

EFFECTOS DE LOS TERREMOTOS CHILENOS EN LAS OBRAS CIVILES

Maximiliano Astroza I.
Departamento de Ingeniería Civil - FCFM
Universidad de Chile



“Las obras civiles se ven afectadas por el **movimiento del suelo** que produce un terremoto y por **otros fenómenos** que se desencadenan con el terremoto, por ejemplo: tsunamis, licuación del suelo, avalanchas, deslizamientos, etc.”



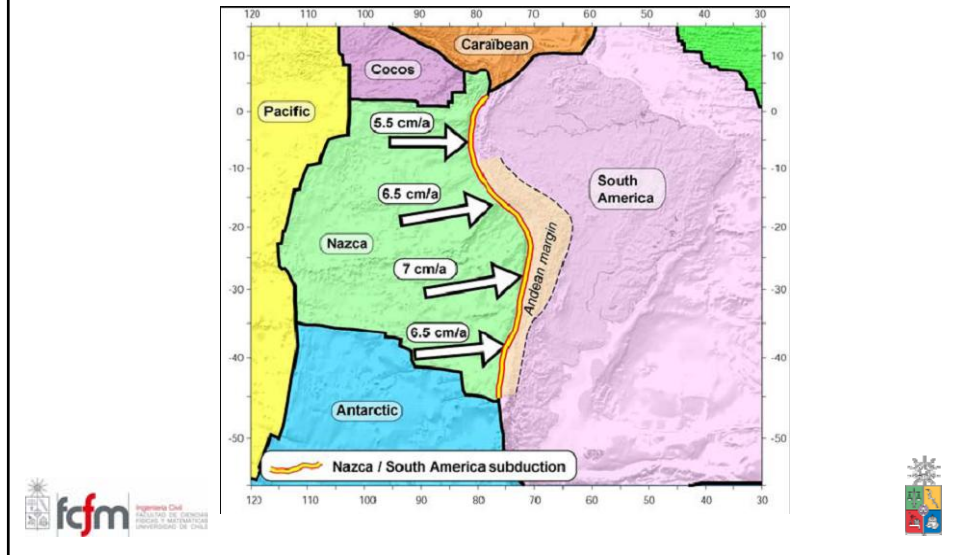
INDICE

- **Antecedentes sismológicos**
- **Efectos del movimiento del suelo**
 - Movimiento del suelo
 - Intensidad macrosísmica
 - Vulnerabilidad sísmica estructural
 - Vulnerabilidad sísmica no-estructural
 - Daños en terremotos chilenos: *edificios, instalaciones industriales, obras portuarias, infraestructura vial.*
- **Efectos de otros fenómenos producidos por un sismo**
 - Tsunami
 - Licuación
 - Avalanchas
 - Deslizamiento
- **Comentarios Finales**

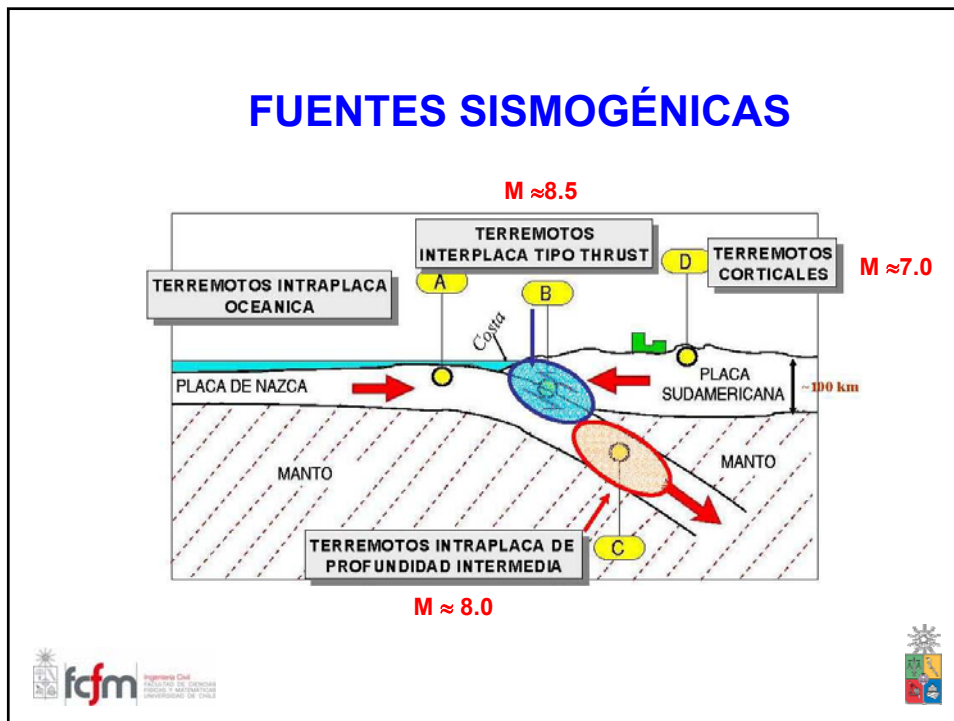


ANTECEDENTES SISMOLÓGICOS

SITUACIÓN TECTÓNICA

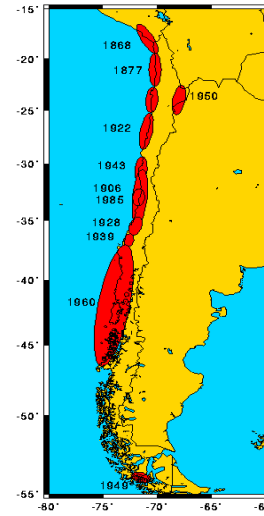


FUENTES SISMOGÉNICAS



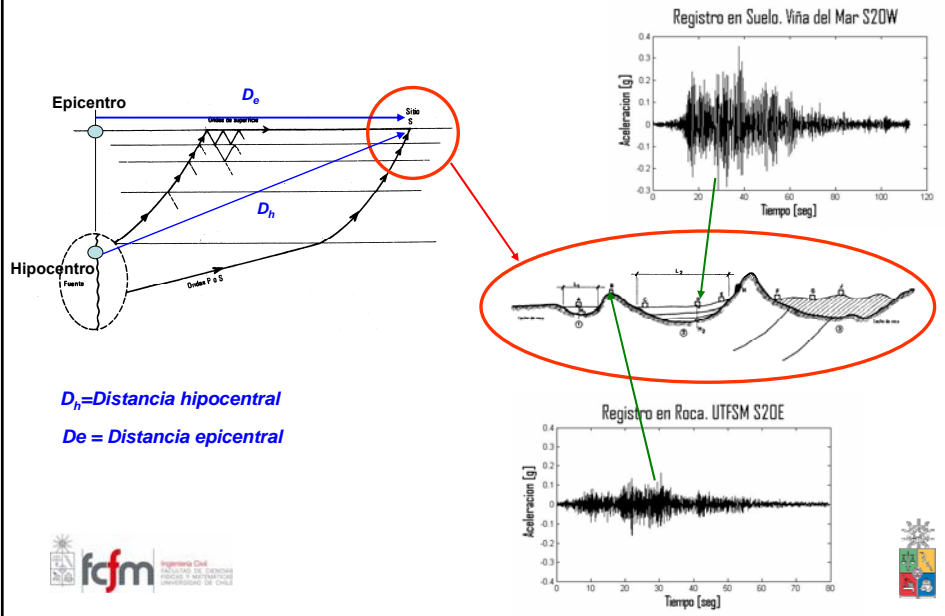
TERREMOTOS CHILENOS ULTIMO SIGLO

- Valparaíso 1906 → B
- Talca 1928 → B
- Chillán 1939 → C
- Santiago 1945 → C
- Las Melosas 1958 → D
- Sur de Chile 1960 → B
- La Ligua 1965 → C
- Lolleo 1985 → B
- Arica 1987 → C
- Antofagasta 1995 → B
- Punitaqui 1997 → C
- Tarapacá 2005 → C
- Tocopilla 2007 → B



EFFECTOS DEL MOVIMIENTO DEL SUELO

MOVIMIENTO DEL SUELO



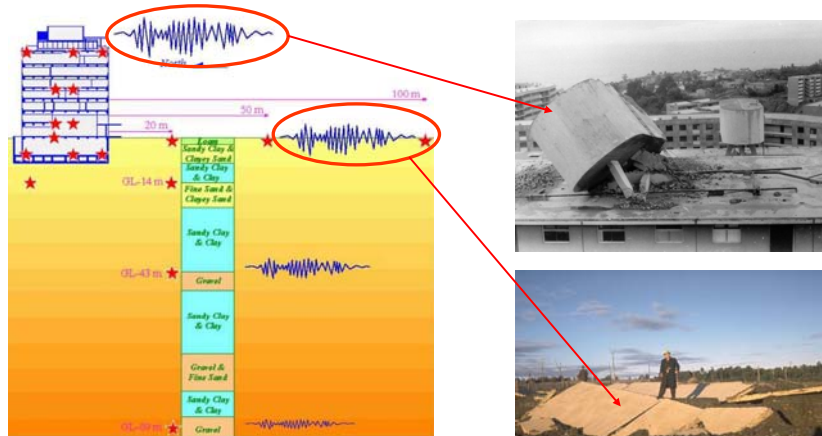
FACTORES QUE CONTROLAN EL MOVIMIENTO DEL SUELO

Estos factores están asociados con *condiciones naturales* y por lo mismo sobre ellos no se puede intervenir.

- La fuente sismogénica (*Tipo B, C o D*).
- La magnitud del evento (*Energía liberada*).
- La distancia del lugar a la fuente sismogénica (*Epicentro, propagación de la falla*).
- El tipo de depósito geológico donde se ubica la construcción.
- La topografía del lugar.
- Las propiedades del suelo sobre el cual se apoya la fundación de la estructura.
- La profundidad del nivel freático.



RESPUESTA AL MOVIMIENTO DEL SUELO



FACTORES QUE CONTROLAN LA RESPUESTA AL MOVIMIENTO DEL SUELO

Estos factores quedan definidos en la *etapa conceptual* del proyecto y están relacionados con las características de la estructura; entre ellos se pueden destacar entre otros:

- El tipo de construcción (*Material y refuerzos*).
- *La integridad global y local de la estructura (Unión entre elementos y refuerzos)*.
- La configuración arquitectónica y estructural de la construcción.
- Propiedades dinámicas de la estructura (*Masa, rigidez, amortiguamiento*).
- Ubicación de los contenidos y elementos arquitectónicos a lo alto de una estructura.
- *Mantenimiento o conservación.*

INTENSIDAD MACROSÍSMICA



INTENSIDAD MACROSÍSMICA

- La *Intensidad Macrosísmica* es la forma más antigua (Escala de Rossi y Forel, 1873) para medir los efectos del movimiento del suelo.
- Su valor se determina normalmente en una escala de XII grados (*Escala MMI o EMS-98*) considerando los efectos que produce el terremoto en los *seres humanos (sensaciones)*, en los *objetos (movimientos)* y en las *construcciones (daños)* de un lugar o de un sector de una ciudad.



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Escala EMS-98 (XII Grados). Versión abreviada

Intensidad	Efecto	Descripción
V	Fuerte	Sentidos por <i>casi todos</i> en el interior y por pocos en el exterior. <i>Muchas</i> personas se despiertan. <i>Algunos</i> se asustan. Los edificios tiemblan en su totalidad. Los objetos colgantes se balancean apreciablemente. Pequeños objetos se desplazan. Las puertas y ventanas se abren y se cierran.

Intensidad	Efecto	Descripción
VIII	Causa daños severos	A <i>mucha</i> gente le cuesta mantenerse de pie. <i>Muchas</i> viviendas muestran grietas grandes en los muros. <i>Unos pocos</i> edificios ordinarios bien construidos muestran daños serios en los muros, mientras que las estructuras antiguas y débiles pueden colapsar.



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

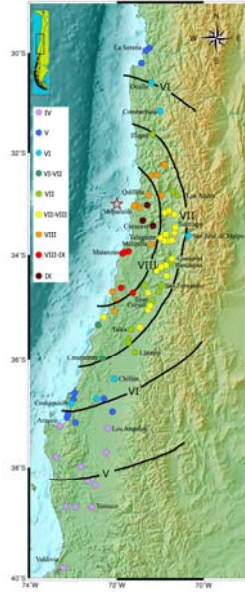
A medida que el valor de la intensidad aumenta, se puede esperar que:

- **Seres vivientes:** una mayor proporción de personas nota el movimiento del suelo y se asusta debido a ello.
- **Objetos de uso común:** un mayor número de objetos de uso doméstico vibra, se desordena y cae al suelo.
- **Edificios:** los edificios experimentan progresivamente más daños.



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Curvas Isosistas



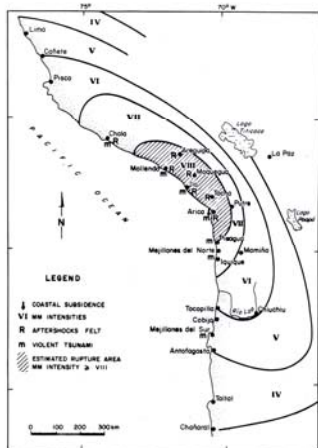
Determinado el grado de la intensidad macrosísmica en distintos lugares donde ha sido percibido un terremoto, es posible trazar las curvas que separan áreas de igual intensidad.

Terremoto de Valparaíso -16 Agosto 1906 (Ms = 8.2÷ 8.4)



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

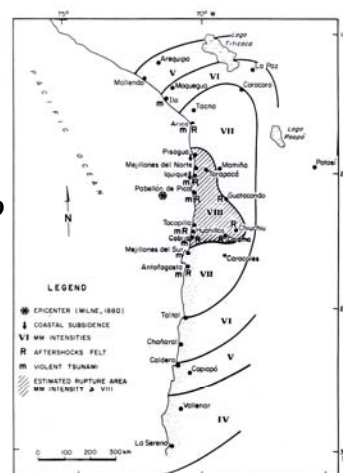
Curvas Isosistas



TERREMOTO DE ARICA
1868



Kausel, 1989

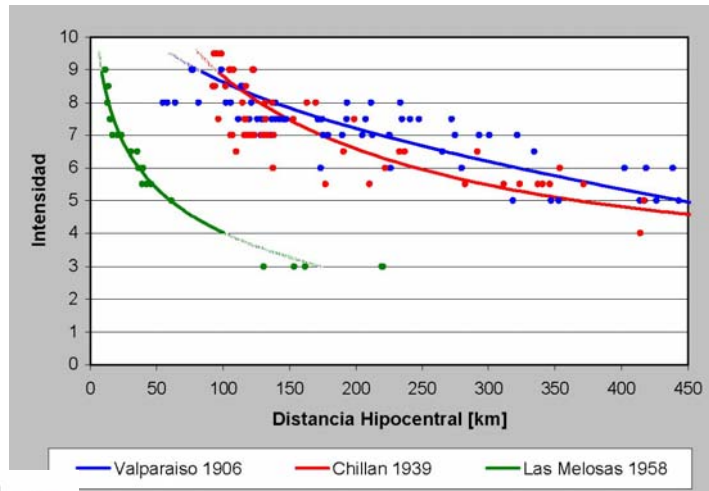


TERREMOTO DE IQUIQUE
1877



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Efectos de la fuentes sismogénica



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Efectos condiciones locales

INTENSIDADES PLAN VALPARAISO 1906

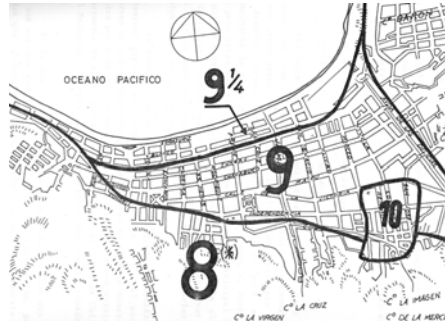


(Carvajal y Saragoni, 1989)

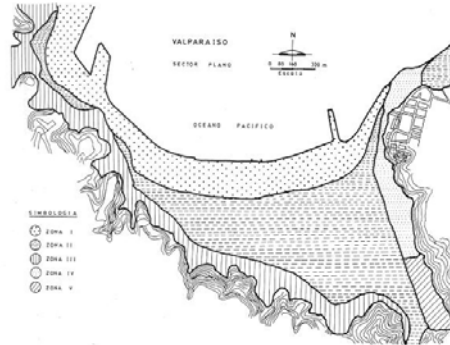


INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Efectos condiciones locales



(Carvajal y Saragoni, 1989)



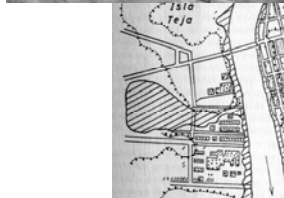
(Acevedo et al., 1996)

INTENSIDADES PLAN VALPARAISO 1906



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Efectos condiciones locales



DAÑOS EN VALDIVIA 1960

(Lazo, 2008)



INTENSIDADES MACROSÍSMICAS

Efectos condiciones locales

VARIACION DE LA INTENSIDAD CON RESPECTO AL VALOR EN ROCA

Tipo de Depósito	ΔI
Deposito fluvial de grava	0.5 ÷ 1.0
Depósito coluvial	1.0 ÷ 2.0
Depósito de cenizas pumicíticas	1.5 ÷ 2.5
Depósito lacustre, aluvional actual	2.0 ÷ 2.5

VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL

VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL

- De acuerdo con la forma como responden al movimiento del suelo, las construcciones se clasifican según su **vulnerabilidad sísmica**.
- En una primera aproximación, esta clasificación se puede hacer en función del material del cual están construidas y de los refuerzos que tengan.

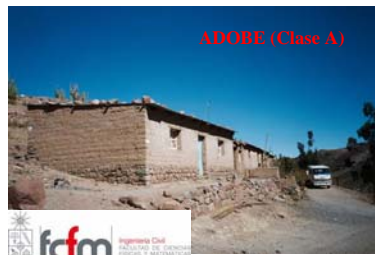


VIVIENDAS CHILENAS SIN DISEÑO SISMICO

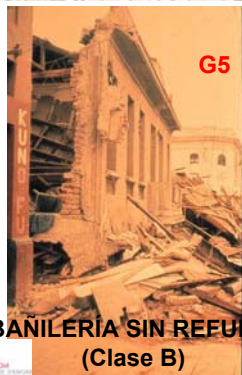
CLASE	Tipo de Construcción
A	<i>Construcciones de albañilería de piedra unidas con mortero de barro.</i>
	Construcciones de adobe. <i>Construcciones de albañilería de ladrillos cerámicos sin refuerzos unidas con mortero de barro o de cal y arena.</i>
B	Construcciones de albañilería de ladrillos o piedras labradas sin refuerzos unidas con mortero de cemento.
	Construcciones de tabiquería de madera rellena con adobe. <i>Construcciones del tipo "palo ahogado" sin malla de refuerzo.</i>
C	Construcciones de albañilería confinada con elementos de hormigón armado.
	Construcciones de madera bien construidas. <i>Construcciones del tipo "palo ahogado" con malla de refuerzo.</i>



EJEMPLOS DE VIVIENDAS CHILENAS SIN DISEÑO SISMICO



DAÑOS OBSERVADOS EN LAS VIVIENDAS CHILENAS SIN DISEÑO SISMICO



ESCENARIO FRENTE A UN SISMO DE LAS CONSTRUCCIONES SIN DISEÑO SÍSMICO

Según la Intensidad Macrosísmica

Intensidad	Clase de vulnerabilidad					
	Clase A		Clase B		Clase C	
VIII	Grado Daño	%	Grado Daño	%	Grado Daño	%
	G5	5	G4	5	G3	5
	G4	50	G3	50	G2	50
	G3	35	G2	35	G1	35
	G2	10	G1	10	G0	10

Intensidad	Clase de vulnerabilidad					
	Clase A		Clase B		Clase C	
VII	Grado Daño	%	Grado Daño	%	Grado Daño	%
	G4	5	G2	50	G1	50
	G3	50	G1	35	G0	50
	G2	35	G0	15		
	G1	10				

Clasificación de los daños		
Grado	Descripción	Acción a Adoptar
G0	Sin daño	No se requiere acción
G1	Daño leve	Requiere reparación arquitectónica
G2	Daño Moderado	No se requiere evacuar edificio
G3	Daño Severo	Evacuar edificio y reforzar
G4	Daño Muy Severo	Evacuar edificio y demoler
G5	Colapso	Despejar el sitio y reconstruir



ESCENARIO FRENTE A UN SISMO DE LAS CONSTRUCCIONES CON DISEÑO SÍSMICO

Según la Intensidad Macrosísmica

Intensidad	Clase de Vulnerabilidad	
	Clase D	
VIII	Grado Daño	%
	G2	5
	G1	50
	G0	45

Intensidad	Clase de Vulnerabilidad									
	Clase A		Clase B		Clase C		Clase D		Clase E	
IX	Grado Daño	%	Grado Daño	%	Grado Daño	%	Grado Daño	%	Grado Daño	%
	G5	50	G5	5	G4	5	G3	5	G2	5
	G4	35	G4	50	G3	50	G2	50	G1	50
	G3	15	G3	35	G2	35	G1	35	G0	45
			G2	10	G1	10	G0	1		

Clasificación de los daños		
Grado	Descripción	Acción a Adoptar
G0	Sin daño	No se requiere acción
G1	Daño leve	Requiere reparación arquitectónica
G2	Daño Moderado	No se requiere evacuar edificio
G3	Daño Severo	Evacuar edificio y reforzar
G4	Daño Muy Severo	Evacuar edificio y demoler
G5	Colapso	Despejar el sitio y reconstruir

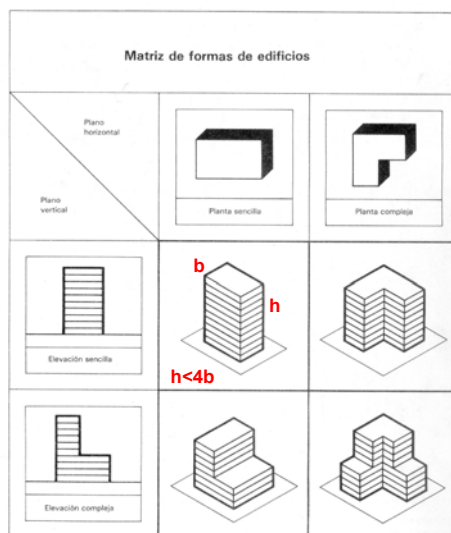


VULNERABILIDAD SÍSMICA ESTRUCTURAL DE CONSTRUCCIONES CON DISEÑO SISMICO

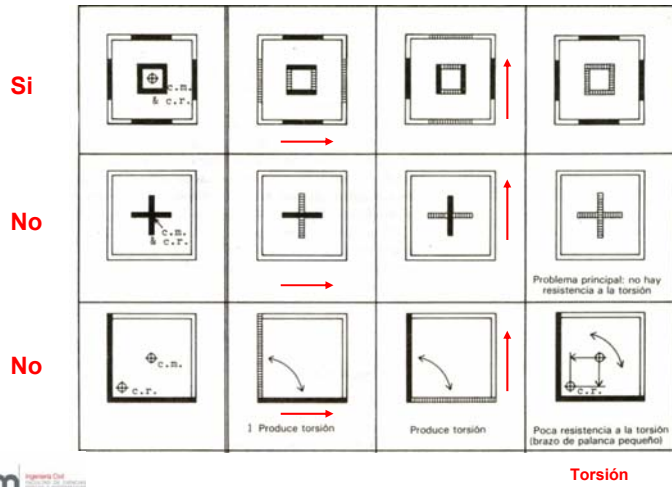
- La vulnerabilidad estructural de los edificios con diseño sísmico depende de **aspectos cualitativos** relacionados con su forma y con las características del sistema estructural, los que se definen en la **etapa conceptual del diseño** de un proyecto.
- La evaluación de la vulnerabilidad estructural debe considerar:
 - **Forma:**
 1. **Planta:** simetría, proporción, continuidad.
 2. **Elevación:** simetría, proporción, continuidad.
 - **Sistema Estructural:**
 1. **Componentes:** densidad, continuidad, conexiones.
 2. **Configuración:** simetría, uniformidad, relación con elementos no estructurales.



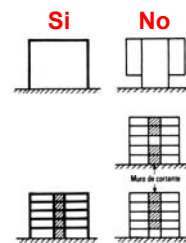
FORMA Planta - Elevación



SISTEMA ESTRUCTURAL Distribución en Planta



SISTEMA ESTRUCTURAL Continuidad en Altura



Villa Olímpica Santiago 1985



VULNERABILIDAD SISMICA DE LOS ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

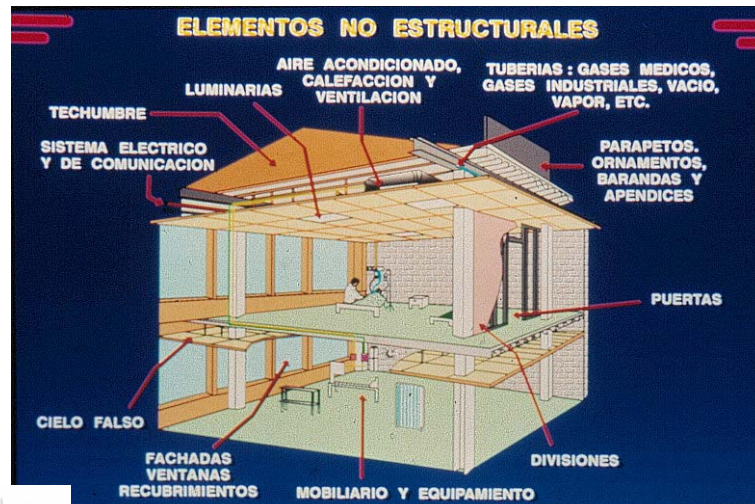


ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES		
ARQUITECTONICOS	EQUIPAMIENTO	LINEAS VITALES
Divisiones interiores	Equipo de oficina	Aire acondicionado
Fachadas	Equipo industrial	Calefacción
Cielos falsos	Mobiliario	Comunicaciones
Techos o cubiertas	Suministros	Red de agua
Parapetos		Red electrica
Chimeneas		Alcantarillado
Recubrimientos (Enlucidos)		Red de incendio
Vidrios y Ventanas		Ascensores
Apéndices(letreros y antenas)		Montacargas
Ornamentos		Escaleras
Marquesinas		
Luminarias		
Barandas		
Puertas y Rutas de Salida		



ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES



VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LOS ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

- La evaluación de la vulnerabilidad de los elementos no-estructurales debe considerar los efectos directo del sismo sobre ellos (*aceleraciones y deformaciones*) y los efectos de la interacción con la estructura y con otros elementos no-estructurales.
- Algunas medidas para proteger estos elementos pueden ser:
 - i. Aislar los elementos para evitar la interacción.
 - ii. Proporcionar apoyos y anclajes para dar estabilidad al elemento.

ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES DAÑOS SISMICOS



ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES DAÑOS SISMICOS



Desprendimiento del Cielo Falso



ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES DAÑOS SISMICOS



Tarapacá 2005

Nisqually 2001



ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES DAÑOS SISMICOS



Tocopilla 2007



Tocopilla 2007



Tocopilla 2007



Tocopilla 2007



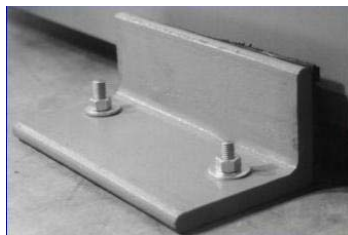
ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

Medidas para reducir su vulnerabilidad sísmica



ELEMENTOS NO-ESTRUCTURALES

Medidas para reducir su vulnerabilidad sísmica



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

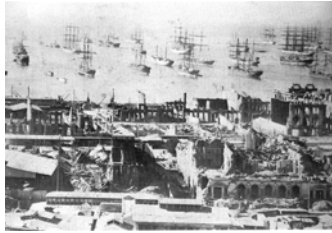


DAÑOS EN EDIFICIOS



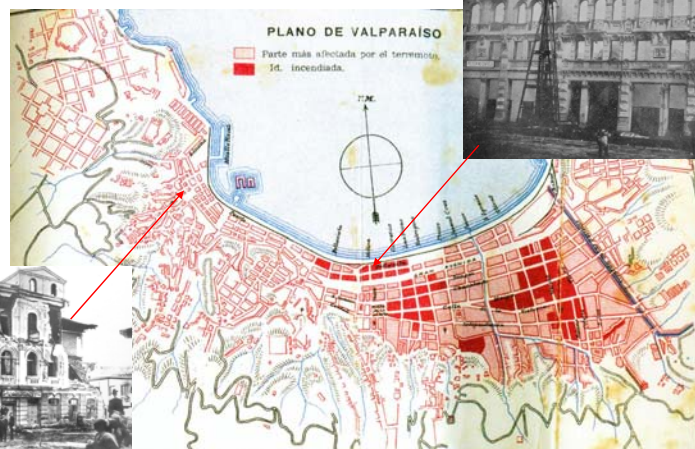
DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Valparaíso 1906 (Ms = 8.2÷8.4)



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Valparaíso 1906 (Ms = 8.2÷8.4)

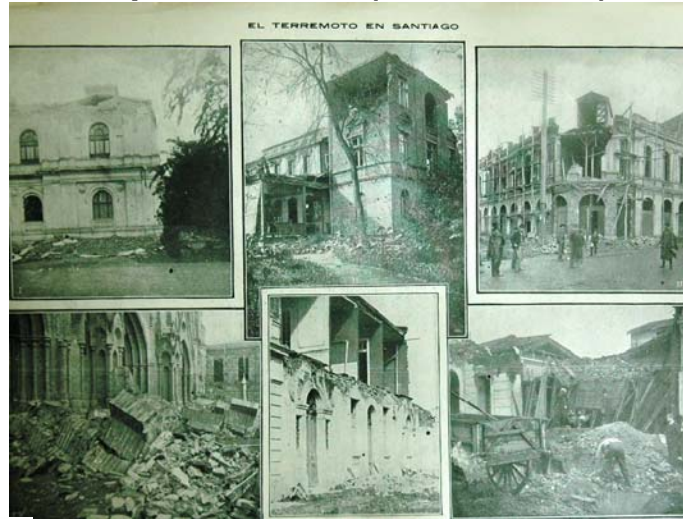


Incendio sector de El Almendral



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Valparaíso 1906 (Ms = 8.2÷8.4)



Daños en la ciudad de Santiago



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Chillán 1939 (Ms = 7.8)



Chillán-1939



Chillán-1939



Chillán-1939



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Chillán 1939 (Ms = 7.8)



Concepción-1939



Concepción-1939



Parral-1939



San Carlos-1939



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Las Melosas 1958 (Ms = 6.9)



El Volcán



El Volcán



El Volcán



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Sur de Chile 1960 (Mw = 9.5)



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Sur de Chile 1960 (Mw = 9.5)



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Tarapacá 2005 (Mw = 7.9)



DAÑOS EN TERREMOTOS CHILENOS

Tarapacá 2005 (Mw = 7.9)



DAÑOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES



DAÑOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES



Wenchuan-Mayo 2008



DAÑOS EN OBRAS PORTUARIAS

DAÑOS EN OBRAS PORTUARIAS



Muelle Pto. Montt-1960

Malecón Pto. Montt-1960



DAÑOS EN OBRAS PORTUARIAS

Terremoto de Lollo de 1985

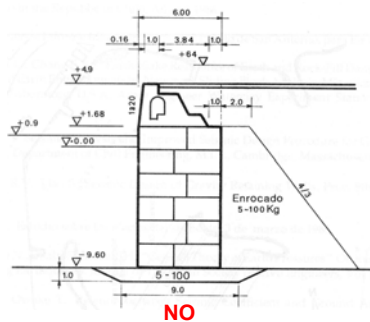


Sitio 1 y 2 de San Antonio

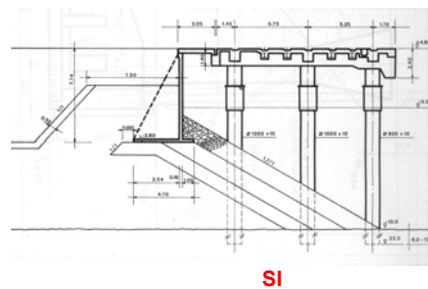


DAÑOS EN OBRAS PORTUARIAS

SOLUCIONES



Sitio 1 y 2 de San Antonio



Sitio 5 de San Antonio



DAÑOS EN INFRAESTRUCTURA VIAL

(PUENTES, LINEAS FERREAS Y CAMINOS)



DAÑOS EN INFRAESTRUCTURA VIAL

Puente Pichoy-1960



Camino Pto. Varas-Pto. Montt-1960



Puente Lo Gallardo-1985



Línea Férrea – Llanquihue-1960



DAÑOS EN INFRAESTRUCTURA VIAL



Puente Bio-Bio-1960

OTROS FENOMENOS Y SUS EFECTOS

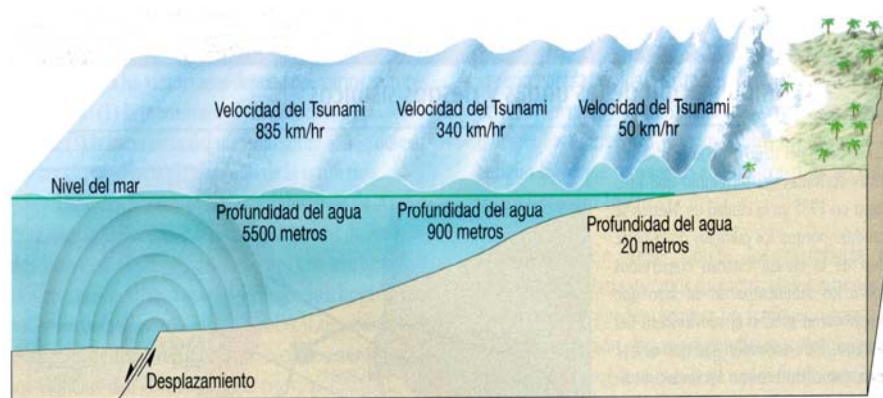
TSUNAMI

TSUNAMI

- Los tsunamis son las olas producidas por deformaciones que se producen en el fondo del mar producto del terremoto.
- Ocurren en la medida que el epicentro del terremoto se produzca costa afuera (Terremotos interplaca - Tipo B).
- El efecto del tsunami sólo se hace sentir en la costa y por ellos las instalaciones y ciudades ubicadas en el borde costero son las afectadas.

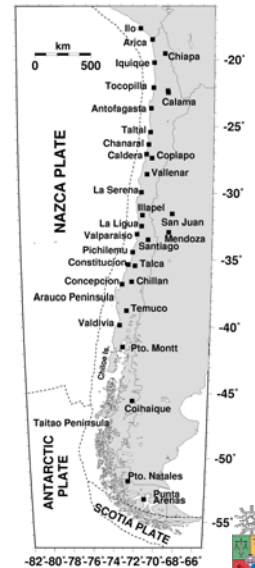


TSUNAMI



TSUNAMIS EN CHILE (SHOA)¹

Lugar	Año	Run-up
Arauco-Concepción	1562	
Concepción	1570	4 m
Sur de Perú	1604	16 m en Arica
Concepción	1657	4 m
Chile Central	1730	16 m Concepción
Concepción	1751	3.5 m Concepción
Copiapó	1819	4 m Caldera
Valparaíso	1822	3.5 m
Concepcion	1835	13 m Isla Quiriquina
Valdivia	1837	2 m Ancud
Coquimbo-La Serena	1849	5 m Coquimbo
Copiapo	1851	3 m Huasco
Copiapo	1859	6 m Caldera
Sur de Perú	1868	20 m Arica
Norte de Chile	1877	21 m Mejillones



(1) SHOA: Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada



TSUNAMIS EN CHILE (SHOA)

Lugar	Año	Amplitud
Valparaíso	1906	1.5 m
Copiapo	1918	5 m Caldera
Copiapo-Vallenar	1922	9 m Chañaral
Región del Maule	1928	1.5 m Constitución
Illapel	1943	1 m Los Vilos
Sur de Chile	1960	25 m Isla Mocha, 15 m Mehuin, 10 m Corral, Ancud
Tal-Tal	1966	0.8 m Caldera
Valparaíso	1985	1.5 m
Antofagasta	1995	2.8 m
Tocopilla	2007	

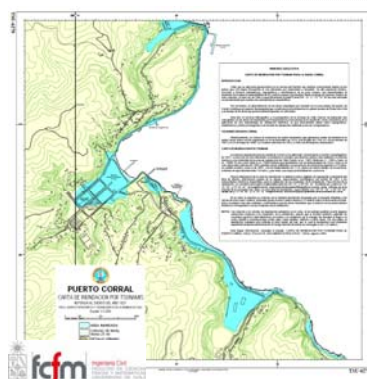
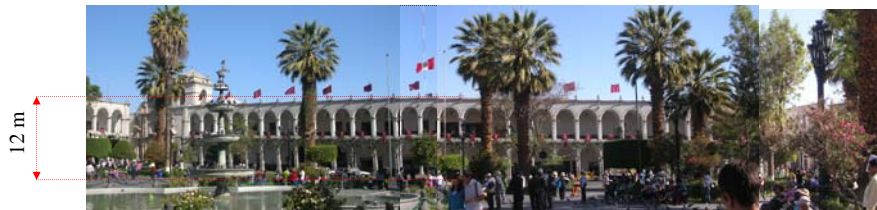


Puerto Saavedra-1960



Tsunami en Chile

Corral



Tsunami en Chile

Queule, en 1960



Tsunami en Chile



LICUACION

LICUACION

- Suelos arenosos saturados pueden transformarse en fluidos por efecto de un movimiento sísmico.
- Dadas las condiciones que deben presentar los suelos, la licuación se observa en los sectores ubicados junto a las riberas de los ríos o en el borde costero.
- Los daños originados por este proceso son espectaculares y se deben a grandes deformaciones de las fundaciones.
- Uno de los síntomas de la presencia de este fenómeno es la **formación de cráteres con eyección de barros**.



LICUACION



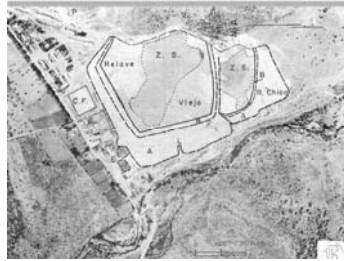
AVALANCHAS

- Durante los terremotos se producen estos fenómenos los que pueden arrasar con edificios y obras civiles situadas en su curso, ocasionando importantes pérdidas de vidas humanas y materiales.
- De este tipo de fenómenos, la experiencia en Chile destaca los aludes que se han producido en los *tranques de relave* como los ocurridos durante el terremoto de Talca de 1928 en el tranque del mineral de El Teniente y en el terremoto de La Ligua de 1965 en el sector de Nogales, lo que significó la desaparición del pueblo del Cobre y de más de 200 personas.
- Las amenazas más graves de este tipo de fenómeno están constituidas por los aludes de agua y barro como son los que ocurren producto del embalsamiento que producen los deslizamientos, de ellos el más destacado es el caso de los tacos del Riñihue durante los terremotos de 1575 y 1960.



AVALANCHAS

El Cobre-1965



E: Escofria
A: Terraza
B: Parte Superior del Relave
ZS: Charco Central (Zona Salutación)

Casas sepultadas: 80
Número de víctimas: 308



(Norambuena, 2006)



AVALANCHAS

El Cobre-1965



DESLIZAMIENTOS

Reñaca-1965



Rio Negro-1960



Wenchuan-Mayo 2008



COMENTARIOS FINALES

- Chile es el país con una de las **más alta productividad sísmica del mundo**.
- Por lo anterior, Chile es uno de los **laboratorios naturales más atractivo** a nivel mundial.
- Esta situación permite reunir **valiosas enseñanzas** cuando se produce un terremoto, enseñanzas que debemos capitalizar en beneficio de reducir los efectos de ellos.
- Desde el punto de vista del diseño debe tenerse en cuenta que el **diseño conceptual** de un proyecto es fundamental en el resultado y el **cálculo sólo es una herramienta a su servicio**.



COMENTARIOS FINALES

- Considerando los daños observados en los terremotos que han ocurrido los últimos 25 años, sísmicamente el principal problema en Chile es:
 - a. Las viviendas construidas sin asistencia técnica (Autoconstrucción).
 - b. La falta de un procedimiento de control y calificación de sistemas estructurales que no han sido probados sísmicamente.



MUCHAS GRACIAS

