km of laterals from the mains to private properties and 86 pump stations. Available data shows that 1,337 km of collection pipe are "brittle" (including concrete pipe (RCRR), vitrified clay pipe (EW)) and 430 km are "ductile" (PVC and PE).

The earthquakes have caused considerable damage to the wastewater network, with

ción principal a las propiedades particulares (denominadas laterales), y 86 estaciones de bombeo. Los datos disponibles muestran que 1.337 kilómetros de tuberías del sistema de saneamiento son "frágiles" (incluyendo tuberías: hormigón reforzado RCRR, tuberías de arcilla vitrificada (EW)) y 430 km son "dúctiles" (PVC y PE).

Los terremotos han causado daños considerables en la red de aguas residuales, con aproximadamente el 30% de daño en la red de saneamiento. Se llevaron a cabo soluciones temporales como la distribución de 2.900 retretes portátiles dispuestos en las calles y 30.000 retretes químicos distribuidos a los hogares particulares. Los ejemplos de daños observados han sido (15):

- Entrada de sedimentos y licuefacción en la red de saneamiento;
- Roturas y daños en accesorios y tuberías;
- Cambio en la pendiente de las conducciones por gravedad;
- Ovalización de tuberías plásticas;
- Pozos de registros y las estructuras levantadas o inclinadas;
- Estaciones de bombeo levantadas y / o inclinadas;
- Desgaste excesivo en las bombas debido al bombeo excesivo de arena / limo.

8. Conclusiones

La magnitud del desastre natural ocurrido en Christchurch, lleva a analizar la particular respuesta ante dicha situación de emergencia, asentada en dos grandes pilares: sociedad y comunidad científica.

Por una parte la sociedad, y el país en general, ha sabido superar el trauma y recuperar la confianza de que, en este caso Christchurch, puede seguir siendo una gran ciudad para vivir. A este aspecto ha colaborado en gran medida el Gobierno de Nueva Zelanda creando CERA (Agencia para gobernar y coordinar las acciones para la reconstrucción de la ciudad). Por otra parte la comunidad científica, y los ingenieros en particular, en la lucha "con" la naturaleza para obtener una infraestructura resistente, con un enfoque multidisciplinar y coordinado, derivado de la envergadura de los daños. En la Tabla 3 se establecen los daños evaluados hasta la fecha.

approximately 30% of the sewage network being damaged. 2,900 portable toilets were placed on the streets and 30,000 chemical toilets were distributed to homes as temporary facilities. Examples of the damage recorded to the system are (15):

- *Entry of sediment and liquefaction in the sewage network;*
- *Fracture and damage to pipelines and ancillary works;*
- *Change of slope of pipelines due to gravity;*
- *Ovalisation of plastic pipes;*
- *Uplifted or sloping manholes and structures;*
- *Raised and/or sloping pumping stations;*
- *Increased wear of pumps due to excessive pumping of sand and silt.*

8. Conclusions

The scale of the natural disaster in Christchurch calls for an examination of the particular response to this emergency situation by both the public and the scientific community.

The public, and the country in general, has been able to overcome the trauma and recover the trust that Christchurch will continue to be a great city to live in. The New Zealand Government must take a large amount of credit for this, following the setting up of the Canterbury Earthquake Recovery Authority (CERA). In their battle "with" nature and the ensuing search for more resistant infrastructure, the scientific community and engineers in particular, have brought a multi-disciplinary and coordinated focus, as a result of the sheer scale of the damage. This damage being illustrated to some extent by the following table 3.

Tabla 3/Table 3.

	Unit	Replacement/Repair
Water Reticulation	Km	160
Sewers	Km	570
Sewer Pump Stations	No	11
Stormwater	Km	100
Roading - residential	Km	600
Foot Bridges	No	51
Road Bridges	No	94

Fuente/Source: SCIRT <http://strongerchristchurch.govt.nz>

Desde Septiembre de 2011, y en la fase de Reconstrucción, dentro de la alianza denominada "SCIRT" (Strong Christchurch Infraestructure Team) se están llevando a cabo estudios pormenorizado de mejoras en las infraestructuras para hacerlas perdurables a futuros eventos sísmicos. También se está analizando la fiabilidad de diferentes materiales en situación de licuefacción, así como, diseñando nuevas soluciones ingenieriles como son sistemas de presión para el saneamiento. Por lo que este desastre está suponiendo un gran reto tanto para los ingenieros como para la sociedad en general. ♦

Since September 2011 the reconstruction work conducted under the auspices of the SCRIT alliance (Stronger Christchurch Infrastructure Team) has entailed detailed studies of improvements to infrastructure to make it more resistant to future seismic events. Studies have been made of the reliability of different materials in the case of liquefaction and new engineering solutions have been designed such as pressure systems for wastewater drainage. This disaster has subsequently posed a considerable challenge for both engineers and society in general. ♦

Referencias/References:

- (1) Wilson, John; *Christchurch Swamp to City: A Short History of the Christchurch Drainage Board 1875-1989*, Te Waihora Press, Lincoln, for the Christchurch Drainage Board, 1989 ; Christchurch; 1989, 96 págs.
- (2) NZPA (National Staff); *Christchurch earthquake death toll reaches 182*. The Press. Christchurch, New Zealand: Fairfax New Zealand Limited, 2011, March.
- (3) Stevenson J.R.; Kachail, H.; Whitman, Z.; Seville, E.; Vargo, J.; Wilson, T.; *Preliminary observations of the impacts of the 22 February Christchurch Earthquake had on organisations and the economy. A report from the (22 February - 22 March 2011)*. Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering, Vol. 44, No. 2, 2011, June.
- (4.) IPENZ (Institute of Professional Engineer); *Christchurch Earthquake - an overview*. Institution of Professional Engineers of New Zealand, 4 págs, 2011, March.
- (5) Donnell, H., Harper, P.; *Christchurch earthquake: Levels of liquefaction 300 - 500 pc worse?*. New Zealand Herald. APN Holdings NZ Limited. 2011.
- (6) NZDBH (New Zealand Department of Building and Housing); *Structural Performance of Christchurch CBD Buildings in the 22 February 2011 Aftershock*, 2011, September.
- (7) Eidinger, J.; Tang, A.; O'Rourke, T.; *Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering (TCLÉE) Report of the 4 September 2010 Mw 7.1 Canterbury (Darfield)*, 2010, November.
- (8) THE CANTERBURY EARTHQUAKES AND ROYAL SOCIETY OF NEW ZEALAND; *Answers to critical questions about buildings*; 2011.
- (9) Declan Lynch; *Codes challenged by Christchurch quake*. New Civil Engineer International 54.2011, 2011, March.
- (10) THE CANTERBURY EARTHQUAKES; *The performance of concrete. Briefing Note 02-2011 Canterbury Earthquakes*, (2 pages), 2011, February.
- (11) IPENZ (Institute of Professional Engineer); *Fact sheets compiled and distributed by the Institution of Professional Engineers of New Zealand: Liquefaction (3 pages). Why buildings respond differently to earthquakes (4 pages), Building Safety Evaluation (2 pages)*, 2011, March.
- (12) NZS (New Zealand Standard); *NZS 1170.5: 2004 Structural Design Actions. Part 5: Earthquake actions-New Zealand*; Technical Committee BD-006-04-11; 2004, December.
- (13) Lynch, D; *Codes challenged by Christchurch quake*, NCE (New Civil Engineer <http://www.nce.co.uk>)2011, March.
- (14) NZSE (New Zealand Society for Earthquake Engineering); *Report to the Royal Commission of Inquiry into Building Failure Caused by the Canterbury Earthquakes Building Safety Evaluation Following the Canterbury Earthquakes*, 2011, September.
- (15) CCC (CHRISTCHURCH CITY COUNCIL); *Infrastructure Recovery Technical Standards and Guidelines*; 2011, October.