



**FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

**“DETERMINACIÓN DEL ESTADO DE LAS CONDICIONES DE  
EDIFICACIONES AFECTADAS POR AGRIETAMIENTOS ASOCIADOS AL  
FENÓMENO DE SUBSIDENCIA”**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CONSTRUCTOR**

**PROFESOR GUÍA: ENZO ARELLANO RAMOS**

**ULISES ANTONIO ROZAS SALAS  
CURICÓ - CHILE**

**2018**

## CONSTANCIA

La Dirección del Sistema de Bibliotecas a través de su encargado Biblioteca Campus Curicó certifica que el autor del siguiente trabajo de titulación ha firmado su autorización para la reproducción en forma total o parcial e ilimitada del mismo.



Two circular stamps and signatures are present. The left stamp is blue and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" at the top, "DIRECCIÓN" in the center, and "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" at the bottom. A blue ink signature is written over the stamp. The right stamp is grey and reads "UNIVERSIDAD DE TALCA" at the top, "SISTEMA DE BIBLIOTECAS" in the center, and "CAMPUS CURICO" at the bottom. A blue ink signature is written over the stamp.

Curicó, 2022

**AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, agradecer a mis padres y hermanos por apoyarme en todo este proceso y siempre creer en que todo esto sería posible.

Agradezco a mi profesor guía Enzo Arellano por su tiempo, flexibilidad y disponibilidad a la hora de realizar y elaborar esta memoria.

A todos muchas gracias...

“EL QUE SE RINDE NUNCA LO LOGRA”

**DEDICATORIA**

A mi familia, en especial a mi madre, por su apoyo y por nunca dejar de creer en mí.

## RESUMEN EJECUTIVO

La subsidencia del terreno se conoce como un fenómeno geológico que afecta extensas o pequeñas zonas, estas no suele ocasionar víctimas fatales, pero causan una gran alarma social e importantes daños estructurales y económicos cuando ocurre en lugares poblados.

Se entiende por subsidencia, al paulatino hundimiento del terreno, las que se clasifican en dos tipos; factores naturales (endógenos) y por la intervención del hombre (exógenas), estas causas se manifiestan en la superficie, mediante deformaciones verticales que pueden variar de pocos milímetros a varios centímetros, cuando se presenta el fenómeno.

Una de las problemáticas de este suceso, es que en nuestro país no es muy conocido o no se le ha dado la importancia que merece, ya que lamentablemente no se cuenta con algún mecanismo o dispositivo que ayude a detectar cuanto puede descender un terreno o como puedo anular el posible hundimiento de este.

Cabe mencionar que Chile es un país sísmico, factor natural (endógeno), que causa movimientos en el terreno que desencadenan al hundimiento de este, lo que quiere decir que estamos muy propensos a sufrir este fenómeno.

En nuestro país la única entidad que se preocupa de este suceso es el Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería), pero principalmente solo evidencia e informa donde existen suelos propensos a fallar, los cuales son bastantes a lo largo y ancho de nuestro país.

Nuestro principal objetivo es evidenciar los daños que provoca este asentamiento en las edificaciones de hormigón armado, ya sean daños estructurales o no estructurales y también ver si soportaron de buena manera o se vieron afectadas de gravedad y/o mediana gravedad.

El estudio se realizó en la Séptima Región del Maule y la Octava Región del Bío Bío, donde se detallan por separado todas las inclemencias que este fenómeno provocó a las estructuras estudiadas.

Lo tratado en esta memoria concluye que Chile cuenta con una gran cantidad de terrenos propensos a fallar y debido a esto, las edificaciones no están equipadas de la adecuada manera para soportar un hundimiento de terreno, por lo que en su mayoría tiende a agrietarse y posteriormente a colapsar.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	Página
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	9
1.1  Introducción.....	9
1.2  Objetivos .....	10
1.2.1  Objetivo general .....	10
1.2.2  Objetivos específicos.....	10
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO .....	11
2.1  Reseña histórica del hormigón armado .....	11
2.2  Estructuras de hormigón armado.....	13
2.3  Elementos que componen la estructura de una edificación.....	17
2.3.1  Elementos lineales.....	17
2.3.2  Elementos superficiales.....	19
2.4  Subsidencia.....	21
2.4.1  Tipos de Subsidencia.....	21
A    Subsidencia Endógena:.....	21
B    Subsidencia Exógena:.....	23
2.5  El fenómeno de la Subsidencia en el mundo.....	26
2.5.1  México (Ciudad de México).....	26
2.5.2  España (Murcia) .....	29
2.5.3  Italia (Venecia).....	30
2.5.4  Japón.....	32
2.5.5  Chile .....	33
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y DESARROLLO .....	37
3.1  Recopilación fotografías séptima región Del Maule .....	38
3.1.1  Kilómetro 204 – 206, Molina .....	38
3.1.2  Ruta 5 Sur, Parral .....	38
3.1.3  Lago Vichuquén .....	40
3.1.4  Costanera, Constitución.....	41
3.1.5  Puente Lautaro ruta K-60, Licantén .....	42

	Página
3.2 Recopilación fotografías octava región del Bío Bío.....	43
3.2.1 Puente Juan Pablo II, Concepción.....	43
3.2.2 Puente Llacolén, Concepción.....	44
3.2.3 Condominio Brisas del Sol, Talcahuano.....	45
3.2.4 Lomas de San Andrés, Concepción.....	46
3.2.5 Población Nueva Vista, Concepción.....	47
3.2.6 Villa Cap, Concepción.....	48
3.2.7 Población Gabriela Mistral, Coronel.....	49
3.2.8 Condominio Portal del Centro, Concepción.....	50
3.2.9 Condominio Los Presidentes, Hualpén.....	51
3.3 Cuestionario en base al terremoto del 27 de febrero del año 2010, realizado al SERVIU (7° y 8° región)53	
3.3.1 Cuestionario 7° región del Maule.....	53
3.3.2 Cuestionario 8° región del Bio Bío.....	56
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN.....	58
4.1 Terreno.....	59
4.2 Caminos y carreteras.....	60
4.3 Puentes.....	61
4.4 Viviendas.....	62
4.5 Edificaciones.....	64
4.6 Terreno.....	65
4.7 Caminos y carreteras.....	66
4.8 Puentes.....	67
4.9 Viviendas.....	68
4.10 Edificaciones.....	70
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
5.1 Conclusiones.....	71
5.2 Recomendaciones.....	73
BIBLIOGRAFÍA.....	76

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Página
Ilustración 1: FrancoisCoignet (1814-1888). .....	12
Ilustración 2: William Wilkinson (1819-1902). .....	12
Ilustración 3: Joseph Louis Lambot (1814-1887) bote de hormigón armado. ....	12
Ilustración 4: Joseph Monier (1823-1906). .....	13
Ilustración 5: Estructura de hormigón armado en proceso de construcción. ....	13
Ilustración 6: Viga pretensada de hormigón. ....	16
Ilustración 7: Proceso de pretensado de los tendones que su ubican dentro de las vainas. ....	17
Ilustración 8: Diversos pilares de hormigón armado, de una estructura. ....	17
Ilustración 9: Viga fabricada, lista para ser instalada en obra. ....	18
Ilustración 10: Tirantes utilizados de soporte en la armadura de un puente colgante. ....	18
Ilustración 11: Cimentación superficial, zapata en pleno proceso constructivo. ....	19
Ilustración 12: Cimentación profunda, pilote hincado verticalmente sobre la superficie del terreno. ....	19
Ilustración 13: Muro de hormigón armado en una edificación. ....	20
Ilustración 14: Forjado en proceso de vertido de hormigón. ....	20
Ilustración 15: Subsistencia por disolución de rocas carbonáticas. ....	22
Ilustración 16: Subsistencia por flujo lateral. ....	22
Ilustración 17: Subsistencia tectónica. ....	23
Ilustración 18: Subsistencia minera. ....	24
Ilustración 19: Subsistencia por carga. ....	25
Ilustración 20: Aumento exagerado (explotación) del agua extraída del subsuelo Ciudad de México. ....	26
Ilustración 21: Ejemplo de cimentaciones realizadas con pilotes. ....	27
Ilustración 22: Edificio que presenta el fenómeno de emersión. ....	28
Ilustración 23: Ejemplos de patologías en infraestructura urbana y edificación. ....	29
Ilustración 24: Elevación del nivel del agua “fenómeno aguas altas”. ....	31
Ilustración 25: Hundimiento placa de Nazca bajo la Sudamericana. ....	34
Ilustración 26: Isla Orrego, afectada por subsidencia. ....	35
Ilustración 27: Bucalemu, afectado por Subsidencia. ....	35
Ilustración 28: Colapso edificio Alto Río. ....	36
Ilustración 29: Hundimiento terraplén, inclinación de vías y caída de postes. ....	38
Ilustración 30: Daños en la calzada, caminos intransitables. ....	38
Ilustración 31: Grietas y desplazamientos en la carretera. ....	39

## Página

Ilustración 32: Desplazamientos y enormes grietas en el terreno. ....	40
Ilustración 33: Desplome y hundimiento de terrenos por la orilla del lago. ....	40
Ilustración 34: Desplazamientos provocaron grietas y desplomes en la calzada. ....	41
Ilustración 35: Daños evidentes en los pilares y tableros del puente. ....	42
Ilustración 36: Daños y asentamientos en el estribo y pilares del puente. ....	43
Ilustración 37: Asentamientos diferenciales en los pilares del puente. ....	43
Ilustración 38: Grietas en el terreno y asentamientos de las columnas del puente. ....	44
Ilustración 39: Inclinación de vivienda debido al hundimiento del terreno. ....	45
Ilustración 40: Grietas y desplazamientos en viviendas. ....	46
Ilustración 41: Grietas y surgimiento de aguas subterráneas. ....	46
Ilustración 42: Asentamientos del terreno, rotura de matrices. ....	47
Ilustración 43: Grietas en muros y losas, debido a hundimientos y desplazamientos. ....	48
Ilustración 44: Grietas en calzada y vivienda, debido al hundimiento del terreno. ....	49
Ilustración 45: Asentamientos provocaron daños en los edificios y sistemas de alcantarillado. ....	50
Ilustración 46: Asentamientos e inclinación de edificios. ....	51
Ilustración 47: Surgimiento de aguas subterráneas. ....	51
Ilustración 48: Inclinación del edificio Riesco, debido asentamientos del terreno. ....	52
Ilustración 49: Daños provocados por el hundimiento del terreno a terrenos. ....	59
Ilustración 50: Daños provocados por el hundimiento del terreno a carreteras ....	60
Ilustración 51: Daños provocados por el hundimiento del terreno a puentes. ....	61
Ilustración 52: Daños provocados por el hundimiento del terreno a viviendas. ....	63
Ilustración 53: Daños provocados por el hundimiento del terreno a edificaciones. ....	64
Ilustración 54: Daños provocados por el hundimiento del terreno a terrenos. ....	65
Ilustración 55: Daños provocados por el hundimiento del terreno a carreteras ....	66
Ilustración 56: Daños provocados por el hundimiento del terreno a puentes. ....	67
Ilustración 57: Daños provocados por el hundimiento del terreno a casas. ....	69

## CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1 Introducción

En la presente investigación se habla de la subsidencia, ¿Qué es?, los tipos y mecanismos que la desencadenan y como estos afectan a las estructuras. Específicamente a edificaciones de hormigón armado.

En términos generales se entiende por subsidencia al fenómeno geológico que produce un hundimiento paulatino del terreno, éste se desarrolla en una gran superficie. No suele ocasionar víctimas mortales, pero si grandes daños materiales cuando ocurre en grandes ciudades. Este fenómeno se produce por factores naturales (endógenos) y por la intervención del hombre (exógenas), siendo este último el más común.

Entre las causas naturales se identifican los movimientos tectónicos, fallas, pliegues, entre otros. Al contrario se entiende como causantes exógenas las construcciones de obras subterráneas o galerías mineras, como también por compactación (carga, drenaje, vibración, extracción de fluidos, etc.).

Hoy en día el fenómeno de subsidencia no es muy conocido a nivel nacional, pero sí a nivel mundial, los primeros reportes datan del siglo XIX aproximadamente. En el presente existen muchas ciudades que están siendo afectadas por este suceso, provocando enormes daños materiales en las zonas urbanas, ya sea a edificios, vías de comunicación (carreteras) y todo tipo de construcciones situadas en el terreno. Las principales ciudades afectadas o las que demuestran más daños son: Ciudad de México, Murcia, Venecia, Bogotá entre otras, en el transcurso de la memoria se detallarán las causas y problemáticas que este fenómeno está causando a todas estas ciudades.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo general**

- ♦ Determinar el estado de la construcción de edificaciones afectadas por el fenómeno de subsidencia.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- ♦ Explicar y definir el fenómeno de subsidencia.
- ♦ Determinar el tipo de vivienda de hormigón armado a estudiar y sus respectivos elementos estructurales que la componen.
- ♦ Definir los tipos de fallas estructurales que afectaran a las viviendas, asociadas al fenómeno de subsidencia.
- ♦ Determinar acciones preventivas y soluciones al problema de subsidencia.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Reseña histórica del hormigón armado

Las primeras aplicaciones del hormigón armado datan del siglo XIX aproximadamente, los principales nombres que destacan de este descubrimiento son el francés Francois Coignet como se muestra en la ilustración 1 (1814-1888), quien llevo a cabo en el año 1853 la construcción de un inmueble de 4 plantas en la ciudad de París. El edificio se construyó con fines propagandísticos para demostrar la gran capacidad del hormigón como elemento de construcción, en el año 1855 su obra fue presentada en la Exposición Universal de París y un año más tarde obtuvo la patente del sistema de construcción de hormigón reforzado con barras metálicas.

En el año 1854 el británico William Wilkinson como se muestra en la ilustración 2 (1819-1902) patentó un sistema de forjados reticulares construidos con encofrados de yeso. Este constructor también había descubierto algunas ventajas que poseía el hormigón como material ideal para la construcción de edificios.

En el año 1855 Joseph Louis Lambot como se muestra en la ilustración 3 (1814-1887), presentó en la exposición de París un bote de hormigón armado, por otro lado el francés Joseph Monier como se muestra en la ilustración 4 (1823-1906), utilizó la misma aplicación que ocupaba Lambot, pero este confeccionó jardineras, su primera patente data del año 1867, la cual trataba de un mortero de cemento reforzado con alambres de acero, encofrado dentro de unos moldes que permitían su comercialización. Se dice que Monier está por delante de todos los personajes anteriormente mencionados, principalmente por su visión comercial al ver todas las posibilidades y características que poseía el material, sus cuatro patentes posteriores aplicaron el hormigón a la construcción de tubos y tanques hidráulicos, paneles prefabricados para fachadas, pasarelas para peatones, vehículas y vigas. En el año 1875 confeccionó un puente de 13,8 m de largo y 4, 25 m de ancho.



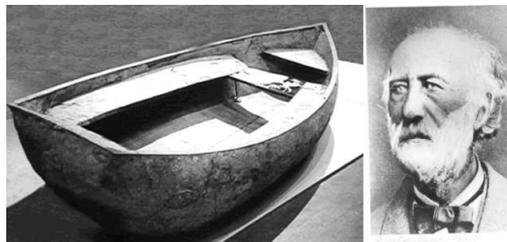
**Ilustración 1: Francois Coignet (1814-1888).**

**Fuente: Primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro.**



**Ilustración 2: William Wilkinson (1819-1902).**

**Fuente: Primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro.**



**Ilustración 3: Joseph Louis Lambot (1814-1887) bote de hormigón armado.**

**Fuente: Primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro.**



**Ilustración 4: Joseph Monier (1823-1906).**

**Fuente: Primeras construcciones de hormigón reforzado con hierro.**

## **2.2 Estructuras de hormigón armado**

Las edificaciones que se estudiarán en esta memoria serán las de hormigón armado, a continuación se definirá lo que se entiende por estructura y por hormigón armado.

- ♦ Estructura: Se entiende por estructura, al grupo de elementos que unidos entre sí forman el esqueleto de una edificación, esta debe ser resistente y capaz de soportar su propio peso y cargas externas (ver ilustración 5).



**Ilustración 5: Estructura de hormigón armado en proceso de construcción.**

**Fuente: Gilva.**

- ♦ Hormigón armado: Material utilizado en la construcción, está compuesto por dos elementos, el hormigón y el acero. Principalmente se refiere a la unión de una armadura de acero con el vertido de hormigón en un determinado molde el que le da su forma, este componente es utilizado en todo tipo de edificaciones, caminos, puentes, túneles, entre otros, a continuación se definirán los elementos que lo conforman.
- ♦ Hormigón: Material que se forma por la unión de áridos y la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante (cemento).
- ♦ Acero: Material metálico compuesto por hierro y una pequeña cantidad de carbono (0,03 % -2,14 %).

Las estructuras se confeccionan dependiendo de las necesidades que requiera la obra, estas se dividen en:

- ♦ Prefabricadas: Aquellos elementos estructurales que se realizan (se hormigonan y se coloca la armadura) en fábrica.
- ♦ In situ (en obra): Aquellos elementos estructurales que se realizan (se hormigonan y se coloca la armadura) en obra.

Tipologías de cargas que afectan a una estructura:

- ♦ Cargas estáticas (muertas): Son cargas permanentes que no tienen movimiento, entre ellas se mencionan el peso propio de la estructura, el peso de los materiales que conforman la edificación (fachadas, techos, acabados, etc.), también se identifican equipos permanentes en la estructura (muebles, electrodomésticos, etc.).
- ♦ Cargas dinámicas (vivas): Cargas que no son permanentes y que tienen movilidad, como lo son las sobrecargas de uso, nieve, lluvias, etc.
- ♦ Cargas accidentales: Cargas que pueden alcanzar grandes magnitudes, no se deben al funcionamiento normal de la estructura y ocurre durante lapsos temporales, como lo son los movimientos sísmicos.

Tipologías de esfuerzos que afectan a una estructura:

- ♦ Tracción: Fuerzas que actúan provocando el estiramiento del cuerpo sobre el que actúan. Son fuerzas opuestas y cuyo sentido es hacia el exterior.
- ♦ Compresión: Fuerzas que actúan provocando el aplastamiento del objeto por el efecto de la compresión. Son fuerzas opuestas que actúan en la misma dirección y en sentidos contrarios entre ellos.
- ♦ Flexión: Son fuerzas que intentan doblar un objeto.
- ♦ Torsión: Son fuerzas que intentan retorcer un objeto. Son las más peligrosas en las estructuras.
- ♦ Corte o cizalle: Son fuerzas que actúan como el filo de las tijeras, muy próximas y una en cada sentido. Intenta cortar un objeto.

#### Estructuras pretensadas y postensadas

- ♦ Pretensadas: Hace alusión a elementos prefabricados. Estos deben seguir los siguientes pasos: la colocación de las armaduras tensadas y luego la del encofrado (molde que le da forma al elemento), seguido del vertido del hormigón, curado y fraguado de éste y finalmente corte de las armaduras sobresalientes (ver ilustración6).

#### Características de la estructura pretensada

- ♦ Pieza prefabricada.
- ♦ El pre-esfuerzo se aplica antes de las cargas, su acción es interna.
- ♦ El acero tiene trayectorias rectas.
- ♦ Las piezas se sostienen en apoyos cortos.



**Ilustración 6: Viga pretensada de hormigón.**

**Fuente: Ulmaconstruction.**

- ◆ Postensadas: al contrario del pretensado, éste es un método de presforzado en el cual el tendón que va dentro de unos conductos (vainas) es tensado después de que el hormigón ha fraguado, los pasos de su construcción son los siguientes: colocación de las armaduras y las vainas por donde irán los tendones, luego la del encofrado, seguido del vertido del hormigón, curado y fraguado de éste, para finalizar la introducción de los tendones dentro de las vainas y pretensados de éstos. En los extremos se colocan cuñas de anclaje (Ver ilustración 7).

#### Características de la estructura postensada

- ◆ Pieza prefabricada o colocadas en terreno.
- ◆ Se aplica el presfuerzo después del fraguado del hormigón, Su acción es externa.
- ◆ El acero tiene trayectorias rectas o curvas.
- ◆ Las piezas permiten continuidad en los apoyos (grandes luces).



**Ilustración 7:** Proceso de pretensado de los tendones que se ubican dentro de las vainas.

**Fuente:** Cuevadelcivil.

## **2.3 Elementos que componen la estructura de una edificación**

### **2.3.1 Elementos lineales**

- ♦ **Pilar:** Conocido también como columna, elemento que se apoya de forma vertical que soporta esfuerzos de compresión y flexión (Ver ilustración 8).



**Ilustración 8:** Diversos pilares de hormigón armado, de una estructura.

**Fuente:** Ulmaconstruction.

- ♦ Viga: elemento horizontal que se apoya en los pilares, este soporta esfuerzos de tracción, compresión y flexión (Ver ilustración 9).



**Ilustración 9: Viga fabricada, lista para ser instalada en obra.**

**Fuente: Archiexpo.**

- ♦ Tirantes: Recibe otras denominaciones, dependiendo de sus aplicaciones estas son: cable, tensor, riostra, entre otras. Elemento que soporta esfuerzos de tracción (Ver ilustración 10).



**Ilustración 10: Tirantes utilizados de soporte en la armadura de un puente colgante.**

**Fuente: Estructuras metálicas México.**

### 2.3.2 Elementos superficiales

- ◆ Cimentaciones: Elementos que se encuentran en la base de los pilares, soportan los esfuerzos de compresión de la estructura y estas a su vez se encargan de transmitir al suelo dichos esfuerzos, existen dos tipos de cimentaciones, estas son:

Superficial: Se apoyan a una poca profundidad del suelo, ya sea porque son construcciones livianas o de una pequeña envergadura, entre ellas se destacan las zapatas aisladas, zapatas corridas, losas de cimentación, entre otras (Ver ilustración 11).

Profundas: Se apoyan a una gran profundidad del suelo abarcando un área mucho más amplia para poder soportar las grandes cargas a las que serán sometidos, también se utilizan cuando el terreno es de una baja calidad y cuando hay existencia de agua, entre estas se destacan los pilotes, muros pantallas, entre otros (Ver ilustración 12).



Ilustración 11: Cimentación superficial, zapata en pleno proceso constructivo.

Fuente: Gilva.



Ilustración 12: Cimentación profunda, pilote hincado verticalmente sobre la superficie del terreno.

Fuente: Civilgeeks.

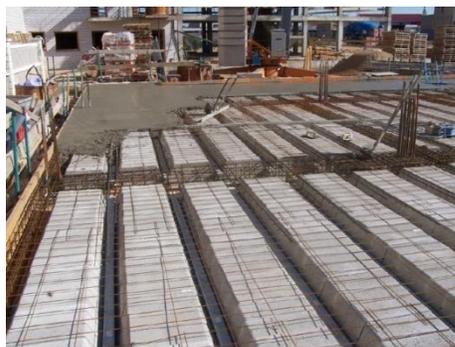
- ◆ Muro: Elemento vertical que posee un espesor, para su realización se pueden emplear varios materiales (hormigón, madera, acero), este cumple funciones estructurales (transmite y resiste esfuerzos) y no estructurales (divide ambientes dentro de una edificación) soporta esfuerzos de compresión y tracción (Ver ilustración 13).



**Ilustración 13: Muro de hormigón armado en una edificación.**

**Fuente: Construmatica.**

- ◆ Forjado: Elemento horizontal que posee un espesor, se sitúa entre las vigas del edificio formado por un conjunto de materiales (viguetas, bovedillas, hormigón) soporta esfuerzos de tracción, compresión y flexión (Ver ilustración 14).



**Ilustración 14: Forjado en proceso de vertido de hormigón.**

**Fuente: Gilva.**

## 2.4 Subsistencia

La Subsistencia es un fenómeno geológico. Este provoca el descenso del nivel del terreno en una determinada área relativamente extensa, es producido por múltiples fenómenos internos del suelo, los cuales pueden ser naturales o causados por el impacto de una gran variedad de actividades humanas (Corapcioglu, 1984) de acuerdo con su causa principal se pueden clasificar en dos tipos: endógeno y exógeno (Prokopovich, 1979).

### 2.4.1 Tipos de Subsistencia

#### A Subsistencia Endógena:

Son procesos geológicos que se originan en el interior de la tierra, involucra los movimientos de la corteza terrestre (tectónicos, volcánicos), también está relacionada con distintos procesos de consolidación de suelos, los que pueden estar afectados por efectos hídricos de succión de agua y por alteraciones de los minerales del suelo.

A continuación se mencionan algunas causas de subsistencia endógena:

- ♦ Por disolución subterránea (en sal, en yeso, en rocas carbonáticas): Estos son materiales muy solubles a la corteza terrestre, pueden llegar a generar grandes huecos interconectados entre sí, que ante un eventual colapso, generan una subsistencia en un área localizada (Ver ilustración 15).
- ♦ Por flujo lateral: Se observa principalmente en materiales arcillosos intercalados entre materiales más competentes como pizarras (Ver ilustración 16).
- ♦ Falla tectónica: Descensos de la superficie en general muy lentos y de pequeña magnitud (pocos milímetros por año), en relación con otros tipos de subsistencia (Ver ilustración 17).

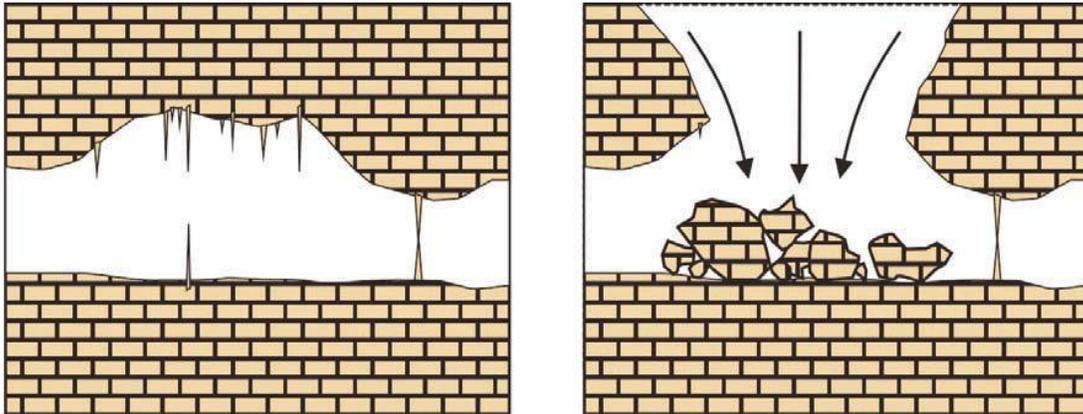


Ilustración 15: Subsistencia por disolución de rocas carbonáticas.

Fuente: Paper subsistencia del terreno

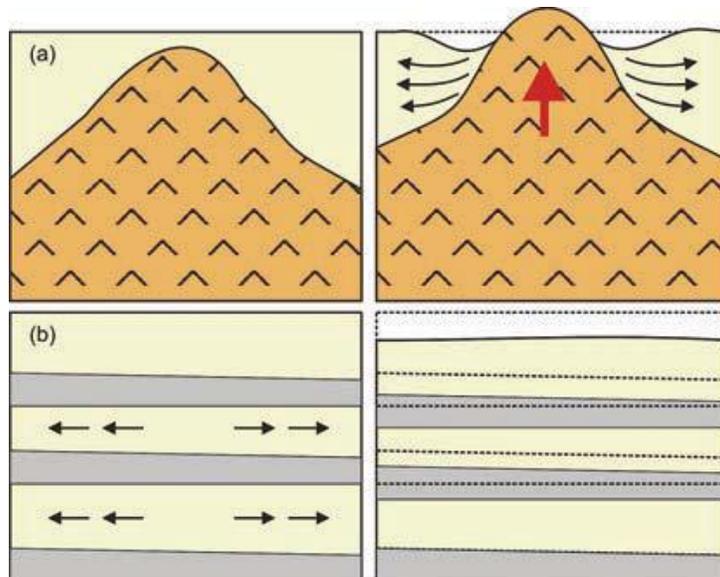
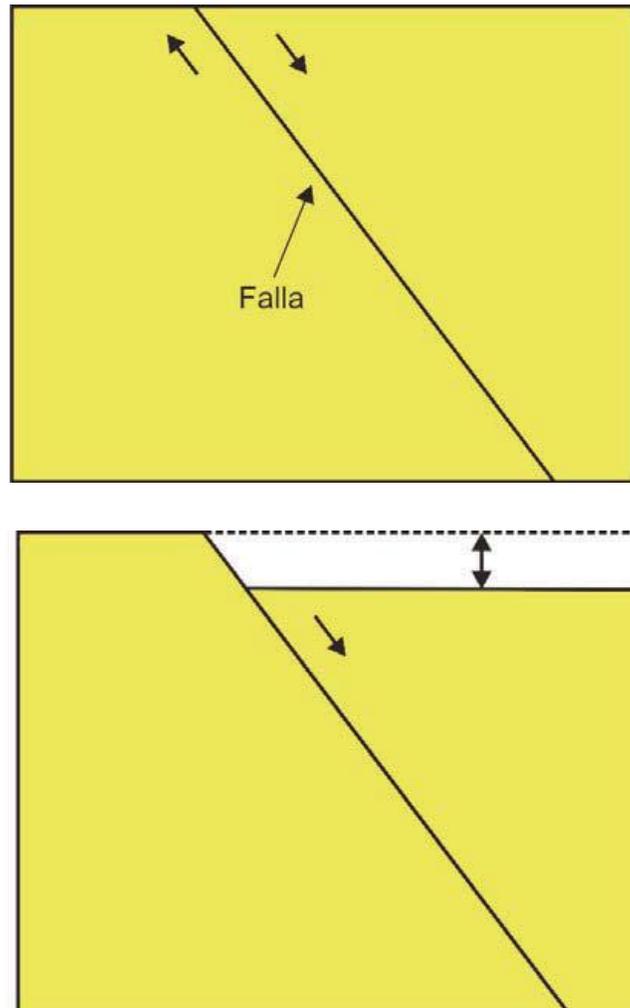


Ilustración 16: Subsistencia por flujo lateral.

Fuente: Paper subsistencia del terreno



**Ilustración 17: Subsidencia tectónica.**

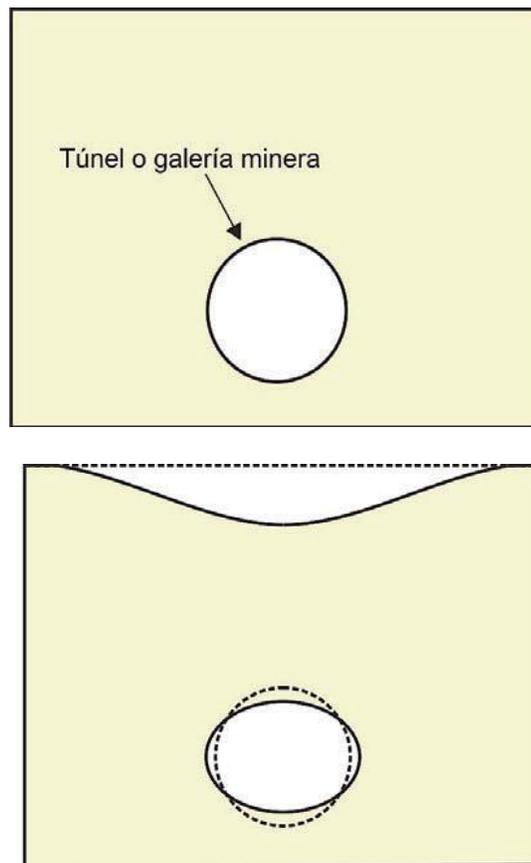
**Fuente: Paper subsidencia del terreno**

## **B Subsidencia Exógena:**

Son procesos geológicos causados por factores externos, principalmente por la actividad humana, estos afectan el suelo provocando deformaciones superficiales en el terreno, la principal causante es la extracción de fluidos del subsuelo (agua y compuestos orgánicos) estos son los que dan lugar a los asentamientos en la tierra.

A continuación se mencionan algunas causas de subsidencia exógena:

- ♦ Por construcción de obras subterráneas o galerías mineras: Consiste en el hundimiento del terreno con motivo de la deformación y/o colapso de la superficie (Ver ilustración 18).
- ♦ Por compactación (por carga, por vibración (explosiones), por extracción de fluidos, por hidrocompactación): Ejemplo de compactación por carga, la acumulación de cimentaciones ocasionan la consolidación del terreno como consecuencia del peso que ejercen las construcciones, esta subsidencia se produce por una reducción gradual de huecos en el suelo (Ver ilustración 19).



**Ilustración 18: Subsistencia minera.**

**Fuente: Paper subsidencia del terreno**

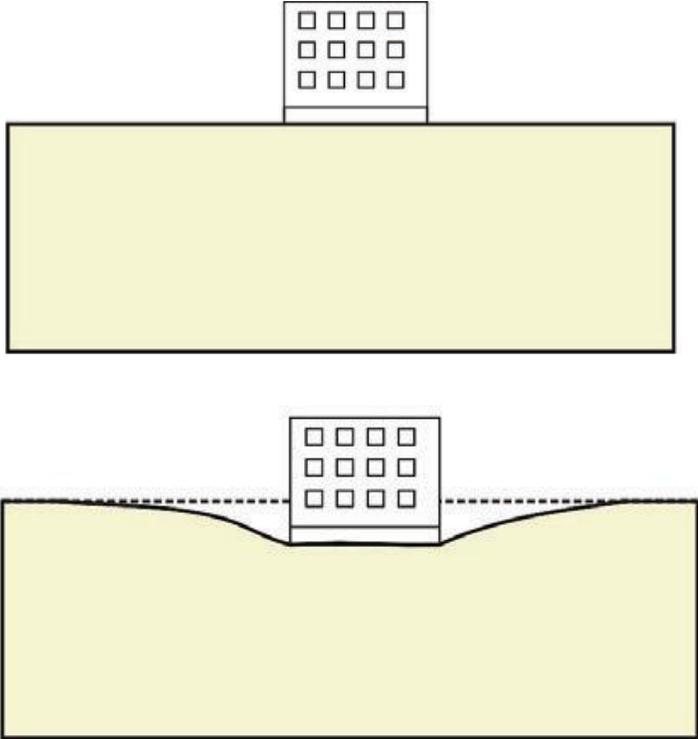


Ilustración 19: Subsistencia por carga.

Fuente: Paper subsistencia del terreno

## 2.5 El fenómeno de la Subsistencia en el mundo

### 2.5.1 México (Ciudad de México)

La Ciudad de México (Tenochtitlan) se ve afectada principalmente por la extracción de agua desde los acuíferos (aguas subterráneas), esta ciudad fue creada por los aztecas, sobre unos islotes (pequeñas islas) que se encontraban en las cuencas de México, al transcurrir el tiempo se fueron creando islotes artificiales, con el fin de hacer crecer la ciudad (adquirir más terreno). Luego los españoles establecieron la capital de la Nueva España, sobre los restos de esta ciudad, el gran problema que tuvieron fueron las seguidas inundaciones que afectaban a sector por lo que optaron por abrir la cuenca, con el fin de evitar futuras inundaciones, esto a su vez provoco la desaparición paulatina del lago. Hoy en día gran parte de esta capital se encuentra bajo los restos del antiguo lago.

Desde la antigüedad, hasta el presente se han detectado hundimientos que afectan las estructuras y construcciones, con lo que ha sido necesario realizar frecuentes reconstrucciones y mejoras para que esto no ocurra. Con el tiempo estos descensos del terreno fueron disminuyendo, ya que el suelo se fue consolidando, pero a mediados del siglo XX estos volvieron debido a la necesidad de agua de la población, lo que provocó la explotación de los acuíferos (Ver ilustración 20).



Ilustración 20: Aumento exagerado (explotación) del agua extraída del subsuelo Ciudad de México.

Fuente: Paper subsidencia del terreno

Se puede dar una visión clara de esta problemática (descensos) fijándose en algunos datos:

- ♦ Plaza central de la ciudad (el Zócalo) descenso aproximado de 7,5 cm.
- ♦ Subsistencia actual de 8 cm/año, no hay señales de que esto disminuya en el futuro.
- ♦ Graves daños en las estructuras de la ciudad (casas, edificios, caminos, sistemas de drenaje, etc.).

Abordando las construcciones modernas los asentamientos diferenciales (deformaciones no uniformes bajo las cimentaciones) no presentan problemas, no es así las antiguas, ya que estas se deforman y pueden colapsar debido a que sus cimentaciones no son profundas y se encuentran principalmente en el terreno afectado. Para la realización de una nueva edificación se debe tener en cuenta el fenómeno de subsistencia regional. Otro factor que afecta a estas obras modernas es el fenómeno de emersión, principalmente se debe a que los edificios se cimentaron sobre pilotes los cuales se apoyan sobre niveles duros existentes a profundidad, por lo que su cimentación no se ve afectada (Ver ilustración 21). Sin embargo mientras la ciudad se ve afectada por el descenso del terreno, estos no sufren ningún daño ni movimiento, el efecto que se produce es similar a la emersión del edificio, esto quiere decir que la edificación se mantiene estable y el terreno se hunde provocando diferencias de centímetros o metros con respecto a la calle (Ver ilustración 22).

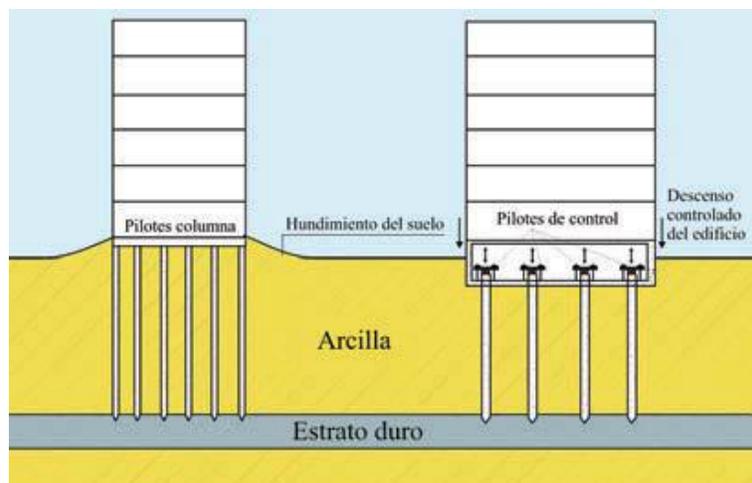


Ilustración 21: Ejemplo de cimentaciones realizadas con pilotes.

Fuente: Paper subsistencia del terreno



**Ilustración 22: Edificio que presenta el fenómeno de emersión.**

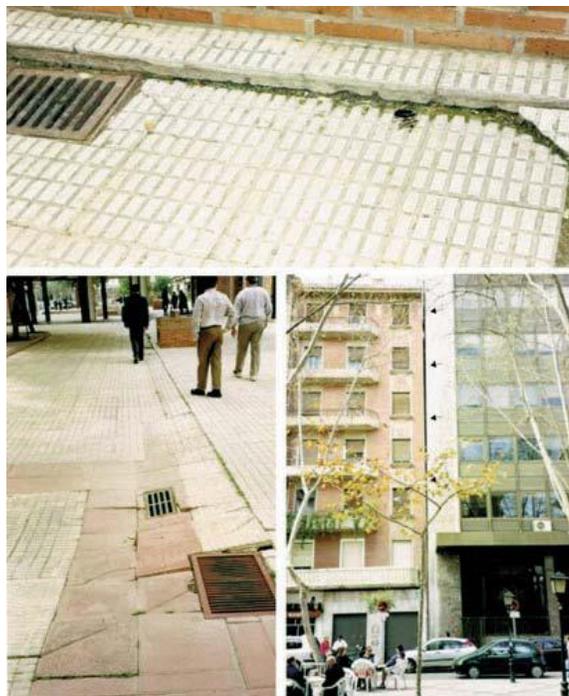
**Fuente: Paper subsidencia del terreno**

### 2.5.2 España (Murcia)

Esta ciudad se sitúa en el lado oriental de la cordillera Bética, en el valle de la Vega Media del río Segura. La composición del relleno de este valle es principalmente materiales arcillosos poco consolidados.

Abordando la problemática de esta capital, es la extracción de agua de los acuíferos que comenzó en los años 90, la cual ha aumentado considerablemente en los periodos de sequía, como consecuencia de esto se han producido descensos en los acuíferos, de aproximadamente unos 10 metros. Provocando una reducción de la presión del agua, la que encadena provocar el efecto de subsidencia en el terreno.

Al producirse este hundimiento del terreno, conllevó a causar grandes y múltiples daños en la infraestructura de la ciudad, provocando una gran alarma social entre la población (Ver ilustración 23).



**Ilustración 23: Ejemplos de patologías en infraestructura urbana y edificación.**

**Fuente: Paper subsidencia del terreno**

### 2.5.3 Italia (Venecia)

El fenómeno de subsidencia comenzó a tomar importancia a partir del año 1962, principalmente por la gran demanda de agua y energía que se requería para usos industriales en el país, estos provocaron la aparición de numerosos casos de subsidencia, los que se emplazan al norte, en el valle del Po. Lugar donde se sitúan los ríos más largos del país (Vázquez, 2001).

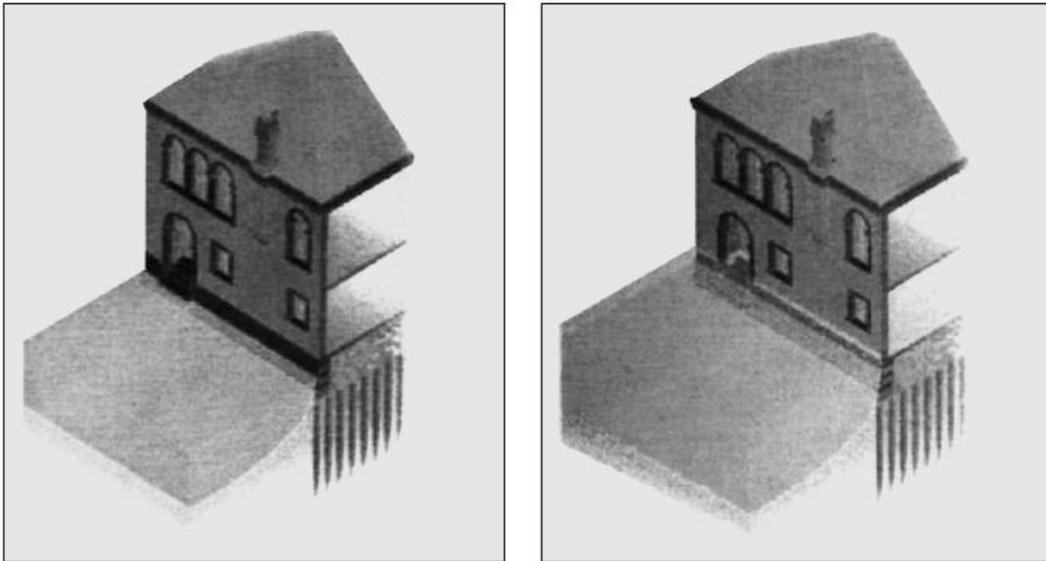
Las nivelaciones periódicas desarrolladas en el norte de Italia desde principios del siglo XX hasta nuestros días han puesto de manifiesto la acción de tres factores, independientes entre sí, pero cuyos efectos sobre la superficie terrestre se suman (Ricceri y Favaretti, 1992; Lewis y Schrefler, 1998).

- ◆ El eustatismo, que contribuye a que vaya retirándose el límite de la tierra seca con las continuas elevaciones del nivel del mar, que ha subido una media comprendida entre 10 y 20 cm a lo largo del siglo XX (Gambolati, 1999).
- ◆ La subsidencia natural, que afecta a todo el Valle del Po, debida a las deformaciones tectónicas del sustrato rocoso y a una continua consolidación natural de los depósitos geológicamente más recientes.
- ◆ La subsidencia provocada por el hombre mediante la extracción de grandes cantidades de agua y gas del terreno.

Uno de los lugares más afectados del país es la ciudad de Venecia, esta ciudad tiene una gran repercusión debido a la importancia histórico-artística, tiene una pequeña elevación sobre el nivel del mar lo que provoca inundaciones constantes en las estructuras y se teme que algún día desaparezca debido al hundimiento que posee (Corapcioglu, 1984).

En la antigüedad esta ciudad se consideraba inútil para su construcción, debido a la mala calidad del terreno (principalmente fango), pero con el transcurso de los años se descubrió que bajo el fango existían capas de arena y arcilla compactada, que ofrecían una base sólida para construir. Entonces se comenzaron a realizar edificaciones sobre pilotes clavados en la arcilla, luego sobre estas cimentaciones se colocaron capas de bloques horizontales formadas por bloques de piedra de Istria (piedra parecida al mármol en su color y algunas propiedades, siendo las más importante su impermeabilidad). Hoy en día existen aproximadamente unos 22.000 mil edificios en Venecia.

Uno de los fenómenos que afecta esta ciudad, debido a efectos de la subsidencia, se le denominado aguas altas, que consiste en la subida temporal del nivel del mar por el efecto combinado de las mareas y de la componente meteorológica, causada por la combinación de bajas presiones con los vientos (Ver ilustración 24).



**Ilustración 24: Elevación del nivel del agua “fenómeno aguas altas”.**

**Fuente: La subsidencia en Murcia. Implicaciones y consecuencias en la edificación.**

#### 2.5.4 Japón

Los primeros estudios de subsidencia datan del año 1900 en Tokio, los que fueron presentados en el año 1969, basándose en datos estadísticos recopilados hasta esa fecha. La gran mayoría de las ciudades de Japón están situadas en suaves llanuras junto al mar, lo que conlleva a una mayor problemática porque las ciudades costeras son las más afectadas por este fenómeno, debido a la subida del nivel de agua. La principal causa de subsidencia que afecta a este país es la extracción de agua del terreno, utilizada para el abastecimiento de la población y usos industriales, se estima que en el año 1989 Japón utilizaba aproximadamente 370.000 metros cúbicos por segundo de agua subterránea (Akagi, 1992).

Desde principios del siglo hasta aproximadamente los años 80 la subsidencia en todo el terreno de Japón aumentó considerablemente, llegando a completar 7.400 kilómetros cuadrados de superficie. De los cuales 1200 kilómetros cuadrados se encontraban por debajo del nivel del mar. Las áreas que en el año 1976 tenían una tasa de subsidencia superior a 2 cm/año ocupaban una superficie total de 1.946 kilómetros cuadrados. En el año 1978 de estas áreas 404 kilómetros cuadrados descendían más de 4 cm en un año (Akagi, 1992).

Al ser la gran parte de estas ciudades muy pobladas, constan con mucha infraestructura para sustentar a la población, al producirse este fenómeno desencadenó grandes pérdidas económicas y daños estructurales, por lo que se tuvieron que tomar medidas preventivas para que evitar futuros desastres en las construcciones.

### 2.5.5 Chile

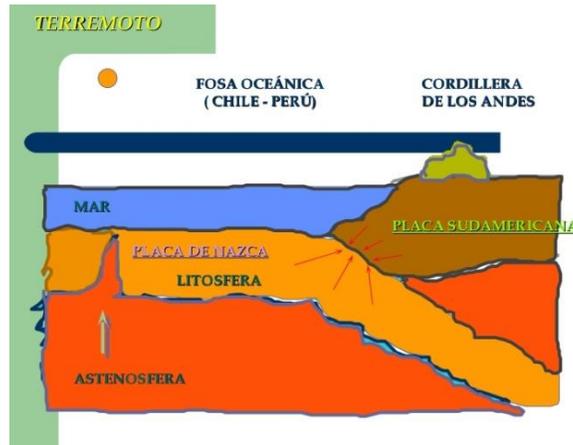
En Chile la subsidencia no es muy conocida, debido a que no existen grandes acontecimientos de este fenómeno, como a diferencia de los países mencionados anteriormente que ya tienen variados estudios hasta acciones preventivas para contrarrestar sus efectos, debido a todos los daños que ha causado principalmente en el área de infraestructura (edificios, casas, carreteras, etc.)

Las principales causas de subsidencia que afectan a Chile son:

- ♦ Causante exógena, construcción de galerías mineras: Un ejemplo de esto es la mina El Teniente.
- ♦ Causante endógena, por compactación, mediante sismos que provocan vibraciones en el terreno: Algunos ejemplos: terremoto de Valdivia ocurrido en el año 1960 y el terremoto de Constitución que sucedió en el año 2010.

Se abordará con mayor extensión la causante endógena, refiriéndose principalmente al terremoto de Constitución que ocurrió en el año 2010, preferentemente por el material que se tiene y debido a los daños que provocó derrumbes y agrietamientos de edificios, casas, carreteras en la zona central y zona costera del país.

El terremoto se produjo el 27 de febrero del año 2010 a las 3:34 horas. Zona centro-sur de Chile, la magnitud de este fue de 8,8, el epicentro se localizó a los  $35,85^{\circ}$  S/  $72,72^{\circ}$  W a 35 kilómetros de profundidad, el área de ruptura comprendió entre Valparaíso y el sur de la Isla Mocha (aproximadamente una extensión de terreno de 610 kilómetros). El mecanismo focal de este sismo es de tipo inverso, es decir, corresponde a un terremoto de subducción producto del hundimiento de la placa de Nazca bajo la sudamericana (Ver ilustración 25).



**Ilustración 25: Hundimiento placa de Nazca bajo la Sudamericana.**

**Fuente:** Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile.

Este fenómeno provocó en la superficie distintos fenómenos, como lo son los alzamientos (ascensos de terreno) y subsidencia (descensos del terreno), nos enfocaremos a los mencionados últimamente, para evidenciar los asentamientos producidos en las distintas ciudades se expondrá la tabla N°1.

Localidad	Subsidencia (m)
Valparaíso	-0,15
Cartagena	-0,35 a -0,1
Navidad	-0,2
Pichilemu	-0,4 a -0,1
Bucalemu	-1 a -0,2
Lago Vichuquén	-0,4 a -0,1
Desembocadura río Mataquito	-0,6 a -0,1
Constitución	-0,5 a -0,1
Dichato	-0,1
Caleta Tumbes	-0,2 a -0,1
Tomé	-0,2
Talcahuano	-0,2 a -0,1
Salto del Laja	-0,4 a -0,1

**Tabla N°1: Valores de descensos en el terreno de las zonas costeras.**

**Fuente:** Elaboración propia.

Para finalizar y demostrar con hechos los efectos que produjo la subsidencia se mostraran imágenes elocuentes de este suceso, se enfocaran principalmente a las ciudades costeras de Constitución, Bucalemu y Concepción.

En Constitución Isla Orrego en el curso superior del río Maule, la Isla se encontraba con una gran cantidad de árboles Eucaliptos, los cuales quedaron sumergidos unos 40 centímetros aproximadamente al ocurrir la subsidencia (Ver ilustración de 26).



**Ilustración 26: Isla Orrego, afectada por subsidencia.**

**Fuente: Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile.**

Bucalemu, también sufrió de este fenómeno, descensos de 1 metro aproximadamente (Ver ilustración de 27). En el que se evidencia un arco que comunica dos requeríos, fotografía (a) antes del terremoto fotografía (b) después del sismo.



**Ilustración 27: Bucalemu, afectado por Subsidencia.**

**Fuente: Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto Mw = 8,8 del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile.**

Para finalizar abordar en la ciudad de Concepción, la cual fue azotada fuertemente por este sismo, trajo muchos daños en infraestructura y pérdidas fatales, uno de los ejemplos más elocuentes es el colapso del edificio Alto Río (Ver ilustración de 28).



**Ilustración 28: Colapso edificio Alto Río.**

**Fuente: Cambios en el relieve generados como consecuencia del terremoto  $M_w = 8,8$  del 27 de febrero de 2010 en el centro-sur de Chile.**

### **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA Y DESARROLLO**

En este capítulo se expondrá una gran cantidad de imágenes que representan las consecuencias del tema en estudio (subsistencia). En estas imágenes se evidencian daños en el terreno, deterioro, grietas y colapsos en carreteras, puentes y edificaciones.

Cabe mencionar que la recopilación de fotografías, corresponden a las zonas más afectadas por el terremoto del año 2010, la 7° Región del Maule y 8° Región del Bío Bío.

El enfoque que se le dará principalmente a esta investigación será el estado de las edificaciones afectadas por el fenómeno de subsistencia. También se mostrarán distintas fotografías de lugares que fueron afectadas por el mismo fenómeno (carreteras, líneas férreas, entre otros).

Las imágenes se orientarán por región, señalando su ubicación y la descripción del daño.

También a modo de apoyo a este caso, se realizó un cuestionario al Ministerio de Vivienda y Urbanismo (SERVIU), este consta con 9 preguntas, las cuales se basan principalmente en los daños que provocó el terremoto del año 2010 a las zonas de la 7° y 8° región.

### 3.1 Recopilación de fotografías de la séptima región del Maule

#### 3.1.1 Kilómetro 204 – 206, Molina



**Ilustración 29: Hundimiento terraplén, inclinación de vías y caída de postes.**

Fuente: Sernageomin, 2010

Al sur de la localidad de Molina, se produjeron varios hundimientos del terreno, uno de los más evidentes fue el hundimiento de un terraplén de la línea férrea que llegó a hundirse hasta 2 metros y esto trajo consigo la inclinación de un gran número de postes por una extensión de unos 500 metros.

#### 3.1.2 Ruta 5 Sur, Parral



**Ilustración 30: Daños en la calzada, caminos intransitables.**

Fuente: Sernageomin, 2010



**Ilustración 31: Grietas y desplazamientos en la carretera.**

Fuente: Sernageomin, 2010

La Ruta 5 Sur fue seriamente dañada, uno de estos tramos abarca desde la localidad de Retiro hasta el sur de Parral. Debido a la gran magnitud del fenómeno, en la calzada se produjeron severos daños, agrietamientos longitudinales con profundidad de hasta 1 metro, y desplazamientos del camino, afectando principalmente a las bermas de la ruta. En consecuencia el sector quedó intransitable.

### 3.1.3 Lago Vichuquén



**Ilustración 32: Desplazamientos y enormes grietas en el terreno.**

Fuente: Sernageomin, 2010



**Ilustración 33: Desplome y hundimiento de terrenos por la orilla del lago.**

Fuente: Sernageomin, 2010

Por la orilla del lago, se produjeron desplazamientos laterales del terreno, provocando grietas de grandes dimensiones afectando caminos y el terreno colindante a la laguna. Estas grietas alcanzaron aberturas mayores a los 50 cm, visualizándose agua en su interior y abarcaron una área de hasta 30 metros desde la ribera del lago (Sernageomin, 2010).

Según el estudio realizado por GEER (2010) se encontraron evidencias de desplazamientos submarinos y por consecuencia quedaron bajo el agua árboles y muelles.

### 3.1.4 Costanera, Constitución



**Ilustración 34: Desplazamientos provocaron grietas y desplomes en la calzada.**

Fuente: Sernageomin, 2010

En la costanera de Constitución, se produjo el desplazamiento lateral del terreno, y por consecuencia afectó los pavimentos de la calle y se produjo inclinación de postes.

En la ribera poniente del estero ubicado en forma paralela a la calle Los Canelos, se generaron grietas que en su extensión afectaron las calzadas, al menos cuatro casas y una cancha recreacional. Las grietas alcanzaron profundidades de hasta 1.6 m, con aberturas de hasta 40 cm y desplazamientos verticales de hasta 50 cm (Sernageomin 2010). Esta misma institución afirma que el sector está compuesto por un relleno artificial sobre sedimentos finos y saturados, asociados a llanuras de inundación.

### 3.1.5 Puente Lautaro ruta K-60, Licantén



**Ilustración 35: Daños evidentes en los pilares y tableros del puente.**

Fuente: Sernageomin, 2010

El Puente Lautaro se ubica en la ruta K-60 y cruza el río Mataquito. Posee 8 tramos de 35 m, contabilizándose una longitud total de 280 m aproximadamente y un ancho de calzada de 6.1 m, más dos pasillos laterales de 70 cm. Los tableros están dilatados sobre cada cepa y se apoyan sobre 3 vigas postensadas (MOP).

Los principales daños ocasionados al puente consisten en el levantamiento de la mayoría de las tapas metálicas de las juntas de dilatación, el movimiento transversal de los tableros en hasta 7 cm (cepas 3 y 4) con desmoronamiento de hormigón de los pasillos y el estallido del hormigón en media altura de los muros cepas 3 y 4, lo que según MOP se debe a la falta de confinamiento por escasez de armadura transversal.

Además, de acuerdo a MOP el terraplén de acceso norte descendió debido a que un cajón (obra de arte) para el paso de animales se separó unos 80 cm.

### 3.2 Recopilación de fotografías de la octava región del Bío Bío

#### 3.2.1 Puente Juan Pablo II, Concepción



Ilustración 36: Daños y asentamientos en el estribo y pilares del puente.

Fuente: Sernageomin, 2010

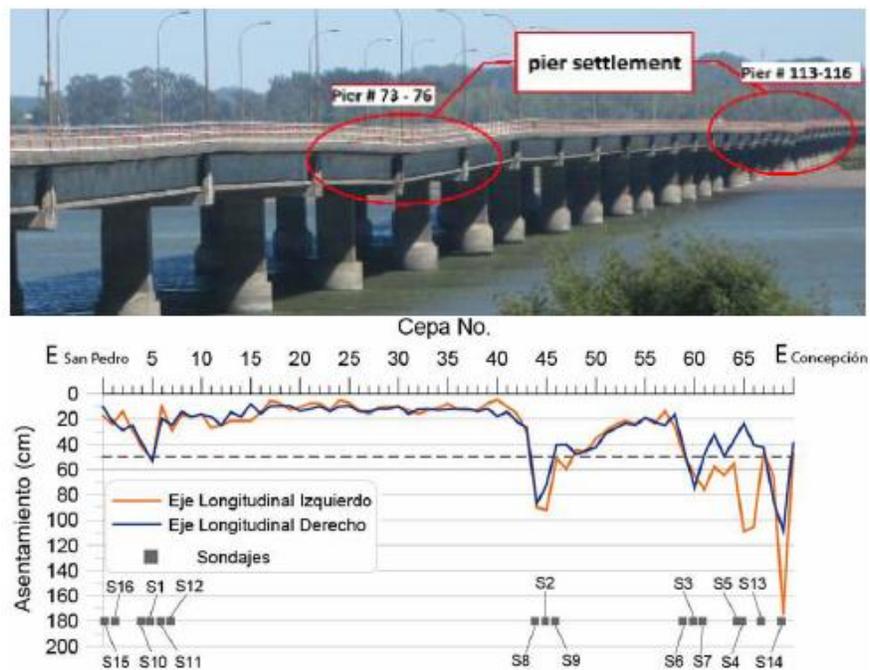


Ilustración 37: Asentamientos diferenciales en los pilares del puente.

Fuente:

Es considerado el mayor puente vehicular del país, ya que cruza el río Bío Bío en Concepción, tiene una longitud de 2310 m y casi 22 m de ancho. Está constituido por 70 vanos de 33 m simplemente apoyados, cada uno compuesto por 7 vigas de hormigón armado y una losa de hormigón.

Sondajes y ensayos de penetración estándar indican que el terreno consiste en arenas finas de compactidad variable transportadas por el río, con intercalaciones de material fino.

Evidencias de licuación y extensión lateral se observaron en el acceso norte, con la formación de grietas paralelas al cauce, producto del desplazamiento lateral del terreno en dirección al río, lo que dañó el estribo norte con una importante falla por corte de una de sus columnas. Además, se formaron algunos volcanes de arenas cerca del terraplén de la estructura.

El terremoto causó importantes asentamientos diferenciales a lo largo del puente. Alrededor de 15 cepas desarrollaron asentamientos superiores a 50 cm con un máximo de 1.8 m, concentrándose en el eje longitudinal izquierdo y hacia el sector de Concepción.

### 3.2.2 Puente Llacolén, Concepción



**Ilustración 38: Grietas en el terreno y asentamientos de las columnas del puente.**

Fuente: Sernageomin, 2010

El puente Llacolén tiene una longitud aproximada de 2160 m. Su estructura está conformada por múltiples vanos, los que consisten en un tablero y seis vigas pretensadas prefabricadas que se apoyan en 5 columnas de 1.5 m de diámetro. Las cepas están constituidas por pilotes de hormigón de unos 22 m de largo.

El fenómeno del año 2010 causó grietas que afectaron la ribera y dañaron la vía. Estas grietas produjeron el colapso de una losa del puente.

Se produjo un asentamiento del terreno en hasta 40 cm y el movimiento provocó la separación en 25 cm entre columnas y terreno.

Además, se produjo licuación de suelos en el lado oeste del puente, esto fue advertido por la formación de grietas y volcanes de arenas.

### 3.2.3 Condominio Brisas del Sol, Talcahuano



**Ilustración 39: Inclinación de vivienda debido al hundimiento del terreno.**

Fuente: Sernageomin, 2010

El sector ubicado en Talcahuano, está compuesto por depósitos sueltos y blandos del humedal, además de presentar un nivel freático somero.

Entre el condominio y los terrenos del humedal, se encontraba un pequeño canal de regadío, que anteriormente al terremoto había sido desviado y rellenado.

A raíz del sismo, hubo un desplazamiento de aproximadamente 2 m de los terrenos por una grieta que se abrió en la antigua cuenca del canal, en un largo aproximado de 35 m, afectando a 5 casas. Esta

deformación del material, removi6 el suelo de fundaci6n de las casas, causando un giro considerable en una de ellas.

### 3.2.4 Lomas de San Andr6s, Concepci6n



**Ilustraci6n 40: Grietas y desplazamientos en viviendas.**

Fuente: Sernageomin, 2010



**Ilustraci6n 41: Grietas y surgimiento de aguas subterr6neas.**

Fuente: Sernageomin, 2010

Este condominio, se emplaza sobre rellenos depositados en antiguos humedales y quebradas en el sector norte de Concepci6n. Con el terremoto, se produjo el asentamiento del material de relleno y el agrietamiento de calles, veredas y casas.

De acuerdo a Sernageomin (2010), se originaron abundantes grietas con hundimientos y desplazamientos de muros y casas, además de cortes de cañerías. Una de las casas presentó un hundimiento y desplazamiento lateral en aproximadamente 40 cm hacia el humedal vecino. En los patios se produjo el surgimiento de agua subterránea, dejando volcanes de arena en la superficie. Dentro de las grietas se observó agua a una profundidad de 50 cm.

### 3.2.5 Población Nueva Vista, Concepción



**Ilustración 42: Asentamientos del terreno, rotura de matrices.**

Fuente: Sernageomin, 2010

Ubicada a 150 m del río Andalién, por lo que el nivel freático se ha de encontrar a menos de 5 m de profundidad. Fue construida en rellenos sobre los depósitos de la llanura de inundación, compuestos principalmente por arenas finas, siendo éste el factor importante para que se produjera asentamientos en el terreno y posteriormente provocaran rotura de matrices de agua potable y alcantarillado, como también grietas en muros y pisos de las viviendas.

### 3.2.6 Villa Cap, Concepción



**Ilustración 43: Grietas en muros y losas, debido a hundimientos y desplazamientos.**

Fuente: Sernageomin, 2010

El condominio se sitúa al costado sur poniente del río Andalién, y se encuentra en rellenos emplazados sobre la llanura de inundación del río. Los suelos en este sector están compuestos por arenas finas, con un nivel de las aguas subterráneas somero, no superior a 3 m (Sernageomin, 2010).

De acuerdo a Sernageomin (2010), se formaron grietas paralelas al río, en una extensión de más de 200 m, con profundidad de hasta 0.8 m, aberturas de 0.15 m y desplazamiento vertical de hasta 0.4 m. Las viviendas sufrieron importantes alzamientos, hundimientos, desplazamientos, lo cual causó grietas que incluso dejaron inhabitable una de las casas. Una de ellas sufrió un alzamiento de 20-30 cm, mientras que otra se hundió 15-20 cm y desplazó hacia oeste en más de 10 cm.

### 3.2.7 Población Gabriela Mistral, Coronel



**Ilustración 44: Grietas en calzada y vivienda, debido al hundimiento del terreno.**

Fuente: Sernageomin, 2010

La Población Gabriela Mistral se ubica al norte de Coronel. Estas viviendas fueron construidas contiguas a un estero y sobre una capa de 2 m de relleno de arenas negras emplazadas sobre un humedal.

Con el terremoto, se produjo un aparente desplazamiento lateral de las viviendas más cercanas al estero. Por otro lado, ocurrió importante hundimiento del terreno en más de 1.5 m, lo cual ocasionó graves daños en las viviendas, grietas en las calles, inclinación de postes, caída de árboles y rotura de matrices de agua potable y sistemas sanitarios, esto debido a una mala compactación del terreno (Sernageomin 2010).

### 3.2.8 Condominio Portal del Centro, Concepción



**Ilustración 45: Asentamientos provocaron daños en los edificios y sistemas de alcantarillado.**

Fuente: Sernageomin, 2010

Este Condominio se ubica sobre un relleno en el cauce antiguo del río Bío-Bío. Según el Sernageomin, (2010) los edificios sufrieron un importante asentamiento, quedando dos bloques con una inclinación de aproximadamente  $3^{\circ}$  hacia el noroeste. Además, se produjo el colapso total del sistema de alcantarillado y de cañerías en los edificios.

### 3.2.9 Condominio Los Presidentes, Hualpén



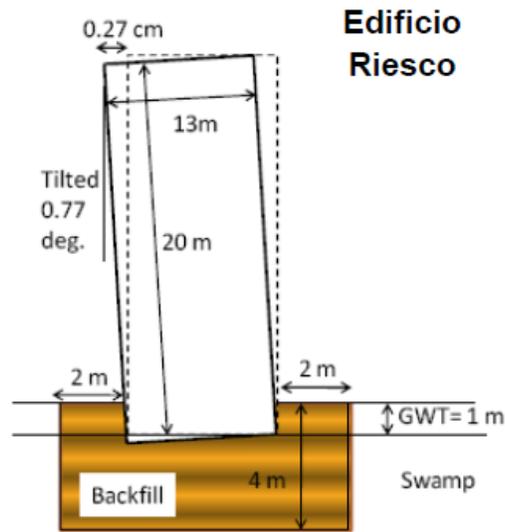
**Ilustración 46: Asentamientos e inclinación de edificios.**

Fuente: Sernageomin, 2010



**Ilustración 47: Surgimiento de aguas subterráneas.**

Fuente: Sernageomin, 2010



**Ilustración 48: Inclinación del edificio Riesco, debido asentamientos del terreno.**

Fuente:

El Condominio Los Presidentes, ubicado en la comuna de Hualpén, está constituido por una serie de edificios similares de 8 pisos de altura, con fundaciones superficiales de 1.2 m de ancho y 1 m de profundidad (Yasuda et al., 2010).

Este condominio fue construido sobre relleno de 4 m en reemplazo del material areno limoso suelto propio de humedales del sector. El nivel freático se ubica aproximadamente a los 0.5 m.

Según GEER (2010), la licuación del terreno afectó principalmente el sector noreste del Edificio Riesco. La torre descendió cerca de 40 cm en dicho extremo y 10 cm en su parte sur, cuya diferencia provocó la inclinación en aproximadamente  $1^\circ$  hacia el norte y este. Además, el terreno del lado sur se hundió entre 19 a 24 cm.

Los asentamientos diferenciales descritos, indujeron un severo daño estructural en los edificios, con la aparición de grietas de corte debido a que los elementos estructurales fueron altamente solicitados por la deformación de las torres.

### **3.3 Cuestionario en base al terremoto del 27 de febrero del año 2010, realizado al SERVIU (7° y 8° región)**

#### **3.3.1 Cuestionario 7° región del Maule**

1. ¿Cuáles fueron los sectores más afectados en la región? ¿Hubo hundimiento de terreno?

Los sectores más afectados, basándose en el desglose de subsidios otorgados, son las siguientes Cauquenes, Constitución, Curicó, Maule, Molina, Parral, San Javier y Talca. Los demás sectores también se vieron afectados, pero en una menor cantidad.

2. A nivel general ¿Qué tipos de daños se encontraron?

Aproximadamente el 90% de los años fueron a viviendas de adobe, los daños en el terreno, carretera y puentes fueron muy leves. Los daños a estas viviendas fueron principalmente grietas, desplome de muros y colapsos de las estructuras. Por otro lado mencionar que las casas de albañilería sufrieron daños en los muros de sus segundos pisos, los que en la reconstrucción fueron remplazados por tabiques de madera, esto debido a la mayor rapidez de su construcción. Las edificaciones de hormigón armado no sufrieron mayores problemas, solo desprendimiento de estucos y grietas leves en puertas y ventanas.

3. ¿Qué porcentaje de inmuebles quedaron inhabitables en la región?

No se puede tener un porcentaje de esto, ya que se debería contar con el número total de viviendas de la región, lo que es sumamente difícil de obtener, lo que se puede estimar es que número de viviendas quedaron inhabitables y cuales necesitaron de una mejora, pero con el recuento de subsidios habitacionales otorgados por el municipio.

4. ¿Cuáles fueron las estructuras afectadas (carreteras, puentes, viviendas, edificios, entre otros)?  
¿Algunas de estas fueron acompañadas por unos hundimientos del terreno?

Principalmente esta institución se enfoca en los daños de viviendas, por lo que no se tiene un recuento de daños a las otras estructuras. Pero claramente se puede mencionar que todas las estructuras sufrieron daños con este fenómeno. Por lo visto en terreno no se percibieron hundimientos del terreno.

5. ¿Cuáles fueron las causas básicas de los daños?

Casas de adobe, construcciones muy antiguas que no cumplen o rigen por ningún tipo de normativa, tanto en el tema de materiales y calculo estructural.

Albañilería, fallaron las más antiguas y algunas que no constaban con escalerillas en su construcción.

6. ¿Cuál es el material predominante de estas estructuras?

Como se menciona anteriormente, las estructuras que tuvieron más daños fueron las construcciones de adobe, luego en una pequeña cantidad las viviendas de albañilería, mientras que las de hormigón armado no tuvieron mayores problemas.

7. ¿Qué tipo de estudios y/o análisis se realizaron para determinar los daños encontrados?

Principalmente análisis visual. Dentro de los equipos conformados para los catastros de daños habitacionales, se contaba con ingenieros estructurales para definir en terreno las viviendas susceptibles de reparación y las que definitivamente se declaraban inhabitables por daños estructurales severos, todo esto en conjunto con las municipalidades. Se debe mencionar que todo esto se realizó rápidamente, debido al gran número de inmuebles afectados.

8. ¿Cuáles fueron las medidas adoptadas en la reconstrucción para prevenir estos daños en un nuevo terremoto?

Como una forma de prever futuras tragedias de esta índole, este Ministerio se encuentra actualmente ejecutando la construcción de un parque de mitigación fluvial en la comuna de Constitución, con el objeto dar protección a las familias cercanas al río y de contener el avance de un eventual tsunami. Se consideró además la habilitación de las vías de evacuación en todas las comunas costeras de la región.

Asimismo en el aspecto sísmico se rigidizaron las exigencias dictando el DS61 que modifica la NCH433 Diseño Sísmico de edificios, en sus tipos de suelos y formas de clasificación.

El DS61 ahora considera suelos Tipo A, B, C, D y E con sus respectivos espectros de diseño, exigiendo como mínimo medir la velocidad de onda de corte para así clasificar los suelos sísmicamente, además de los anterior se incorporó el concepto de confinamiento para el diseño de estructuras de hormigón armado.

Por último indicar que los daños que se produjeron en la infraestructura vial regional, tanto en carreteras como puentes, son de responsabilidad del Ministerio de Obras Públicas MOP.

9. ¿Cuál es el estado de avance de la reconstrucción?

Este Ministerio a nivel regional otorgó la cantidad de 54.470 subsidios habitacionales de los cuales a la fecha se encuentran finalizados 54.218 lo que equivale a un 99,6% del total asignado.

### 3.3.2 Cuestionario 8° región del Bio Bío

1. ¿Cuáles fueron los sectores más afectados en la región? ¿Hubo hundimiento de terreno?

En función a las viviendas afectadas, la Provincia de Concepción, principalmente Comunas de Talcahuano, San Pedro de la Paz, Lota, Tomé posee el mayor número de damnificados. En general, los sectores más afectados fueron los sectores costeros y efectivamente hubo asentamientos de terreno, principalmente borde costero y zonas de humedales y construcción en zonas de riesgo. En la Comuna de Cobquecura se conjugaron dos factores: borde Costero y viviendas de adobe Patrimoniales en Zona Típica según Plan Regulador y Consejo de Monumentos Nacionales.

2. A nivel general ¿Qué tipos de daños se encontraron?

Daños estructurales, asentamientos de viviendas (producto a la licuefacción de los suelos), daños no estructurales (fisuras de estucos, daños en cubierta, terminaciones, grietas en paredes y ventanas). Socavamientos de terrenos producto del tsunami.

3. ¿Qué porcentaje de inmuebles quedaron inhabitables en la región?

Porcentaje inhabitable: 51,4%. Esto es un estimado del número de viviendas observadas por los profesionales en terreno.

4. ¿Cuáles fueron las estructuras afectadas (carreteras, puentes, viviendas, edificios, entre otros)?  
¿Algunas de estas fueron acompañadas por un hundimiento del terreno?

Viviendas o departamentos afectados: 124.683 (algunas afectadas por hundimiento de terreno) carreteras, puentes y otras superestructuras, corresponde consultar en las Secretarías del Ministerio de Obras Publicas. En zonas costeras, Costanera Dichato (socavamiento por tsunami), Corredor Transporte Público Talcahuano- Concepción tramo entre plaza el ancla hasta calle Hualpen (por arrastre de material por tsunami), Camino a al Piure Llico (socavamiento por tsunami).

5. ¿Cuáles fueron las causas básicas de los daños?

En general, correspondió a la antigüedad de las viviendas y/o poca mantención, como también modificaciones al interior de la vivienda por los moradores, que afectaron la estructura de algunas

partes o piezas, debilitándolas, por lo cual colapsaron con el sismo en comento. En lo urbano al Tsunami.

6. ¿Cuál es el material predominante de estas estructuras?

En vivienda, variadas estructuras, tales como: Estructura de madera, estructura de Albañilería Mixto y Adobe en urbano: Asfalto en la costanera, hormigón en Corredor Transporte Público tramo 1.

7. ¿Qué tipo de estudios y/o análisis se realizaron para determinar los daños encontrados?

Con informes de daño estandarizados por el MINVU realizado por Ingenieros Civiles, profesionales competente para la evaluación de daños estructurales y mecánicas de suelo, entre otros.

8. ¿Cuáles fueron las medidas adoptadas en la reconstrucción para prevenir estos daños en un nuevo terremoto?

Cambió la Normativa de cálculo estructural para el diseño sísmico, hormigones y clasificación de suelos, acorde a los nuevos parámetros detectados en el último terremoto 27F, que produjo un nivel de daños por sobre lo aceptable, referidos en los DS 60 y 61/2011 V. y U., NCh. 1508 Of.2014 y otras normas que también tienen mayores exigencias para el diseño de viviendas. Estudios de zonas con riesgo de tsunami, lo que genero proyectos por bosques de mitigación y proyectos asociados para rehacer las obras dañadas.

9. ¿Cuál es el estado de avance de la reconstrucción?

Se ha estimado a la fecha que la reconstrucción lleva un 95% de avance.

## CAPÍTULO 4: ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN

A continuación se agrupa toda la información expuesta en el capítulo 3 (metodología y desarrollo), el análisis se enfocará en 5 rubros que se vieron seriamente afectados por el fenómeno de la subsidencia (hundimiento del terreno), estos son:

- ◆ Terreno
- ◆ Caminos y carreteras
- ◆ Puentes
- ◆ Viviendas
- ◆ Edificaciones

Cada uno de estos ítems se separará por región (7° y 8° región), para así diferenciar los distintos daños en cada zona.

Este estudio se orienta en identificar y mencionar claramente cuáles fueron los daños provocados por este fenómeno, en los distintos rubros mencionados. Estos aspectos (daños) se produjeron principalmente por el hundimiento del terreno.

## 4.1 Terreno

7° región	<ul style="list-style-type: none"><li>◆ Hundimiento de terraplenes, estos desplomes no son uniformes, por lo que perjudican cada estructura que se encuentre sobre ellos, la profundidad de estos fue variada, pero refiriéndonos a los registros proporcionados por el Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería), algunos tuvieron depresiones de hasta 2 metros y extensiones de hasta 500 metros.</li><li>◆ Desplazamientos laterales del terreno, estos provocaron grietas con distintas dimensiones de aberturas, siendo algunas incluso mayores a 50 cm.</li><li>◆ Numerosas grietas horizontales, verticales y diagonales de distintos espesores (desde 5 cm hasta los 60 cm.) y profundidades (desde 5 cm hasta los 80 cm.) dejan intransitables caminos rurales.</li><li>◆ Debido a la caída del terreno (desde 5 cm hasta los 50 cm.), emergió agua y/o arenas finas en los terrenos.</li><li>◆ Desplazamientos submarinos, se apreciaron lo largo de la costa, desde Vichuquén hasta Curanipe.</li></ul>
-----------	---



Ilustración 49: Daños provocados por el hundimiento del terreno a terrenos.

Fuente: Sernageomin, 2010

## 4.2 Caminos y carreteras

7° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Daños en la sub-base - base debido al movimiento telúrico, el que provocó asentamientos diferenciales en distintos segmentos de ésta, induciendo a que se formaran socavones, dejándola inservible, por lo que se debió retirar el material y realizar la carretera completamente de nuevo, ya que estos dos componentes son los cimientos de una calzada.</li> <li>◆ Desplazamiento del camino y daños en las bermas.</li> <li>◆ Grietas longitudinales con profundidades de hasta 1 metro y aberturas de 50 centímetros.</li> <li>◆ Grietas horizontales con profundidades de 80 centímetros y aberturas de 40 centímetros.</li> <li>◆ Grietas verticales con profundidades de 1 metro y aberturas de 40 centímetros.</li> <li>◆ Daños en carpetas asfálticas - hormigón, debido a las grietas, provocaron el deterioro de ésta, afectándola de distintas maneras (leves, regulares y graves).</li> <li>◆ <u>Daños leves</u>: grietas pequeñas (longitudinales, horizontales, verticales), pocos centímetros de aberturas y profundidades, roturas en bermas. El camino o carretera queda transitable, se deben realizar arreglos menores.</li> <li>◆ <u>Daños regulares</u>: pequeños desplazamientos de caminos, grandes daños en bermas, grietas (longitudinales, horizontales, verticales) de mediana envergadura, camino intransitable carpeta totalmente dañada, para su reutilización de deber remplazar la carpeta o montar otra sobre la existente.</li> <li>◆ <u>Daños graves</u>: daños en la sub-base y base, grietas (longitudinales, horizontales, verticales) de grandes dimensiones dejan la calzada intransitable, colapso total de la sub-base y base, por lo que se debe remplazar y construir toda la carretera de nuevo.</li> </ul>
-----------	---



**Ilustración 50: Daños provocados por el hundimiento del terreno a carreteras**

Fuente: Sernageomin, 2010

### 4.3 Puentes

7° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Daños estructurales, afectaron a puentes de distintas maneras (leves, regulares y graves), los principales motivos son los siguientes:</li> <li>◆ Asentamientos en cepas, terreno no soporto el temblor, cambio su densidad.</li> <li>◆ Fisuras en columnas, desprendimiento del concreto, se ocasiono por el movimiento que provoco el sismo.</li> <li>◆ Fallas por corte y compresión en columnas.</li> <li>◆ Levantamientos de tapas metálicas en las juntas de dilatación.</li> <li>◆ Desplazamientos de tableros (losas) de hasta 10 centímetros.</li> <li>◆ Colapso de tableros (losas).</li> <li>◆ Daños en los estribos (soportan el peso del tablero).</li> <li>◆ <u>Daños leves</u>: fisuras en columnas y desprendimiento del concreto, levantamiento de tapas metálicas, pequeños desplazamientos de los tableros.</li> <li>◆ <u>Daños regulares</u>: asentamientos leves en cepas, provocaron pequeños agrietamientos en las columnas, esto a su vez indujo a que los tableros se desplazaran algunos centímetros, dañando de manera ligera a los estribos.</li> <li>◆ <u>Daños graves</u>: asentamientos diferenciales en las cepas de grandes magnitudes, estos hicieron que las columnas fallaran (corte, compresión), ya que no soportar el peso de manera uniforme debido a la inclinación. esto a su vez genera el colapso de los estribos y tableros, puesto que las columnas son las encargadas de sostenerlos, la edificación al encontrarse en una manera inestable, daña de manera semejante a cada estructura sobre ella induciéndola a fallar y posteriormente colapsar.</li> </ul>
-----------	--



**Ilustración 51: Daños provocados por el hundimiento del terreno a puentes.**

**Fuente:** Sernageomin, 2010

#### 4.4 Viviendas

7° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Casas de adobe, aproximadamente el 75 % de las estructuras colapsaron y quedaron inhabitables, el resto sufrió daños moderadamente graves, como la caída de muros, cielos, asentamientos diferenciales y grietas en sus muros. Alrededor de un 10 % o menos sufrió averías ligeras, pequeños descuadres y agrietamiento de muros.</li> <li>◆ Casas de albañilería, un gran número de estas soportaron cerca del 55 %, pero el resto sufrieron daños en los muros (agrietamientos, desplomes) las que indujeron a un colapso de las estructuras, quedando inhabitables. Los fallos en los muros principalmente fueron en obras antiguas que no contaban con escalerillas, conocida como albañilería reforzada, en cambio la albañilería armada (utiliza acero como refuerzo en sus muros), soporto de buena manera en la gran mayoría de los casos y en los que se vio afectado fueron agrietamientos leves en puertas y ventanas.</li> <li>◆ <u>Casas de hormigón armado, aproximadamente el 75 % de las viviendas soportaron de buena manera, el resto se vieron afectadas de gravedad y mediana gravedad, las casusas evidenciadas son las siguientes:</u> <ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Asentamiento de fundaciones de hasta 15 cm aproximadamente e inclinaciones de 3° a 5°.</li> <li>◆ Fisuras en los sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas.</li> <li>◆ Agrietamientos de sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas.</li> <li>◆ Descuadre de losas y muros.</li> <li>◆ Desprendimiento de hormigón, debido al movimiento.</li> <li>◆ Daños no estructurales (Fisuras en estucos, daños en tabiques divisores).</li> <li>◆ Daños estructurales provocaron el deterioro de las viviendas, afectándolas de distintas maneras (leves, regulares y graves).</li> <li>◆ <u>Daños leves:</u> fisuras en sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas, ligeros descuadres de muros, fisuras en estucos y tabiques divisores, 75% de las viviendas.</li> <li>◆ <u>Daños regulares:</u> pequeños asentamientos en las fundaciones, fisuras y agrietamientos de medianas dimensiones en sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas, descuadre de losas y muros, desprendimiento de hormigón, en si las estructuras soportaron, pero quedaron muy deterioradas, un gran porcentaje se pudo reconstruir o reparar y el otro debido a la magnitud de los daños colapso o se tuvo que demoler, 15 % de las viviendas.</li> <li>◆ <u>Daños graves:</u> asentamientos diferenciales en fundaciones, varios centímetros (hasta 15 cm) de discrepancia que terminaron con la inclinación de las casas, fisuras y agrietamientos de grandes dimensiones en sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas dejando a estos elementos totalmente inservibles, descuadre total de muros y losas. Cada una de estas causas indujo al colapso de la estructura, en algunos casos fue solo una y en otras más de una, al suceder esto no quedo otra opción más que demoler, 10 % de las viviendas.</li> </ul> </li> </ul>
-----------	--



**Ilustración 52: Daños provocados por el hundimiento del terreno a viviendas.**

**Fuente:** Sernageomin, 2010

## 4.5 Edificaciones

7° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <u>Estructuras en altura, conformadas de hormigón armado, aproximadamente el 90% de estas edificaciones soportaron de buena manera, el resto se vieron afectadas de gravedad y mediana gravedad, las casusas evidenciadas son las siguientes:</u></li> <li>◆ Asentamiento de cimientos de hasta unos 5 cm aproximadamente, provocando inclinación de edificios de hasta 3° grados, el movimiento de este siempre es hacia el humedal más cercano.</li> <li>◆ Fisuras en losas, muros, vigas y pilares.</li> <li>◆ Grietas en losas, muros, vigas y pilares.</li> <li>◆ Cortes de escaleras.</li> <li>◆ Desprendimiento del concreto.</li> <li>◆ Colapso de pisos.</li> <li>◆ Daños no estructurales (Fisuras en estucos, daños en tabiques divisores).</li> <li>◆ <u>Daños leves:</u> fisuras en losas, muros, vigas y pilares, desprendimiento del concreto y daños no estructurales. 90 % de las edificaciones.</li> <li>◆ <u>Daños regulares:</u> fisuras y grietas de mediana extensiones en losas, muros, vigas y pilares, cortes de escaleras de fácil reparación, desprendimiento del concreto y daños no estructurales. 7% de las edificaciones.</li> <li>◆ <u>Daños graves:</u> asentamientos diferenciales en los cimientos, aproximadamente 5 cm de diferencia que terminaron con la inclinación de las estructuras en hasta 3° grados, fisuras y agrietamientos de grandes dimensiones en losas, muros, vigas y pilares, lo que conllevó a un colapso de pisos, debido a que los elementos no estaban soportando las cargas de buena manera debido a todas las aberturas que estos tenían, cortes totales de escaleras dejando incomunicados un piso del otro, cada una de estas causas indujo al colapso de la estructura, en algunos casos fue solo una y en otras más de una, al suceder esto no quedó otra opción más que demoler. 3 % de las edificaciones. (población Manuel Francisco “edificio Centinela”)</li> </ul>
<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;"><b>Ilustración 53: Daños provocados por el hundimiento del terreno a edificaciones.</b></p> <p style="text-align: center;"><b>Fuente:</b> Sernageomin, 2010</p>	

## 4.6 Terreno

8° región	<ul style="list-style-type: none"><li>◆ Hundimiento de terraplenes, estos desplomes no son uniformes, por lo que perjudican cada estructura que se encuentre sobre ellos, la profundidad de estos fue variada, pero refiriéndonos a los registros proporcionados por el Sernageomin (Servicio Nacional de Geología y Minería), algunos tuvieron depresiones de hasta 4 metros y extensiones de hasta 1000 metros.</li><li>◆ Desplazamientos laterales del terreno, estos provocaron grietas con distintas dimensiones de aberturas, siendo algunas incluso mayores a 60 cm.</li><li>◆ Numerosas grietas horizontales, verticales y diagonales de distintos espesores (desde 5 cm hasta los 80 cm.) y profundidades (desde 5 cm hasta los 90 cm.) dejan intransitables caminos rurales.</li><li>◆ Debido a la caída del terreno (desde 5 cm hasta los 60 cm.), emergió agua y/o arenas finas en los terrenos.</li><li>◆ Desplazamientos submarinos, se apreciaron lo largo de la costa, desde Cobquecura hasta Lebu.</li></ul>
-----------	---



**Ilustración 54: Daños provocados por el hundimiento del terreno a terrenos.**

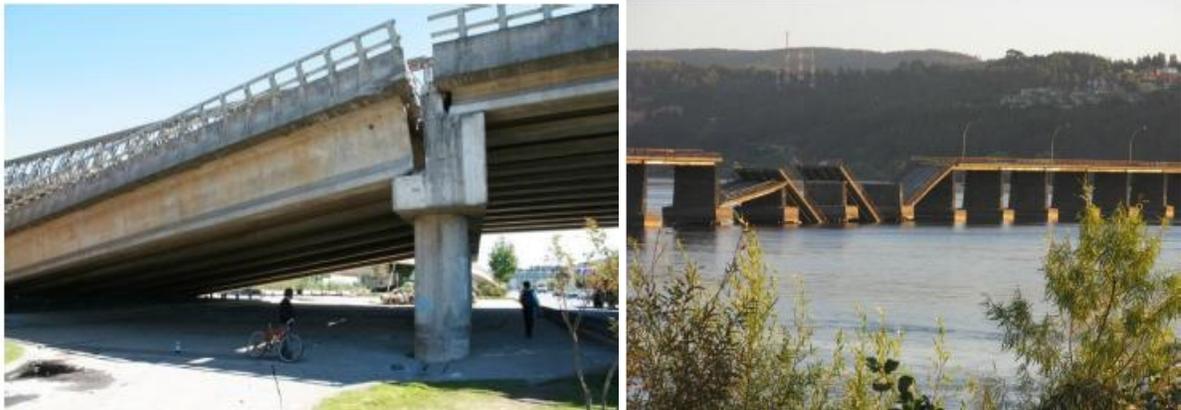
Fuente: [Sernageomin, 2010](#)

## 4.7 Caminos y carreteras

8° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Daños en la sub-base - base debido al movimiento telúrico, el que provocó asentamientos diferenciales en distintos segmentos de está, induciendo a que se formaran socavones, dejándola inservible, por lo que se debió retirar el material y realizar la carretera completamente de nuevo, ya que estos dos componentes son los cimientos de una calzada.</li> <li>◆ Desplazamiento del camino y daños en las bermas.</li> <li>◆ Grietas longitudinales con profundidades de hasta 1,4 metro y aberturas de 60 centímetros.</li> <li>◆ Grietas horizontales con profundidades de 1 metro y aberturas de 50 centímetros.</li> <li>◆ Grietas verticales con profundidades de 1 metro y aberturas de 40 centímetros.</li> <li>◆ Daños en carpetas asfálticas - hormigón, debido a las grietas, provocaron el deterioró de está, afectándola de distintas maneras (leves, regulares y graves).</li> <li>◆ <u>Daños leves:</u> grietas pequeñas (longitudinales, horizontales, verticales), pocos centímetros de aberturas y profundidades, roturas en bermas. El camino o carretera queda transitable, se deben realizar arreglos menores.</li> <li>◆ <u>Daños regulares:</u> pequeños desplazamientos de caminos, grandes daños en bermas, grietas (longitudinales, horizontales, verticales) de mediana envergadura, camino intransitable carpeta totalmente dañada, para su reutilización de deber reemplazar la carpeta o montar otra sobre la existente.</li> <li>◆ <u>Daños graves:</u> daños en la sub-base y base, grietas (longitudinales, horizontales, verticales) de grandes dimensiones dejan la calzada intransitable, colapso total de la sub-base y base, por lo que se debe reemplazar y construir toda la carretera de nuevo.</li> </ul>
 <p data-bbox="446 1549 1240 1577"><b>Ilustración 55: Daños provocados por el hundimiento del terreno a carreteras</b></p> <p data-bbox="708 1604 980 1631"><b>Fuente:</b> Sernageomin, 2010</p>	

## 4.8 Puentes

8° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Daños estructurales, afectaron a puentes de distintas maneras (leves, regulares y graves), los principales motivos son los siguientes:</li> <li>◆ Asentamientos en cepas, terreno no soporto el temblor, cambio su densidad.</li> <li>◆ Fisuras en columnas, desprendimiento del concreto, se ocasiono por el movimiento que provoco el sismo.</li> <li>◆ Fallas por corte y compresión en columnas.</li> <li>◆ Levantamientos de tapas metálicas en las juntas de dilatación.</li> <li>◆ Desplazamientos de tableros (losas) de hasta 10 centímetros.</li> <li>◆ Colapso de tableros (losas).</li> <li>◆ Daños en los estribos (soportan el peso del tablero).</li> <li>◆ <u>Daños leves:</u> fisuras en columnas y desprendimiento del concreto, levantamiento de tapas metálicas, pequeños desplazamientos de los tableros.</li> <li>◆ <u>Daños regulares:</u> asentamientos leves en cepas, provocaron pequeños agrietamientos en las columnas, esto a su vez indujo a que los tableros se desplazaran algunos centímetros, dañando de manera ligera a los estribos.</li> <li>◆ <u>Daños graves:</u> asentamientos diferenciales en las cepas de grandes magnitudes, estos hicieron que las columnas fallaran (corte, compresión), ya que no soportar el peso de manera uniforme debido a la inclinación. esto a su vez genera el colapso de los estribos y tableros, puesto que las columnas son las encargadas de sostenerlos, la edificación al encontrarse en una manera inestable, daña de manera semejante a cada estructura sobre ella induciéndola a fallar y posteriormente colapsar.</li> </ul>
-----------	--



**Ilustración 56: Daños provocados por el hundimiento del terreno a puentes.**

**Fuente:** Sernageomin, 2010

## 4.9 Viviendas

8° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ Casas de adobe, aproximadamente el 80 % de las estructuras colapsaron y quedaron inhabitables, el resto sufrió daños moderadamente graves, como la caída de muros, cielos, asentamientos diferenciales y grietas en sus muros. Alrededor de un 5% o menos sufrió averías ligeras, pequeños descuadres y agrietamiento de muros.</li> <li>◆ Casas de albañilería, aproximadamente 45 % de las viviendas soportaron, pero el resto sufrieron daños en los muros (agrietamientos, desplomes) las que indujeron a un colapso de las estructuras, quedando inhabitables. Los fallos en los muros principalmente fueron en obras antiguas que no contaban con escalerillas, conocida como albañilería reforzada, en cambio la albañilería armada (utiliza acero como refuerzo en sus muros), soporte de buena manera en la gran mayoría de los casos y en los que se vio afectado fueron agrietamientos leves en puertas y ventanas.</li> <li>◆ <u>Casas de hormigón armado, aproximadamente el 70 % de las viviendas soportaron de buena manera, el resto se vieron afectadas de gravedad y mediana gravedad, las casusas evidenciadas son las siguientes:</u></li> <li>◆ Asentamiento de fundaciones de hasta 30 cm aproximadamente e inclinaciones de 7° a 10°.</li> <li>◆ Desplazamiento laterales de toda la vivienda aproximadamente de 15 cm a 20 cm, al ocurrir esto la casas giraron con unas inclinaciones de hasta 10°, estos efectos se vieron en terrenos de sedimentos finos y saturados, cercanos a humedales y a canales de regadío o ríos. Principalmente los condominios afectados fueron Brisas del Sol, Lomas De San Andrés y la Villa Cap, entre otros.</li> <li>◆ Fisuras en los sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas.</li> <li>◆ Agrietamientos de sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas.</li> <li>◆ Descuadre de losas y muros.</li> <li>◆ Desprendimiento de hormigón, debido al movimiento.</li> <li>◆ Daños no estructurales (Fisuras en estucos, daños en tabiques divisores).</li> <li>◆ Daños estructurales provocaron el deterioro de las viviendas, afectándolas de distintas maneras (leves, regulares y graves).</li> <li>◆ <u>Daños leves:</u> fisuras en sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas, ligeros descuadres de muros, fisuras en estucos y tabiques divisores, 70 % de las viviendas.</li> <li>◆ <u>Daños regulares:</u> pequeños asentamientos en las fundaciones, fisuras y agrietamientos de medianas dimensiones en sobreseimientos, radieres, losas, muros y vigas, descuadre de losas y muros, desprendimiento de hormigón, en si las estructuras soportaron, pero quedaron muy deterioradas, un gran porcentaje se pudo reconstruir o reparar y el otro debido a la magnitud de los daños colapso o se tuvo que demoler, 20 % de las viviendas.</li> <li>◆ <u>Daños graves:</u> asentamientos diferenciales en fundaciones, varios centímetros (hasta 30 cm) de discrepancia que terminaron con la inclinación de las casas, desplazamientos</li> </ul>
-----------	---

laterales (hasta 20 cm) inclinación de las casas, fisuras y agrietamientos de grandes dimensiones en sobreseimientos, radiers, losas, muros y vigas dejando a estos elementos totalmente inservibles, descuadre total de muros y losas. Cada una de estas causas indujo al colapso de la estructura, en algunos casos fue solo una y en otras más de una, al suceder esto no quedo otra opción más que demoler. 10 % de las viviendas.



**Ilustración 57: Daños provocados por el hundimiento del terreno a casas.**

Fuente: [Sernageomin, 2010](#)

## 4.10 Edificaciones

8° región	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ <u>Estructuras en altura, conformadas de hormigón armado, aproximadamente el 85% de estas edificaciones soportaron de buena manera, el resto se vieron afectadas de gravedad y mediana gravedad, las casusas evidenciadas son las siguientes:</u></li> <li>◆ Asentamiento de cimientos de hasta unos 10 cm aproximadamente, provocando inclinación de edificios de hasta 5° grados, el movimiento de este siempre es hacia el humedal.</li> <li>◆ Fisuras en losas, muros, vigas y pilares.</li> <li>◆ Grietas en losas, muros, vigas y pilares.</li> <li>◆ Cortes de escaleras.</li> <li>◆ Desprendimiento del concreto.</li> <li>◆ Colapso de pisos.</li> <li>◆ Daños no estructurales (Fisuras en estucos, daños en tabiques divisores).</li> <li>◆ <u>Daños leves:</u> fisuras en losas, muros, vigas y pilares, desprendimiento del concreto y daños no estructurales. 85 % de las edificaciones.</li> <li>◆ <u>Daños regulares:</u> fisuras y grietas de medianas extensiones en losas, muros, vigas y pilares, cortes de escaleras de fácil reparación, desprendimiento del concreto y daños no estructurales. 10 % de las edificaciones.</li> <li>◆ <u>Daños graves:</u> asentamientos diferenciales en los cimientos, aproximadamente 10 cm de diferencia que terminaron con la inclinación de las estructuras en hasta 5° grados, fisuras y agrietamientos de grandes dimensiones en losas, muros, vigas y pilares, lo que conlleva a un colapso de pisos, debido a que los elementos no estaban soportando las cargas de buena manera debido a todas las aberturas que estos tenían, cortes totales de escaleras dejando incomunicados un piso del otro, cada una de estas causas indujo al colapso de la estructura, en algunos casos fue solo una y en otras más de una, al suceder esto no quedo otra opción más que demoler, 5% de las edificaciones.(Torre O'higgins, Concepción - edificio Riesco, Hualpén).</li> </ul>
<div style="text-align: center;">  <p data-bbox="477 1673 1252 1701"><b>Ilustración 58 : Daños provocados por el hundimiento del terreno a edificios</b></p> <p data-bbox="727 1728 1000 1755"><b>Fuente:</b> Sernageomin, 2010</p> </div>	

## CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

Chile presenta gran cantidad de suelos con el fenómeno de asentamiento del terreno (principalmente suelos arenosos, con presencia de napas subterráneas, cerca de ríos o lagos y terrenos artificiales). Esto se aprecia en la Subdirección Nacional de Geología, donde a través de mapas se indican la cantidad de suelos propensos a licuar (descender), principalmente estos terrenos se encuentran en la costa y en la precordillera, esto sucede a lo largo de todo nuestro país, pero en este último tiempo las zonas más afectadas han sido la zona centro y zona sur, debido a la gran cantidad de movimientos telúricos (sismos) ocurridos en estas. Pero esto no quiere decir que la zona norte no esté propensa a este fenómeno.

El fenómeno ocurre reiteradas veces, debido a que Chile es uno de los países más proclives a sufrir terremotos, por que se ubica justo al límite de la placa tectónica de Nazca, que choca contra la placa Sudamericana, estas al chocar producen energía, la que se libera en forma de onda, la que hace temblar la tierra. Este proceso es aleatorio, ya que no se sabe con exactitud cuándo ocurrirá un sismo, lo que sí se puede afirmar es que estos fenómenos (sismos) ocurren seguidos debido a lo comentado anteriormente que Chile es un país sísmico.

Entonces al encontrarse estos dos aspectos; 1 ° Gran cantidad de suelos propensos a descender. ; 2° País proclive a sufrir movimientos telúricos. Se puede afirmar que el fenómeno de subsidencia seguirá ocurriendo, ya que las vibraciones producidas por un sismo modifican la densidad del suelo, las que producen el asentamiento del terreno. En conclusión cada vez que tiemble el terreno en cuestión está propenso a descender.

Los problemas de asentamientos de terreno datan de años anteriores (terremoto de Valdivia del año 1960, no se descartan sismos anteriores a este). Esto quiere decir, que nuestro país no cuenta con medidas preventivas para solucionar el fenómeno, ya que la Subdirección de Geología solo cuenta con mapas donde informa los terrenos propensos a fallar, no existe algo concreto que pare la subsidencia ni menos que informe cuanto puede descender cada terreno afectado por este fenómeno.

Al evaluar los tipos de construcción, se afirma que el elemento más desfavorable o propenso a sufrir este fenómeno es el adobe, luego lo sigue la albañilería y finalmente el hormigón armado. Principalmente el hormigón armado es el que resiste mas debido a que los cimientos de estas estructuras se realizan a una mayor profundidad, dándole a la estructura una mayor firmeza, pero a su vez esto no sirve de nada, si dicha fundación se encuentra en un lecho de tierra arenosa, o suelo propenso a descender, por que al momento de que ocurra el fenómeno, nuestra estructura sufrirá los daños de la subsidencia.

Con eso podemos afirmar que las construcciones en si no son capaces de soportar el fenómeno, ya que sucede de imprevisto lejos de todo cálculo estructural o estudio de suelo. Por ende cuando una estructura se ve afectada por el descenso del terreno, siempre tendera a fallar, ya sea un colapso total o parcial de esta, dependiendo principalmente del hundimiento del suelo y si este desplome es parejo o desigual, si este es de unos varios centímetros (25-30 cm) y desigual (distintas medidas de hundimiento) la edificación se inclinará y evidentemente tendera a agrietarse, provocando daños estructurales en cimientos, losas, muros, vigas entre otros llegando a provocar el colapso total de esta, esto sucede porque estos materiales no están diseñados para soportar estos esfuerzos, ya que son rígidos y trabajan de forma lineal, pueden soportar algunos movimientos o descensos leves, pero no algo de estas magnitudes. Todos estos cálculos son relativos, ya que todo depende de factores (superficie de la estructura, cantidad de pisos (peso), método de construcción, descenso del terreno, entre otros), con estos se debe evaluar cada construcción, ya que cada una resiste de manera distinta, ocurriendo en algunas que hundimientos leves provocan el colapso de estas y en ocasiones no, solo daños no estructurales, ya que dependen de los factores anteriormente mencionados, pero lo principal y lo que se quiere enfatizar es que cada estructura que se ve afectada por este fenómeno sufrirá daños.

En nuestro país tenemos muchos terrenos propensos a sufrir descensos y al ser un país sísmico, las posibilidades de que esto ocurra se multiplican, al no contar con algo que informe de estos hundimientos se debería optar por otras metodologías de construcción, o reforzar dichas metodologías, esto principalmente porque el suelo es muy inestable y con todo la información recopilada queda en manifiesto que si no se cambia la forma de construir seguirán sucediendo estos desastres en los siguientes años.

Estos dos puntos (reforzar y cambio de metodología y/o construcción) son muy importantes ya que si reforzamos estas técnicas, estaremos aportando al suelo y a nuestra estructura mayor firmeza y capacidad para que pueda soportar el fenómeno. Ejemplo de refuerzo al terreno sería realizar una mayor compactación, ya sea someter el terreno a rangos mayores de los especificados en el proyecto, para que así este sea capaz de resistir de mejor manera un posible hundimiento. Cambio en la metodología podría ser algún tipo de pilote de autocontrol para edificaciones de gran tamaño y para construcciones menores, elaborar los cimientos a una mayor profundidad (roca dura), para que este resista el posible asentamiento del terreno. La problemática que afectaría estos dos puntos es principalmente el elevado costo que se tendría al realizarlos.

Para finalizar comparando ambas regiones (séptima y octava), queda en manifiesto que las dos sufrieron grandes daños y que las condiciones de las estructuras, quedaron totalmente inservibles, los elementos constructivos no fueron capaces de soportar el fenómeno, lo que conllevó a colapsos y derrumbes, que trajeron consigo graves daños personales y económicos. Esto se debe a que principalmente se construye de la misma manera y por qué en las dos zonas existe el mismo terreno propenso a asentarse.

## 5.2 Recomendaciones

El terremoto del 27 de febrero del año 2010 que afectó a gran parte de la zona central y sur de Chile, dejó en evidencia que en nuestro país varios suelos son potencialmente inestables o licuables (asentamiento de terrenos) esto se debe al predominio de suelos arenosos y a la gran cantidad de ríos y napas que existen cerca de estos. Terrenos situados principalmente en la zona centro-sur de nuestro país. Estos sucesos de asentamientos provienen de mucho antes, existen evidencias de asentamientos de terreno en sismos anteriores como el que ocurrió el año 1960 en Valdivia y no se descartan otros más antiguos, porque la naturaleza del terreno es la misma.

Lo alarmante es que estos acontecimientos seguirán ocurriendo, debidos a que Chile es un país sísmico y no se han tomado las medidas necesarias para atacar o frenar este fenómeno.

Con base a antecedentes de la Subdirección Nacional de Geología del Sernageomin, se ha confirmado que gran cantidad de terrenos que se vieron afectados por el terremoto del año 1960, también se vieron afectados por el terremoto del año 2010, por ende el tema de asentamientos diferenciales del terreno, es un punto a tomar en cuenta, ya que este fenómeno produce grandes pérdidas de materiales y económicas en el rubro de la construcción dañando caminos, carreteras, estructuras, viviendas y edificaciones.

Principalmente los terrenos que se ven afectados son los de origen volcánico (material predominante arena), suelos con presencia de napas a muy poca profundidad, tierras que se encuentren cerca de ríos o lagos y los depósitos artificiales, estas superficies son las más propensas a sufrir este fenómeno de la subsidencia. (Asentamiento de terreno)

Las recomendaciones a tomar en cuenta para el fenómeno son las siguientes:

Chile cuenta con mapas que informan los sectores donde se puede producir asentamientos de terreno, principalmente se basan en los factores anteriormente mencionados del suelo, pero estos mapas no se realizan muy a menudo, por lo que no se sabe con exactitud lo que ha sucedido con los suelos. Una forma de afrontar esto, sería realizar mapeos con más frecuencia y por ende actualizarlo, para así ir evidenciando las posibles fallas del terreno en cuestión.

Lo anteriormente mencionado solo indica el lugar donde el terreno es propenso a fallar, pero no da una exactitud de cuanto a descendido con los años, ni cuánto puede llegar a descender, en otros países (México) se ha optado por una técnica de georadar y gps denominada INSAR, herramienta para el análisis de la magnitud y la variabilidad espacial del proceso de hundimiento. Las principales ventajas de este método radican en que, brinda una visión sinóptica del proceso de hundimiento y permite generar productos que poseen una alta resolución que difícilmente puede ser obtenida por métodos de nivelación convencional. Al implementar un sistema como este, se podría saber con más exactitud los asentamientos del terreno.

Con lo expuesto en la memoria y evidenciando todo el daño que le provocan los asentamiento de tierra a las estructuras, queda en manifiesto, que si se tienen reportes de que en el terreno en años anteriores sufrió este fenómeno, lo primordial sería no construir en este sitio y buscar uno más apto y que cuente con los estándares adecuados para construir.

Terreno con presencia de asentamiento del suelo, sería adecuado realizar un mayor análisis efectuando estudios adicionales, ya sean sondajes, ensayos de laboratorio, entre otros. Con el fin, de que al momento de construir se tomen todas las precauciones y medidas necesarias.

Estabilizar material arenoso, es principalmente la mejora del terreno, si en una construcción que cuenta con dicho suelo, el terreno a cubrir (terreno arenoso) no es tan amplio, se podría realizar una compactación del terreno y agregar material de relleno esto le otorgaría una mayor densidad y firmeza al terreno, así el suelo estaría apto para su construcción. Tener en cuenta que este método tiene un costo elevadísimo, por lo que lo aconsejaría solo cuando el terreno a construir es pequeño, en terreno extensos, sería mejor evaluar la posibilidad de construir en otro sitio, debido a que sacar todo un material y colocar otro de relleno lo encuentro innecesario.

Construcción de una estructura en terreno afectado, situar los cimientos por debajo del material arenoso (propenso a asentarse), principalmente en niveles duros (rocosos), para que así la edificación no se dañe si el terreno comienza a descender. Usar materiales flexibles al movimiento, para prevenir agrietamientos, descuadres y colapsos de la estructura. Principalmente se utilizan pilotes, para estas cimentaciones profundas (edificios de gran altura) el costo de estos es muy elevado, ya sea su instalación y maquinaria a utilizar, por lo que en la mayoría de las veces optan por no ocupar este método constructivo, no por que no sea eficiente, si no por su alto precio.

Un ejemplo de cimentaciones adecuadas para este tipo de terrenos son los pilotes de control. Estos atraviesan la cimentación sobresaliendo encima de la losa, quedan a un lado de las columnas del edificio y son los encargados de darle un descenso controlado a la estructura. El punto en contra que tienen estas fundaciones es principalmente su costo, que es muy elevado y la maquinaria que realiza estos trabajos es muy escasa. Por lo que se debería pedir con mucha anticipación y por distintos imprevistos podría retrasar mucho la obra.

Solución a una estructura de hormigón armado ya dañada por subsidencia, existen varias alternativas para esta problemática, pero yo hablare principalmente de 3, las que a mi parecer son las más efectivas y habituales.

Refuerzo de cimentaciones con micropilotes: Esto consiste en ejecutar unas perforaciones de pequeño diámetro y gran profundidad con una maquinaria adecuada que taladre el terreno y coloque en su interior una armadura de acero. Posteriormente se rellena el hueco con una lechada de cemento o mortero.

Inyección de cemento en terreno mediante (jet-grouting): Esta solución consiste en inyectar en el terreno cemento a presión muy elevada para consolidarlo (maquinaria adecuada). No es la solución más correcta para edificaciones pequeñas. Su empleo es más recomendable en grandes estructuras.

Inyección de resinas expansivas para consolidar cimentaciones: Consiste en que la expansión de estas resinas en el terreno aumenta la presión y resistencia del mismo, consolidando la cimentación del edificio. Igualmente, también sirven para rellenar huecos que se hayan producido bajo el edificio por cualquier motivo: una bajada de nivel freático en cimentaciones, un movimiento de terreno por obras colindantes, entre otras.

Todas las alternativas mencionadas tienen un alto costo y la maquinaria para realizar estos trabajos es muy escasa, por ende se debe evaluar bien si es óptimo utilizar uno de estos métodos. Ya que en varios casos la estructura queda muy dañada y estas opciones son inservibles, por lo que es mejor optar por la demolición de la estructura. Por ende lo principal es hacer un análisis exhaustivo de la estructura y mediante varios profesionales optar por la mejor solución.

## BIBLIOGRAFÍA

- ◆ Castillo, Rodríguez Ramiro y Velázquez, Rodríguez Isaías. (2007). *consecuencias sociales de un desastre inducido, subsidencia*, (265-269)
- ◆ Escuela Politécnica superior Universidad de Alicante. (2012). *Apuntes de hormigón armado. Adaptados a la instrucción EHE-08*. San Vicente del Raspeig, España.
- ◆ Falcón María Francisca, Ramírez Paola. *Licuefacción en Chile: lecciones del sismo del Maule del 27 de febrero de 2010*. Santiago, Chile.
- ◆ Feuker, P. (2006). *Alzamiento y subsidencia cosísmica en el área de valdivia durante el terremoto del 22 de mayo de 1960*.
- ◆ Hurtado G Eduardo. *Fichas de lesiones típicas de daños por terremotos en inmueble*. Santiago, Chile Abril del 2014.
- ◆ Meseguer, García Álvaro. (2001). *Estructuras de hormigón armado 3.elementosestructurales*. Madrid.
- ◆ Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Gobierno De Chile. (2010 -2017), Comunicación Personal.
- ◆ Montoya, Jiménez Pedro., Meseguer, García Álvaro y Cabré, Morán Francisco. (2000). *Hormigón armado 14° edición basada en la EHE. Ajustada al código modelo y al Eurocódigo*. Barcelona: Gustavo Gili, SA
- ◆ Muños S. Tassara Andrés. (Ficha 355). *Chile: la tierra tembló y la costa se elevó*. Septiembre 2010.
- ◆ Santoyo V Enrique. Alanís G Ramona. *Monografía sobre los pilotes de control utilidad, mantenimiento y desatinos*.
- ◆ Salud pública de México (vol. 57, no. 5). *La subsidencia deltaica una amenaza inminente a las poblaciones de la costa*. Septiembre-octubre de 2015.
- ◆ Servicio de Geología y Minería, Sernageomin (2010). Comunicación Personal.
- ◆ Servicio de Geología y Minería, Sernageomin (2010). *Efectos geológicos del sismo del 27 de febrero 2010: evaluación preliminar y propuesta de actividades futuras (inf-nac-01*. Chile. Abril 2010.
- ◆ Servicio de Geología y Minería, Sernageomin (2010). “Efectos Geológicos del Sismo del 27 de Febrero de 2010”.Informes: Maule-05, Maule-07, Maule-08, Maule-09, Maule-13,

Maule-14, Maule-15, BíoBío-01, BíoBío-05, BíoBío-12, BíoBío-13, BíoBío-14, BíoBío-17, BíoBío-20, BíoBío-29, BíoBío-30, BíoBío-40, BíoBío-41, BíoBío-42, BíoBío-45, BíoBío-47, BíoBío-49, BíoBío-52.

- ◆ Tomás, Roberto., Herrera, Gerardo., Delgado, José y Peña, Fernando. (2009). *Subsidencia del terreno*, 17.3, 295-302.
- ◆ Tomas, R. (2009). *Estudio de la ciudad de Murcia mediante interferometría SAR diferencial avanzada*. Tesis doctoral. Universidad de Alicante. 480 pp.