

SISMOLOGÍA

Patricio Pineda Nalli

Septiembre de 2018

www.ppning.com

Comentarios Generales

- **Fechas de terremotos no se pueden predecir.**
- **Buenas estimaciones de magnitud, lugar y períodos de recurrencia.**
- **Fuentes sísmicas: superficies**
- **Códigos Chilenos con buenos resultados post sismos.**
- **Chile es uno de los países con mayor actividad sísmica en el mundo. Permite estudios Backward Analysis.**
- **En 2017, Chile: <http://www.16wcee.com/>**

Definiciones

Sismología: Rama de la geología que estudia los terremotos. Principales objetivos:

- Estudio de la propagación de ondas sísmicas por el interior de la tierra
- Estudio de las causas que dan origen a los sismos
- La prevención del daño

Sismo: Proceso de generación de ondas y su posterior propagación por el interior de la tierra, por efecto del choque de placas tectónicas y liberación de energía (1-10%), el resto en forma de calor.

Definiciones

Sismicidad Inducida: Fenómeno provocado por actividades humanas sobre la corteza terrestre.

- Minería: Detonaciones
- Extracción Petrolífera
- Creación de Embalses
- Actividad Nuclear

Hipocentro: El punto del interior de la tierra, donde se inicia un movimiento sísmico.

Epicentro: Proyección del hipocentro en la superficie terrestre.

Pregunta Frecuente

Terremoto: Con daño observado
 $IMM \geq VII, P_D \geq 4 \text{ cm}\cdot\text{seg}$

Temblor: Sin daño observado
 $IMM < VII, P_D < 4 \text{ cm}\cdot\text{seg}$

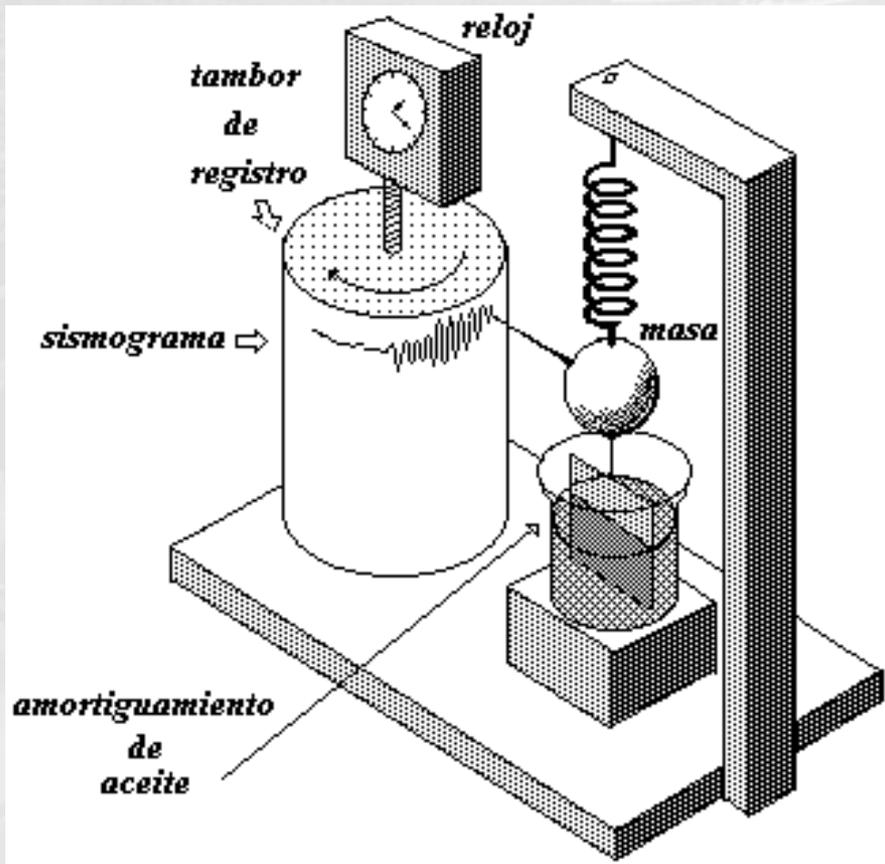
Potencial Destructivo

$$P_D = \frac{\pi}{2g} \cdot \frac{\int_0^{t_o} a^2(t) \cdot dt}{v_o^2},$$

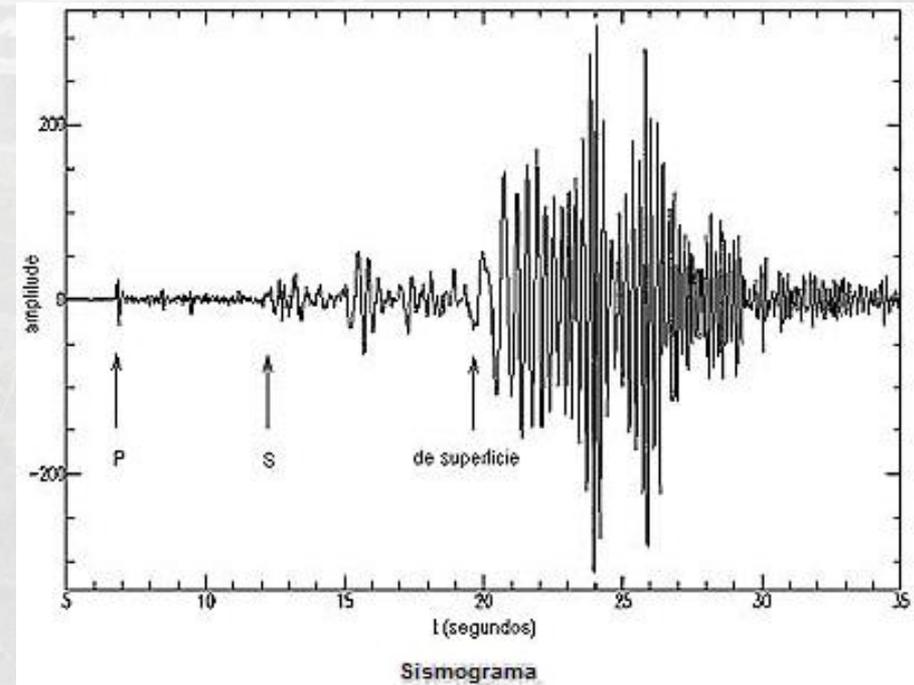
$a(t)$ = aceleración del suelo,
 t_o = duración total del acelerograma,
 v_o = intensidad de cruces por cero por segundo
 g = aceleración de gravedad.

Sismógrafo / Sismograma

Instrumento para medir movimientos de la tierra.



Registro del movimiento



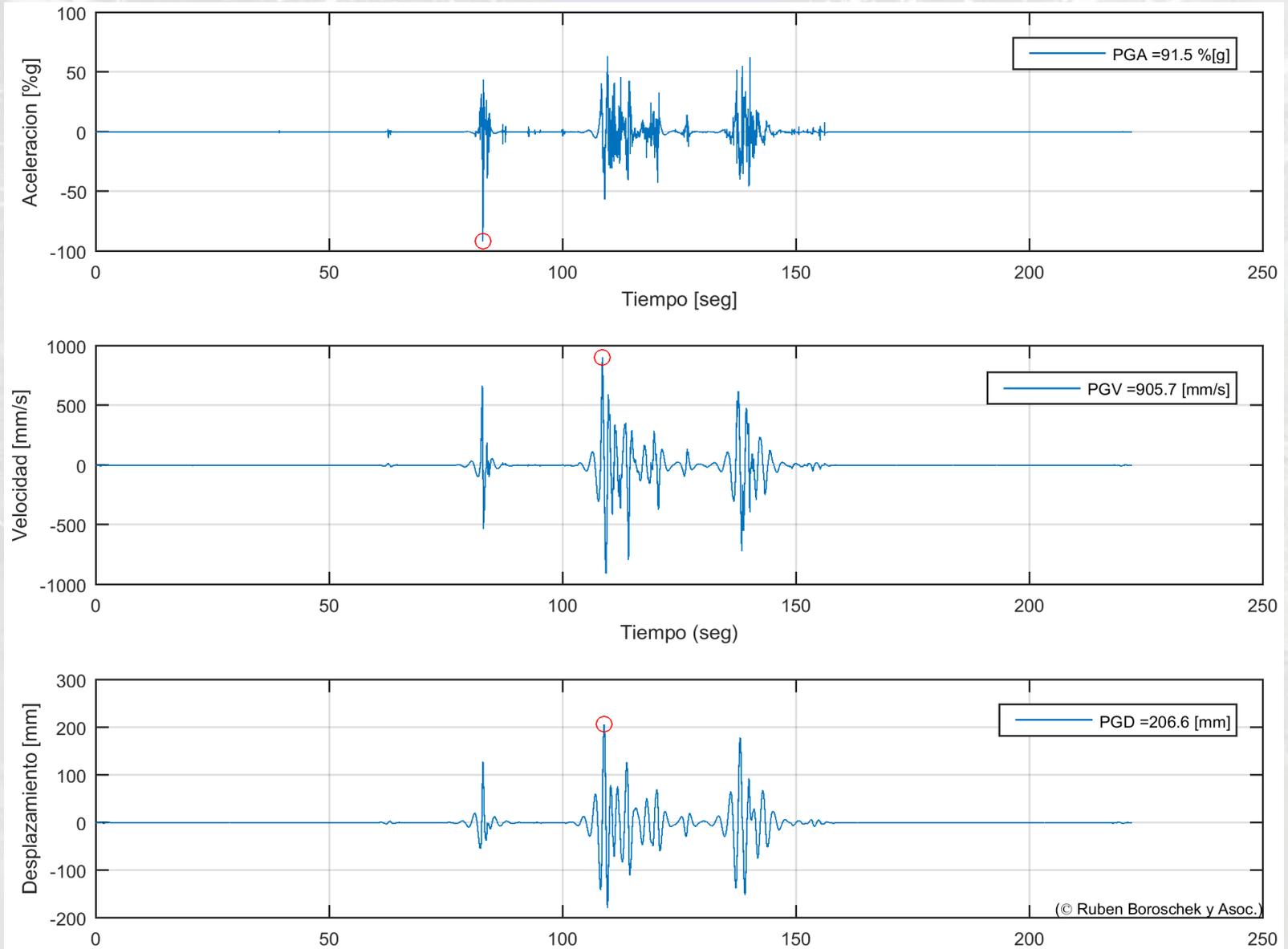
Red de Monitoreos

Resumen de movimiento fuerte (1-2%g, perceptible para el ser humano)

Estructura	:	Casa
Sensor	:	A1 - 06
Ubicación	:	Alcalde Manuel de la Lastra
Fecha	:	2016-05-14
PGA NS	:	0.915g
PGA EW	:	0.683g
PGA UD	:	1.103g
Intensidad de Arias	:	1.433+00cm/s

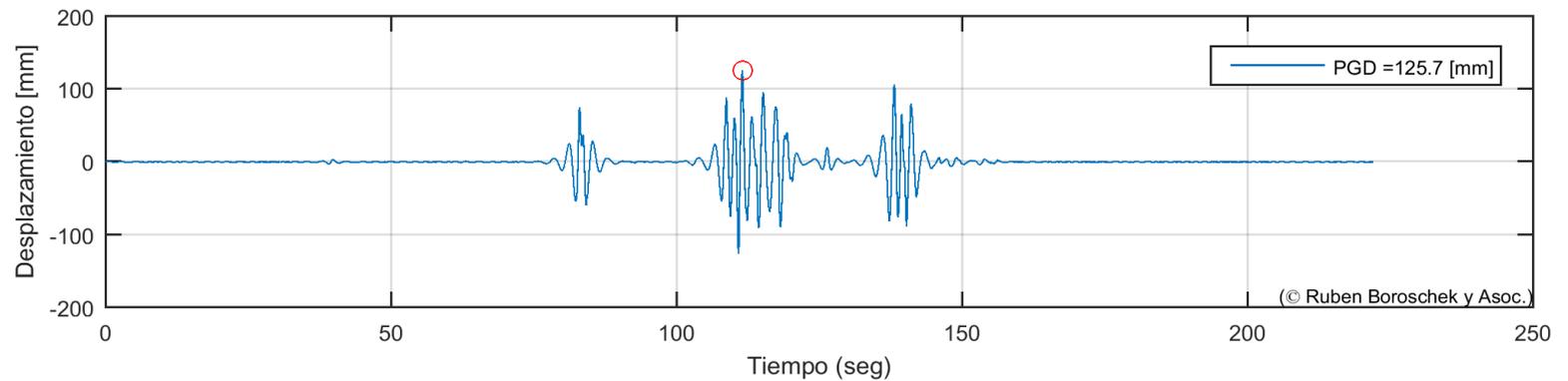
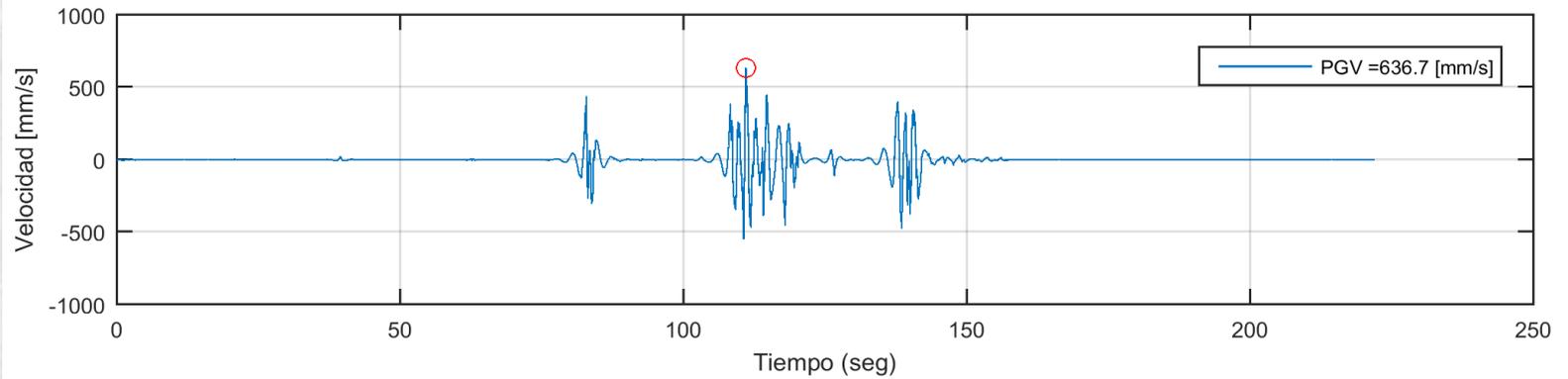
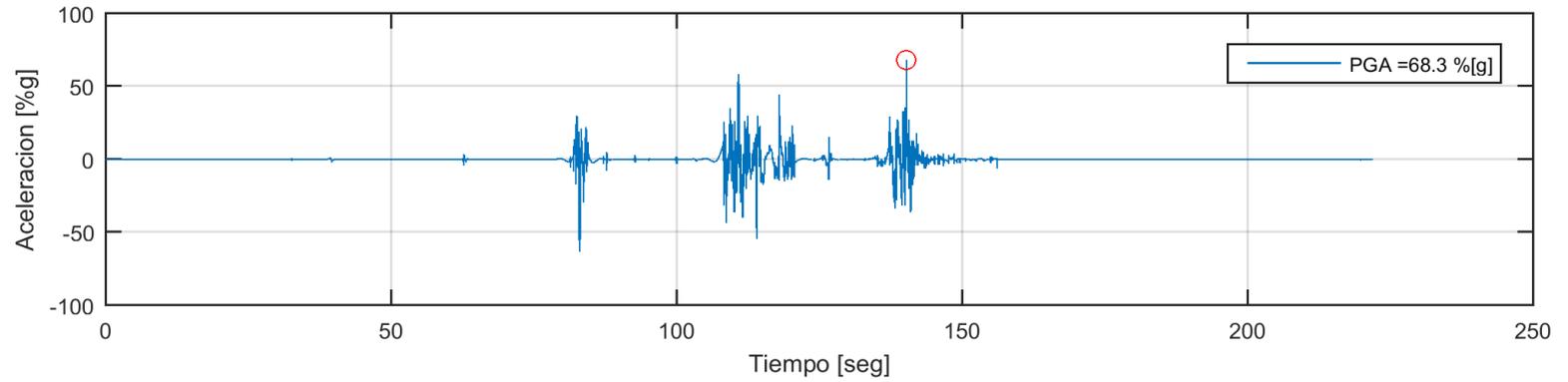


Registros - NS



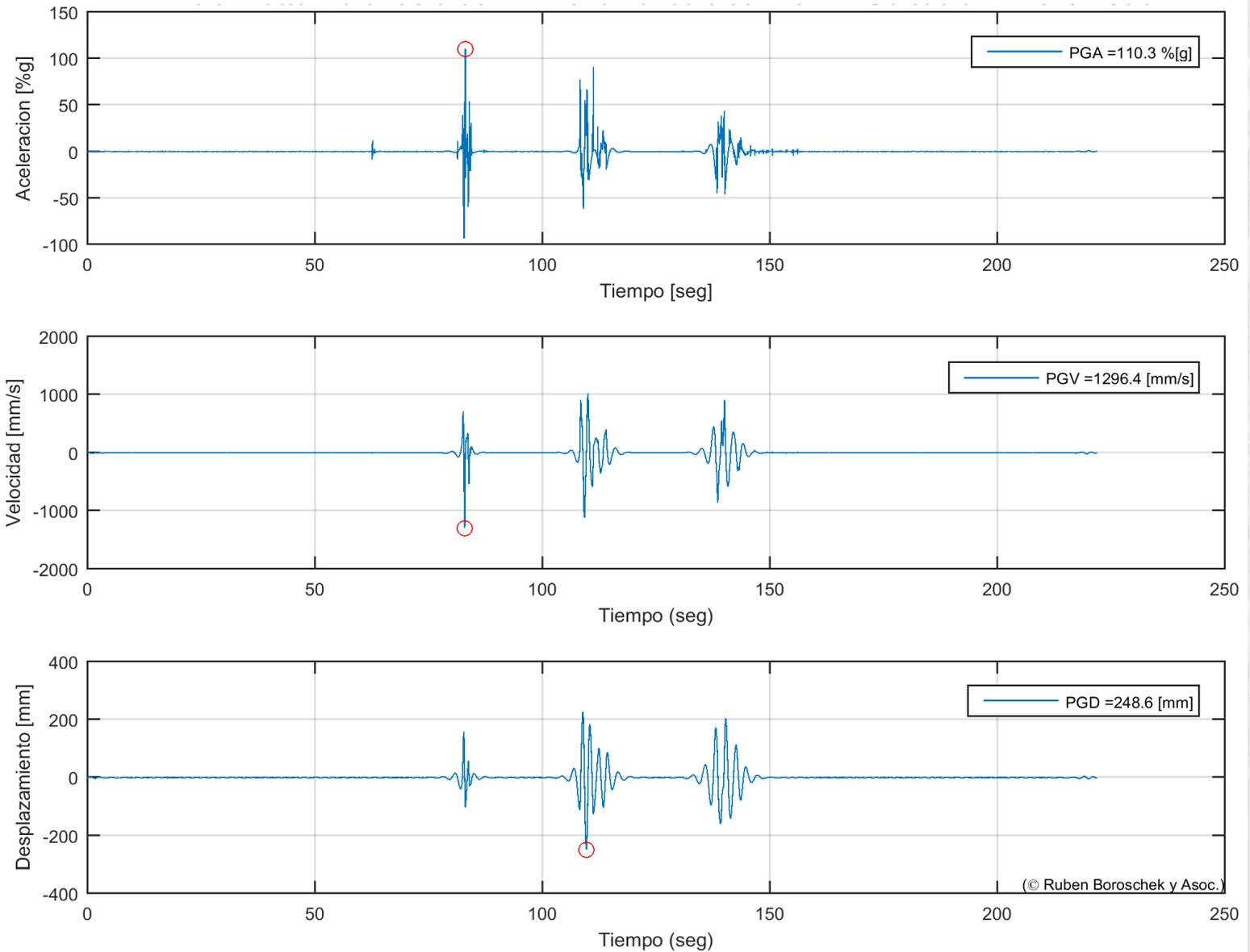
(© Ruben Boroschek y Asoc.)

Registros - EW



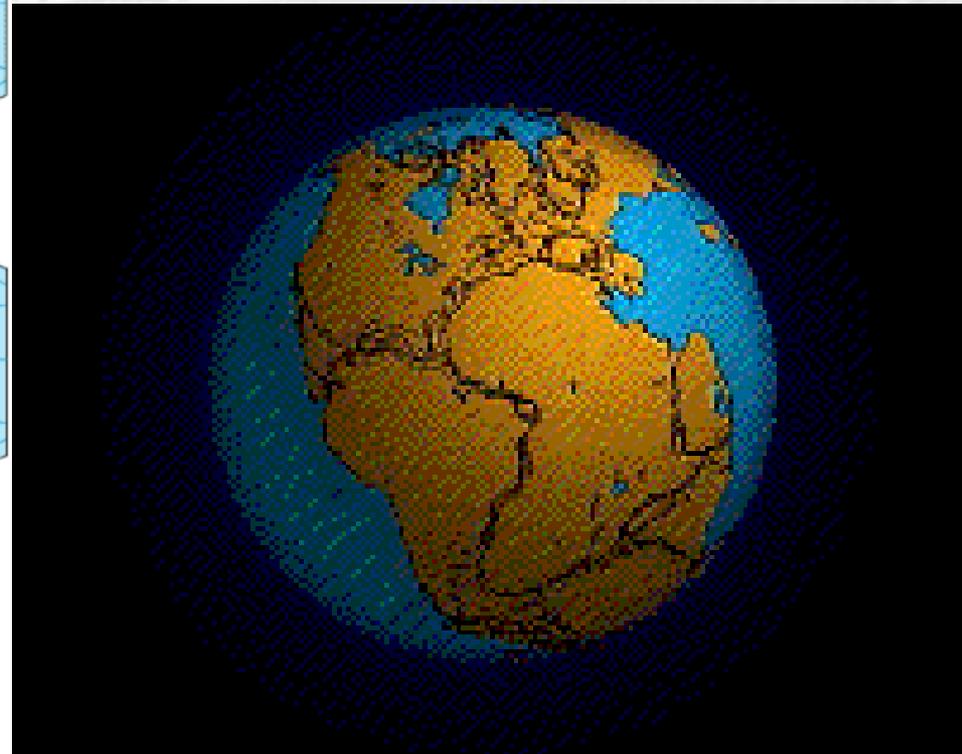
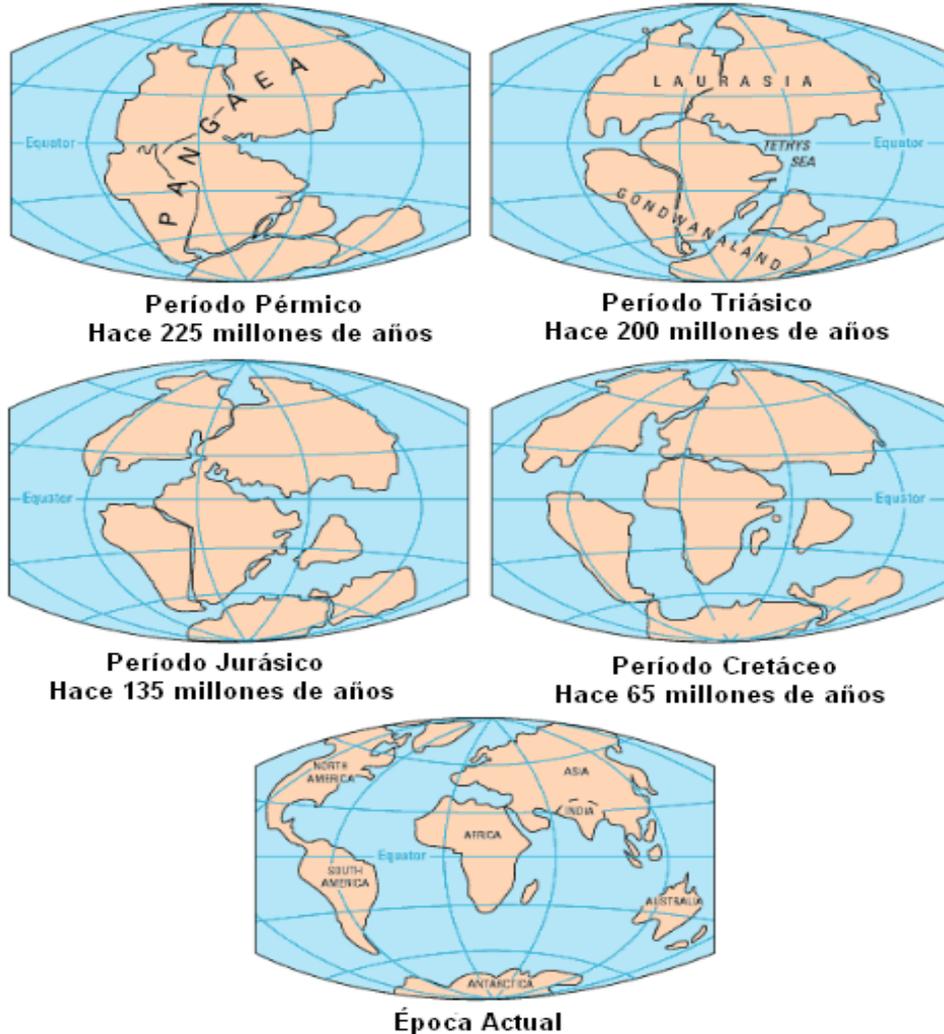
(© Ruben Boroschek y Asoc.)

Registros - UD



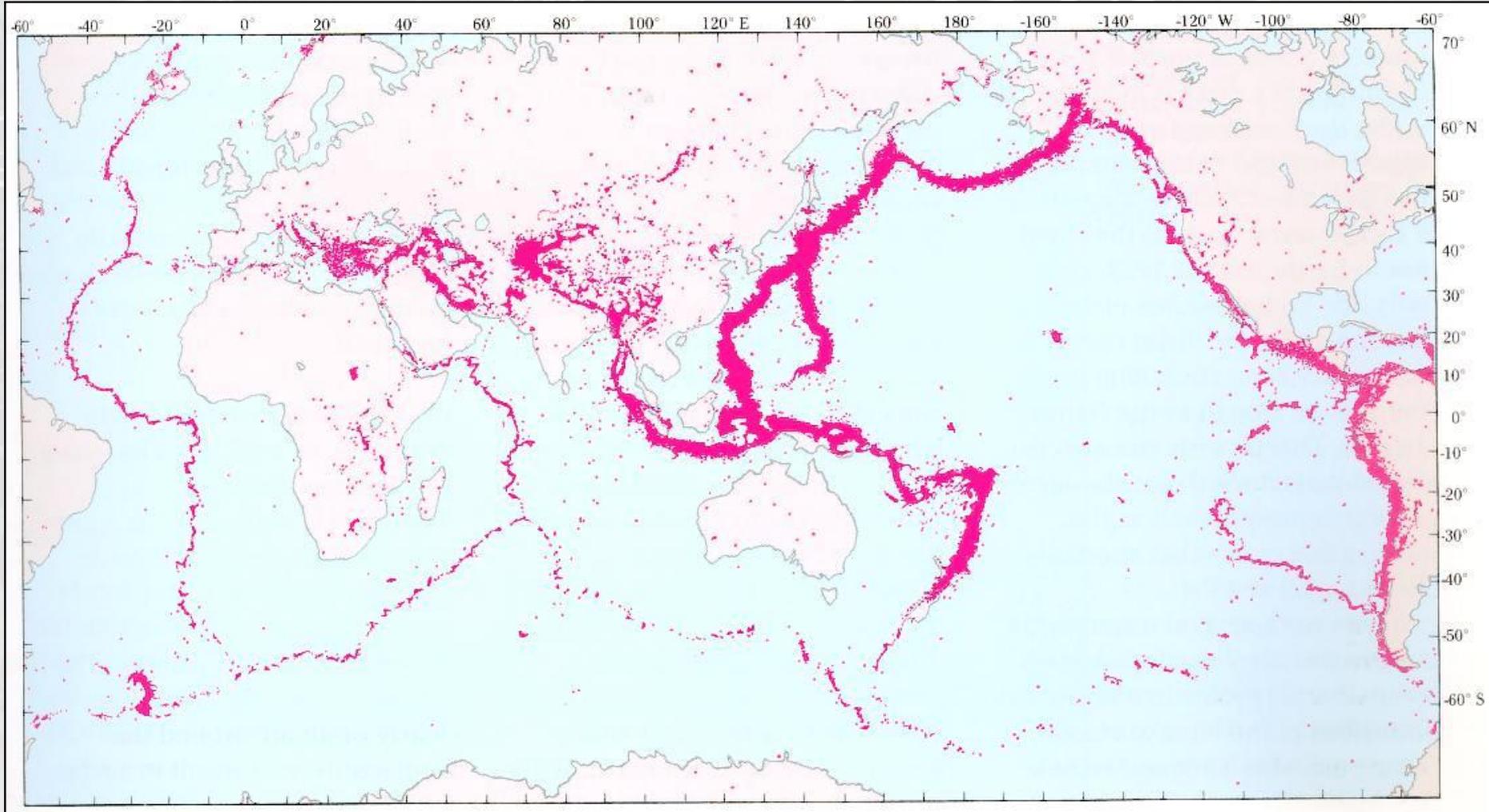
Tectónica de Placas

Teoría de la “Deriva Continental” Alfred Wagner 1912



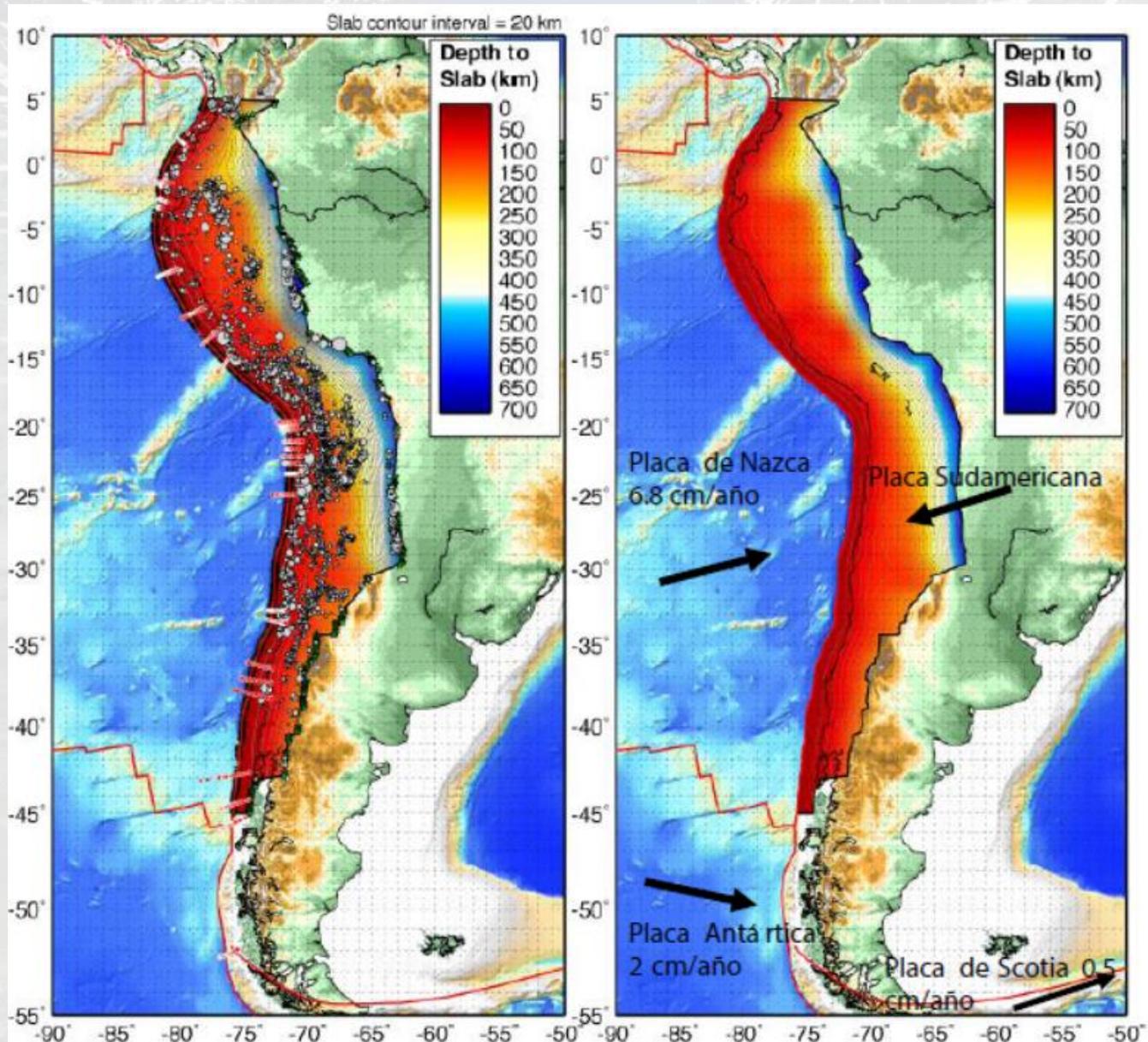
Súper Continente “Pangea”

Cinturón de Fuego del Pacífico

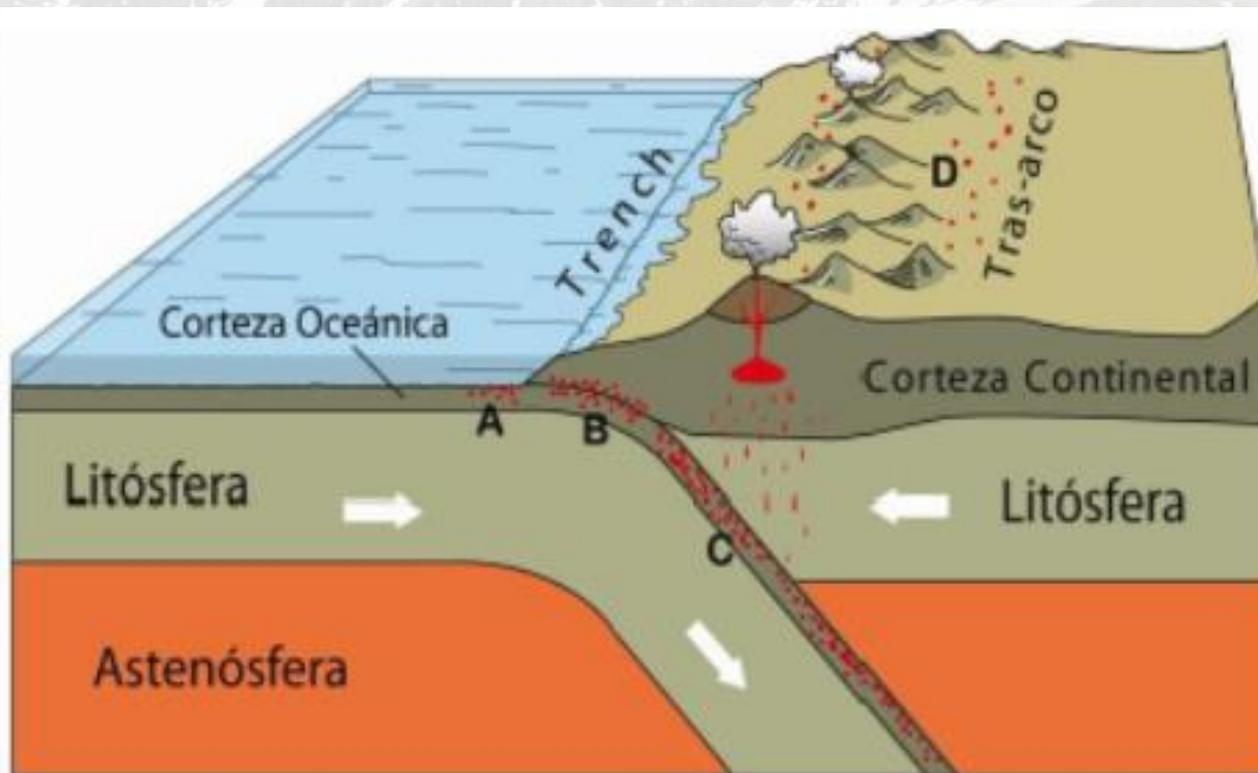


Subducción. Intensa Actividad Sísmica y Volcánica

Marco Tectónico de Chile



Zona de Subducción

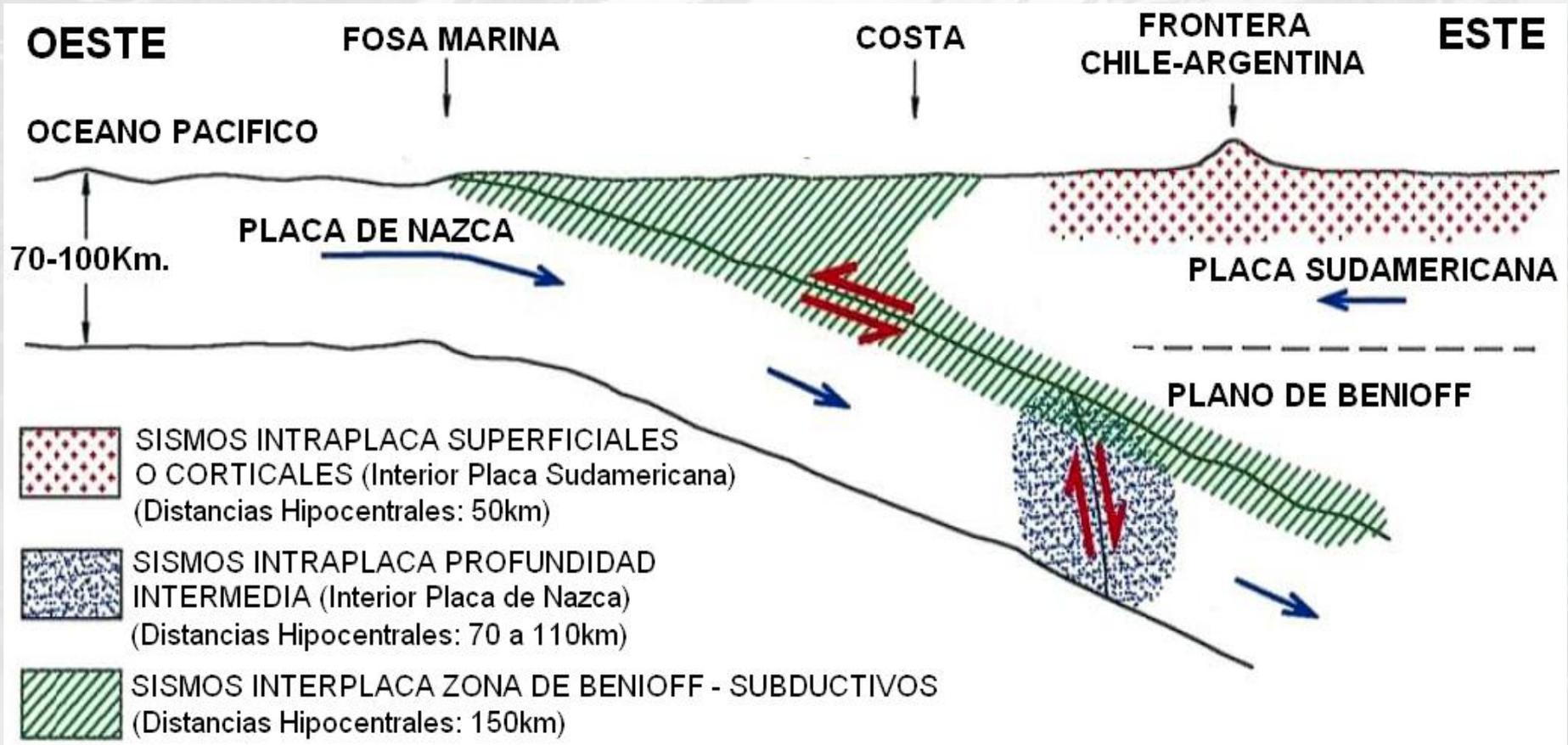


ZONA DE SUBDUCCION

A: Sismos "outer-rise"
B: Sismos Interplaca

C: Sismos Intraplaca oceánica
D: Sismos Intraplaca continental

Interacción de Placas en Chile

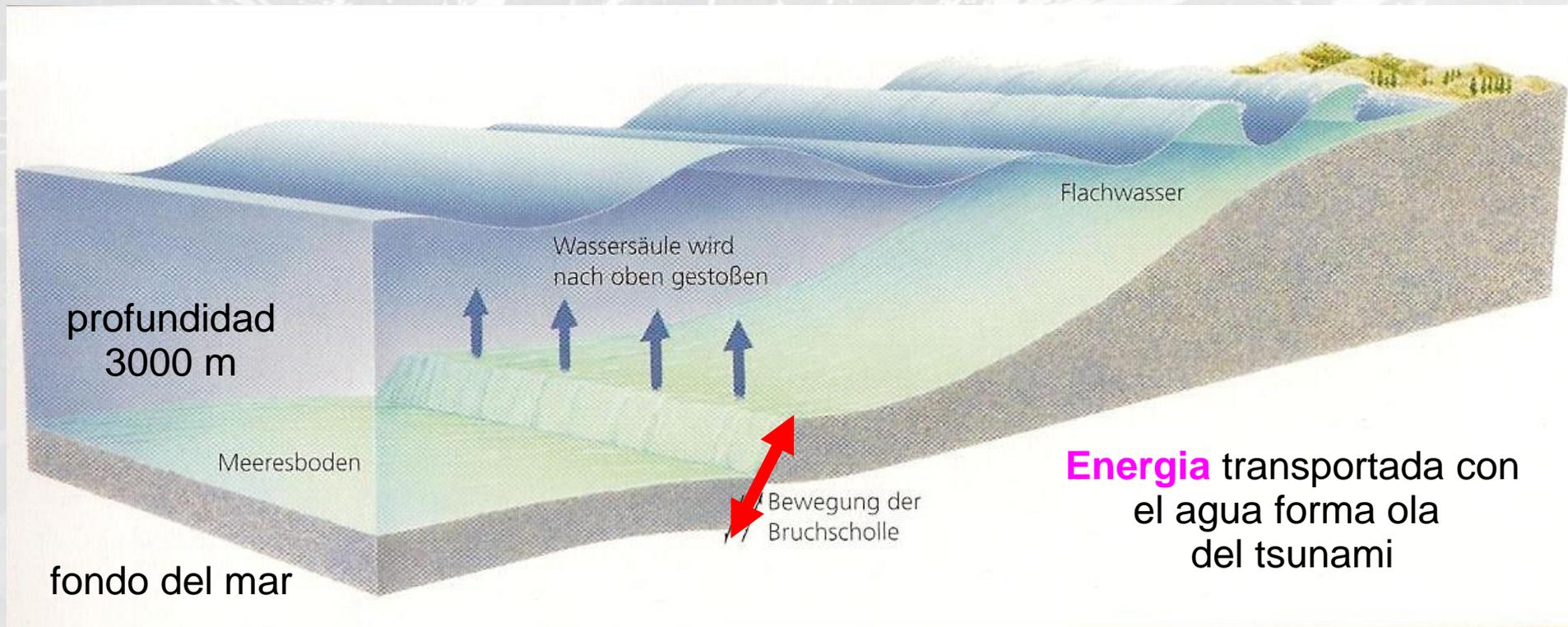


Tsunami

Definición: Palabra Japonesa (Tsu: puerto / Nami: ola de puerto - maremoto). Rompimiento vertical de placas oceánicas. Terremoto con epicentro en el mar. Velocidades de olas de 600 a 800km/h.

Norma Técnica 007: Diseño estructural para edificaciones en áreas de riesgo de inundación por tsunami o Seiche (Onda estacionaria encerrada completa o parcialmente: lagos, embalses, piletas, etc.)

Generación de un Tsunami



Tsunami es probable con **Maremoto** magnitud Richter >7 mueve la **columna de agua** arriba del fondo del mar

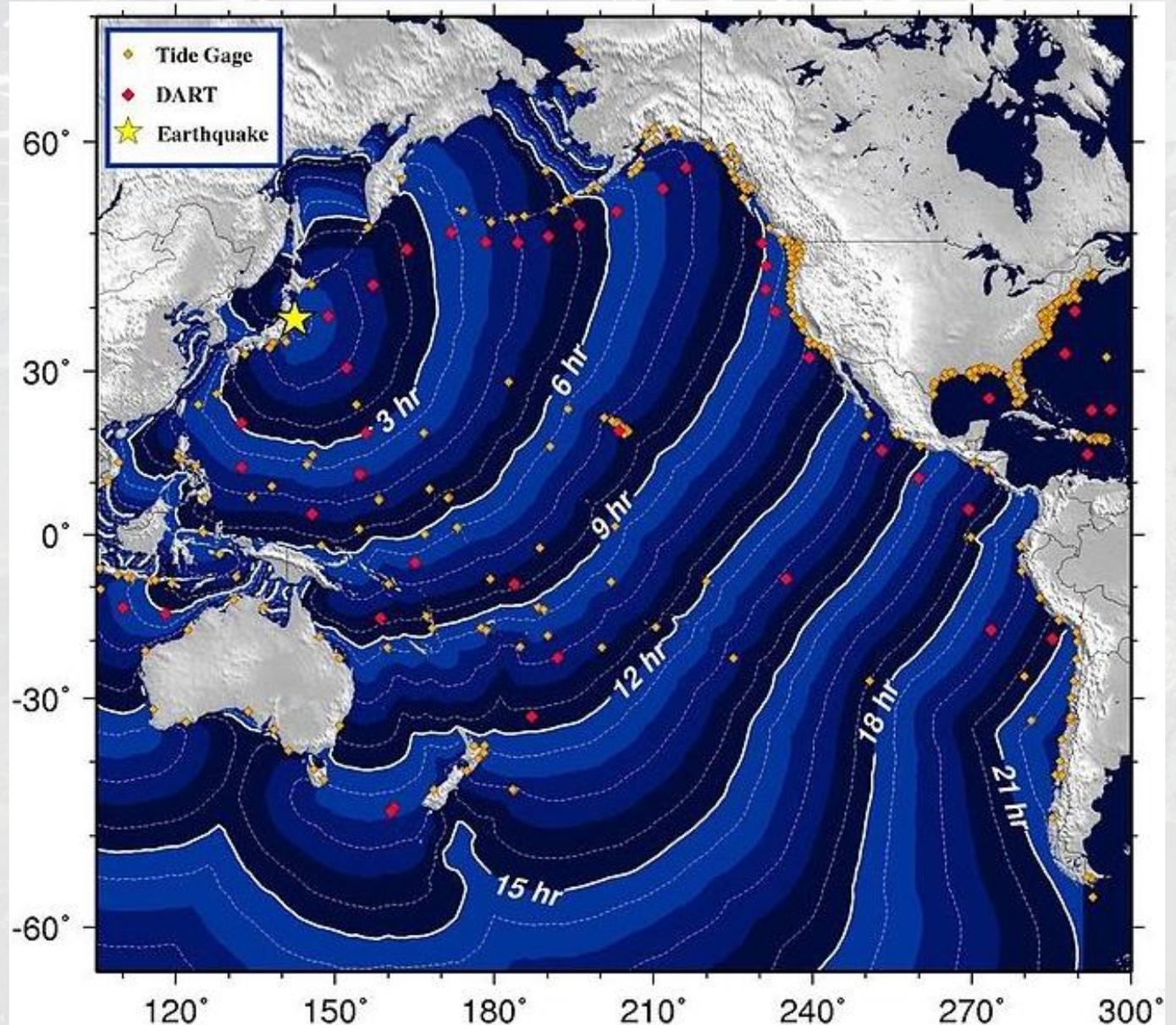
Terremoto de Japón de 2011



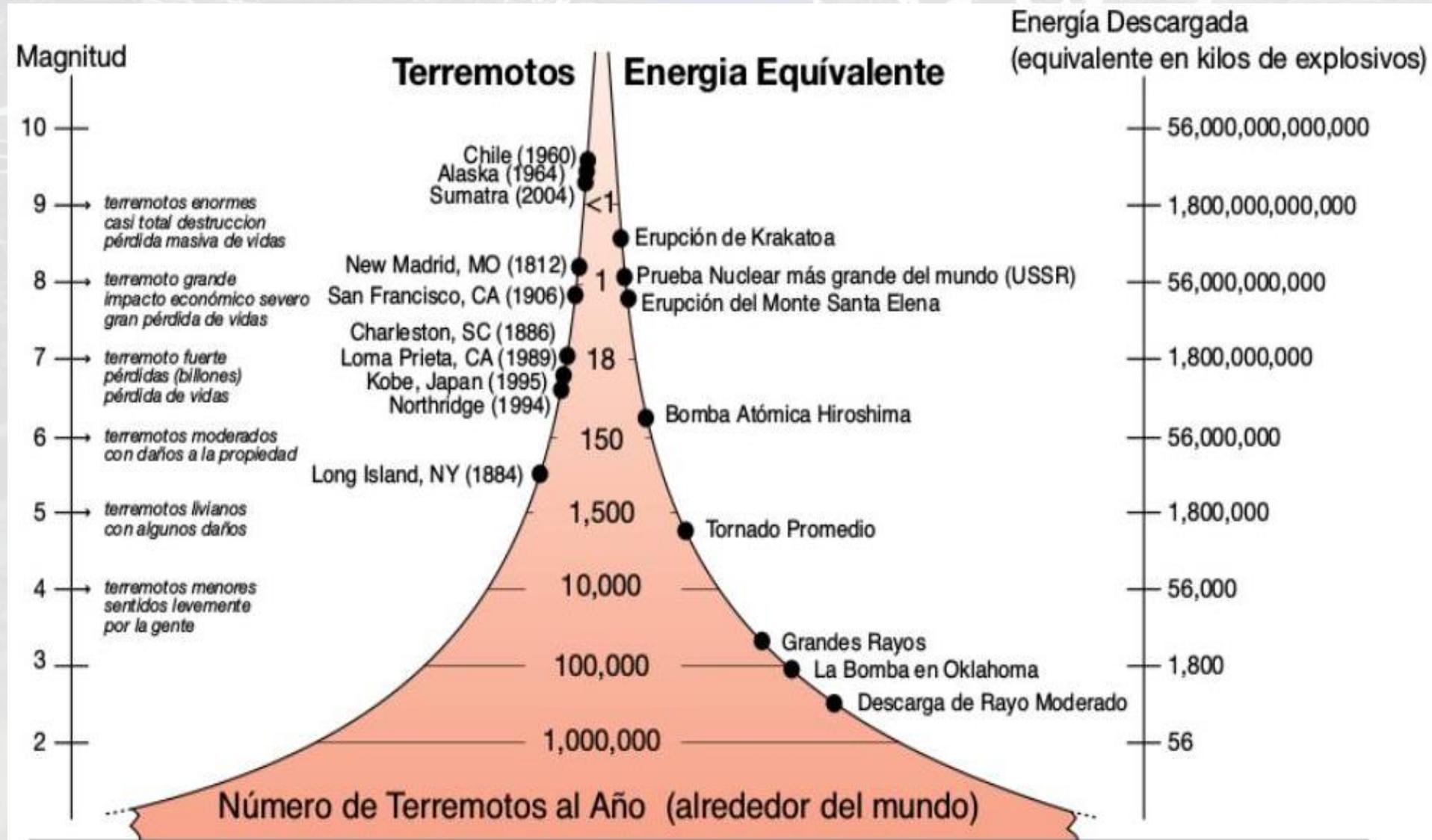
Similar a Chile 27F
Subducción
Tsunami

Tsunami – Tiempo de Llegada

Terremoto
Japón 2011



Magnitud / Energía Liberada / Frecuencia



Magnitud de Richter / Causa

- Medida instrumental relacionada con la cantidad de energía liberada.
- Un sismo posee solamente una medida de magnitud, una de las escalas mas usadas es la de Richter.

Escalas Sismológicas - Mercalli

Intensidad de Mercalli - Efecto

- Medida subjetiva de los efectos producidos por un sismo.
- Sus valores se denotan con números romanos en 12 niveles de severidad.
- NCh3.Of61 Escala de Intensidad de los Fenómenos Sísmicos.

Escalas Sismológicas - Mercalli

GRADO	DESCRIPCIÓN
I. Muy débil	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables.
II. Débil	Perceptible sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar.
III. Leve	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo reconocen como terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño.
IV. Moderado	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande.
V. Poco Fuerte	La mayoría de los objetos se caen, caminar es dificultoso, las ventanas suelen hacer ruido.
VI. Fuerte	Lo perciben todas las personas, muchas personas asustadas suelen correr al exterior, paso insostenible. Ventanas, platos y cristalería dañadas. Los objetos se caen de sus lugares, muebles movidos o caídos. Revoque dañado. Daños leves a estructuras.
VII. Muy fuerte	Pararse es dificultoso. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento.
VIII. Destructivo	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles colapsos. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar.
IX. Ruinoso	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con colapsos parciales. Edificios desplazados fuera de las bases.
X. Desastroso	Algunas estructuras de madera bien construida destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Rieles doblados.
XI. Muy desastroso	Pocas, si las hubiera, estructuras de mampostería permanecen en pie. Puentes destruidos. Rieles curvados en gran medida.
XII. Catastrófico	Destrucción total con pocos sobrevivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionadas.

Magnitud versus Intensidad

Magnitud Richter	Intensidad Mercalli
1.0 – 3.0	I
3.0 – 3.9	II – III
4.0 – 4.9	IV – V
5.0 – 5.9	VI – VII
6.0 – 6.9	VIII – IX
7.0 - 8.0	X
8.0 +	XI - XII

Esta tabla entrega intensidades de Mercalli típicamente observados cerca de epicentros de sismos

Eventos Sísmicos en el Mundo

Magnitud Richter	Número de sismos
8 o más	1 al año
7 a 7.9	18 al año
6 a 6.9	120 al año
5 a 5.9	800 al año
4 a 4.9	6200 al año
3 a 3.9	49000 al año
3 y menores	9000 al día

Eventos Sísmicos en Chile

En los últimos 450 años:

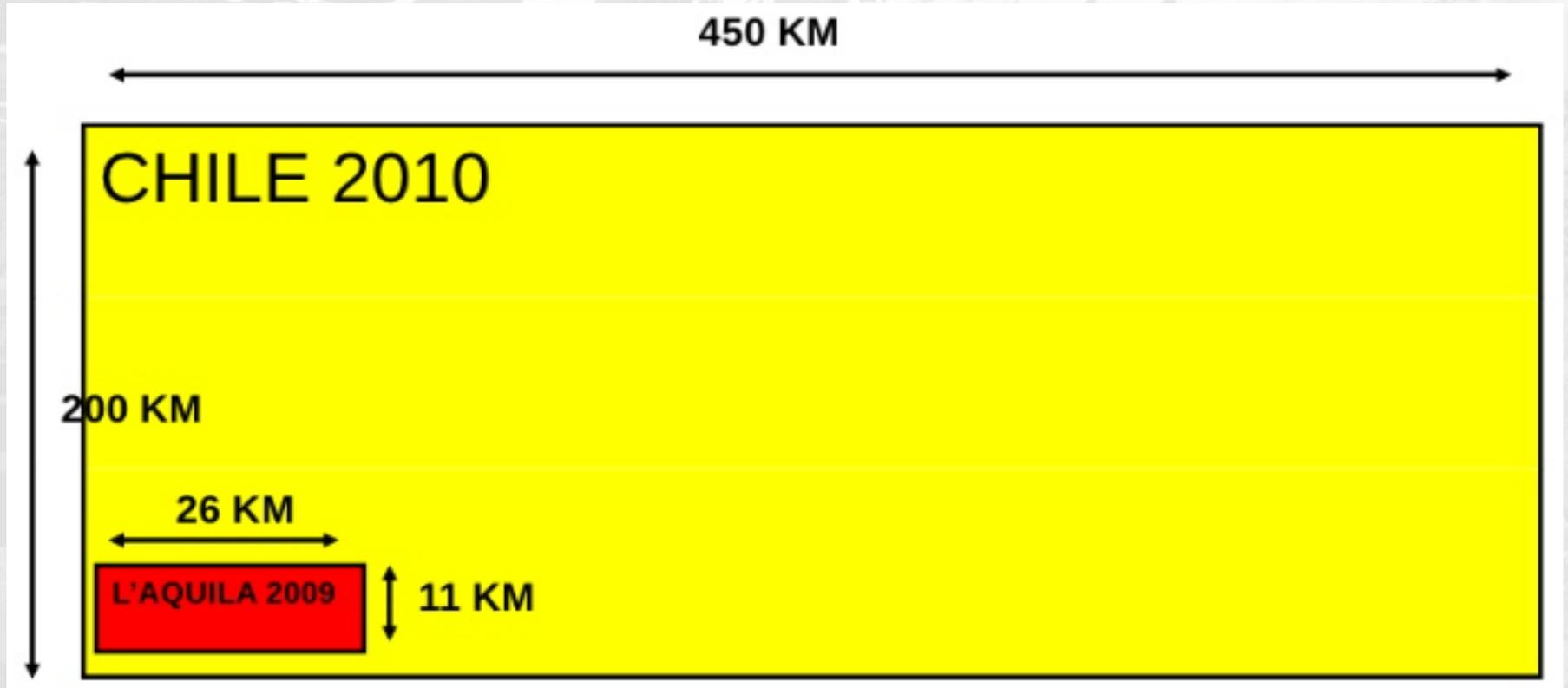
- 38 terremotos $M > 7.5$, 17 seguidos de Tsunamis

Siglo XX: 1 terremoto $M > 7.5$ cada 6.5 años

Importante terremotos con Tsunami:

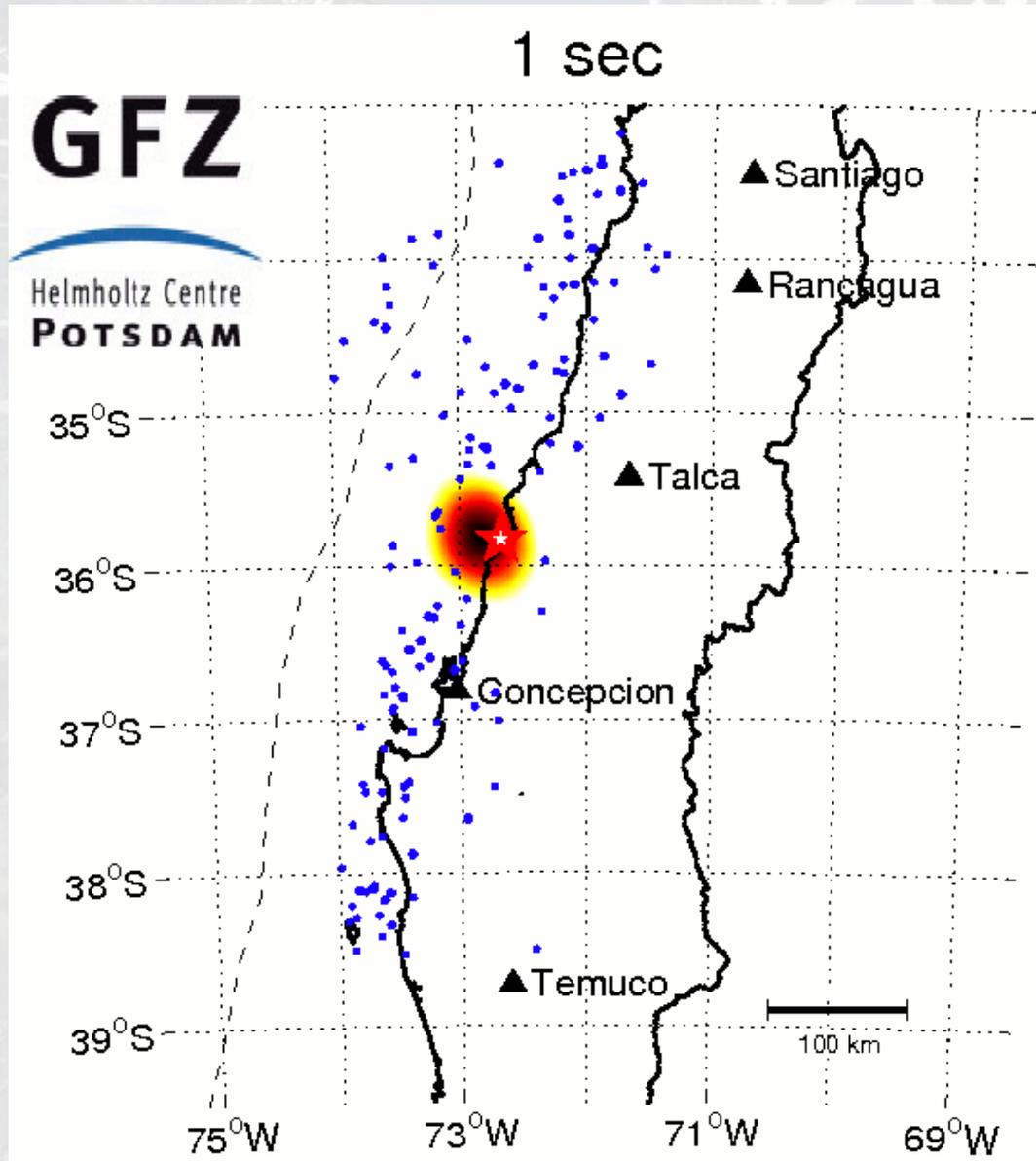
Fecha	Ubicación	M_{RICHTER}	Largo Ruptura (km)	Duración (seg)
Mayo, 22 de 1960	Valdivia	9.5	1000	300
Febrero, 27 de 2010	El Maule	8.8	400	120
Abril, 1 de 2014	Iquique	8.2	200 (Esp.=600)	210

Comparación con terremoto L'AQUILA

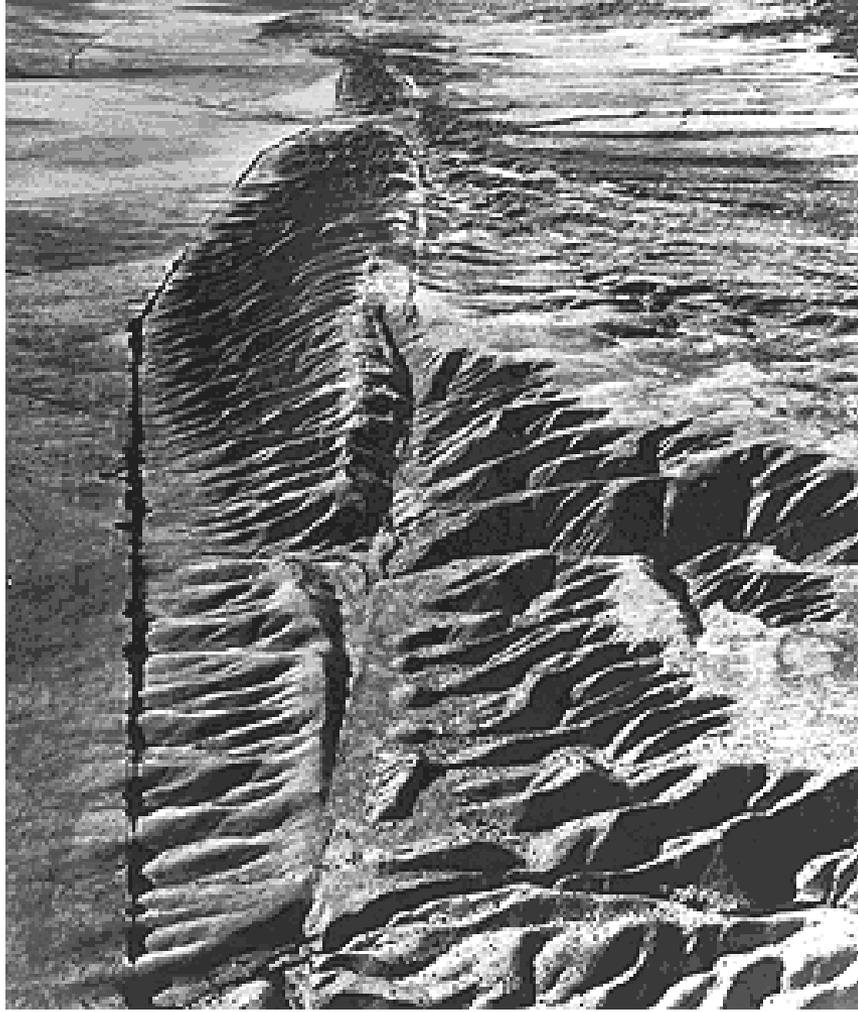


Abril, 6 de 2009. M=6.3

Terremoto del 27 de Febrero de 2010



Falla de San Andrés, USA



Daños en Terremotos



**Falla Edificio de Hormigón Armado – Licuación de Suelos
(Niigata, Japón, 1964)**

Daños en Terremotos



**Falla Estructural Autopista
(Kobe, Japón, 1995)**

Daños en Terremotos



Colapso Estanque de Acero (Santiago, Chile, 2010)

Daños en Terremotos



**Colapso Edificio de Hormigón Armado – Falla Geológica
(Cobquecura, Chile, 2010)**

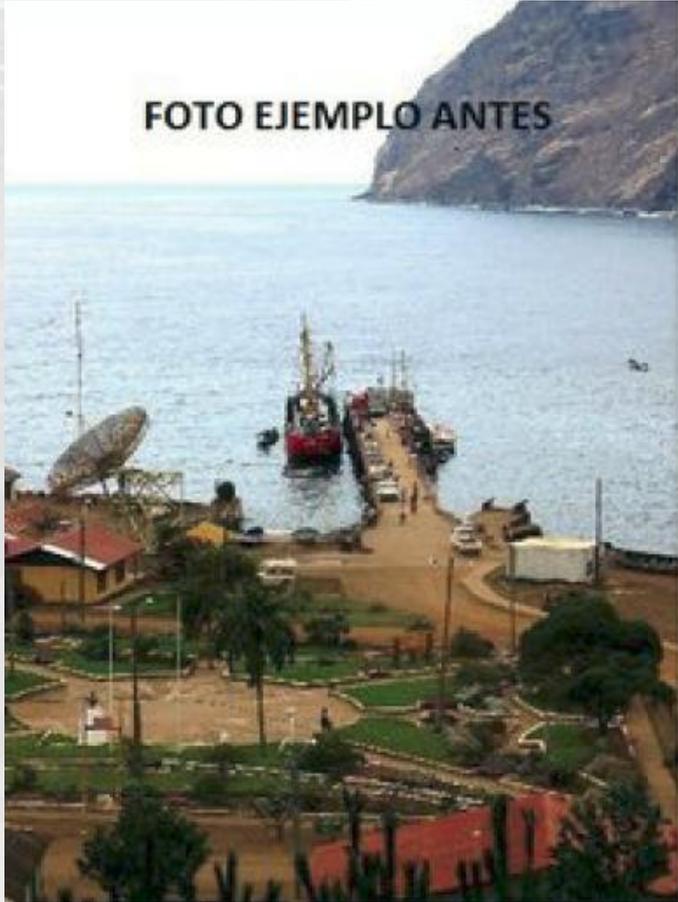
Daños en Terremotos



**Falla del suelo por licuación
(Cobquecura, Chile, 2010)**

Isla Juan Fernández

FOTO EJEMPLO ANTES



Aspectos Normativos

NORMA CHILENA OFICIAL

NCh433.Of96

Diseño sísmico de edificios

Seguridad de vida de las Personas

INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION • INN-CHILE

Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales

Earthquake-resistant design of industrial structures and facilities

Continuidad de la Operación

NCh2369.2003 – Backward Analysis

- **Diseño basado en observaciones del comportamiento de estructuras**
- **Terremoto de Chile en 1960, $M=9.5$ (Planta de Huachipato). J. A. Blume.**
- **NCh2369.Of2003 bien calibrada en terremotos posteriores a su preparación**

NCh2369.2003 – Backward Analysis

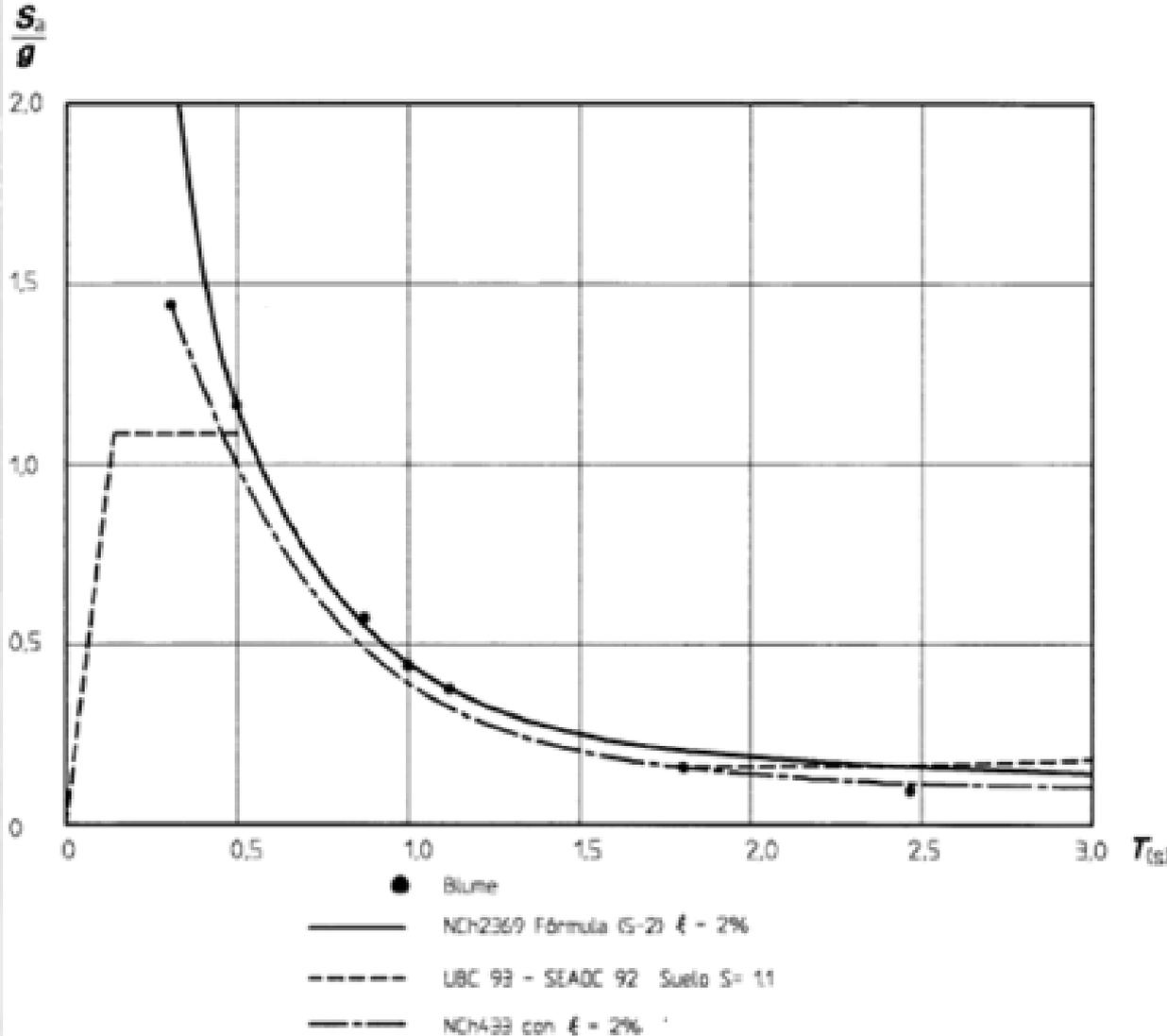


Figura C.1 - Espectros de respuesta para Huachipato
(Zona 3 $A_0 = 0,4$ g Suelo II $I = 1,0$)

J.A Blume:
Backward Analysis

Zona 3,
suelo tipo II

Coincidencia
satisfactoria

No es necesario
modificar espectros

Continuidad en la operación de la industria:

- **Mantener procesos y servicios esenciales**
- **Evitar o reducir paralización de la operación de la industria.**
- **Facilitar la inspección y reparación de elementos dañados.**

Comportamiento Sísmico en Interior de Cavernas



**Reducciones de aceleraciones del orden de 30%
(superficie) a los 60m de profundidad.**

Motivación

Proyecto

Andina Fase II

Nuevo Nivel Mina

**Mina Chuquicamata
Subterránea**

Túneles

50km

2 x 9km

1.020km al año 2060

**“1.200 km de túneles en
los próximos 5 años
(Codelco)”**



Clasificación de Obras Subterráneas

- Superficiales: $H < 3D$ (Hoek, Carranza, Corkum, 2002)
- Profundas: $H > 100\text{m}$ (Sharam y Judd, 1991)

H: profundidad

D: diámetro caverna



Instalaciones en Cavernas

Estructuras metálicas

Áreas de chancado: primario-secundario

Correas transportadoras

Molinos

Plantas de hormigón

Salas eléctricas

Sistemas de soportes de cañerías

**Barrios cívicos: casinos, comedores,
habitaciones**

Diseño actual en Cavernas

- **En Chile, no existe una norma que aborde el comportamiento de infraestructuras subterráneas.**
- **Diseños se realizan con NCh2369.Of2003.**
- **Uso de registros y espectros en superficie.**
- **Consideran efectos dinámicos de superficie y de sitio.**

Normativa en el pasado

Código de Hammurabi, consta de 282 artículos, fue creado en el año 1760 A.C. en la antigua Mesopotamia

229. Si un arquitecto hizo una casa para otro y no la hizo sólida y si la casa que hizo se derrumbo y ha hecho morir al propietario de la casa, el arquitecto será muerto.

230. Si ella hizo morir el hijo del propietario de la casa, se matara al hijo del arquitecto.

232. Si le ha hecho perder los bienes, le pagara todo lo que se ha perdido y porque no ha hecho sólida la casa que construyo, que se ha derrumbado, reconstruirá a su propia costa la casa.

233. Si un arquitecto hizo una casa para otro y no hizo bien las bases y si un nuevo muro se cayo, este arquitecto reparara el muro a su costa.

INFORMACIÓN DE CONTACTO

Patricio Pineda Nalli
Consultor en Ingeniería Sísmica
M.Sc. Universidad de Chile
(+569) 7377 7963

patricio.pineda@ppningenieria.com

ppinedan@gmail.com

www.ppning.com