

# **“ANÁLISIS DE LOS TSUNAMIS DE CAMPO LEJANO EN CHILE”**

**Jorge Gómez Mena**

**PROFESOR GUÍA**

**Patricio Monárdez Santander**

## **CONTENIDO**

**INTRODUCCIÓN**

**MARCO TEÓRICO**

**MATERIALES Y MÉTODOS**

**RESULTADOS**

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

# INTRODUCCIÓN

**Japón  
61 Muertos**

**Hawai  
138 Muertos**

**Chile  
0 Muertos**

**El Terremoto de Alaska Repercutió Con Marejadas en Litoral Chileno**

## **HIPÓTESIS**

- **La configuración batimétrica de la Fosa Chile – Perú actuaría como una fuente disipadora de energía, la cual reflejaría parte de la onda de tsunami.**
- **Pérdidas de energía de la onda ya sea por fricción de fondo o viscosidad.**
- **El efecto de radiación de la onda es importante, debido a que produce una disminución en la altura de ola considerable en nuestras costas ( $I = P/A$ ).**
- **Bajo el concepto anterior, el efecto sobre las costas es dependiente de la cantidad de energía liberada, de acuerdo a la zona de fractura y la deformación inicial del fondo marino.**

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- **Evaluar los efectos de tsunamis de campo lejano sobre las costas de Chile.**

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- **Realizar una caracterización mediante información bibliográfica de los efectos producidos en Chile por tsunamis de campo lejano.**
- **Evaluar la transformación y disipación de la energía del tsunami por medio de cálculos empíricos y/o con modelos numéricos, a saber: pérdidas de energía, radiación de la onda, reflexión en la Fosa y el efecto direccional del cañón.**

# MARCO TEÓRICO



## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES



津波

El término tsunami resulta de la combinación de dos palabras de origen Japonés: “tsu” que significa puerto y “nami” correspondiente a ola, por lo que una traducción literal al español sería “ola de puerto”.

## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES

Dado que longitud de onda de un tsunami excede significativamente la profundidad promedio del Océano Pacífico ( $d \approx 4$  [km]) significa que desde el punto de vista hidrodinámico pertenece a las ondas largas.

$$c = \sqrt{gd}$$

A vertical arrow points down to the 'd' in the equation, and a horizontal arrow points right from the equation.





## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES

Conforme a la escala espacial en donde la onda de tsunami se manifiesta, se puede caracterizar en tres tipos:

***Tsunami local:*** Corresponde a aquel proveniente de una fuente de no más de 500 [Km].

***Tsunami Regional:*** Tsunami capaz de generar destrucción hasta 1000 [Km]. desde la fuente.

***Teletsunami:*** También conocido como tsunami de campo lejano, este es originado sobre los 1000 [Km] desde la fuente generadora.

## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – MECANISMOS DE GENERACIÓN

#### Terremotos Submarinos

Deslizamientos de Tierra

Erupciones Volcánicas

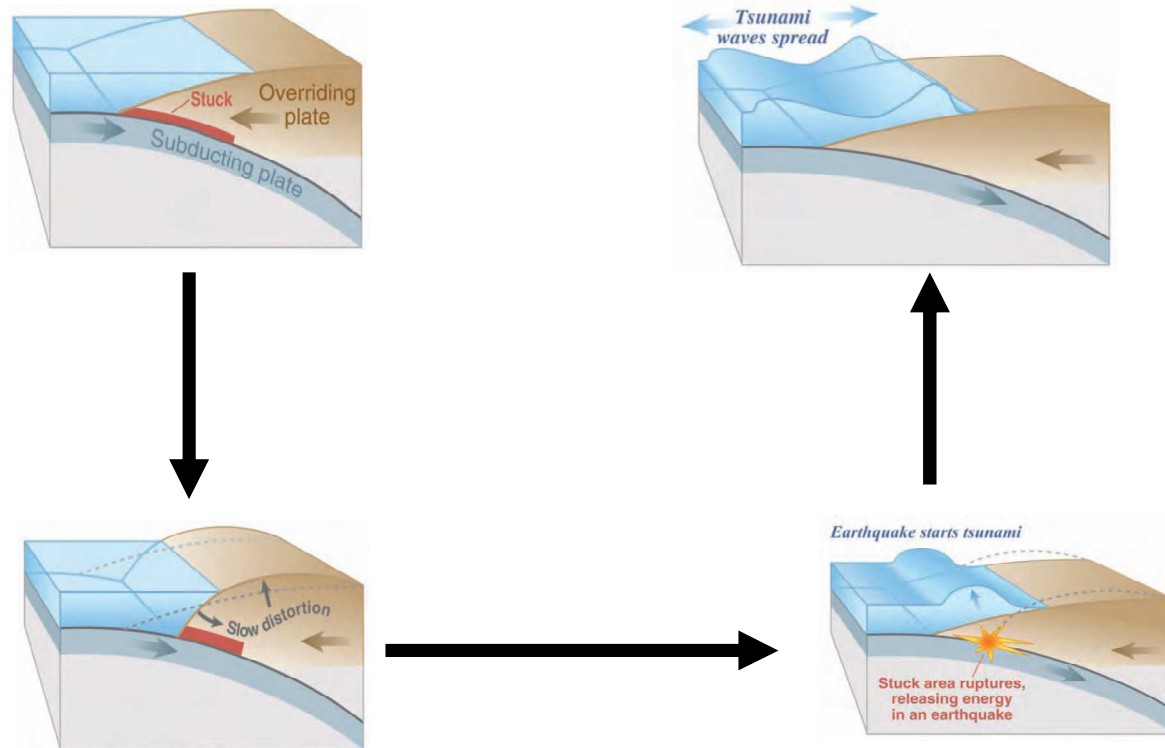
Tsunamis de Origen Atmosféricos

En el Océano Pacífico un 79% de los tsunamis son productos de terremotos, 6% de deslizamientos de tierra, 5% por erupciones volcánicas, 3% por causas meteorológicas y el **7% restante es de origen desconocido...¿METEORITOS?**



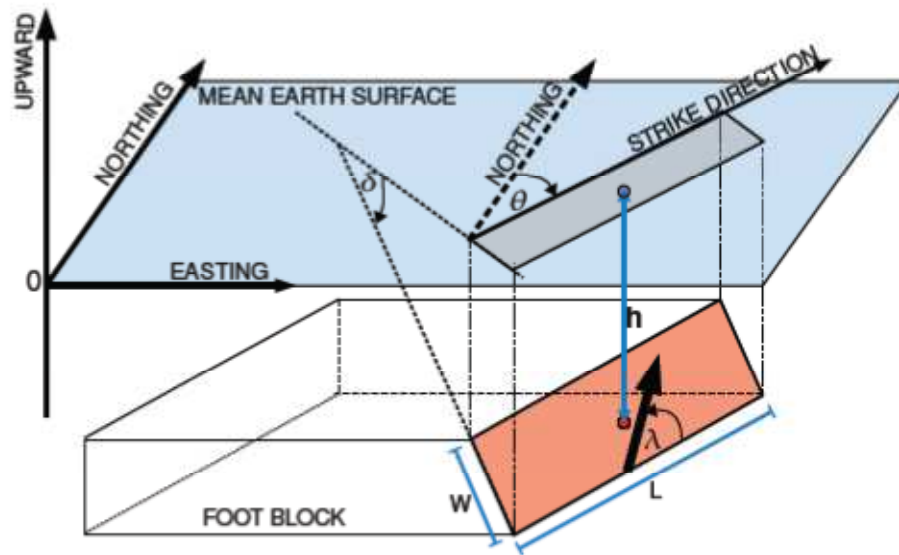
## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – TSUNAMIS POR TERREMOTOS



## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – MODELO DE OKADA (1985)



Parámetro en Inglés	Parámetro en Español	Sigla	Unidad
Epicenter	Epicentro	(Lat, Long)	grados
Focal Depth	Profundidad Focal	(h)	metros
Length of fault plane	Longitud de la falla	(L)	metros
Width of fault plane	Ancho de la falla	(W)	metros
Strike angle	Rumbo	( $\theta$ )	grados
Dip angle	Manteo	( $\delta$ )	grados
Slip angle	Ángulo de desplazamiento	( $\lambda$ )	grados
Dislocation	Dislocación	(D)	metros

## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – PROPAGACIÓN DEL TSUNAMI

#### Transformación de la Onda de Tsunami

- Refracción

- Difracción

- Shoaling

- Runup

- Radiación de la Onda

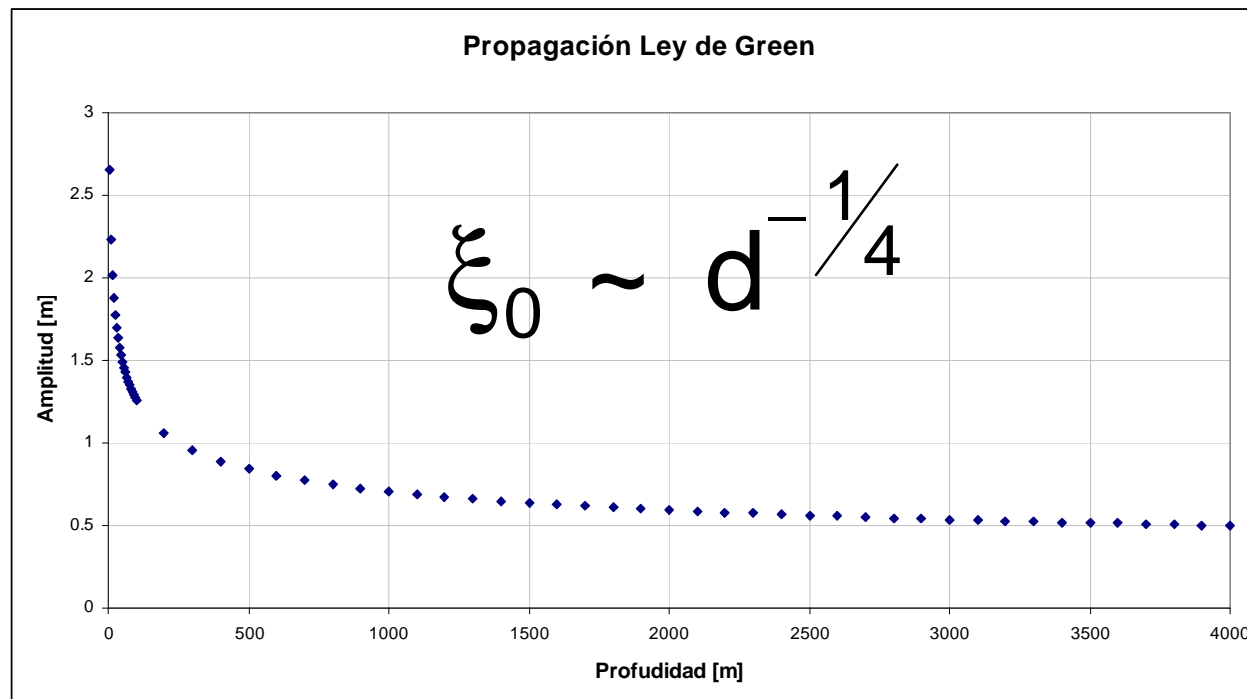
- Reflexión



## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – PROPAGACIÓN DEL TSUNAMI

#### Ley de Green o Regla de 1/4

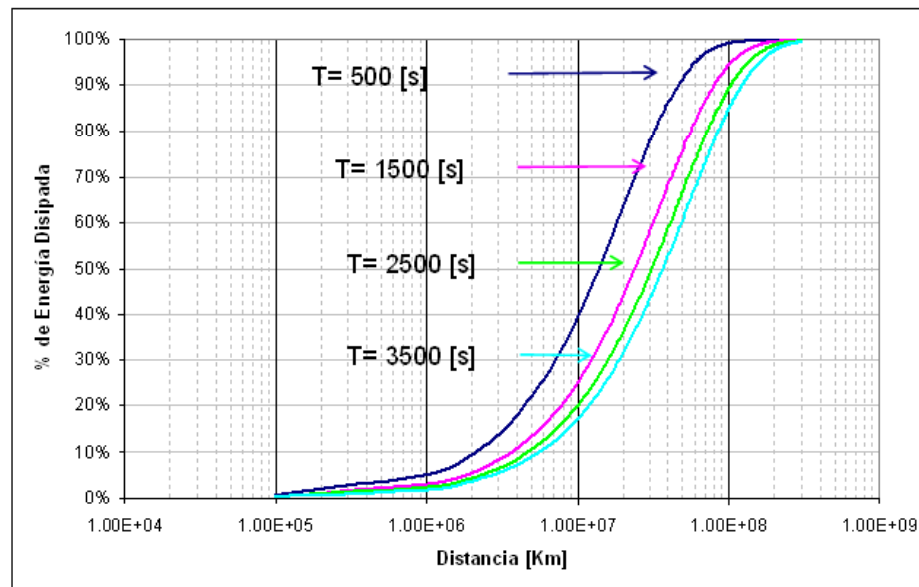




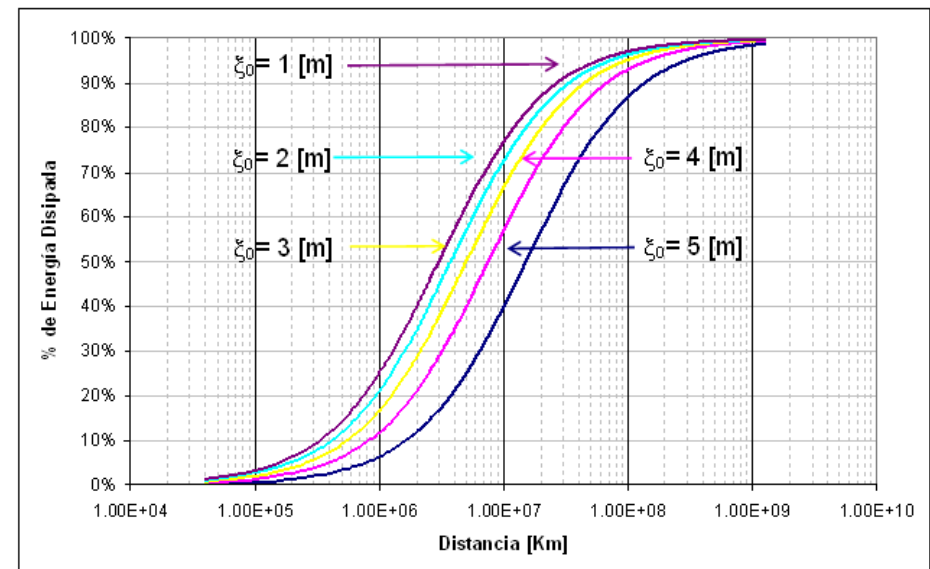
## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – PROPAGACIÓN DEL TSUNAMI

#### Pérdidas de Energía Viscosidad

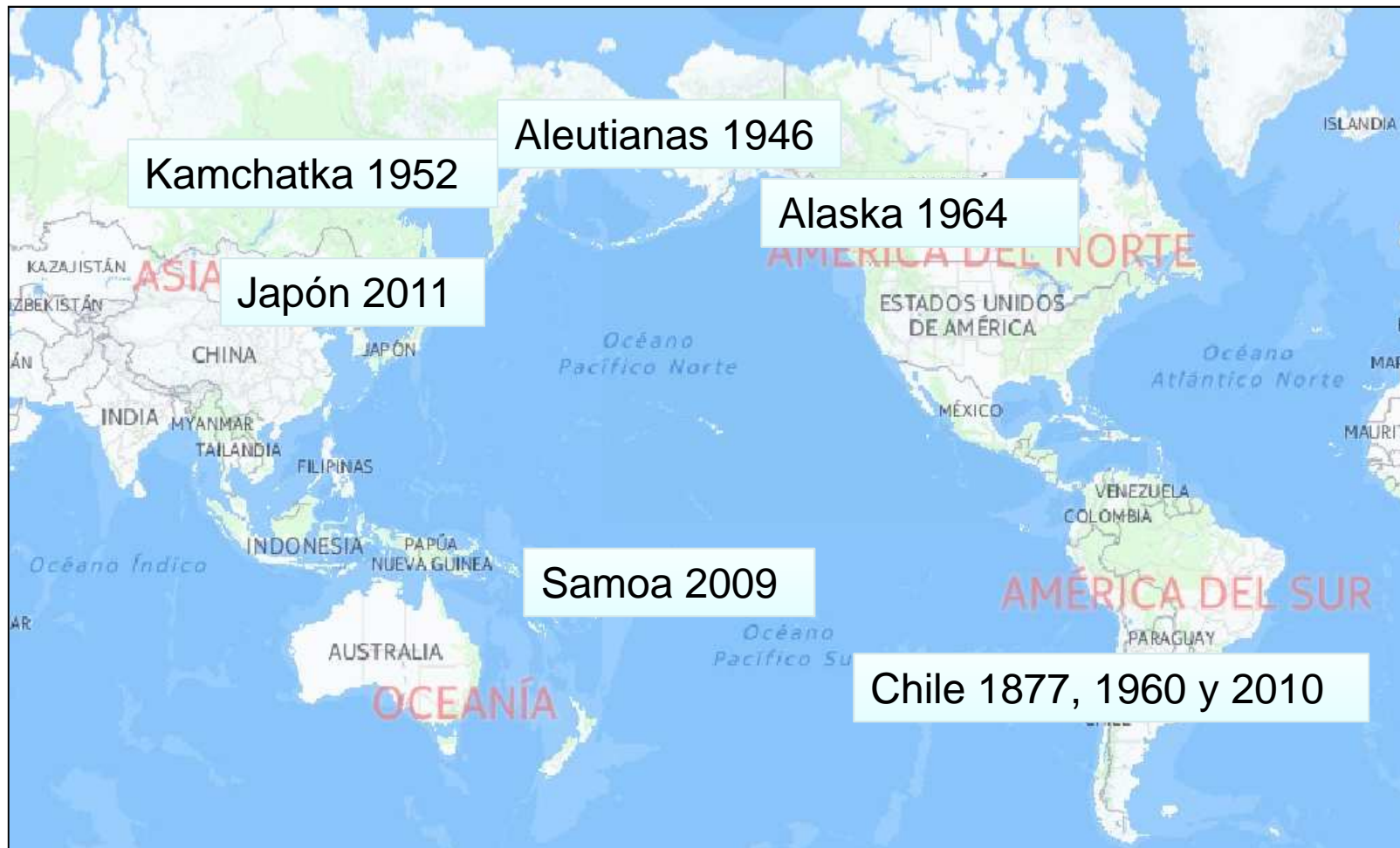


#### Pérdidas de Energía Fricción de Fondo



## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – SISMOS TSUNAMIGÉNICOS A ESTUDIAR



## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – SISMOS TSUNAMIGÉNICOS

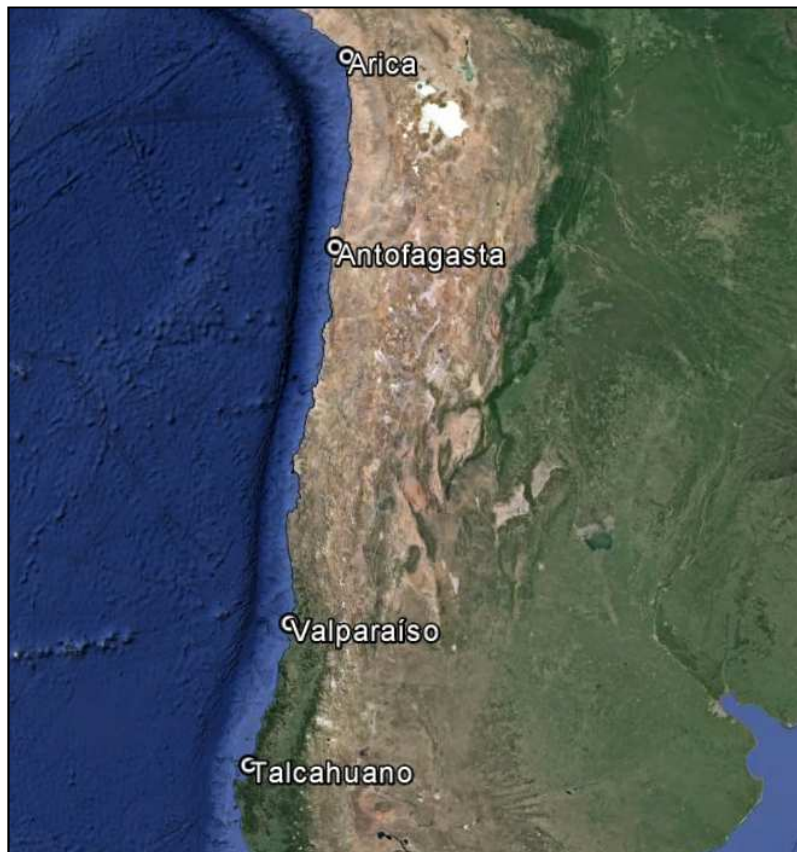
#### Parámetros de la falla

Terremoto	Año	Mw	Parámetros de la falla			
			Profundidad focal [km]	Longitud falla [km]	Ancho falla [km]	Dislocación [m]
Chile	1877	<b>8.3</b>	10	490	150	12
Aleutianas	1946	<b>8.2</b>	50	160	40-60	38-22
Kamchatka	1952	<b>9.0</b>	53	650	200	5
Chile	1960	<b>9.5</b>	30	1000	200	30
Alaska	1964	<b>9.2</b>	10	620	210	19
Samoa	2009	<b>8.1</b>	12	158	44	3.5
Chile	2010	<b>8.8</b>	35	450	100	15
Japón	2011	<b>9.0</b>	20	450	150	18

## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – SISMOS TSUNAMIGÉNICOS A ESTUDIAR

#### Consecuencias en Chile



Tsunami	H en Arica
Kamchatka 1952	1.2
Alaska 1964	2.1
Japón 2011	2.5

Tsunami	H en Antofagasta
Aleutianas 1946	0.9
Alaska 1964	0.5

Tsunami	H en Valparaíso
Aleutianas 1946	0.8
Kamchatka 1952	0.9
Alaska 1964	2.2

Tsunami	H en Talcahuano
Kamchatka 1952	1.8
Alaska 1964	2.5
Japón 2011	2.1

**Fuente: Lida (1967)  
ASCE**



# MARCO TEÓRICO

## CONCEPTOS GENERALES – SISMOS TSUNAMIGÉNICOS A ESTUDIAR

### Información de Prensa

**EL MERCURIO**  
Santiago de Chile, miércoles 3 de abril de 1946

**UNA NOTABLE REPERCUSION TUVO EN LA COSTA CHILENA MAREMOTO DEL PACIFICO NORTE**

**Violentos marejados se apreciaron en todo el litoral, produciéndose ocenas de pánico entre los habitantes de algunas zonas. No hubo que lamentar desgracias personales ni las pérdidas han sido de ocena considerable. —Quisieron leerse sobre el fenómeno marítimo.**

En la noche de hoy el mar se agitó en forma notable, produciendo violentos marejados en todo el litoral chileno. Los habitantes de algunas zonas se alarmaron al ver que las olas se elevaban considerablemente sobre el nivel normal. En algunas zonas se produjeron ocenas de pánico, pero no hubo que lamentar desgracias personales ni pérdidas de ocena considerable. Los habitantes quisieron leerse sobre el fenómeno marítimo.

**DESPLAZAMIENTO VERTICAL DEL FONDO OCEÁNICO SERIA CAUSA DEL MAREMOTO**

Los científicos de la Universidad de Chile, en un estudio que se publica en la revista "Revista Chilena de Astronomía y Física", sostienen que el desplazamiento vertical del fondo oceánico sería la causa del maremoto que se produjo en el Pacífico Norte.

**EL MERCURIO**  
Santiago de Chile, miércoles 3 de abril de 1946

**EN DIHIGATO EL MAR INVADIO LAS CALLES Y DESTROYO DOS PUERTOS**

En el dihigato de la ciudad de Valparaíso, el mar invadió las calles y destruyó dos puertos. Los habitantes se alarmaron al ver que las olas se elevaban considerablemente sobre el nivel normal.

**REPERCUSION EN DIHIGATO**

En el dihigato de la ciudad de Valparaíso, el mar invadió las calles y destruyó dos puertos. Los habitantes se alarmaron al ver que las olas se elevaban considerablemente sobre el nivel normal.

**EL MERCURIO** —Santiago de Chile, jueves 4 de noviembre de 1945

**Marejada de proporciones azoio litoral norte del país causando danos en los costa y pánico en los habitantes**

En Quintero, el agua cubrió el muelle y luego al retirarse, dejó en seco un barco. La línea férrea de Coquimbo recibió una ovulación de agua marina que suspendió tráfico de trenes. —Hacienda "Belovivo" en Higuco, fue cubierto por las aguas en una extensión de 1.500 metros, destruyendo sembríos. —Informaciones detalladas de nuestros corresponsales.

**FENOMENO PARCE.TENER ORIGEN EN TERREMOTO DE KAMCHATKA**

Informes emanados de asociadistas en ciencia sismológica e institutos de oceanografía, revelan la maldad dan cuenta que el gran movimiento sismológico que se produjo en el Pacífico Norte, el 11 de marzo de 1945, tuvo repercusión en el litoral chileno.

**EL MERCURIO**  
Santiago de Chile, domingo 22 de marzo de 1941

**El Terremoto de Alaska Repercutió Con Marejadas en Litoral Chileno**

El terremoto de Alaska, ocurrido el 28 de marzo de 1941, repercutió en el litoral chileno, produciendo marejadas de ocena considerable. Los habitantes se alarmaron al ver que las olas se elevaban considerablemente sobre el nivel normal.

**Efectos producidos en algunas zonas. Medidas preventivas adoptadas por las autoridades marítimas.**

Los científicos de la Universidad de Chile, en un estudio que se publica en la revista "Revista Chilena de Astronomía y Física", sostienen que el desplazamiento vertical del fondo oceánico sería la causa del maremoto que se produjo en el Pacífico Norte.

**EL MERCURIO**  
Santiago de Chile, domingo 22 de marzo de 1941

**Se Reúne Comisión Vano Intento de Ladrones De Derechos Humanos**

Se reunió una comisión para tratar el intento de ladrones de derechos humanos. Los científicos de la Universidad de Chile, en un estudio que se publica en la revista "Revista Chilena de Astronomía y Física", sostienen que el desplazamiento vertical del fondo oceánico sería la causa del maremoto que se produjo en el Pacífico Norte.

**Del LAN Llegará a Mediodía de Mañana**

El avión de la línea aérea nacional llegará a mediodía de mañana. Los científicos de la Universidad de Chile, en un estudio que se publica en la revista "Revista Chilena de Astronomía y Física", sostienen que el desplazamiento vertical del fondo oceánico sería la causa del maremoto que se produjo en el Pacífico Norte.

**EL MERCURIO**  
Santiago de Chile, domingo 22 de marzo de 1941

**MAREJADA EN EL LITORAL**

Una marejada de ocena considerable se produjo en el litoral chileno. Los habitantes se alarmaron al ver que las olas se elevaban considerablemente sobre el nivel normal.

**Se Reúne Comisión Vano Intento de Ladrones De Derechos Humanos**

Se reunió una comisión para tratar el intento de ladrones de derechos humanos. Los científicos de la Universidad de Chile, en un estudio que se publica en la revista "Revista Chilena de Astronomía y Física", sostienen que el desplazamiento vertical del fondo oceánico sería la causa del maremoto que se produjo en el Pacífico Norte.

**Del LAN Llegará a Mediodía de Mañana**

El avión de la línea aérea nacional llegará a mediodía de mañana. Los científicos de la Universidad de Chile, en un estudio que se publica en la revista "Revista Chilena de Astronomía y Física", sostienen que el desplazamiento vertical del fondo oceánico sería la causa del maremoto que se produjo en el Pacífico Norte.

## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – SISMOS TSUNAMIGÉNICOS A ESTUDIAR

#### Información de Prensa

		Evento		
		Aleutianas 1946	Kamchatka 1952	Alaska 1964
Grado	IV	Arica, Tocopilla, Antofagasta, Los Vilos, Valparaíso, Concón, Quintero, Quintay, Chañaral, Concepción, Juan Fernández	Arica, Antofagasta, Valparaíso, Quintero, Concepción, Talcahuano	
	V	Iquique, Coquimbo, Caldera, Talcahuano, Isla de Pascua	Iquique, Coquimbo, Huasco	Coquimbo, Quintero, Constitución
	VI	Dichato	Dichato	

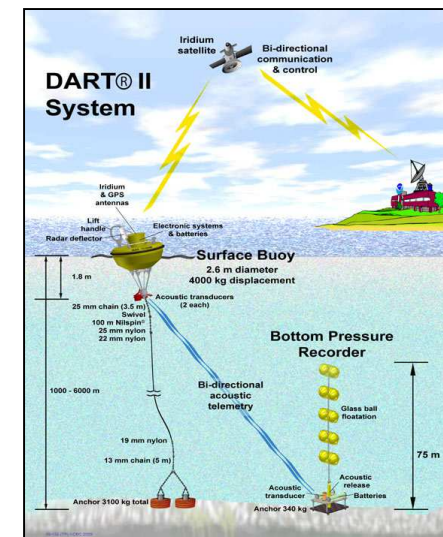
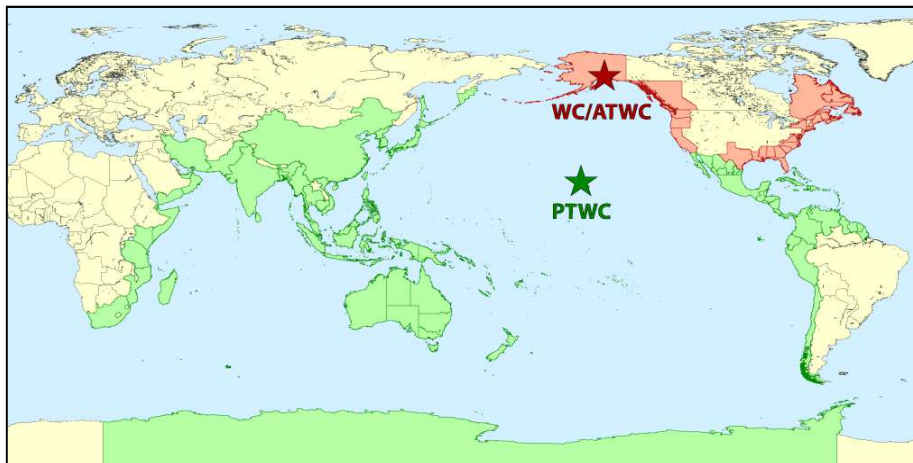
#### Escala Papadopoulos – Imamura

- IV** : Generalmente observado  
**V** : Fuerte  
**VI** : Ligeramente dañado

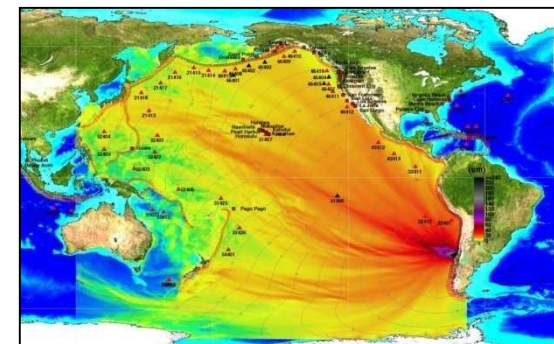


## MARCO TEÓRICO

### CONCEPTOS GENERALES – SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA



Profundidad	Localización	Magnitud (Mw)	Descripción del Tsunami Potencial	Boletín
< 100 km	Bajo o muy cerca del mar	≥ 7.9	Potencial para un potencial teletsunami	Alerta tsunami/alarma
		7.6 a 7.8	Potencial para un destructivo tsunami regional	Alerta tsunami/alarma
		7.1 a 7.5	Potencial para un destructivo tsunami local	Alerta tsunami/alarma
		6.5 a 7.0 o en tierra	Muy pequeño potencial para un destructivo tsunami local	Boletín de información
	En tierra	≥ 6.5	No genera potencial tsunami	Boletín de información
≥ 100 km		≥ 6.5	No genera potencial tsunami	Boletín de información



# MATERIALES Y MÉTODOS

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

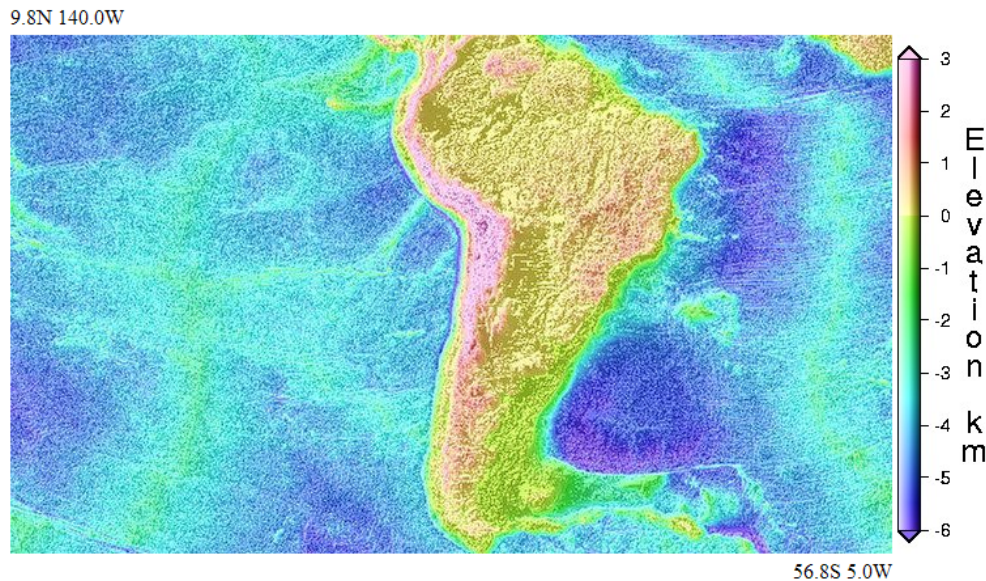
### **MODELO NUMÉRICO A UTILIZAR - COULWAVE**

Modeling Wave Generation, Evolution, and Interaction  
with Depth-Integrated, Dispersive Wave Equations  
COULWAVE Code Manual  
Cornell University Long and Intermediate Wave  
Modeling Package

Patrick J. Lynett\* & Philip L.-F. Liu†

## MATERIALES Y MÉTODOS

### FUENTES DE INFORMACIÓN - BATIMETRÍA



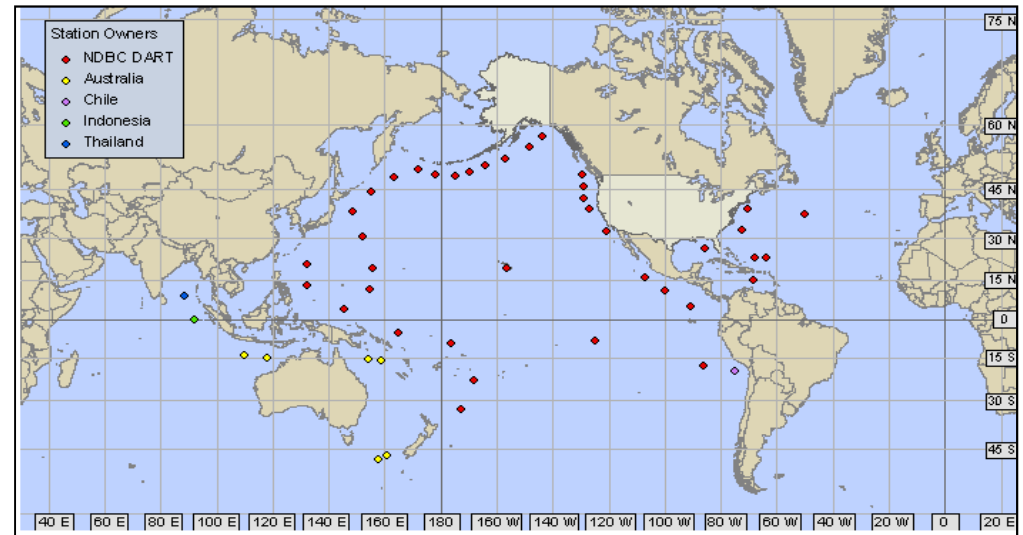
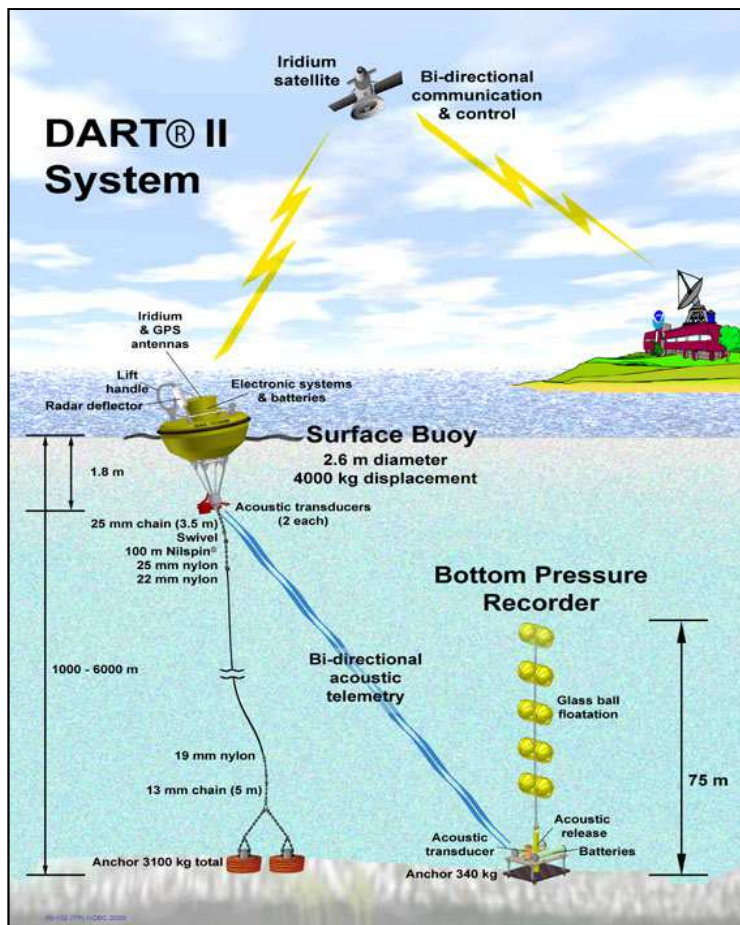
#### Complementada con:

- **Carta N° 1200 Bahía Iquique a Puerto Tocopilla.**
- **Carta N° 1100 Rada de Arica a Bahía de Iquique.**
- **Carta N° 4000 Bahía Coquimbo a Bahía Valparaíso.**
- **Carta N° 4321 Bahía Quintero.**
- **Carta N° 6000 Golfo de Arauco a Bahía Corral.**



## MATERIALES Y MÉTODOS

### FUENTES DE INFORMACIÓN – BOYAS DART



## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

**Primer Supuesto:** Energía inicial del tsunami es igual a la energía potencial en su zona de generación.

$$E_0 = mg\bar{z}$$

$$m = \rho V \quad \longrightarrow \quad V = L_f \cdot W_f \cdot z$$

- $L_f$  : Largo de la falla  
 $W_f$  : Ancho de la falla  
 $g$  : Aceleración de gravedad  
 $z$  : Deformación inicial de la superficie del mar

$$E_0 = \rho \cdot L_f \cdot W_f \cdot g \cdot \frac{z^2}{2}$$



## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

Energía de la onda es igual a la Energía Cinética más la Energía Potencial

$$E_2 = E_c + E_p$$

#### Energía Cinética

$$dE_{c,2} = \rho dx dz \frac{u^2}{2}$$

$$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos(kx - \omega t)$$

$$dE_{c,2} = \rho dx dz \frac{1}{2} \left( \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos(kx - \omega t) \right)^2 \longrightarrow dE_{c,2} = \rho dx dz \frac{H^2}{8} \frac{g}{d} \cos^2(kx - \omega t)$$

## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

#### Integrando la Ecuación en la profundidad

$$dE_{c,2} = \rho dx \cdot g \frac{H^2}{8} \cos^2(kx - \omega t)$$

#### Luego, integrando en la fase

$$E_{c,2} = \rho g \frac{H^2}{8} \int_0^L \cos^2(kx - \omega t) dx$$

$$E_{c,2} = \rho g \frac{H^2}{8} \cdot \frac{1}{k} \left[ \frac{1}{2} \cos(kx - \omega t) \cdot \text{sen}(kx - \omega t) + \frac{1}{2} kx - \frac{1}{2} \omega t \right]_0^L$$

$\pi$

## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

$$E_{c,2} = \rho g \frac{H^2}{8} \cdot \frac{1}{k} \cdot \pi \quad \longrightarrow \quad E_{c,2} = \rho g \frac{H^2}{16} \cdot L$$

Finalmente, la Energía Cinética viene dada por:

$$E_{c,2} = \rho g L \frac{H^2}{16} \cdot P$$

Donde:

- $\rho$  : Densidad agua de mar
- $g$  : Gravedad
- $L$  : Longitud de la onda
- $H$  : Altura de la onda
- $P$  : Largo del frente

## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

#### Energía Potencial

$$dE_{p,2} = \rho \cdot g \cdot \frac{\eta^2}{2} dx$$

$$\eta = \frac{H}{2} \cos(kx - \omega t) \quad \longrightarrow \quad \text{Según TLO}$$

#### Integrando en la fase

$$E_{p,2} = \rho \cdot g \frac{H^2}{8} \int_0^L \cos^2(kx - \omega t) dx \quad \pi$$

$$E_{p,2} = \rho g \frac{H^2}{8} \cdot \frac{1}{k} \left[ \frac{1}{2} \cos(kx - \omega t) \cdot \text{sen}(kx - \omega t) + \frac{1}{2} kx - \frac{1}{2} \omega t \right] \Big|_0^L$$

## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

Finalmente, la Energía Potencial viene dada por:

$$E_{P,2} = \rho g \frac{H^2}{16} \cdot L$$

Puesto que la Energía Total es:

$$E_2 = E_c + E_p$$

$$E_2 = \rho g L \frac{H^2}{8} \cdot P$$

## MATERIALES Y MÉTODOS

### RADIACIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

**Segundo Supuesto:** Las pérdidas de Energía son despreciables

$$\rho \cdot L_f \cdot W_f \cdot g \cdot \frac{z^2}{2} = \rho g L \frac{H^2}{8} \cdot P$$

$$H = 2z \sqrt{\frac{L_f W_f}{L \cdot P}} \quad \text{ECUACIÓN DE RADIACIÓN}$$

**Donde:**

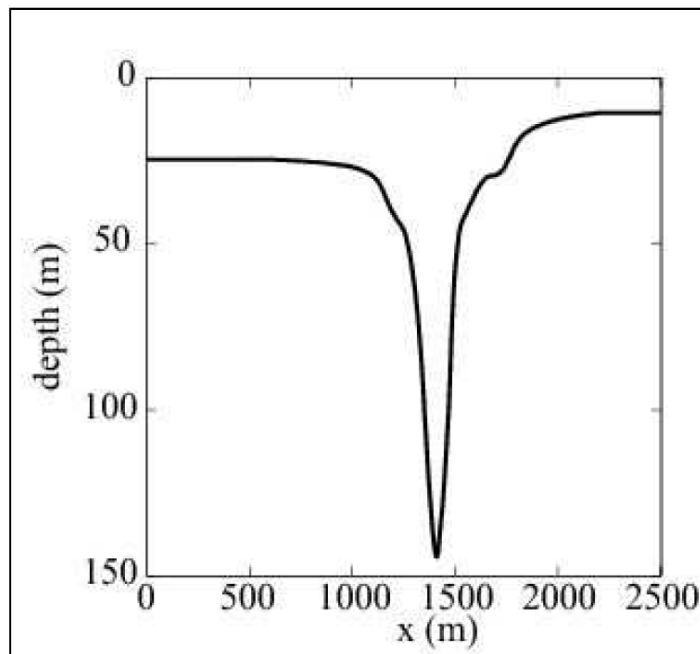
- z** : Deformación inicial de la superficie del mar
- L<sub>f</sub>** : Largo de la falla
- W<sub>f</sub>** : Ancho de la falla
- L** : Longitud de la onda
- P** : Largo del frente de onda



## MATERIALES Y MÉTODOS

### ANÁLISIS DE LA DIRECCIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

#### Perfil Cañón Scripps



Fuente: Magne R. 2008.

#### Ángulo Crítico

$$\theta_b = \arcsin\left(\frac{C_1}{C_{\max}}\right)$$

Donde:

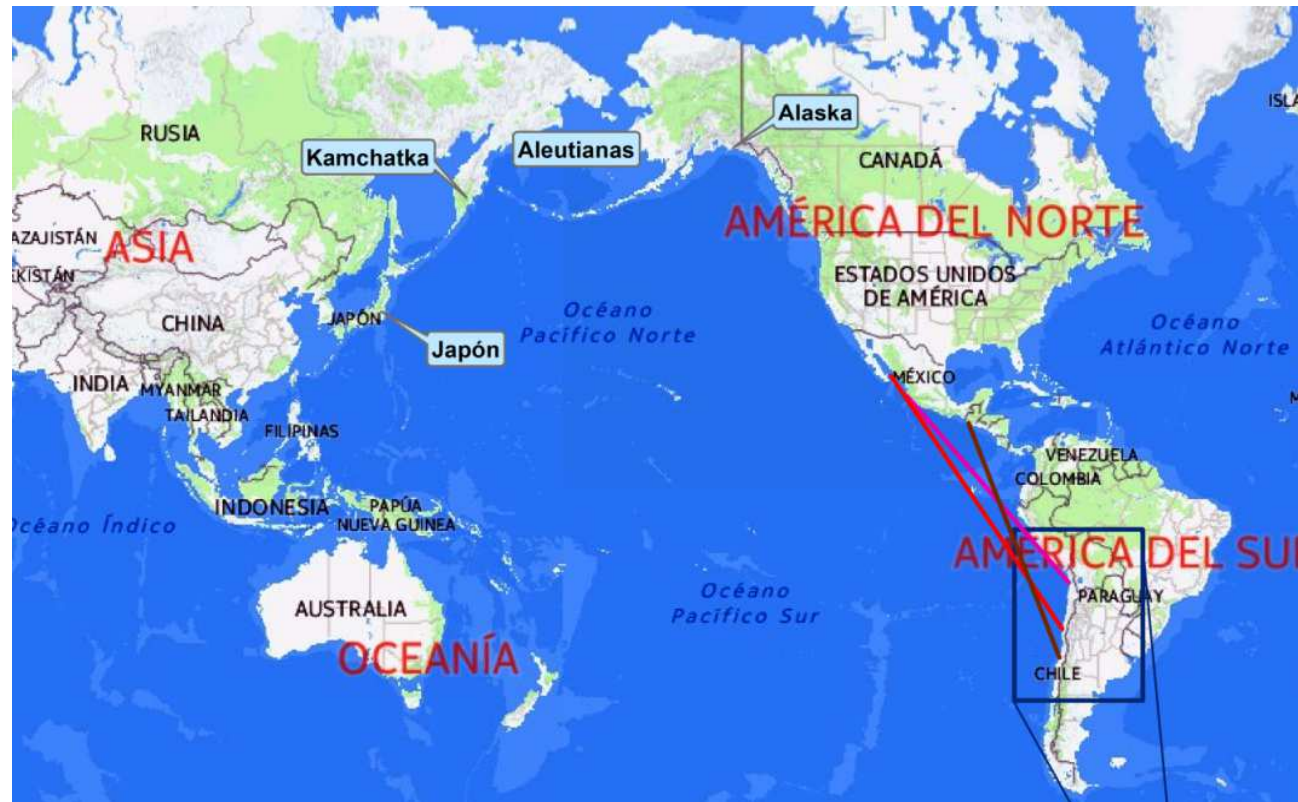
**C<sub>1</sub>** : Velocidad de la onda antes del cañón.

**C<sub>max</sub>** : Velocidad en la zona más profunda del cañón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### ANÁLISIS DE LA DIRECCIÓN DE LA ONDA DE TSUNAMI

	Zona Norte	Zona Centro	Zona Sur
$\theta_b$ (°)	50	56	70

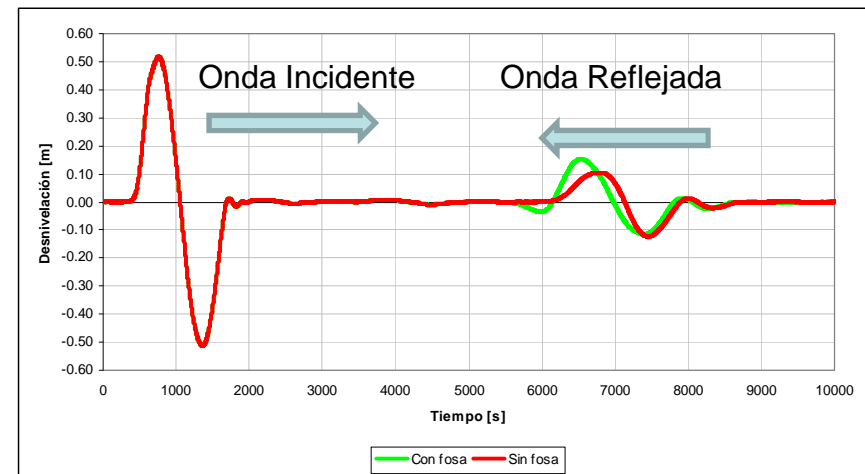
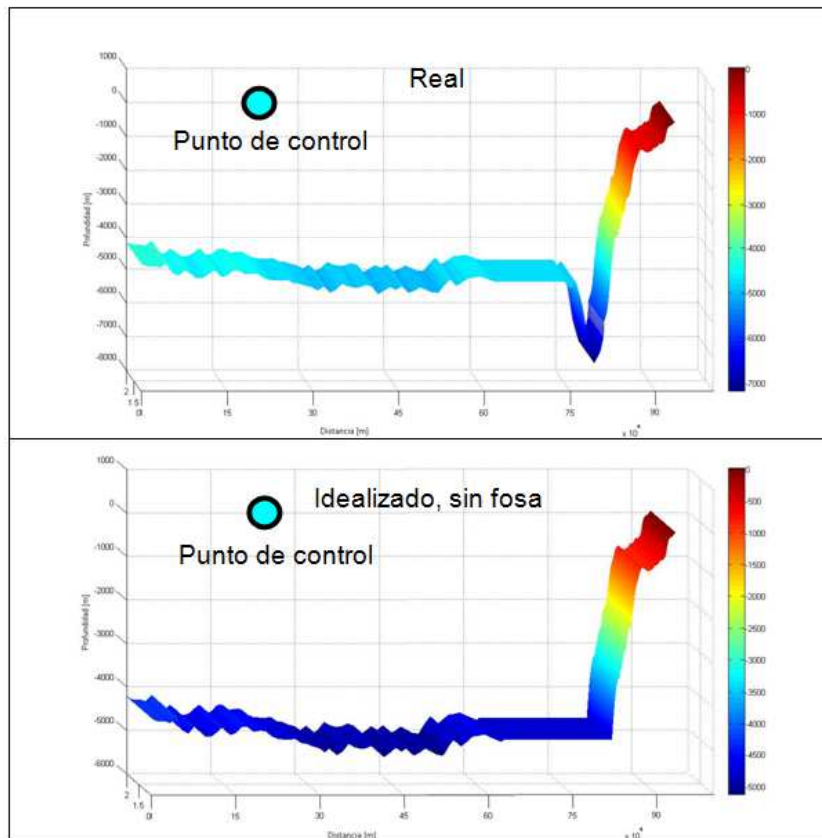


# RESULTADOS

## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE – PERÚ

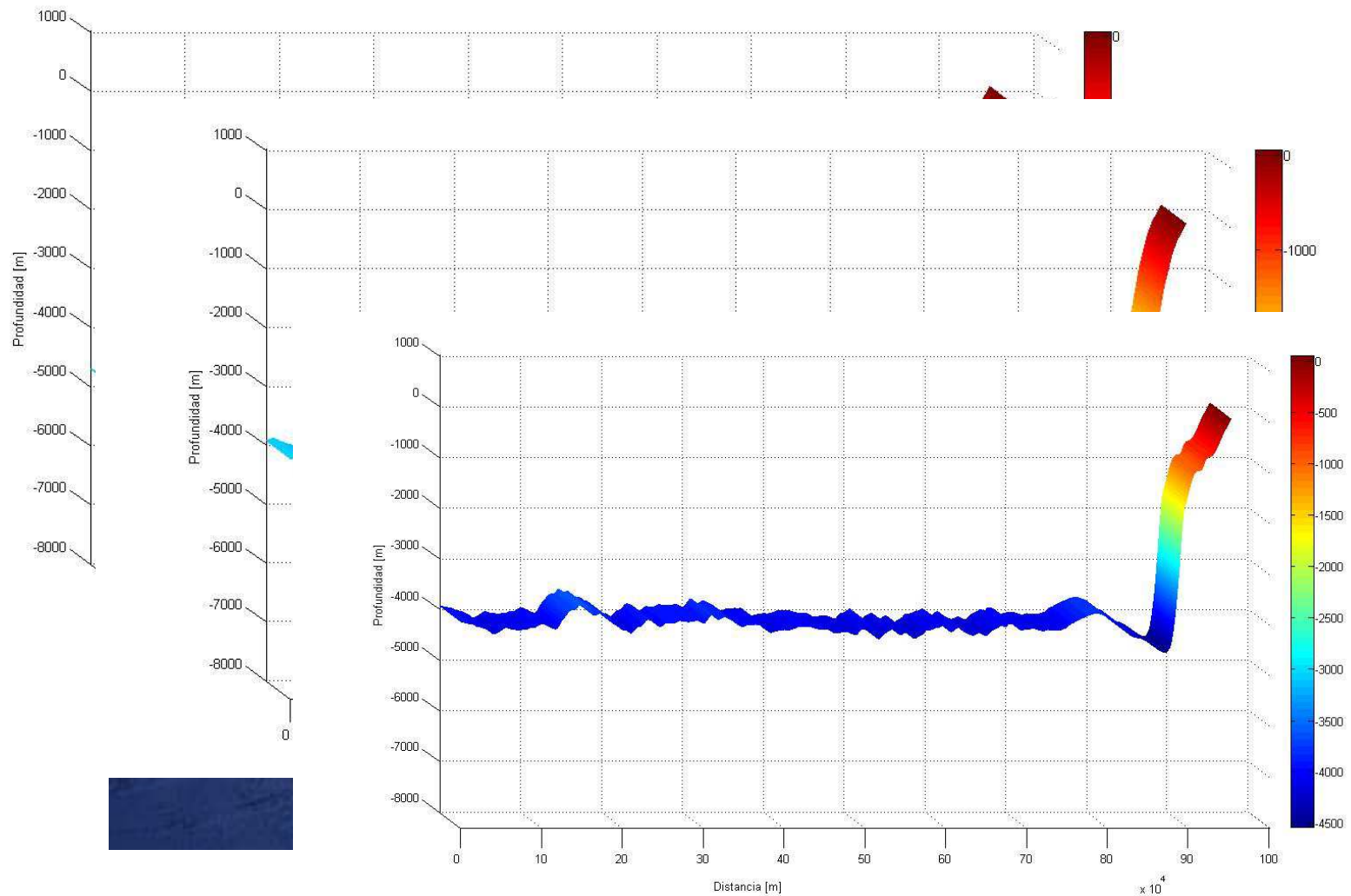
#### Análisis de Sensibilidad



	Con fosa	Sin fosa
Kr [%]	9.6	6.8

## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE - PERÚ





## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE - PERÚ

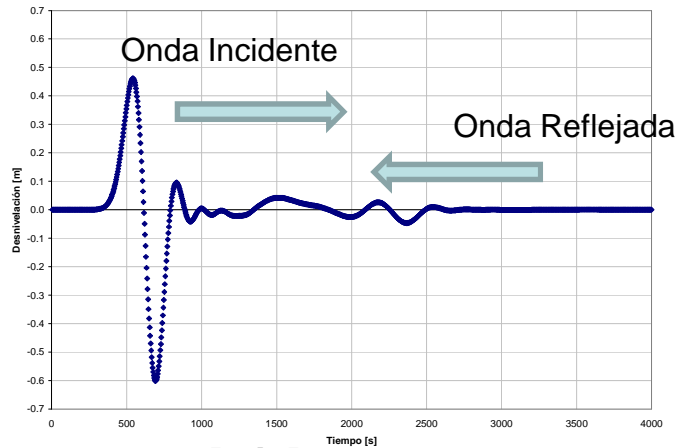
#### Modelos realizados

Zona Norte	H [m]	T [min]	Co [m/s]	Courant	Tiempo simulación [hr]	Rugosidad [m]	Eddy [m <sup>1/3</sup> /s]
	1	60	214.7	0.25	3.3	0.0004	0.2
	1	20	214.7	0.25	2.8	0.0004	0.2
Zona Centro	H [m]	T [min]	Co [m/s]	Courant	Tiempo simulación [hr]	Rugosidad [m]	Eddy [m <sup>1/3</sup> /s]
	1	60	196.2	0.25	3.3	0.0004	0.2
	1	20	196.2	0.25	2.8	0.0004	0.2
Zona Sur	H [m]	T [min]	Co [m/s]	Courant	Tiempo simulación [hr]	Rugosidad [m]	Eddy [m <sup>1/3</sup> /s]
	1	60	196.4	0.25	3.3	0.0004	0.2
	1	20	196.4	0.25	2.8	0.0004	0.2
Zona Sur	H [m]	T [min]	Co [m/s]	Courant	Tiempo simulación [hr]	Rugosidad [m]	Eddy [m <sup>1/3</sup> /s]
	1	60	196.4	0.25	3.3	0.0004	0.2
	1	20	196.4	0.25	2.8	0.0004	0.2
Zona Sur	H [m]	T [min]	Co [m/s]	Courant	Tiempo simulación [hr]	Rugosidad [m]	Eddy [m <sup>1/3</sup> /s]
	1	60	196.4	0.25	3.3	0.0004	0.2
	1	20	196.4	0.25	2.8	0.0004	0.2
Zona Sur	H [m]	T [min]	Co [m/s]	Courant	Tiempo simulación [hr]	Rugosidad [m]	Eddy [m <sup>1/3</sup> /s]
	1	60	196.4	0.25	3.3	0.0004	0.2
	1	20	196.4	0.25	2.8	0.0004	0.2

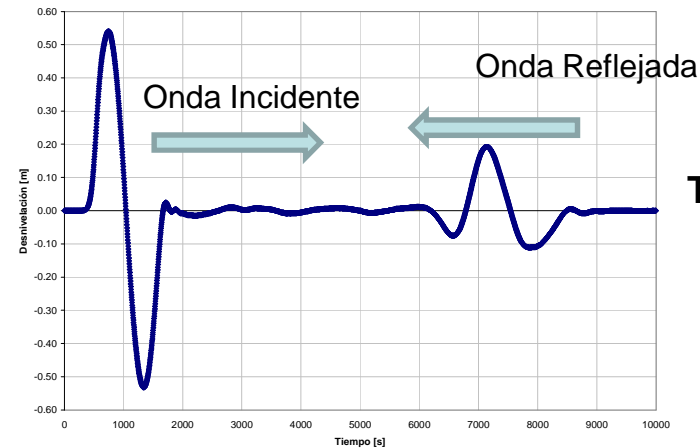
## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE - PERÚ

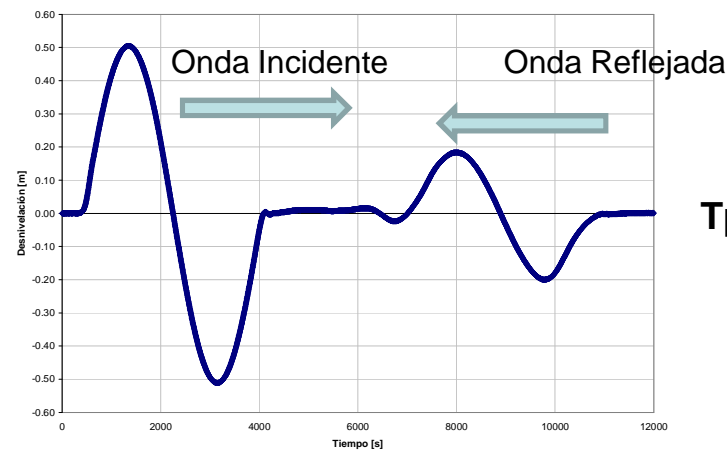
#### Resultado Modelaciones – Zona Norte



**$T_p = 5$  [min]**



**$T_p = 20$  [min]**

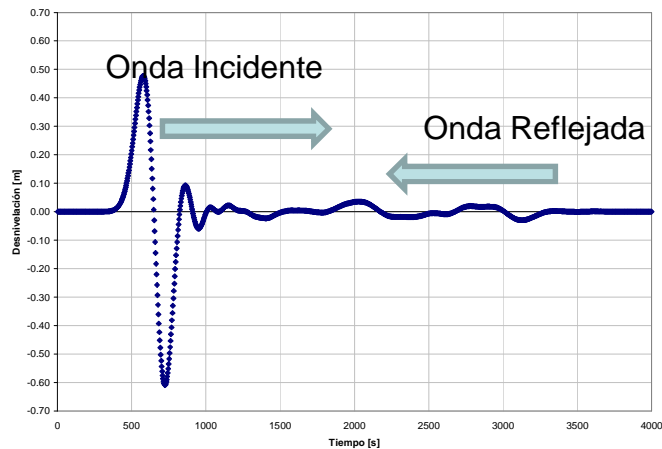


**$T_p = 60$  [min]**

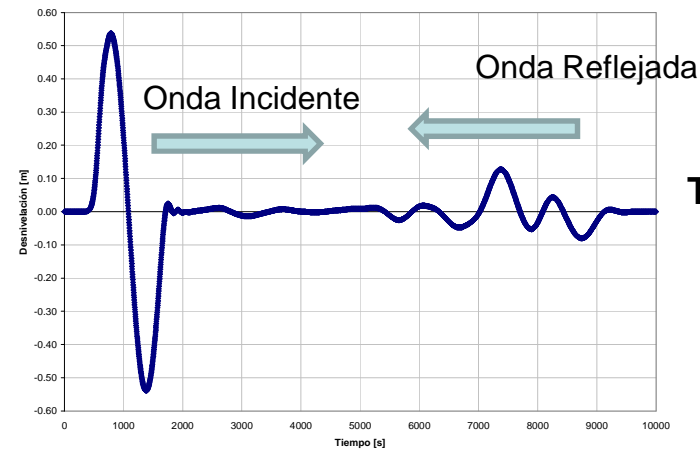
## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE - PERÚ

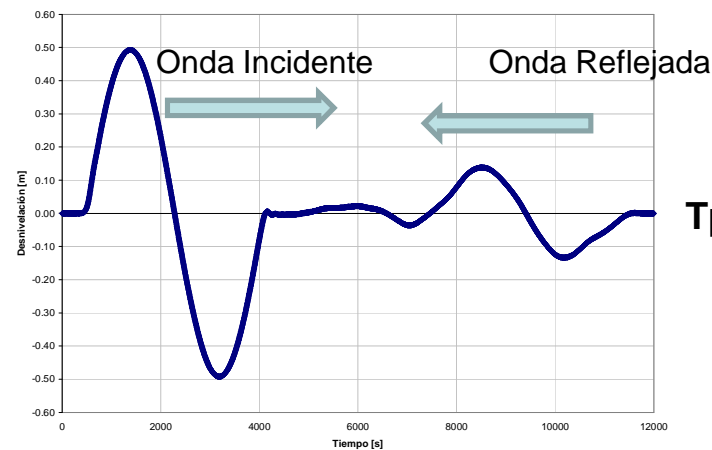
#### Resultado Modelaciones – Zona Centro



$T_p = 5$  [min]



$T_p = 20$  [min]

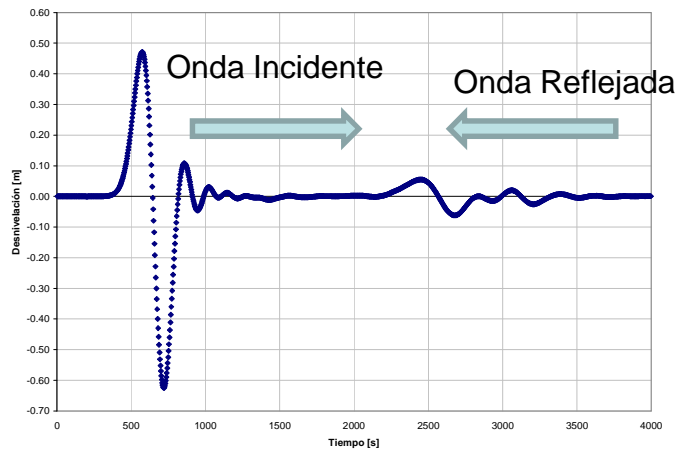


$T_p = 60$  [min]

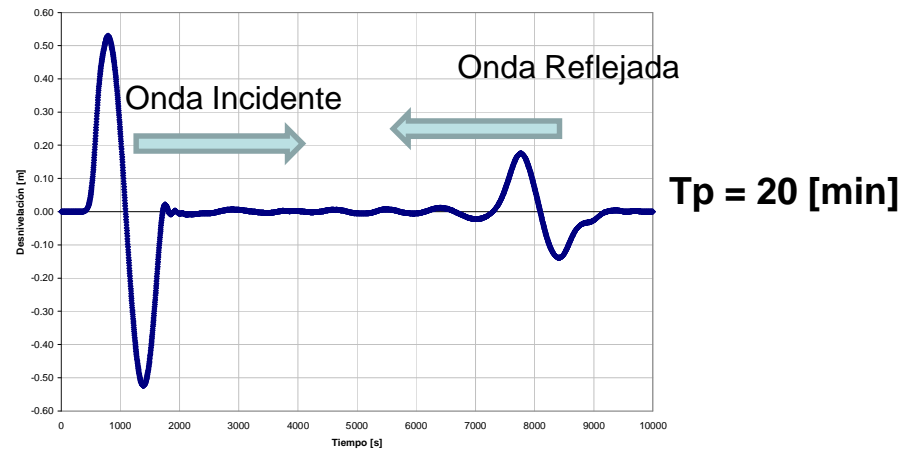
## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE - PERÚ

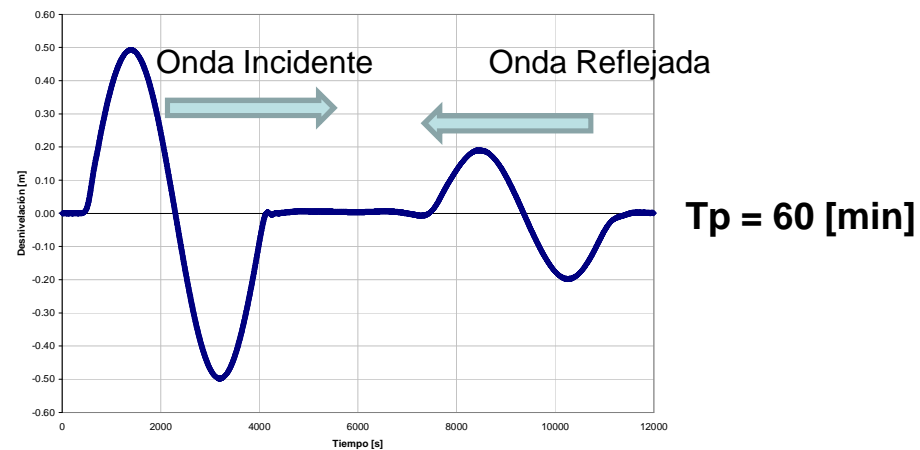
#### Resultado Modelaciones – Zona Sur



$T_p = 5$  [min]



$T_p = 20$  [min]

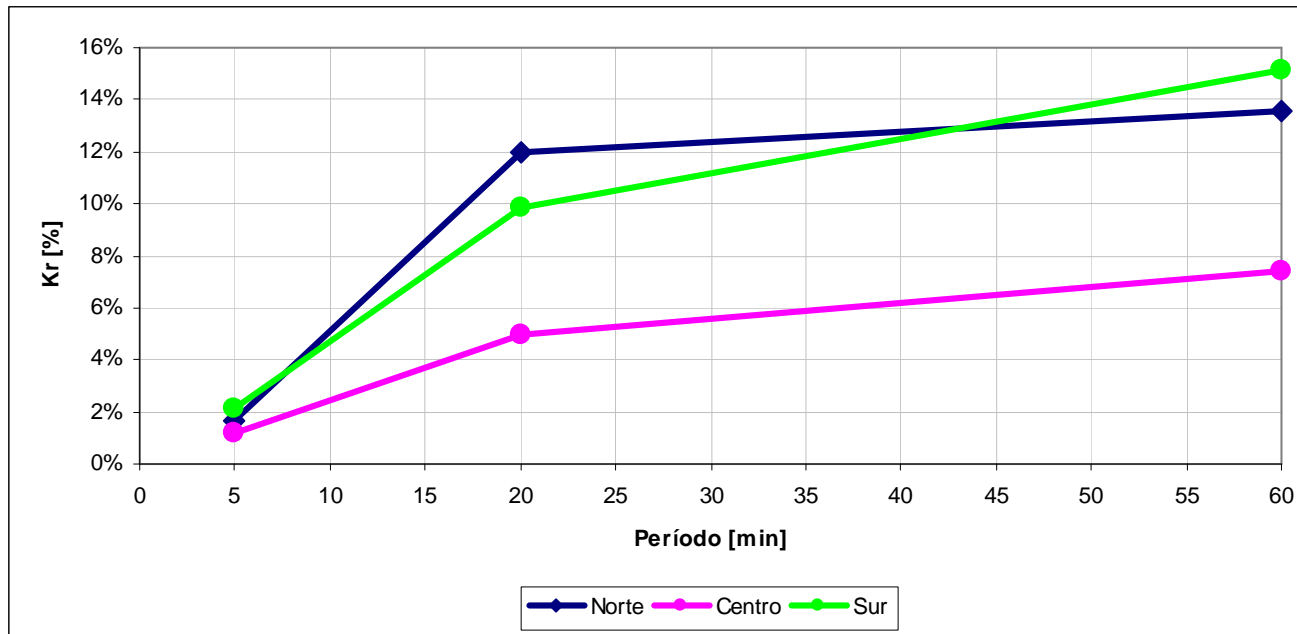


$T_p = 60$  [min]

## RESULTADOS

### REFLEXIÓN FOSA CHILE - PERÚ

#### Resultado Modelaciones



		Zona		
		Norte	Central	Sur
T [min]	5	1.70%	1.20%	2.10%
	20	12.00%	5.00%	9.90%
	60	13.50%	7.40%	15.10%

## RESULTADOS

### CÁLCULO DEFORMACIÓN INICIAL DEL FONDO MARINO

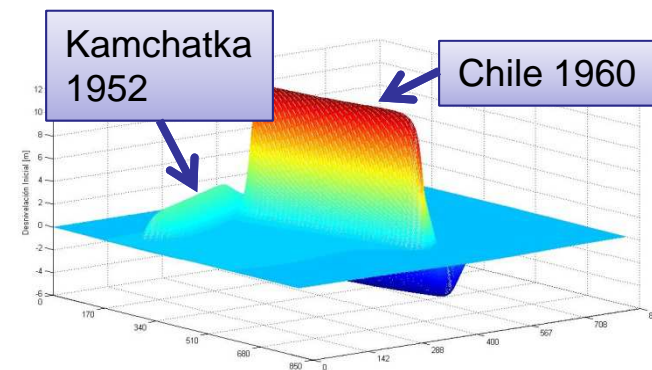
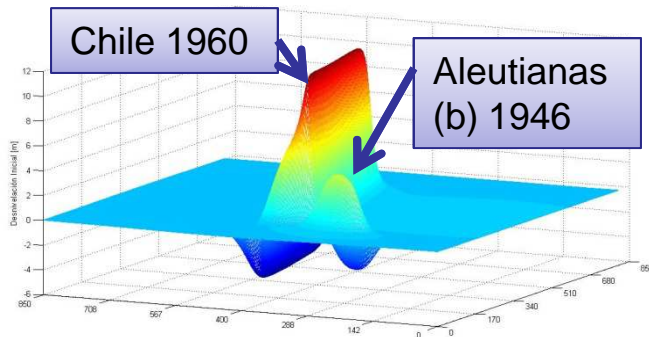
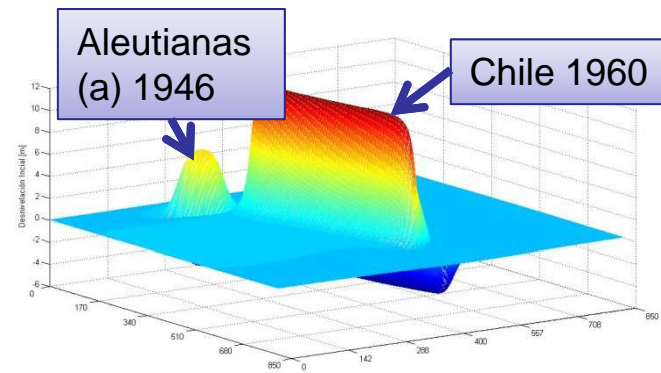
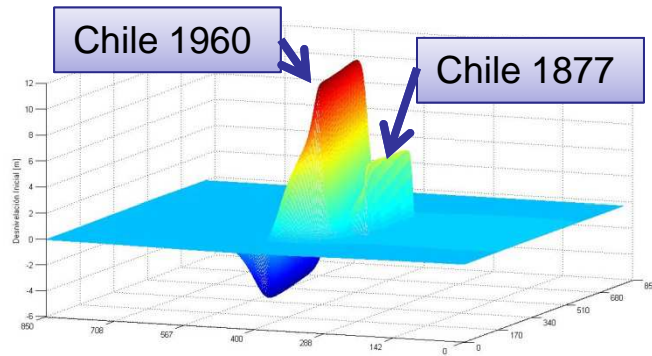
#### Parámetros Sísmos

Caso	Epicentro	h [Km]	L [Km]	W [Km]	$\theta$ [°]	$\delta$ [°]	$\lambda$ [°]	D [m]
Chile, 1877	23°S, 71°E	10	490	150	359	19	90	12
Aleutianas, 1946	52.8°N, 163.5°E	50	160	40-60	250	6	90	38-22
Kamchatka, 1952	52.7°N, 159.5°E	53	650	200	304	30	110	5
Chile, 1960	39.5°S, 74.5°W	30	1000	200	10	20	90	17
Alaska, 1964	59.73°N, 215.7°E	10	620	210	226	8	90	19
Samoa, 2009	15.42°S, 172.9°E	12	158	44	345	46	-61	3.5
Chile, 2010	32.85°S, 72.72°E	35	450	100	16	14	104	15
Japón, 2011	37.52°N, 143.05°E	20	450	150	203	10	88	18
	Máximo	53	1000	210				38
	Mínimo	10	158	44				3.5



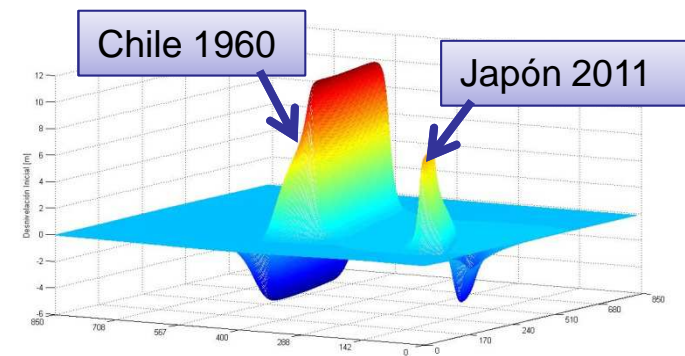
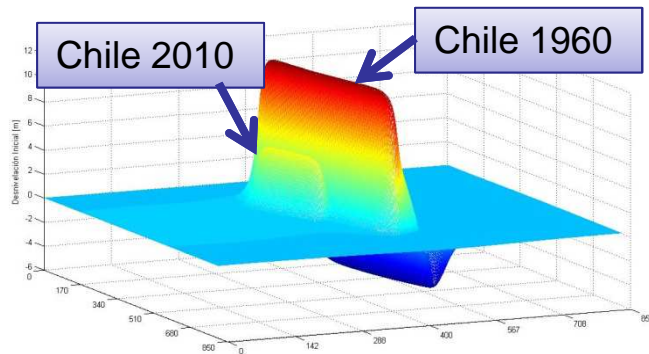
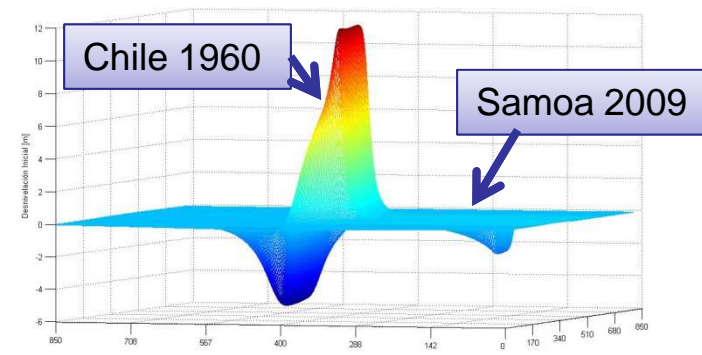
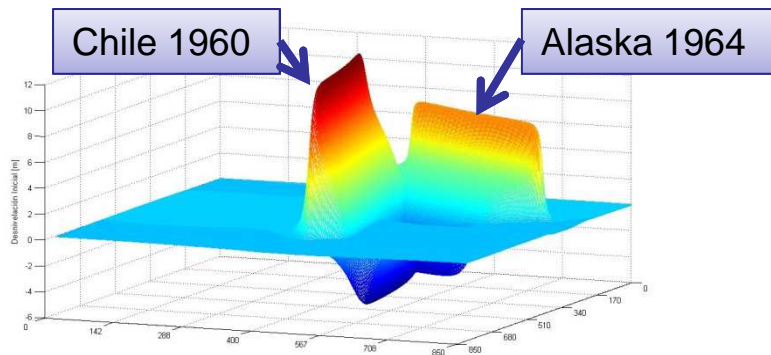
## RESULTADOS

### CÁLCULO DEFORMACIÓN INICIAL DEL FONDO MARINO



## RESULTADOS

### CÁLCULO DEFORMACIÓN INICIAL DEL FONDO MARINO



## RESULTADOS

### CÁLCULO DEFORMACIÓN INICIAL DEL FONDO MARINO

Caso	Desnivelación [m]
Chile, 1877	5.7
Aleutianas (a), 1946	5.9
Aleutianas (b), 1946	4.5
Kamchatka, 1952	3.4
Chile, 1960	11.8
Alaska, 1964	7.5
Samoa, 2009	1.9(*)
Chile, 2010	5.2
Japón, 2011	6.0

## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Ecuación de Radiación

$$H = 2z \sqrt{\frac{L_f W_f}{L \cdot P}}$$

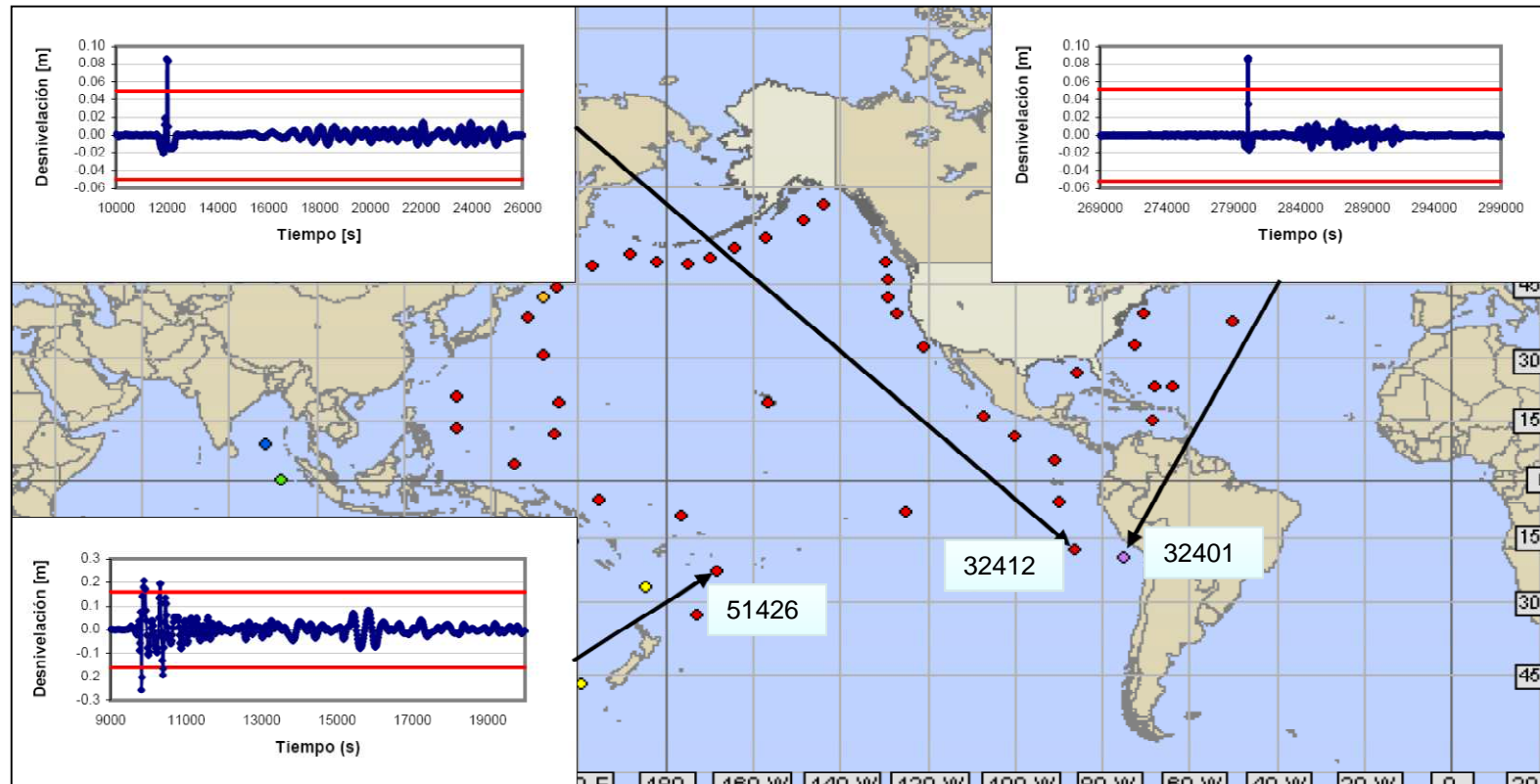
**Asumiendo que la longitud de la onda es del mismo orden que el largo de la falla sísmica, la Ecuación de Radiación se puede simplificar como:**

$$H = 2z \sqrt{\frac{W_f}{P}}$$

## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Samoa 2009

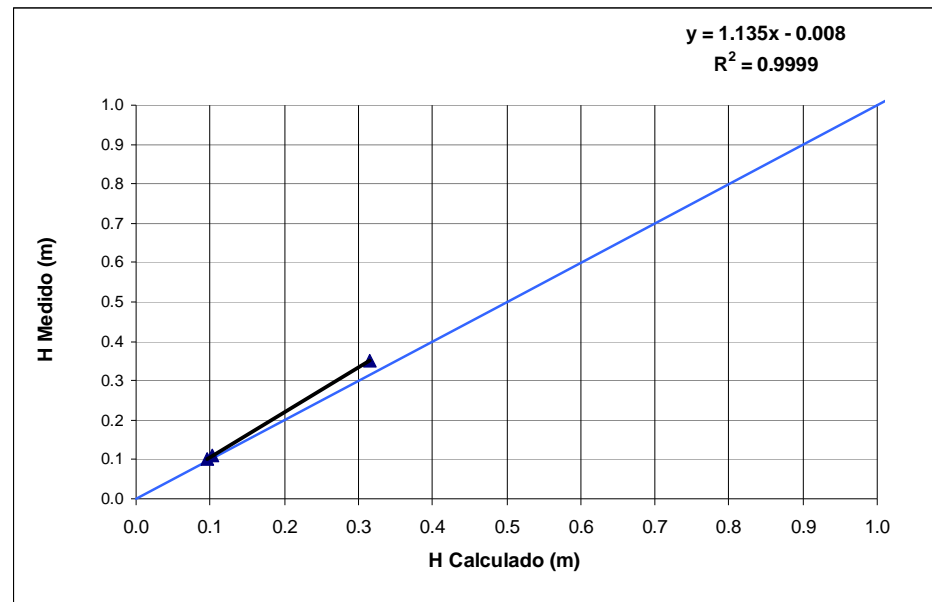


## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Samoa 2009

DART	Distancia [Km]	H <sub>calculada</sub> [m]	H <sub>medido</sub> [m]	Error [m]	Error [%]
51426	974	0.315	0.35	-0.035	-9.9%
32412	9142	0.103	0.11	-0.007	-6.4%
32401	10500	0.096	0.1	-0.004	-3.9%

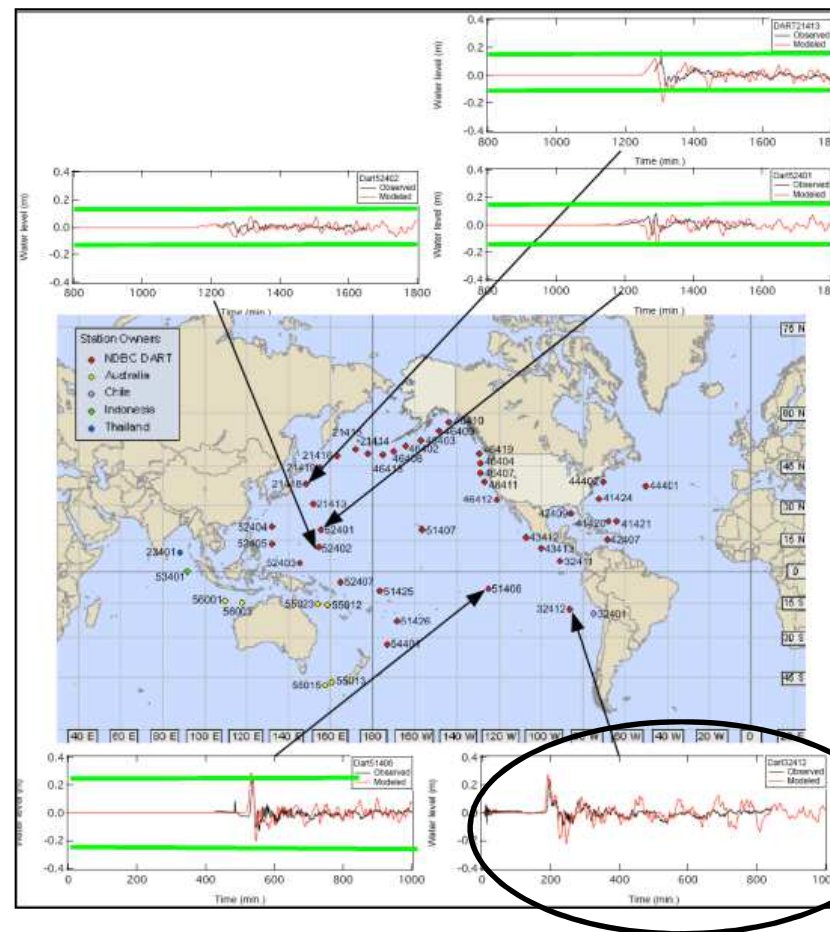




## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Chile 2010



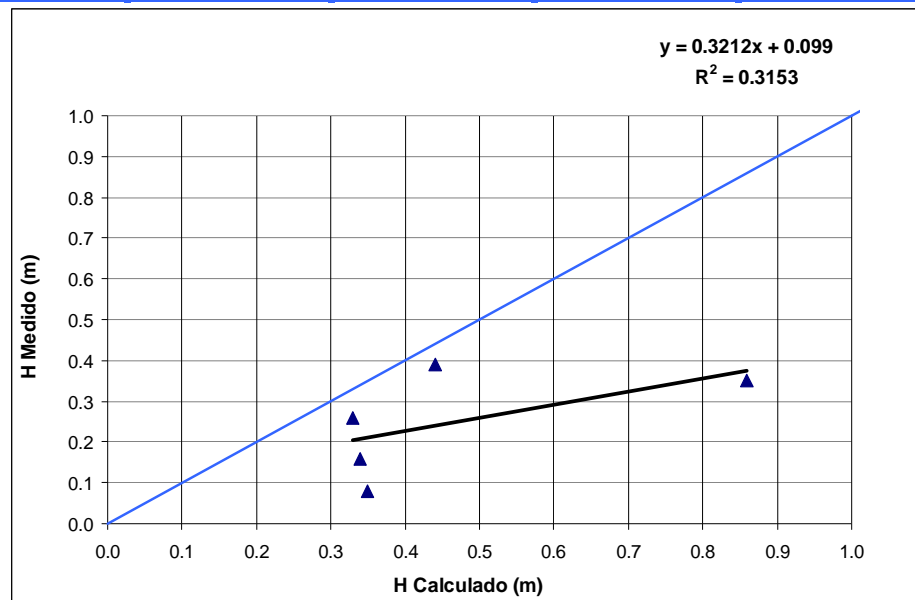
Muy cercana a la fuente

## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Chile 2010

DART	Distancia [Km]	Hcalculada [m]	Hmedido [m]	H MOST [m]	Error [m]	Error [%]	Error MOST [%]
32412	2350	0.86	0.35	0.51	0.51	146%	46%
51406	8940	0.44	0.39	0.5	0.05	13%	28%
52401	14850	0.34	0.16	0.19	0.18	113%	19%
52402	14500	0.35	0.08	0.16	0.27	338%	100%
21418	16300	0.33	0.26	0.32	0.07	27%	23%

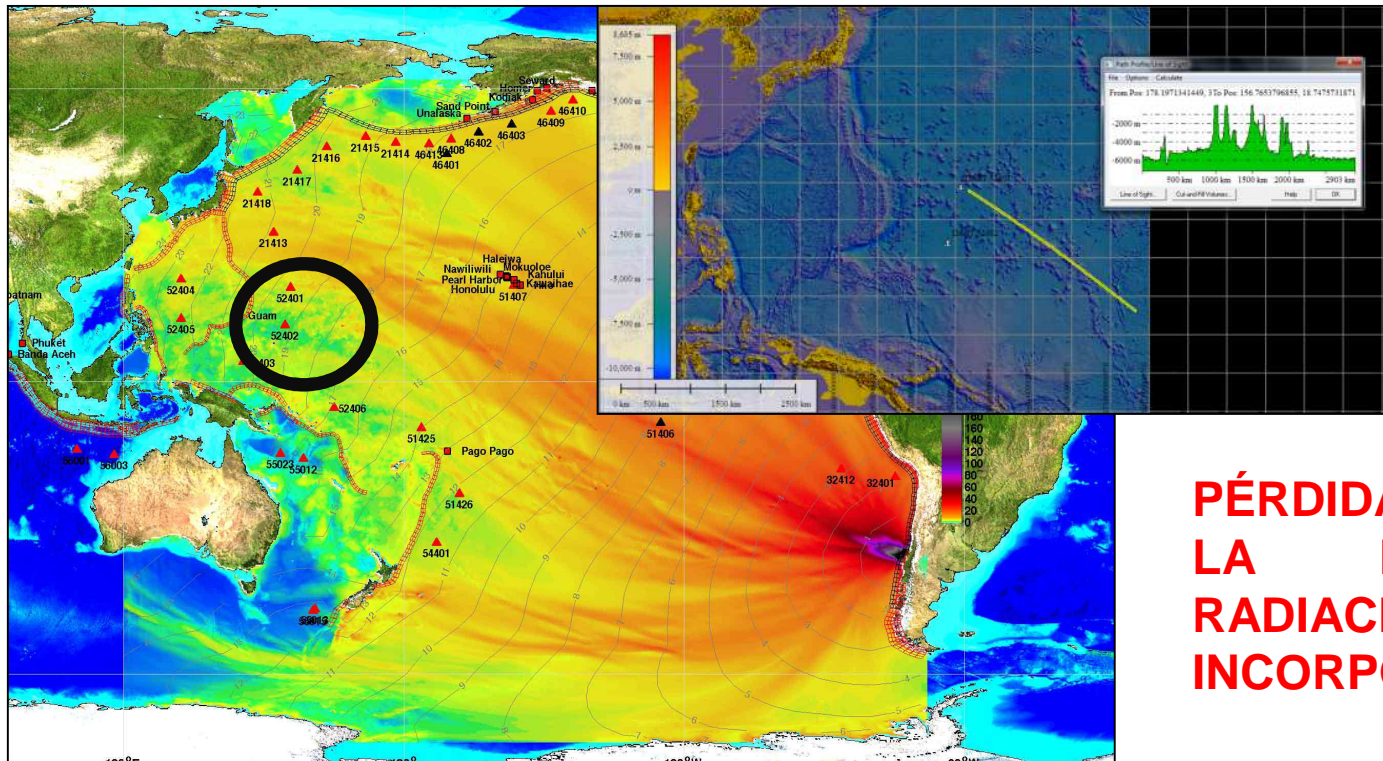


¿QUÉ PASÓ?

## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Chile 2010



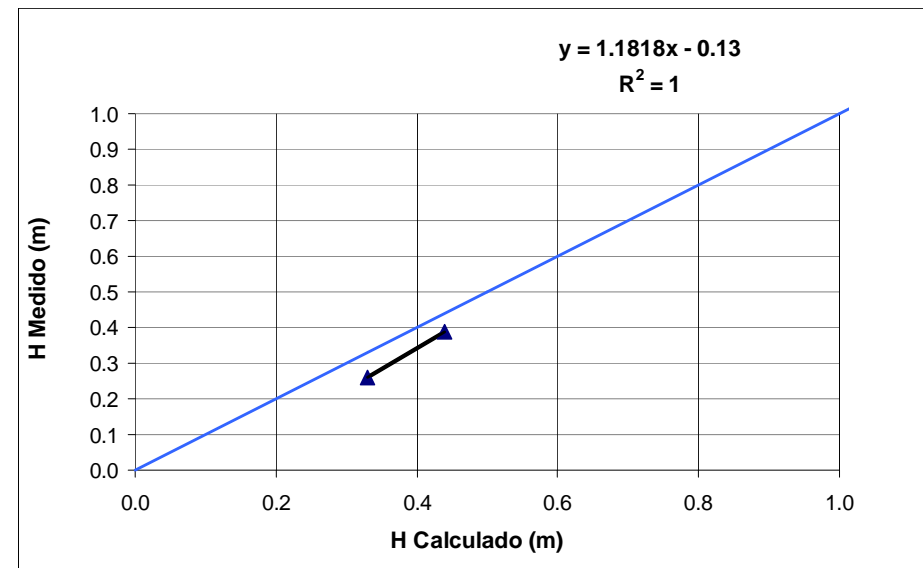
**PÉRDIDAS DE ENERGÍA...  
LA ECUACIÓN DE  
RADIACIÓN NO LAS  
INCORPORA.**

## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

Evento Chile 2010

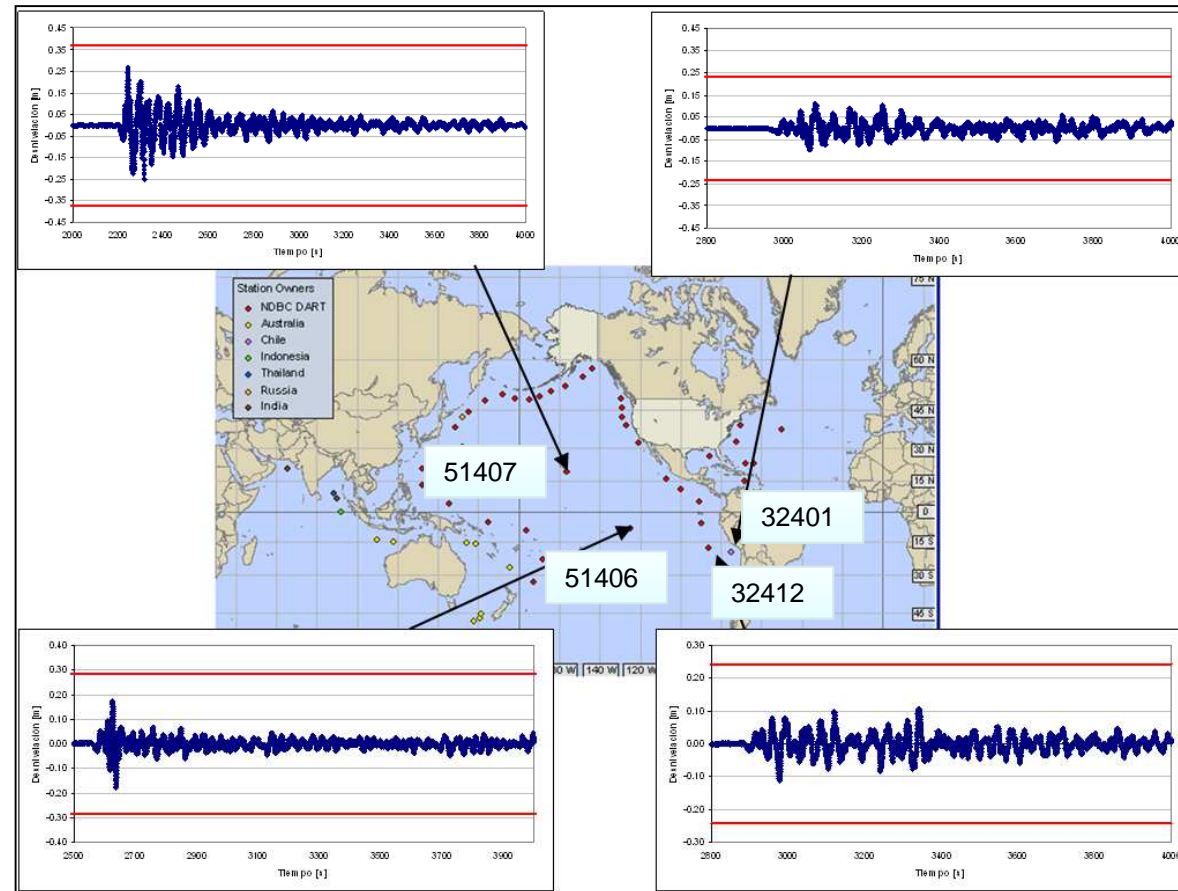
SI UTILIZAMOS LA  
INFORMACIÓN DE LAS  
BOYAS DART 51406 Y  
21418, QUE SE  
ENCUESTRAN EN LA  
DIRECCIÓN PRINCIPAL DE  
LA ONDA DE TSUNAMI...



## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Japón 2011



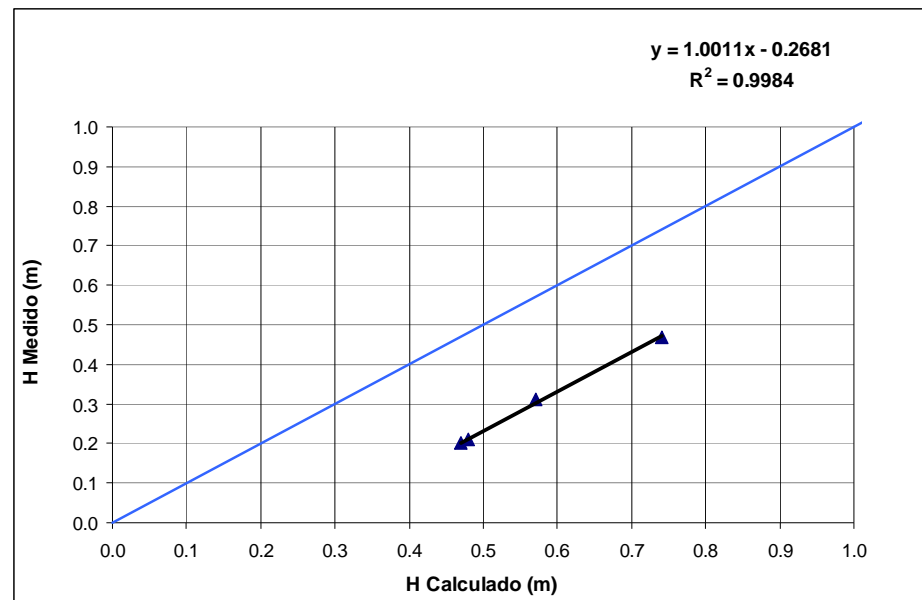


## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Japón 2011

DART	Distancia [Km]	H <sub>calculada</sub> [m]	H <sub>medido</sub> [m]	Diferencia[m]	Diferencia [%]
51407	6220	0.74	0.47	0.27	58%
51406	10750	0.57	0.31	0.26	82%
32412	14760	0.48	0.21	0.27	130%
32401	15860	0.47	0.20	0.27	133%

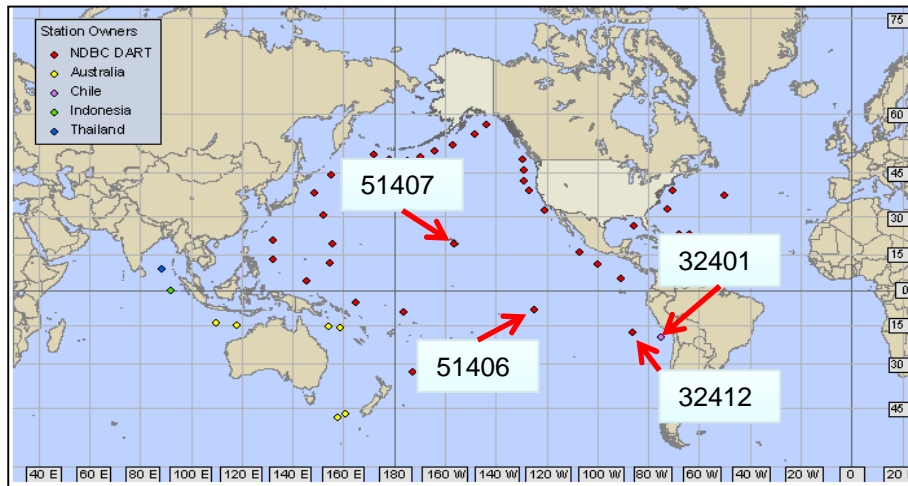




## RESULTADOS

### COMPARACIÓN ECUACIÓN DE RADIACIÓN VERSUS MEDICIONES

#### Evento Japón 2011



#### Diferencia entre las mediciones de las Boyas DART

DART 51407-51406	0.16	[m]
DART 51406-32412	0.10	[m]
DART 32412-32401	0.01	[m]

#### Diferencia entre lo Calculado (Ecuación de Radiación)

DART 51407-51406	0.17	[m]
DART 51406-32412	0.09	[m]
DART 32412-32401	0.01	[m]

## RESULTADOS

### APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN DE RADIACIÓN EN TSUNAMIS DE CAMPO LEJANO

Lugar Afectado	Japón			Hawai		
Evento	Chile 1960	Chile 2010	Chile 1877	Chile 1960	Chile 2010	Chile 1877
Distancia [km]	16700			10500		
Longitud falla [Km]	1000			450		
Altura de ola [m]	1.03	0.32	0.43	1.29	0.41	0.54
Diferencia altura [m]	-	0.71	0.60	-	0.88	0.75
Diferencia porcentual altura	-	222%	140%	-	215%	139%

# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## CONCLUSIONES

### EFFECTO DE LA FOSA CHILE – PERÚ SOBRE TSUNAMIS DE CAMPO LEJANO

- Fosa Chile – Perú ejerce una protección natural al arribo de las ondas de tsunami.
  
- La reflexión aumenta a medida que el período aumenta.
  
- La reflexión es directamente proporcional a la profundidad de la Fosa.
  
- La reflexión también depende de la pendiente después de la Fosa.

## **CONCLUSIONES**

### **EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA**

#### **Efecto de la Disipación**

- Tsunami en la propagación prácticamente no pierde energía.
  
- Para una configuración batimétrica irregular, se evidenciaron pérdidas de energía en el evento de Chile 2010.

## CONCLUSIONES

### EFFECTO DE LA TRANSFORMACIÓN Y DISIPACIÓN DE ENERGÍA

#### Efecto de la Radiación

- Resultados satisfactorios con variaciones de centímetros respecto de lo medido.
- La Ecuación de Radiación es válida en situaciones donde la onda no se vea alterada por efectos locales.
- Efecto de radiación es la principal causante de la disminución de la altura de un tsunami en el campo lejano.
- Dado que la intensidad disminuye a medida que el área de la onda propagándose aumenta y que esta área es la misma para un tsunami que va desde o hacia Chile, es que la potencia inicial cobra mayor importancia, quedando demostrado que en Chile ha sido mayor que en otras latitudes, de ahí la disparidad en las consecuencias en el campo lejano.



## CONCLUSIONES

### EFFECTO DEL ÁNGULO DE INCIDENCIA DE LA ONDA DE TSUNAMI

- Ángulo de aproximación menor al ángulo crítico, por lo tanto los perfiles de la Fosa Chile – Perú pueden ser analizados como incidencia normal, con reflexión parcial.

## CONCLUSIONES

### TSUNAMIS TRANSOCEÁNICOS OCURRIDOS

- Tsunamis de campo lejano si han afectado nuestras cosas.
- Los tsunamis de campo lejano se manifestaron en nuestras costas de manera “Generalmente Observada”.
- Dichato, la localidad más afectada (inundación en viviendas, corte de puentes y pánico en la población).
- Antofagasta fue el sector menos afectado.
- Evento de Chile 1960 fue el que produjo la mayor desnivelación inicial (11.8[m]).
- Desnivelación inicial para el evento de Japón 2011 fue de 6,0 [m], según el modelo de Okada 1985.

## RECOMENDACIONES

La sencilla Ecuación de Radiación propuesta podría ser utilizada como estimador por las organizaciones en Chile con el fin de complementar una estimación de alerta temprana de la influencia de un tsunami en las costas de Juan Fernández e Isla de Pascua.

**GRACIAS**