

## MISION CERESIS UNESCO A CHILE 2010

La misión denominada CERESIS UNESCO se formó para observar los efectos del terremoto ocurrido en Chile el 27 de febrero del 2010.

El director ejecutivo de CERESIS, Dr. Daniel Huaco, organizó un equipo de profesionales de diferentes países sudamericanos para viajar a Chile. El viaje se dio del 15 al 21 de marzo del 2010. La misión contó con el apoyo local en Santiago de Chile del Dr. Sergio Barrientos del Dpto. Geofísica Univ. De Chile, quien facilitó aspectos de logística y alojamiento en la capital chilena. El Ing. Maximiliano Astroza, Profesor de Ing. Civil de la Universidad de Chile también proporcionó valiosa información en los lugares visitados.

Los integrantes de la misión fueron:

Ecuador: Hugo Yépes Dpto. Geofísica sismólogo, U Politécnica Nacional Quito.

Colombia: Carlos Alvarado Ing. Civil Especialista en Geotecnia Coordinador Estudios de Microzonificación Sísmica Área de Amenazas Geológicas de INGEOMINAS

Perú : Daniel Quiun profesor de Ing. Civil, especialista en estructuras de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Venezuela: Michael Schmitz geofísico de FUNVISIS

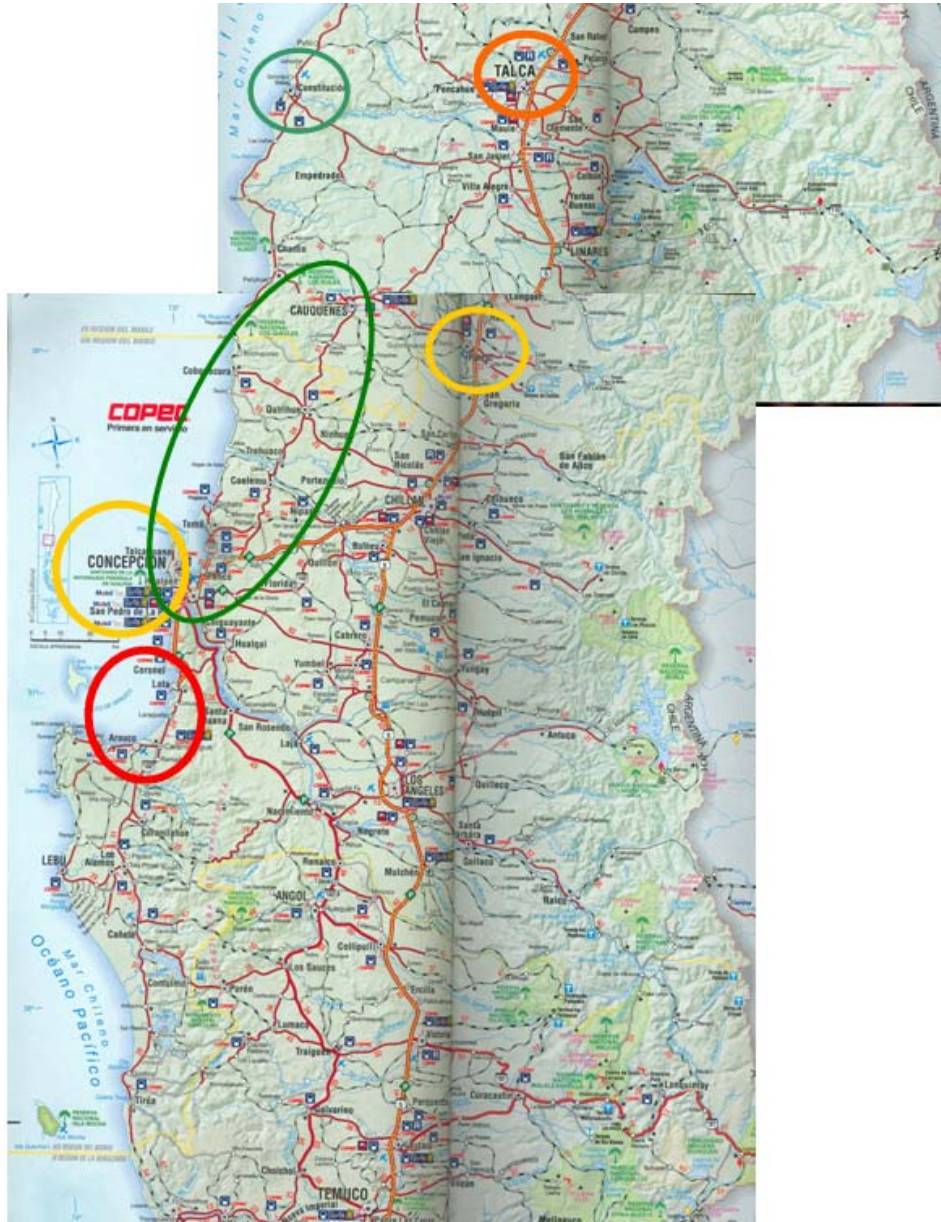
Adicionalmente, nos acompañó en el viaje Paul Gachet, Ing. Estructural y Arquitecto, de la Universidad Politécnica Nacional de Quito, Ecuador. El alumno Víctor Soto de la Universidad de Talca nos acompañó asimismo la mayor parte del recorrido.

El presente informe trata básicamente sobre aspectos estructurales observados en edificaciones de adobe y mampostería. En otro documento se comenta sobre las observaciones sobre los efectos observados en edificios de concreto armado y puentes, del tsunami, efectos en las carreteras y en la naturaleza.

El viaje a la zona afectada cubrió 5 días, del martes 16 al sábado 20 de marzo del 2010. Los lugares visitados se pueden identificar en el mapa 1 (guía COPEC).

El martes 15 se salió de Santiago de Chile en movilidad alquilada hasta la ciudad de **Talca**. Al anoecer el grupo continuó hasta la ciudad de Linares para pernoctar. El miércoles 16 se pasó por la ciudad de **Parral**, y hacia el inicio de la tarde llegamos a la ciudad de **Concepción**; allí se pudo recorrer el centro de la ciudad a pie. El jueves 16 se visitó en la mañana el cerro **Lo Galindo** a las afueras de la ciudad de Concepción, y el puerto de **Talcahuano**; en la tarde nos dirigimos al sur, por la costa pasando por las localidades de **Coronel, Lota, y Arauco**. El viernes 17 pasamos por el hospital y la Universidad de Concepción y salimos de dicha ciudad hacia el norte, pasando por **Penco, Puerto Lirquén, Coliume y Dichato**. En la tarde se cubrió los poblados de **Coelemu, Quirihue, Cauquenes, Chancos, Los Pellines** hasta terminar en **Constitución**. En la ruta de retorno pasamos

nuevamente por Talca hasta llegar de madrugada a Santiago. El sábado 20 se visitaron algunos edificios en la ciudad de **Santiago de Chile**.



MAPA 1. Día 16: Talca; Día 17: Parral y Concepción; Día 18: Talcahuano, Coronel, Arauco; Día 19: Penco, Dichato, Quirihue, Cauquenes, Constitución; Día 20: Santiago.

## 1. VISITA A TALCA

La **Región del Maule** es la VII Región de las quince en las que se encuentra dividido Chile. Cuenta con una superficie de 30.269,1 km<sup>2</sup> y una población estimada al año 2009 de 999.685 habitantes. La región está compuesta por las provincias de Cauquenes, Curicó, Linares, y Talca; la capital regional es la ciudad de Talca ([http://es.wikipedia.org/wiki/VII\\_Region\\_del\\_Maule](http://es.wikipedia.org/wiki/VII_Region_del_Maule)).

### 1.1 Edificaciones de adobe y mampostería sin reforzar en Talca

En general las construcciones de adobe son antiguas, constan de muros de .40 a .50m de ancho, con alturas mayores a 3m, sin ningún tipo de refuerzo. Los daños en estos muros van desde grietas diversas hasta el colapso. Asimismo, abundan en las calles de la ciudad las construcciones de mampostería antiguas de ladrillos macizos no reforzada, es decir sin arriostres ni confinamientos. Estas han sufrido derrumbes y grietas, básicamente por acción sísmica perpendicular al plano de los muros (fig. A1 a A23).



Fig. A1 a A4





Fig. A5 a A10



Fig. A11 a A16

Fig. A17 a A23



## 1.2 Edificios de mampostería en Talca

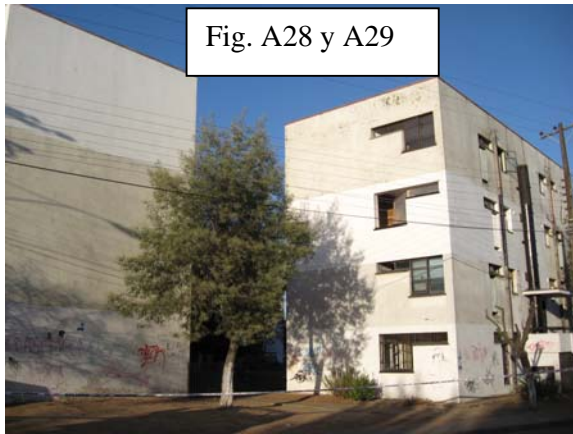
Se visitó un conjunto de edificios algo antiguos de albañilería confinada de 4 pisos, para viviendas populares. En uno de los edificios (fig. A24 a A27) se ven daños importantes en la fachada del lado corto, cuyo primer piso es de concreto armado, por lo que fue desocupado tras el terremoto. Las fachadas del lado largo están llenas de vanos de puertas y ventanas, por lo que la estructura debe ser de pórticos en la dirección larga; sin embargo, en esa dirección los daños son mínimos.



Fig. A24 a A27



Otros edificios vecinos de características similares se ven sanos y en uso (fig. A28 y A29).



El hospital de Talca muestra un bloque antiguo de mampostería simple con grietas grandes en todos los muros, por lo que debería ser demolido. En cambio, el bloque moderno y el puente que conecta ambos bloques sólo muestran danos en elementos no estructurales: vidrios, parapetos, falsos cielos (fig. A30 a A32).



Fig. A30 a A32





El centro de la ciudad muestra la iglesia del colegio Salesianos con daños importantes en los muros de mampostería. La fachada y la torre de la iglesia están a punto de caerse, por lo que el tránsito vehicular ha sido suspendido por la avenida y calle lateral, con escombros (muchos ladrillos de arcilla) a todo lo ancho de la vía (fig. A33 a A35).



En el colegio mismo, la estatua central del tercer piso se ha quebrado, pero el resto del edificio a pesar de su antigüedad se ve entero (fig. A36 a A38).



Fig. A36 a A38

La Escuela Superior de Hombres (fig. A39 y A40) presenta falla y colapso del parapeto de la azotea sobre el techo del segundo piso (aparentemente sin columnas de arriostre).



Fig. A39 y A40

Frente a un edificio comercial y de oficinas de Talca, la fig. A41 muestra el grupo de la misión CERESIS, de izquierda a derecha: Daniel Quiun (Perú), Carlos Alvarado (Colombia), Michael Schmitz (Venezuela), Paul Gachet y Hugo Yépes (Ecuador). La fig. A42 muestra en este edificio gruesas fisuras en el recubrimiento de la fachada.



Fig. A41 y A42

## 2. VISITA A PARRAL

Parral es un poblado en el camino entre Linares (donde pernoctamos) y Concepción. Es una de las ciudades más afectadas por el terremoto, por lo visto en los daños en las construcciones de adobe y mampostería sin reforzar. En el camino al hospital de la ciudad, el panorama de la destrucción es reflejado en las fig. A43 a A48.



Fig. A43 a A48

### 3. VISITA A CONCEPCION

**Concepción** es una ciudad y comuna del centro de Chile, capital de la provincia homónima y de la VIII Región del Biobío ([http://es.wikipedia.org/wiki/Concepcion\\_\(Chile\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Concepcion_(Chile))). Se dice que es la segunda ciudad de mayor desarrollo en Chile y una de las más mencionadas tras el terremoto, por los colapsos y derrumbes de edificios y puentes, además de la importancia de la ciudad. En la misma ciudad hemos recorrido el centro detectando una serie de daños en edificios de mampostería simple, especialmente en aquellos más antiguos. Los edificios de concreto armado se reportan en otro documento.

La mayoría de las fallas en edificios de mampostería observados en la ciudad de Concepción son de corte diagonal en los muros portantes de edificios bajos (fig. A49 a A55) y también en los tabiques o muros no portantes en edificios de concreto (fig. A56 y A57).

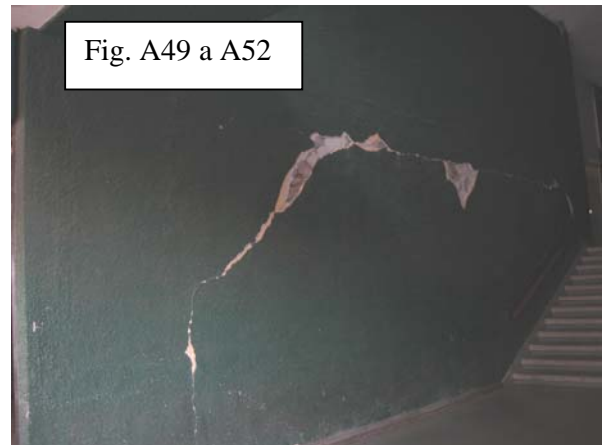


Fig. A53 a A55



Fig. A56 y A57



El colapso por acción sísmica perpendicular al plano se repite en los pisos superiores de edificios con techo liviano, sin vigas soleras (fig. A58 a A62). Este tipo de colapsos también se pudo apreciar en edificaciones de un piso sin vigas soleras (A63 a A66).



Fig. A58 a A62





Fig. A63 a A66



Del mismo modo, el colapso por acción sísmica perpendicular al plano se pudo observar en numerosos muros de fachadas y parapetos que cayeron desde las azoteas hacia la calle. En estos casos, el arriostramiento con columnetas de concreto no existió (fig. A67 y A68).

Fig. A67 y A68





Una edificación educativa antigua de dos niveles de mampostería simple muestra desgarramiento de las dos esquinas, mostrando la falta de elementos de confinamiento y se ha marcado en la fachada el aviso “Peligro de Derrumbe” (fig. A69 y A70).



Fig. A69 y A70

De otro lado, se pudo observar en la zona periférica al centro, varios edificios relativamente modernos de 5 niveles bien confinados, que estaban en uso y sin daños (fig. A71 y A72).



Fig. A71 y A72

Asimismo, se pudo ubicar un edificio antiguo de 3 niveles confinado con elementos metálicos, que resistió bien el terremoto, pero un bloque adyacente de dos niveles muestra una gran grieta diagonal y el derrumbe de un tramo del segundo nivel (fig. A73 a A75).



Fig. A73 a A75



En las afueras de la ciudad de Concepción, alrededor del cerro y laguna Lo Galindo se pudo apreciar una serie de viviendas populares de construcción mixta. Aquellas sin daños, lucen mejor hechas con el primer piso de mampostería confinada y el segundo piso de madera (fig. A76 y A77). Otras casas son más modestas o informales. En una de ellas, a pesar de defectos gruesos en el concreto de las columnas, el muro de mampostería hecho con unidades rústicas luce entero. En cambio, un muro adyacente colapsó por carga ortogonal a su plano, muy posiblemente por ausencia de arriostres (fig. A78 a A80). Según manifestó el ama de casa, fue el único daño severo en los alrededores.



Fig. A76 y A77



Fig. A78 a A80



#### 4. VISITA A TALCAHUANO

En general los edificios de mampostería con algún daño han sido los más antiguos y por tanto son de mampostería simple o sin refuerzos (fig. A81 y A82). También sufrieron algunas construcciones ubicadas en las laderas, especialmente por hundimientos del terreno (fig. A83 y A84), además que algunos muros no han tenido arriostres adecuados y han caído.



Fig. A81 y A82

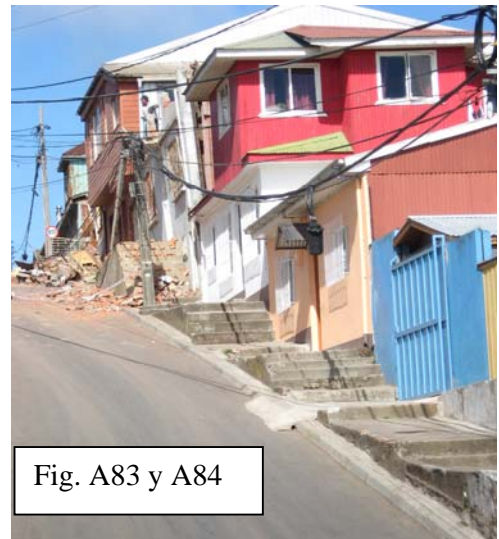
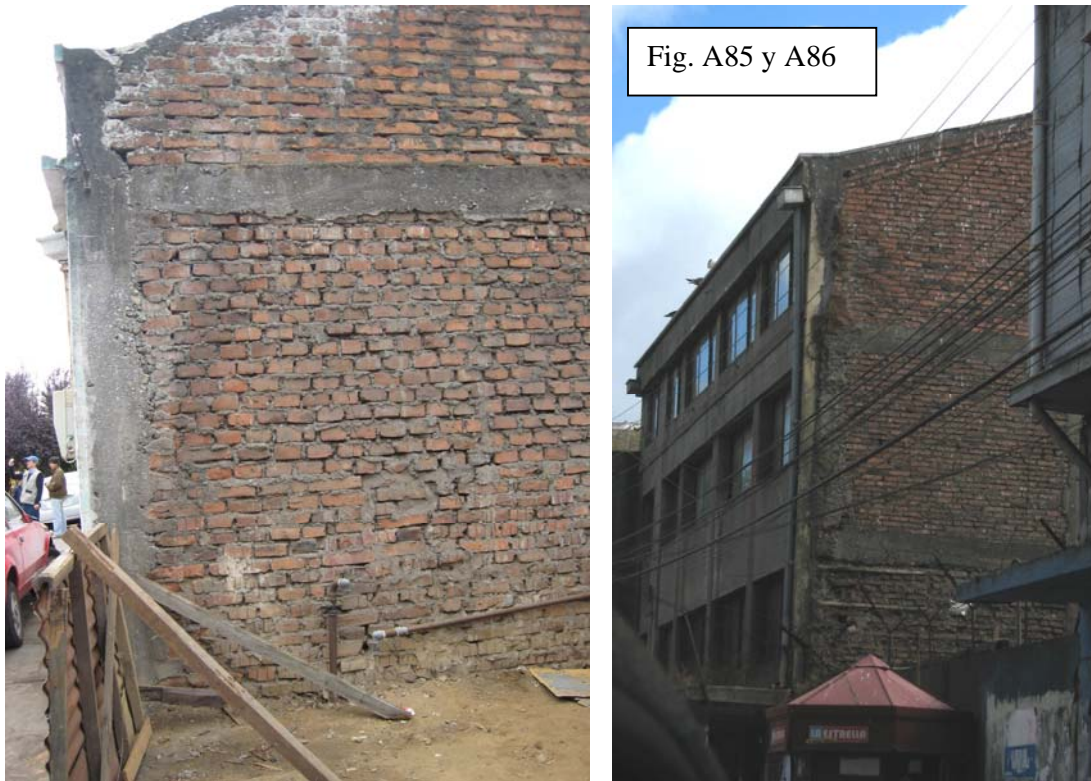


Fig. A83 y A84

De otro lado, los edificios de uno a cuatro pisos de mampostería confinada con concreto armado han resistido el terremoto y sus réplicas sin mayores daños visibles (fig. A85 y A86).



Una falla interesante es la caída completa de un tramo largo de un muro de cerco con columnas de arriostres, aunque se desconoce si fue producto del terremoto o del tsunami (fig. A87 a A90). De cualquier modo, se pudo notar que el anclaje fue superficial e insuficiente. Cruzando la avenida se observan aún restos de una de las zonas inundadas en Talcahuano.





En cambio, un edificio abandonado adyacente a este cerco, con muros mucho más altos, se mantuvo en pie con sólo algunas grietas (fig. A91 y A92).



Debe indicarse que el servicio de transporte por ferrocarriles se había interrumpido hasta nuevo aviso. Sin embargo, a unos 50 metros del edificio de la fig. A91 se pudo notar la vía férrea en buen estado (fig. A93), demostrando que la intensidad del terremoto en este punto ha sido baja. Más bien, el tsunami fue quizás lo que ocasionó mayores daños, ya que cerca de este punto pudo apreciarse un gran barco varado (fig. A94).



En el resto de la ciudad-puerto de Talcahuano (fig. A95, ver el monitor Huáscar al fondo), los daños visibles se repiten en mampostería no reforzada (fig. A96 a A101).



Fig. A95



Fig. A96 a A101



## 5. VISITA A CORONEL

En Coronel, al sur de Concepción, se pudo inspeccionar un grupo de edificios antiguos de mampostería confinada de 5 pisos (fig. A102), construidos entre 1957 a 1960 según los pobladores afectados. Debido al nivel de grietas en las estructuras, los edificios han sido desocupados por orden municipal. Al momento de nuestra visita, estaba pendiente una evaluación estructural para decidir si los edificios son reparables o deben ser demolidos. Llamemos al edificio de color melón y rojo como “A” y al edificio de color verde y rosado como “B”.



Fig. A102

En el edificio “A” (fig. A103 a A110) se pudo notar desde afuera que los muros portantes habían tenido un buen comportamiento, tanto en la dirección corta del edificio como en la larga (paralela a las fachadas con voladizos de color rojo).



Fig. A103 y A104

Sin embargo, hay grietas diagonales en los parapetos y alféizares de los pisos 1 a 4, vaciamiento de algunos tabiques en la fachada posterior (los de color rojo, estaban sobre losa en volado).



En base a esta inspección se pudo deducir que los muros portantes de mampostería han soportado adecuadamente el terremoto, mientras que muchos de los muros no portantes han sufrido daños severos y colapsos. Por ello, si bien técnicamente la edificación podría ser reparable, económicamente podría no serlo, por la cantidad de reparaciones y reposiciones de los elementos no estructurales (ventanas, acabados de pisos, revestimientos, enchapes, etc.).



Fig. A107 y A108



Fig. A109 y A110



En el edificio “B” (fig. A111 a A117) se pudo notar que aunque los muros portantes de las fachadas cortas y largas habían tenido un buen comportamiento, otros en el interior tenían grietas diagonales o grietas horizontales desde el primer al cuarto piso. A pesar de ello, se observa que las grietas no son tan gruesas y podrían ser reparables.



Fig. A111 a A114



Fig. A115 y A116 Primer piso



Fig. A117

## 6. VISITA A PENCO

Penco es un poblado al norte de Concepción que sufrió además el efecto del tsunami. En las Fig. A118 a A120 se observan viviendas de uno y dos pisos con colapsos de muros de mampostería y reclamos de viviendas dignas, donde una casa de madera se derrumbó, mientras que al lado hay una construcción de mampostería confinada en perfecto estado.



Fig. A118 a A120

Entre el centro de Penco y Puerto Lirquén se encuentra Villa Esperanza, donde una manzana de casas ha sufrido daños importantes por asentamientos del suelo. Las figuras A121 a A125 ilustran el hundimiento de los pisos de patios y veredas, las unidades de arcilla (ladrillos macizos) acumuladas tras la caída de algunos muros y cercos. Los pobladores comentaron que a pesar de contarse con estudios de suelos y haberse hecho algunos trabajos de compactación, al parecer no fueron adecuados ni suficientes para resistir las vibraciones del terremoto. Debe mencionarse también que a la fecha de nuestra visita, este sector de Penco adolecía del servicio de agua potable, la que era recogida por la población de unos tanques reservorios instalados en las calles (fig. A126).



Fig. A121 a A126

## 7. VISITA A DICHATO

Dichato es un balneario que fue uno de los más afectados por el tsunami. La visión de las partes bajas cercanas a la costa es de destrucción casi total. Sin embargo, quedan en pie algunas casas y destacan algunos muros que forman un pequeño cuadrado en planta, de 1.5x1.5m aproximadamente, como si fueran los módulos de baños (fig. A127 a A131).



Fig. A127 a A131



En el campo deportivo frente a las casas de dos pisos se ha acumulado el desmonte y residuos, los que despiden un olor pestilente. Algunos muros del cerco del campo deportivo han caído o están a punto de caer (fig. A132 y A133). Las casas mencionadas tienen muros de mampostería en el primer piso y madera en el segundo piso, con algunos daños visibles (fig. A134 a A136).



Fig. A132 a A136

## 8. VISITA A QUIRIHUE

En el poblado de Quirihue se observaron docenas de casas de adobe con daños severos, producto de su construcción tradicional sin refuerzos y los techos livianos sin elementos de conexión (sin vigas soleras). Los muros con tarrajeo tuvieron un mejor comportamiento. Las grietas observadas son predominantemente a) diagonales indicando fallas de corte coplanar; b) desgarramiento vertical de las esquinas; c) verticales y horizontales cerca de la base, indicando fallas por flexión causadas por fuerzas ortogonales al plano de los muros. Los techos habían caído en muchos casos (fig. A137 a A141).



Fig. A137 a A141

## 9. VISITA A CAUQUENES

En el la ciudad de Cauquenes se pudo notar algunas construcciones de adobe con daños similares a los observados en Quirihue (fig. A142 y A143). Además, el templo de San Francisco Cauquenes, muestra grietas en la torre y muros de fachada (fig. A144 y A145).



Fig. A142 y A143



Fig. A144 y A145



Muchas edificaciones de mampostería simple han sufrido daños importantes. Al lado de la iglesia de San Francisco, se ubica el Liceo de varones con fallas por grietas diagonales en diversos casos de muros portantes del primer piso como en tabiques (Fig. A146 a A150).



Fig. A146 a A150



La caída de un parapeto alto sobre el voladizo de techo del ingreso a un auditorio hizo que este techo colapse sobre la calle (Fig. A151 y A152).



Fig. A151 y A152

Un edificio antiguo de oficinas de dos pisos, básicamente aporricado con muchos muros de mampostería tuvo numerosas fallas. Las grietas diagonales indican que los muros de relleno trabajaron por corte ayudando a resistir el terremoto. Se notan muchas fallas en las conexiones entre elementos de concreto y muros de mampostería (fig. A153 a A158).



Fig. A153 a A158



Respecto a edificios de mampostería confinada, se ubicó uno de tres pisos con grietas diagonales muy gruesas y colapsos en el primer piso en varios muros, lo mismo en los muros del tercer piso; ya se ha marcado con avisos “peligro de derrumbe” y “Demoler total” (fig. A159 a A163). Se presume que las fallas se deban a una baja densidad de muros, a que algunos muros están confinados solo parcialmente y hay una pobre conexión entre columnas de concreto y muros de mampostería donde se han separado.



Fig. A159 a A162





Fig. A163

## 10. VISITA A CONSTITUCIÓN

En esta ciudad se tuvo quizás los mayores efectos de tsunami, pero las edificaciones con algún nivel de ingeniería lucen un daño leve a moderado por efectos del terremoto. Un politécnico de 3 niveles (fig. A164 a A168) muestra la altura de la inundación, pero luego los daños lucen como concentrados en vidrios y no en la estructura, tan es así que hay pedidos en la fachada de “Autoridades queremos funcionar” y “El politécnico te necesita”.



Fig. A164 a A168



Otras edificaciones de mampostería de adobe y de ladrillos con daño incluyendo el colapso se ubican cerca de la costa que sufrió el tsunami y son del tipo no reforzado (fig. A169 a A173).



Fig. A169 a A173

## 11) VISITA A SANTIAGO DE CHILE

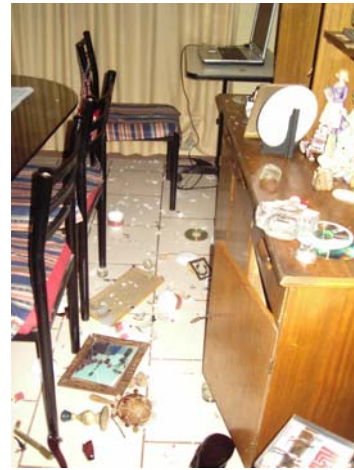
En Santiago de Chile, en una casa de la comuna de Maipú, se pudo conseguir un ladrillo típico de las construcciones actuales, denominado ladrillo “Princesa”, usado en muros armados (Fig. A174). Sus medidas exteriores son 240x115x71 mm. La intensidad del movimiento provocó caída de adornos y objetos en dicha casa (fig. A175 y A176).



Fig. A174



Fig. A175 y A176



En esta comuna de Maipú hubo varios edificios de concreto armado que sufrieron daños severos y colapsos. Se preguntó a diversos vecinos afectados sobre el tipo de suelo y reconocieron que era uno blando. También en ciertas zonas se advierten cercos colapsados por acción sísmica perpendicular al plano (A177 y A178).



Fig. A177 y A178

## CONCLUSIONES

- 1) Las edificaciones de adobe en la zona visitada, incluyendo viviendas y templos religiosos son del tipo tradicional, no reforzado. En gran parte, han sufrido fuertes daños con colapsos completos, en otros casos las grietas son abundantes y deben demolerse los pocos muros que quedaron en pie. Los muros de adobe con algún tarrajeo han tenido un mejor comportamiento, aumentando la resistencia y evitando mayor fisuración. Es conveniente que se difunda medidas de protección a construcciones existentes, como la inclusión de mallas de alambre con tarrajeo de cemento u otro similar. A su vez, de ser necesario, se puede dar mejoras tecnológicas y procedimientos racionales de diseño en adobe para construcciones nuevas con refuerzo incorporado desde el arranque.
- 2) Las edificaciones de mampostería simple antiguas han tenido una serie de colapsos, tanto por acción sísmica coplanar (fallas de corte) como perpendicular al plano del muro (fallas de flexión). Las unidades empleadas en estos muros son en general ladrillos de arcilla macizos, de construcción básicamente artesanal. Estos muros deben contar con arriostres de concreto armado colocados convenientemente.
- 3) Los cercos de adobe y de mampostería simple han caído en muchos sectores, por falta de arriostramiento (columnas de concreto). En otros casos, la presencia de columnas no ha sido suficiente por falta de anclaje principalmente, y el muro de cerco se ha derrumbado.
- 4) En general, las edificaciones de mampostería confinada han tenido un buen comportamiento sísmico. Las grietas diagonales observadas son reparables en la mayoría de los casos y los edificios afectados pueden recuperarse desde el punto de vista técnico estructural. En el caso del edificio de Cauquenes con indicaciones de demoler total, se observa que el confinamiento es parcial y aparenta tener una baja densidad de muros, y un mala conexión entre muros y columnas, por lo que no cumple con las especificaciones técnicas de las Normas.
- 5) Los efectos de tsunamis en diversas localidades han sido arrasadores con las construcciones débiles. Las de mampostería confinada han tenido la suficiente resistencia para resistir tanto el terremoto como el tsunami posterior.