ANÁLISIS COMPARATIVO DE FORMULACIONES PARA EL DISEÑO DE DIQUES EN TALUD DE ROCA Y LA VERIFICACIÓN DE SU APLICABILIDAD EN CHILE

Cindy Loreto Bernal Ponce

OCTUBRE 2015

CONTENIDOS

Introducción

Objetivos

Marco teórico

Metodología

Resultados y conclusiones

INTRODUCCIÓN

Un dique en talud → finalidad → Disipar la energía del oleaje

Generar zonas de abrigo

En siglo XIX, la construcción de las obras se basaba en la observación del oleaje y a partir de la experiencia del diseñador, se estimaban los pesos de las rocas (American Society of Civil Engineers, 2003).

Esta práctica resultaba ineficiente, porque necesitaba de modificaciones constantes.

Generación de soluciones matemáticas en el mundo.

Usos en Chile: Hudson (1959)

OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis comparativo de formulaciones para el diseño de diques en talud de roca y verificar su aplicabilidad en Chile.

OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar, describir y sensibilizar las fórmulas de diseño

- Identificar las formulaciones utilizadas en estudios analizados (INH).

- Verificación de rangos de validez.

OBJETIVOS

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Establecer criterios para la ampliación de los rangos de validez en las costas chilenas.

Sensibilizar las fórmulas y verificar las condiciones de oleaje para las cuales se cumple su aplicación en Chile.

MARCO TEÓRICO

TIPOLOGÍAS

Dique en talud

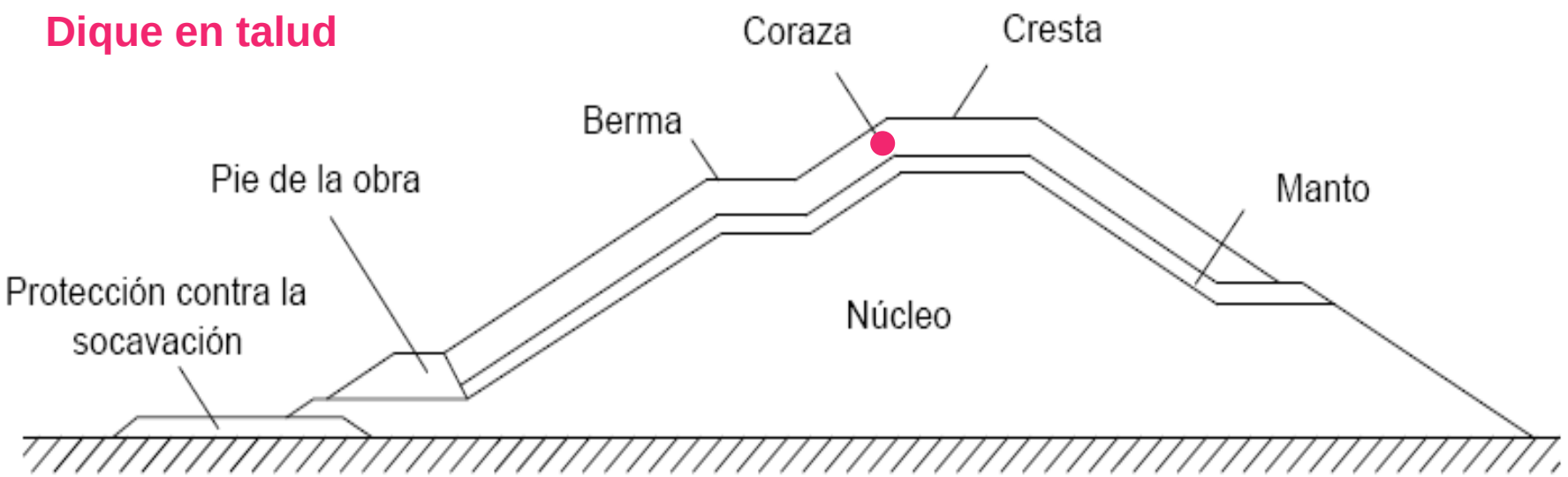


FIG. 1: Dique en talud

MARCO TEÓRICO

ELEMENTOS PREFABRICADOS

TETRÁPODO

ACRÓPODO®

CORE-LOC®

ANTIFER

FIG. 4: Rompeolas con elementos prefabricados.

MARCO TEÓRICO

ROCAS

FIG. 5: Rocas como elementos de coraza

FIG. 6: Rompeolas de roca.

Ecuación 1: Fórmula tipo

$$W = \frac{f(\alpha)\ K\ H^3\ \rho_s}{\left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1\right)^3}$$

Dónde:
W: Peso de la roca en [ton]
f(α): función trigonométrica dependiente del ángulo del talud [-]
K: Constante de proporción[-]
H: Altura de ola significativa espectral [m]
ρs: Densidad volumétrica del material [ton/m^3]
ρw: Densidad del agua [ton/m^3]

FÓRMULAS

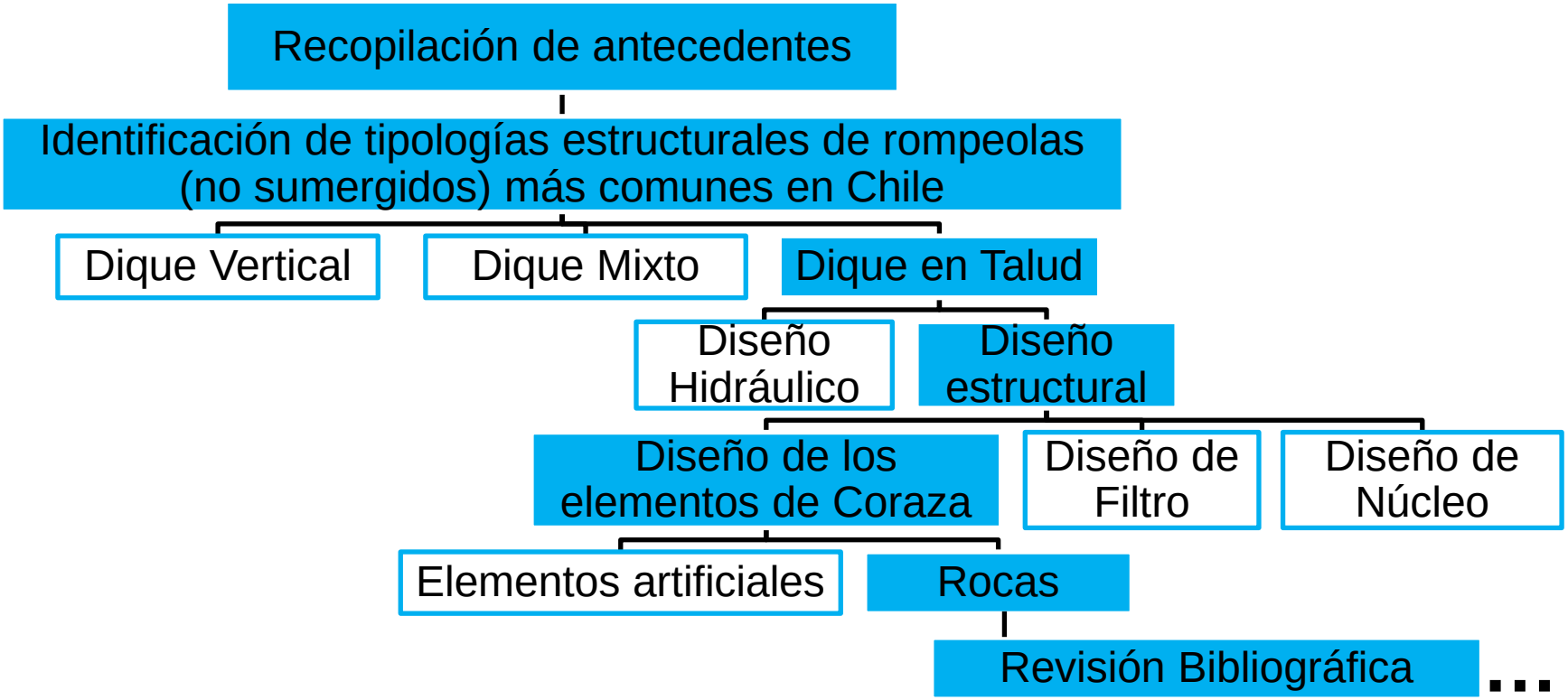
#	Autor	Año	Tipo de Oleaje	#	Autor	Año	Tipo de Oleaje
1	Castro	1933	Regular	18	SMP	1977	Regular
2	Iribarren	1938	Regular	19	Losada & Giménez-Curto	1979	Regular
3	Mathews *	1948	Regular	20	SPM	1984	Regular
4	Epstein & Tyrrel *	1949	Regular	21	Ryu & Sawaragi	1986	Irregular
5	Hickson & Rodolf	1951	Regular	22	Hedar	1986	Regular
6	Larras *	1952	Regular	23	Medina & McDougal *	1988	Se desconoce
7	Hedar	1953	Regular	24	Van der Meer	1988	Irregular
8	Beaudevin *	1955	Regular	25	Kaku, Kobayashi & Ryu *	1991	Irregular
9	Hudson	1959	Regular	26	Koev	1992	Regular
10	Goldschtein & Kononenko *	1959	Regular	27	Belfadhel et al.	1993	Regular
11	SN - 92-60 *	1960	Regular	28	Ryu & Kim	1994	Irregular
12	Rybtchevsky *	1964	Regular	29	Vidal et al.	1999	Irregular
13	Svee *	1965	Regular	30	Hald & Burcharth	2000	Irregular
14	Irribarren	1965	Regular	31	Melby & Hughes	2003	Irregular
15	Metelicyna *	1967	Regular	32	Van Gent	2003	Irregular
16	Font	1968	Regular	33	Yoo & Yoon	2013	Irregular
17	Taylor *	1973	Se desconoce				
* Documentos originales no disponibles o incompatibilidad de idiomas							

Tabla 1: Lista de fórmulas según año y autor para su respectivo tipo de oleaje.

METODOLOGÍA

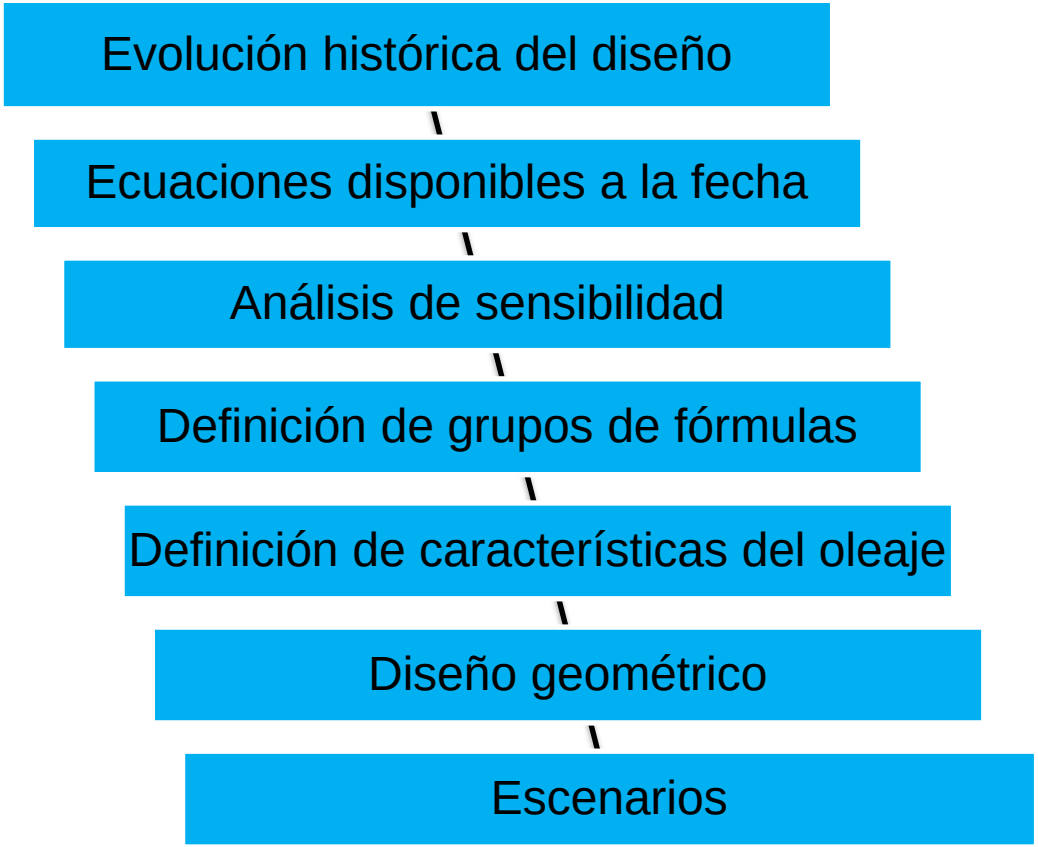
METODOLOGÍA

MAPA CONCEPTUAL



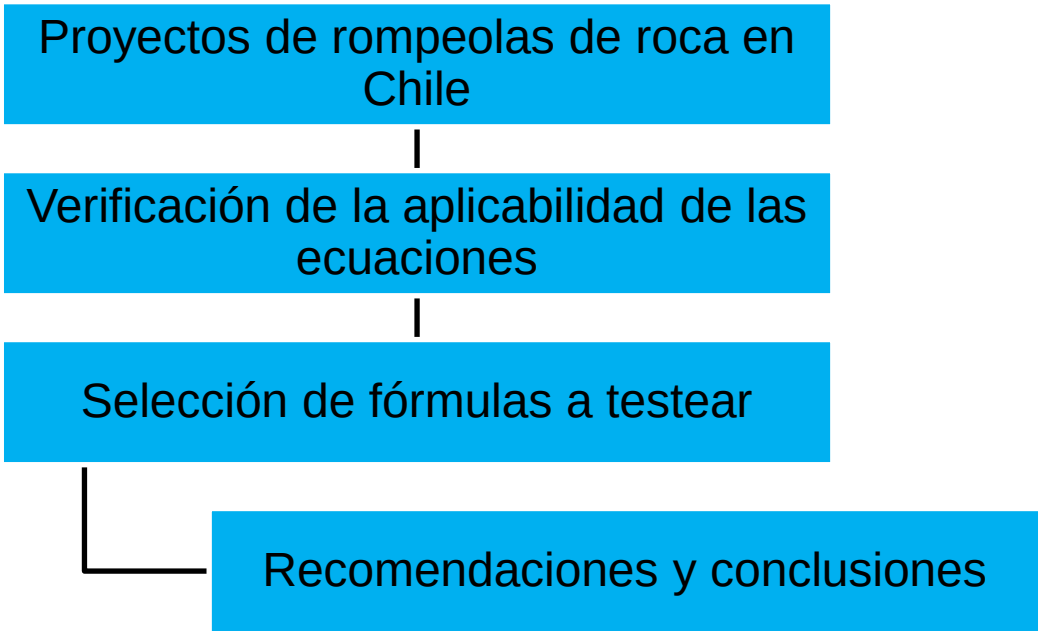
METODOLOGÍA

MAPA CONCEPTUAL



METODOLOGÍA

MAPA CONCEPTUAL



METODOLOGÍA

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

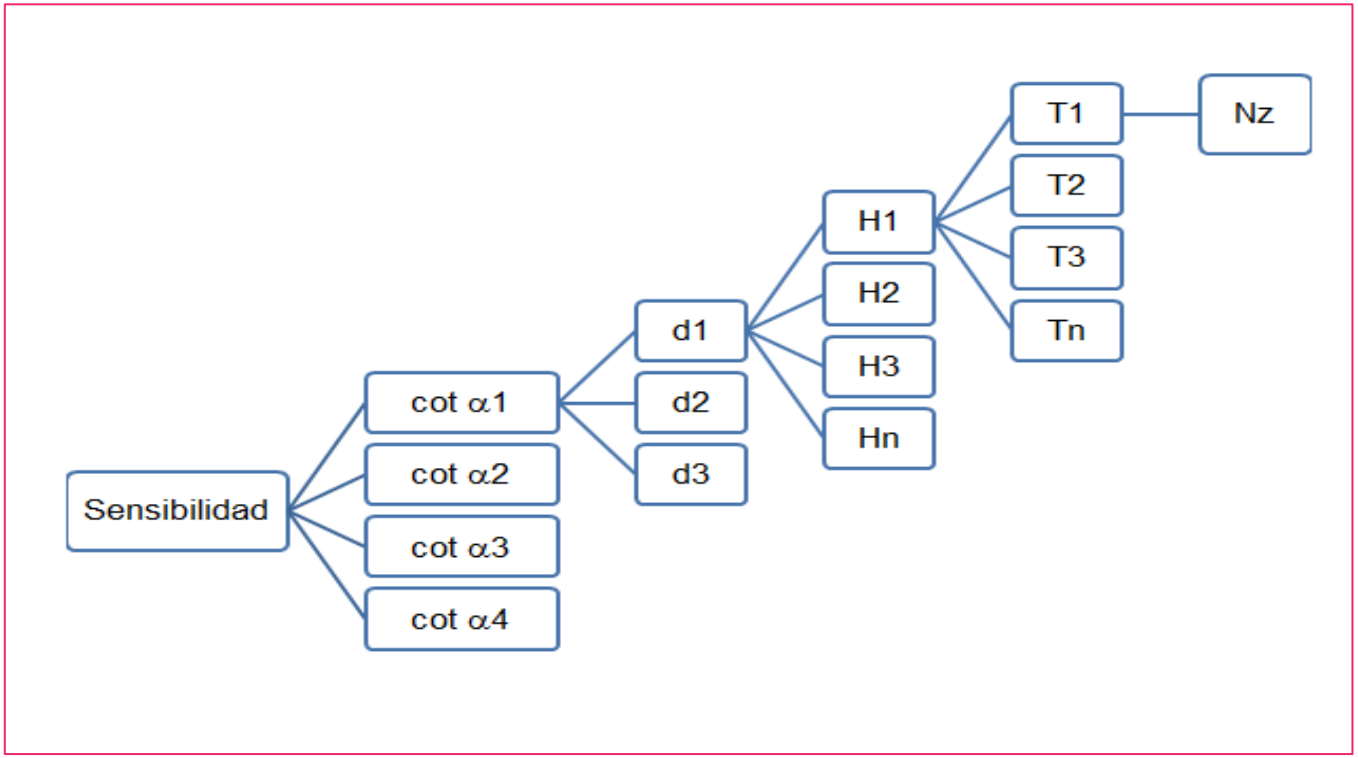


FIG. 7: Esquema de parámetros considerados.

METODOLOGÍA

ALCANCES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

FIG. 8: Rompeolas de roca.

Se consideró sólo rompeolas de **roca**

METODOLOGÍA

ALCANCES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

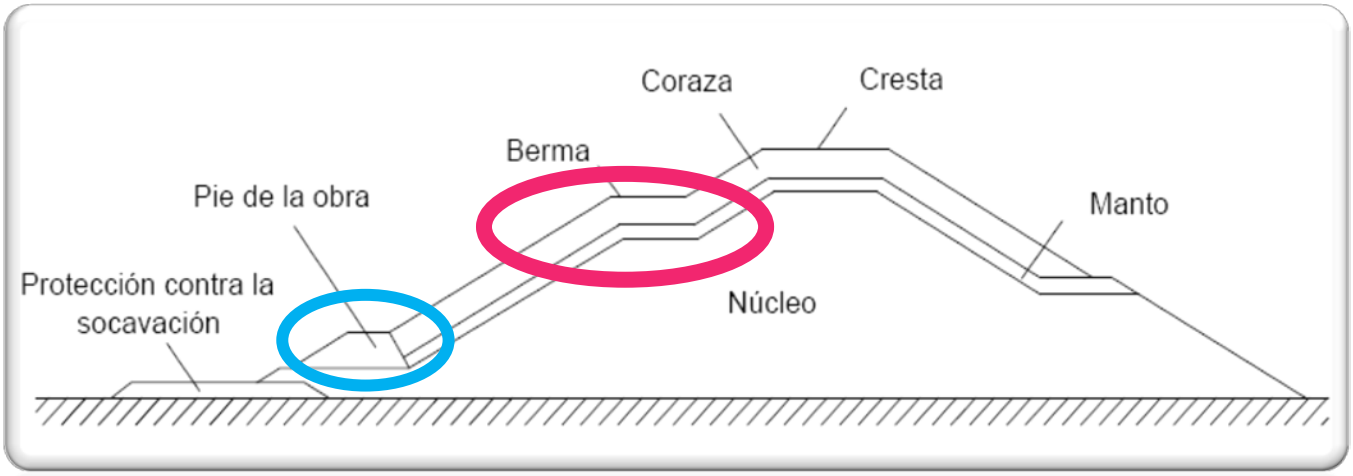


FIG. 9: Esquema de un dique en talud

Se descartó toda construcción que cuente con **berma**.

No se evaluó el diseño del **pie** de la obra.

METODOLOGÍA

ALCANCES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se excluyó análisis relacionados con **tsunamis** y **sismos**.

FIG. 10: Representación de un tsunami.

FIG. 11: Representación del registro de un sismo.

METODOLOGÍA

ALCANCES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se estimó el efecto del oleaje para el **frente** y de manera **perpendicular** a la estructura

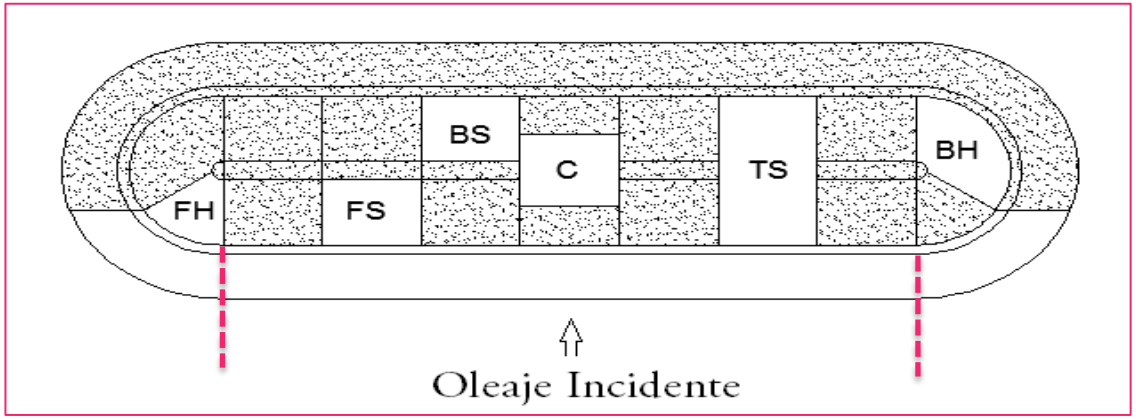


FIG. 12: Vista en planta de las divisiones de un rompeolas (Vidal, 1999)

Sólo se analizó el **tronco** de la estructura

METODOLOGÍA

ALCANCES DEL ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

- Sólo se consideraron estudios cuyos **resultados** hayan sido **ensayados** por modelos físicos (2D o 3D).

- Esta memoria excluyó la **modelación numérica** de oleaje o de cualquier otro tipo.

GRUPOS DE FÓRMULAS

Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
H^3, ρ_s, α, Δ^3 Castro (1933) Iribarren (1938) Hedar (1953) Beaudevin (1955) Hudson (1959) Goldstein & Kononenko (1959) Svee (1965) Metelicyna (1967) Font (1968)	H^2, ρ_s, α, Δ^3, T=2.5H Mathews (1948) Hickson & Rodolf (1951)	H^2, ρ_s, α, Δ^3, L=20H SN-92-60 (1960) Rybtchevsky (1964)	H^3, ρ_s, α, L Larras (1952) Losada & Giménez-Curto (1979) Koev (1992)
Grupo 5	**Grupo 6**	**Grupo 7**	**Grupo 8**
H, α, N_z, S, Δ Van der Meer (1988a) Van Gent (2003)	H Iribarren (1965) Taylor (1973) Hedar (1986) Medina & McDougal (1988) Hald & Burcharth (2000)	Incluye el análisis de todas las fórmulas incluidas desde el G1 al G6.	T Larras (1952) Losada y Giménez-Curto (1979) Van der Meer (1988a) Koev (1992) Vidal (1999)

Notación:

H: altura de ola
L: longitud de onda
α: ángulo del talud
ρ_s: densidad de la roca
ρ_w: densidad del agua salada
Δ: ρ_s/ρ_w
ϕ: ángulo de rozamiento
N_z: número de ola
S: nivel de daño

Tabla 2: Formulaciones agrupadas

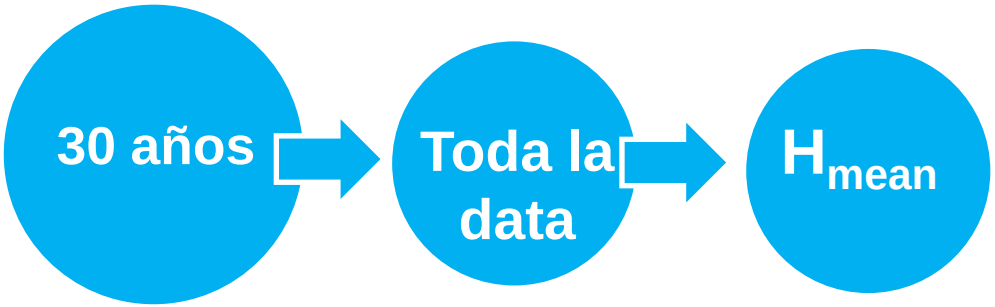
METODOLOGÍA

DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE

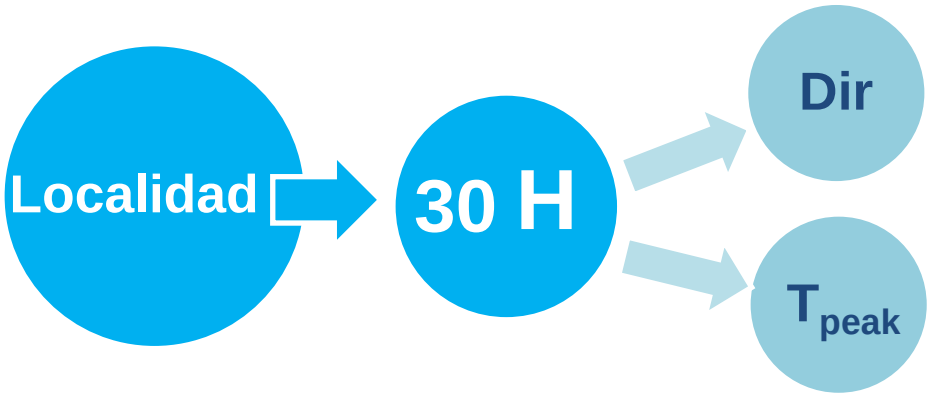
30 años de oleaje de la base de datos “Olas Chile IV” para 9 localidades.

METODOLOGÍA

DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE

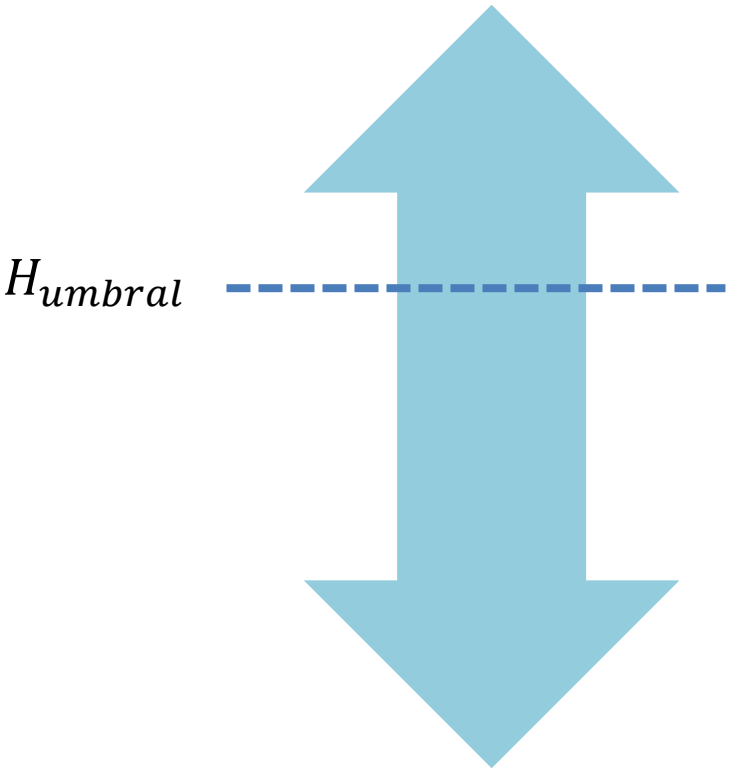


$$H_{umbral} = H_{mean} + 3\,DS$$



METODOLOGÍA

DEFINICIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL OLEAJE



Valores tormenta de H

Valores normales de H

METODOLOGÍA

CARACTERÍSTICA DEL OLEAJE

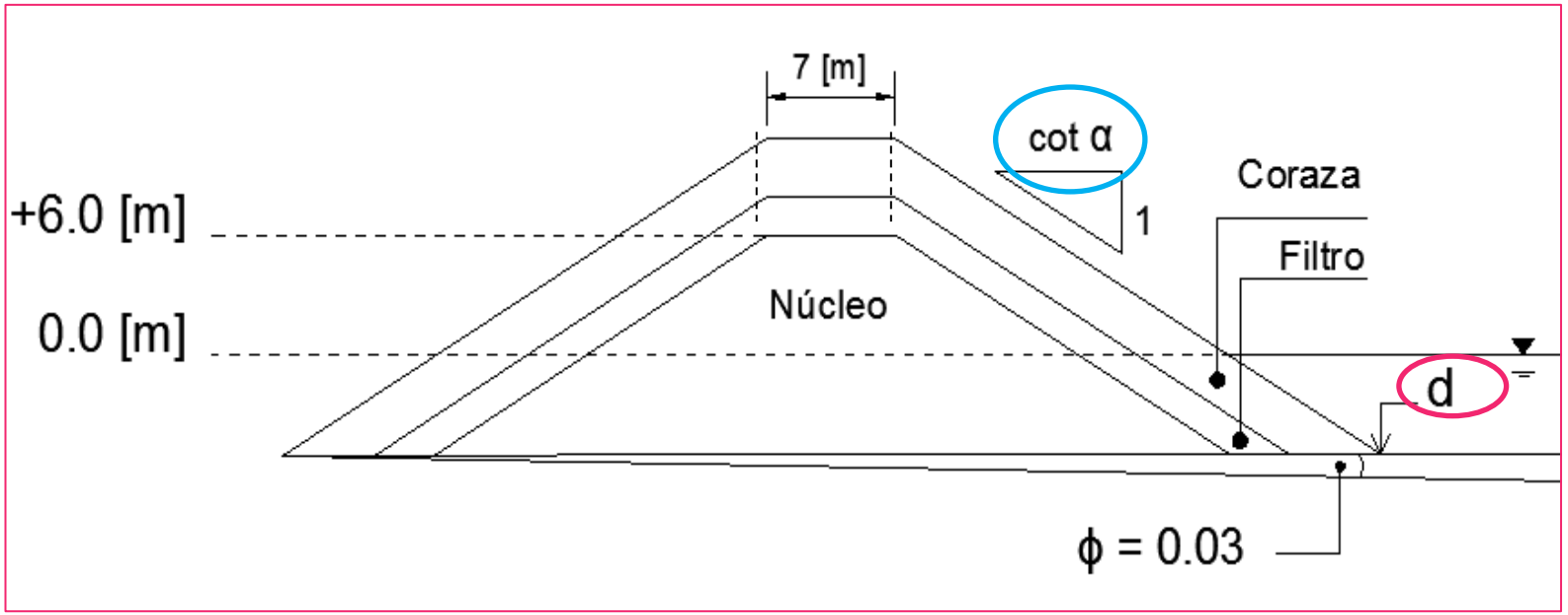


FIG. 13: Diseño base para sensibilización de escenarios.

Periodo: 8 a 18 [s]

Obtenido de base de datos de “Olas Chile IV”

Altura de ola: 0.5 a 9.0 [m]

METODOLOGÍA

PROYECTOS EN CHILE

- 6 proyectos
- Instituto Nacional de Hidráulica
- Comparación de resultados

RESULTADOS

RESULTADOS

CARACTERÍSTICA DEL OLEAJE

Número de ola

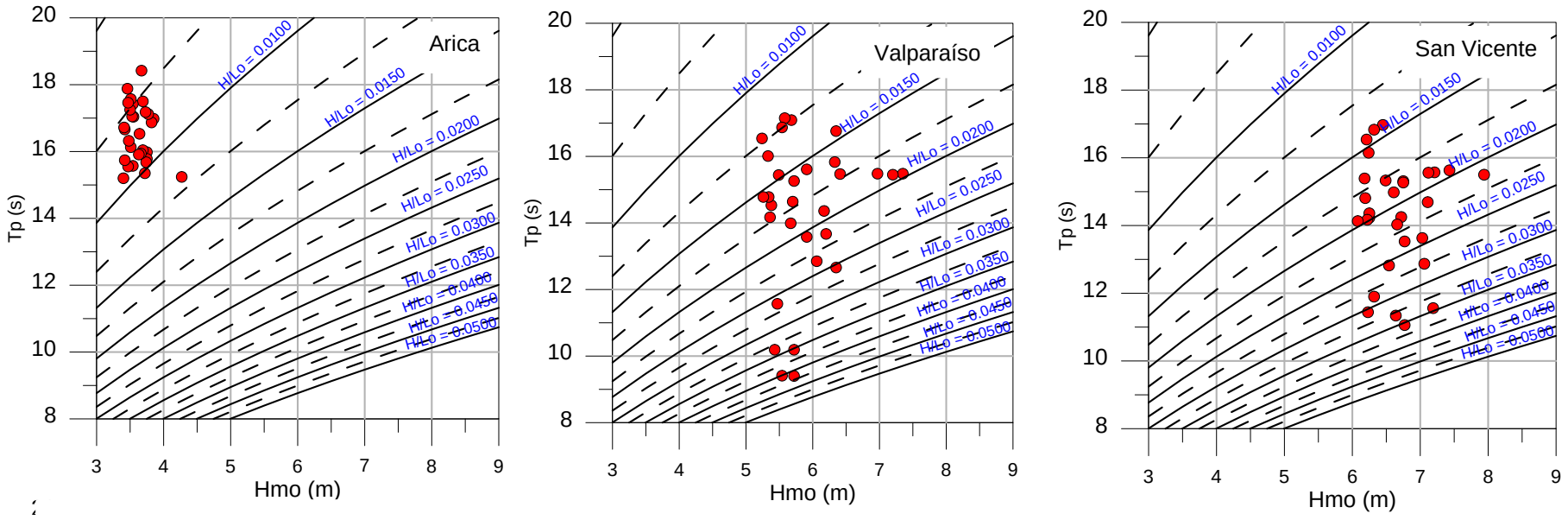


FIG. 14: Análisis del peralte del oleaje por localidad.

RESULTADOS

CARACTERÍSTICA DEL OLEAJE

Número de ola

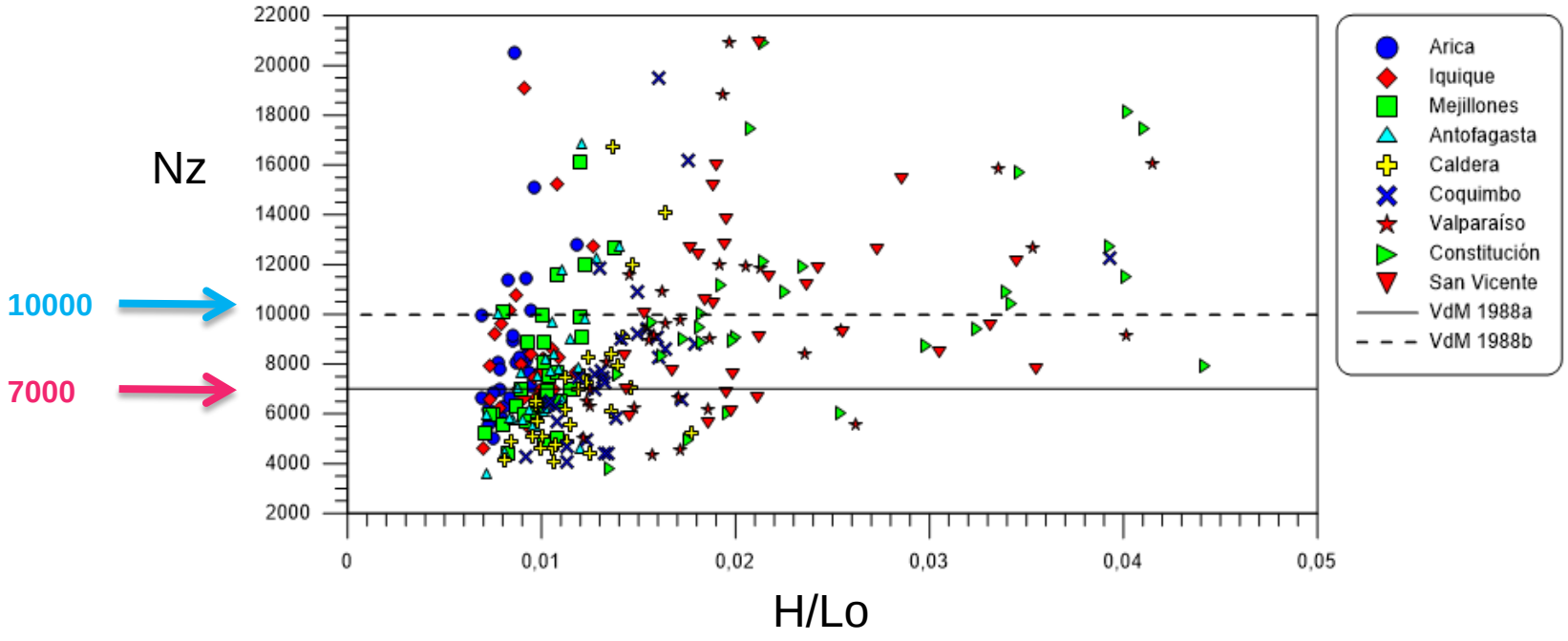


FIG. 15: Análisis del peralte del oleaje por zonas de estudio.

RESULTADOS

CARACTERÍSTICA DEL OLEAJE

Número de ola

- Van der Meer (1988a)

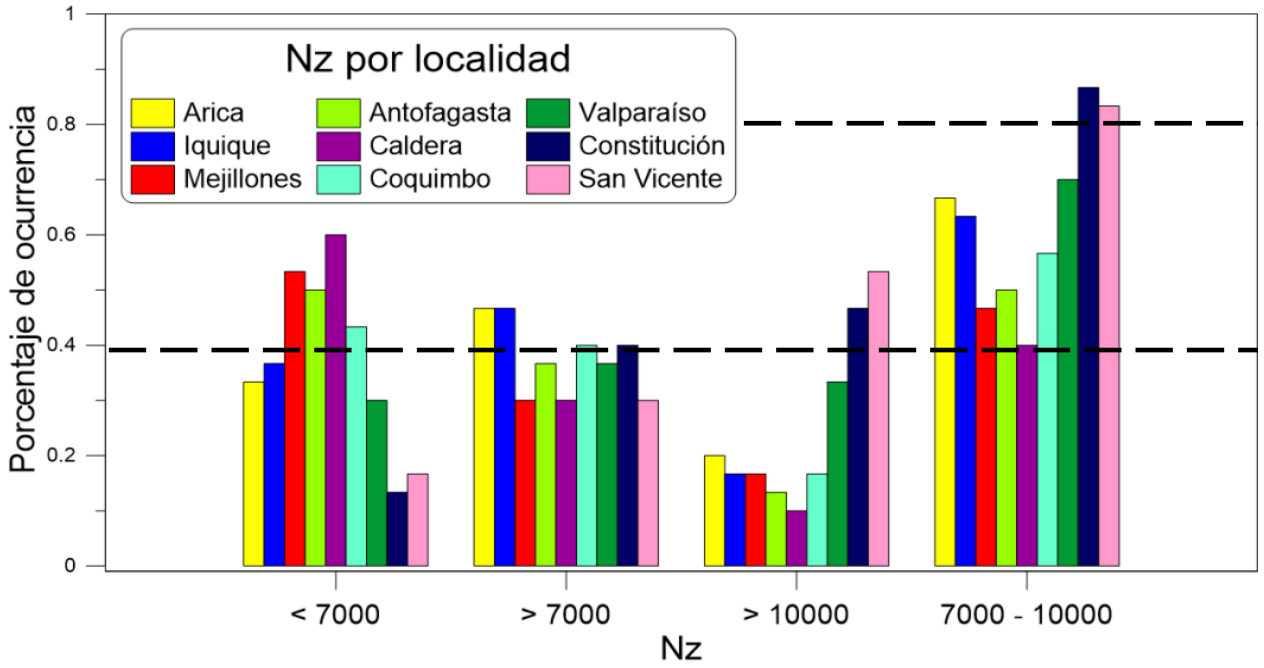


FIG. 16: Número de ola (Nz) para las localidades de estudio.

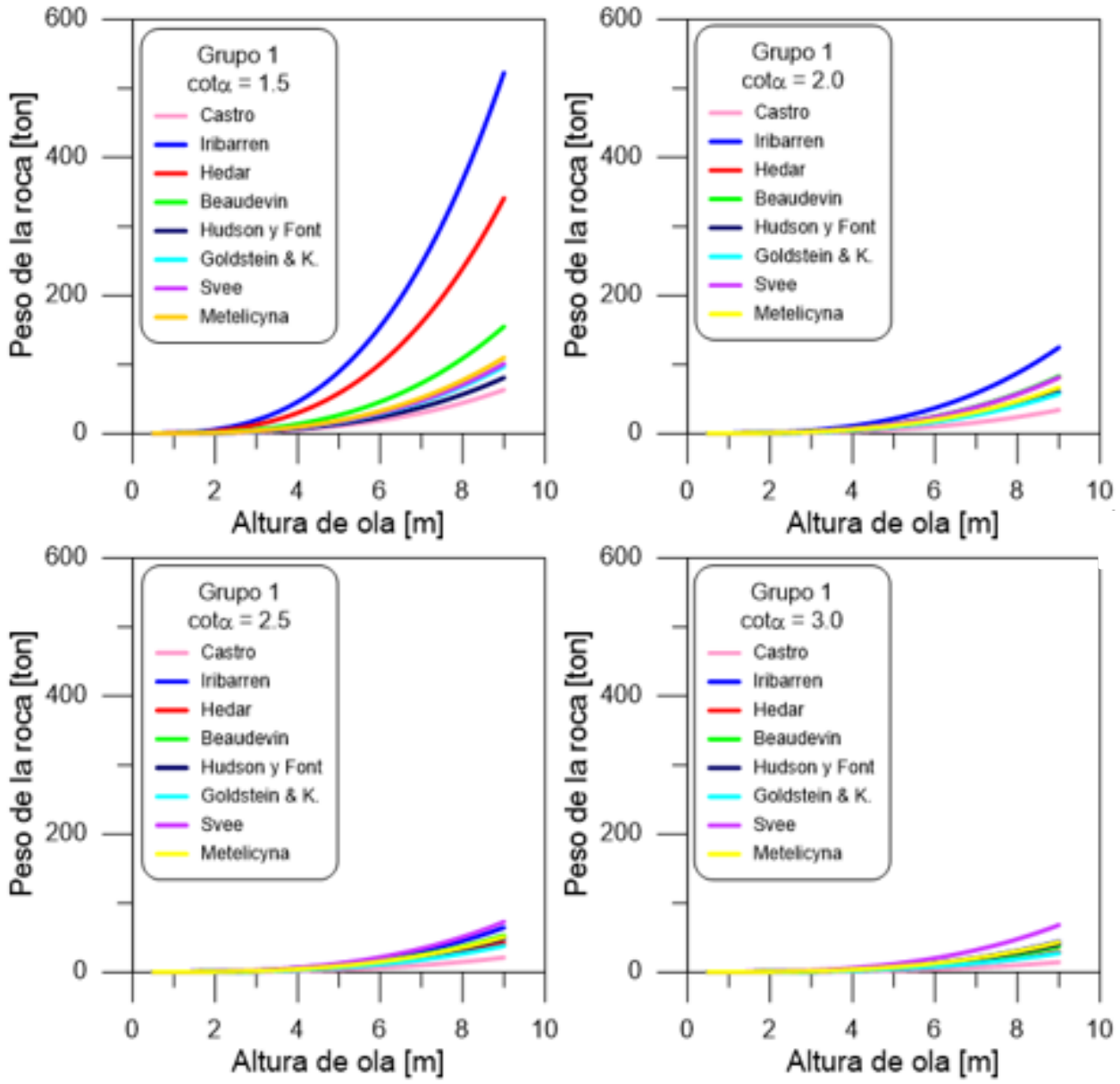


FIG. 17: Comparación de formulaciones del Grupo 1 analizadas en diferentes taludes.

Profundidades:

5 [m] **10 [m]** **15 [m]**

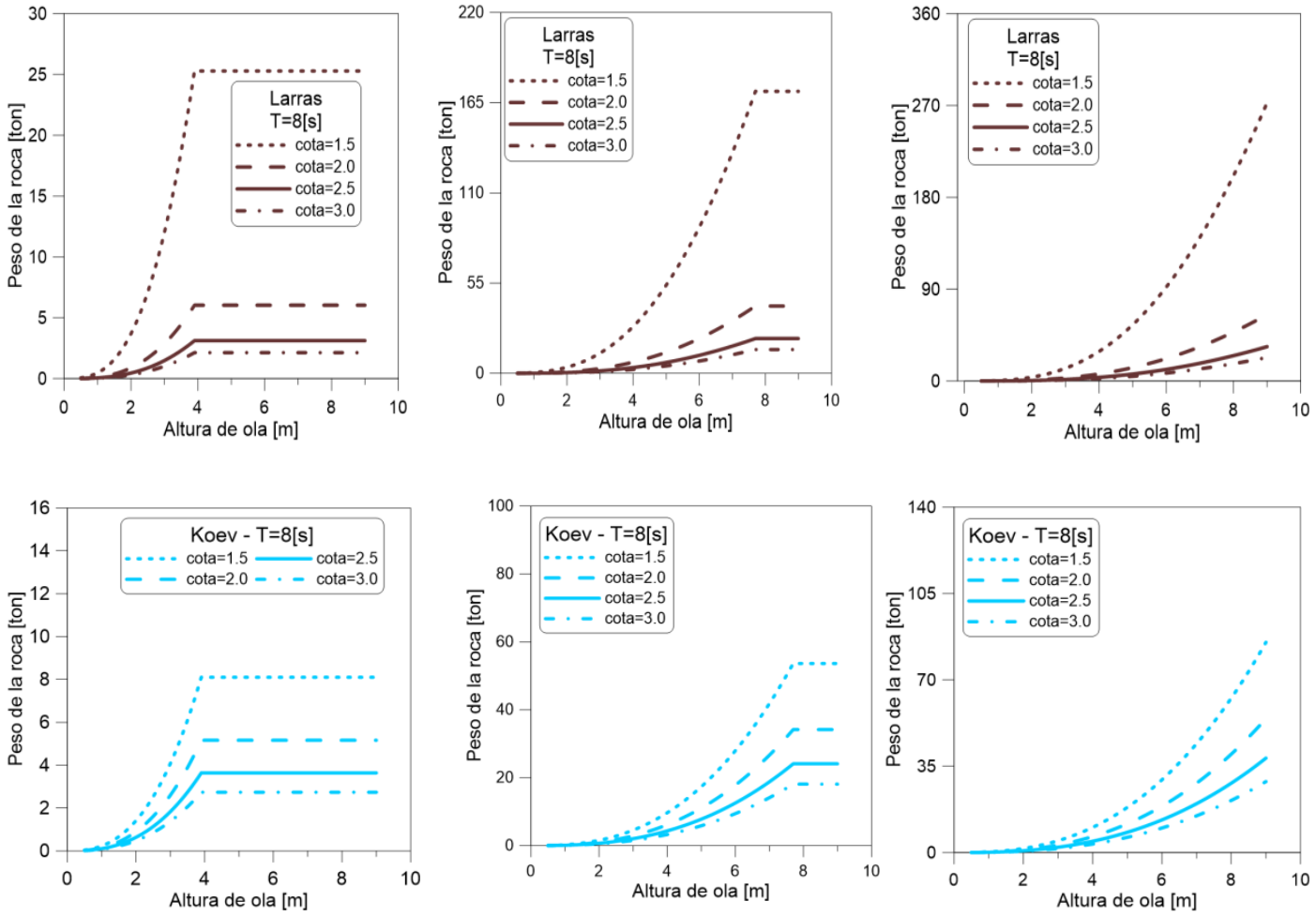


FIG. 18: Comparación de formulaciones del Grupo 4 analizadas en diferentes taludes.

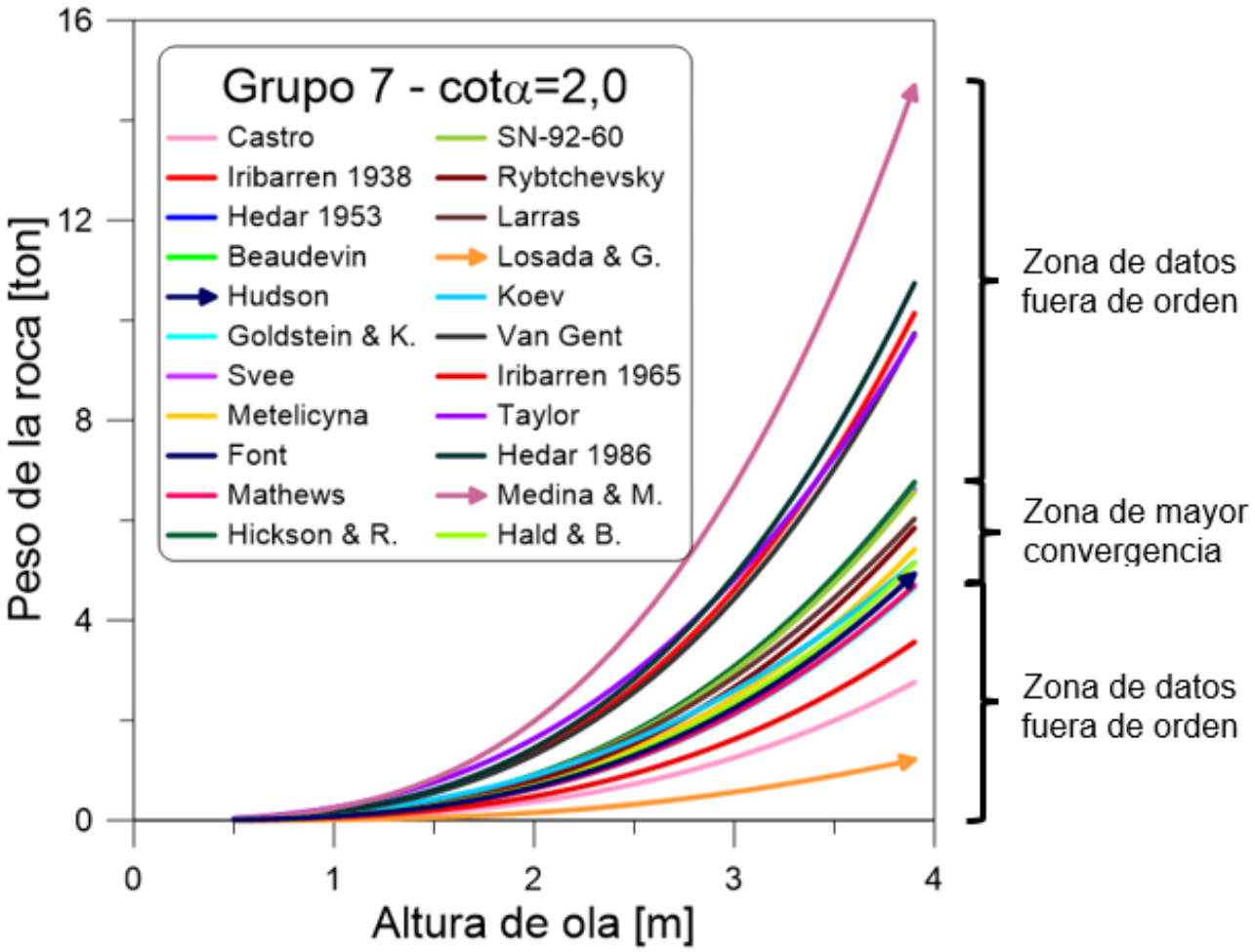


FIG. 19: Comparación de formulaciones del Grupo 7 analizadas en diferentes taludes.

RESULTADOS

ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Grupo 8

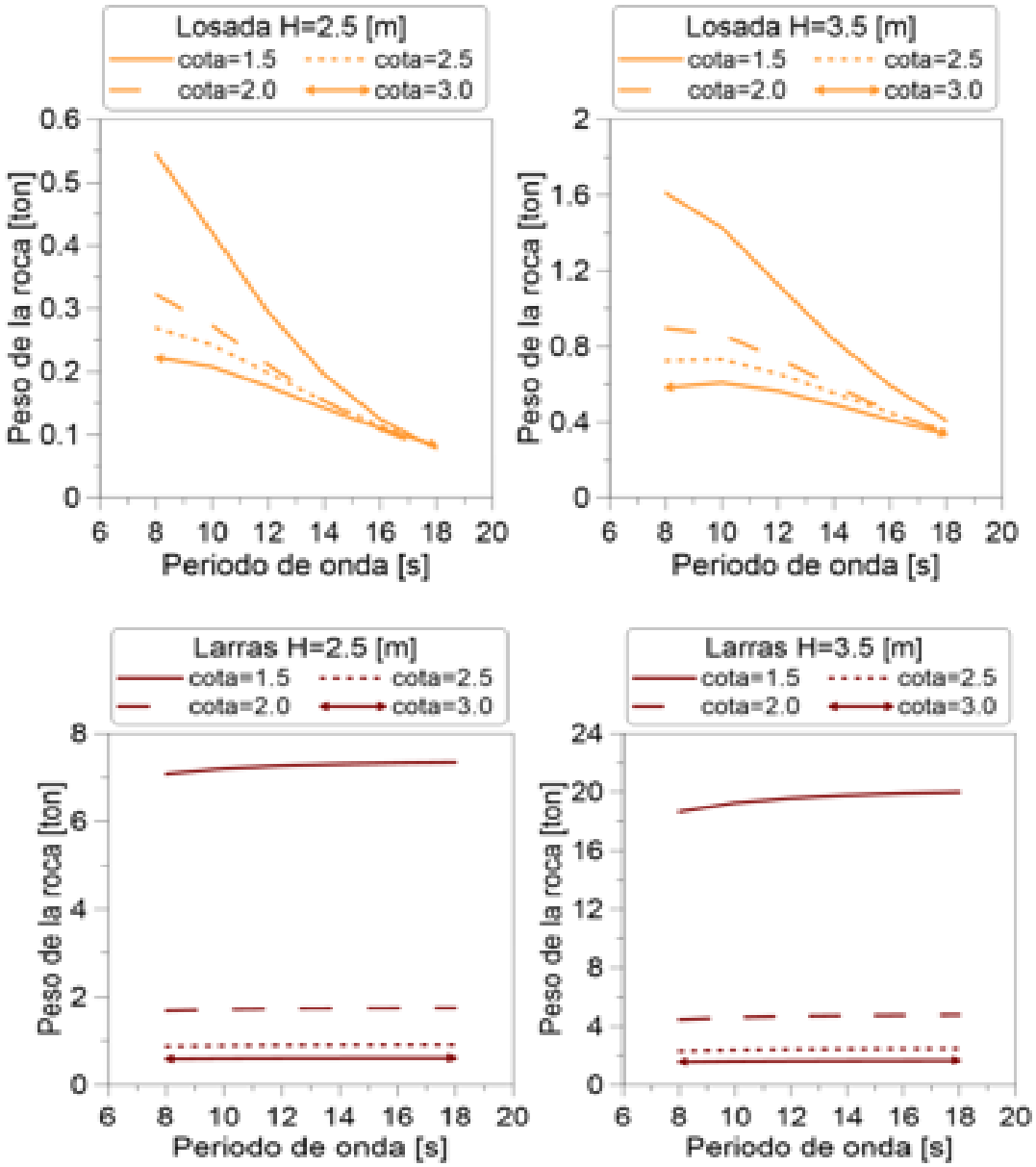


FIG. 20: Comparación de formulaciones del Grupo 8 analizadas en diferentes taludes.

PROYECTOS EN CHILE

FÓRMULA UTILIZADA

Para la mayoría de los estudios analizados (5/6) se utilizó la fórmula de Hudson (1959).

Rango propuesto por el INH: 1.0 – 4.5 [ton]

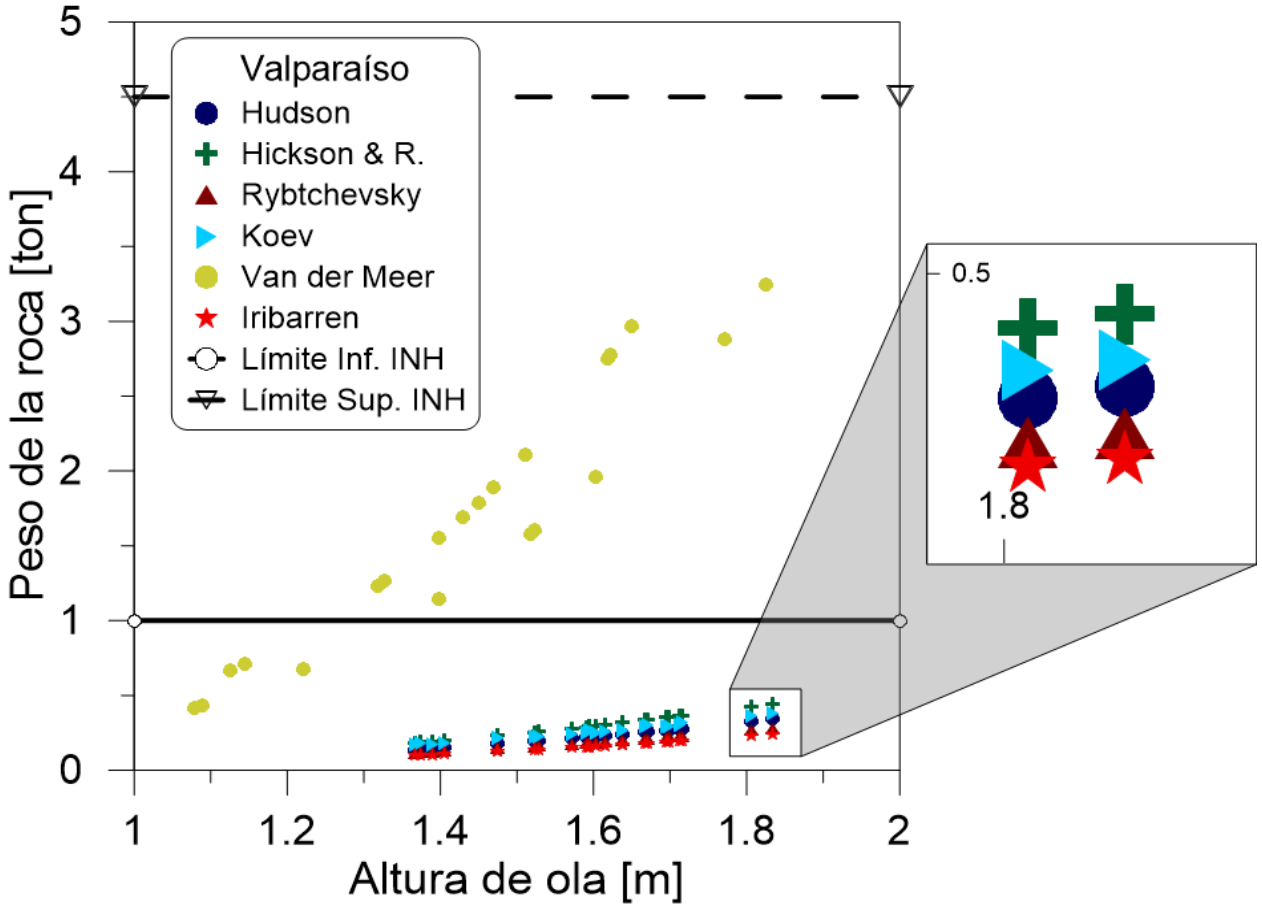


FIG. 21: Pesos de roca en el estudio de Valparaíso - Alternativa 1.

Rango propuesto por el INH: 1.0 – 4.5 [ton]

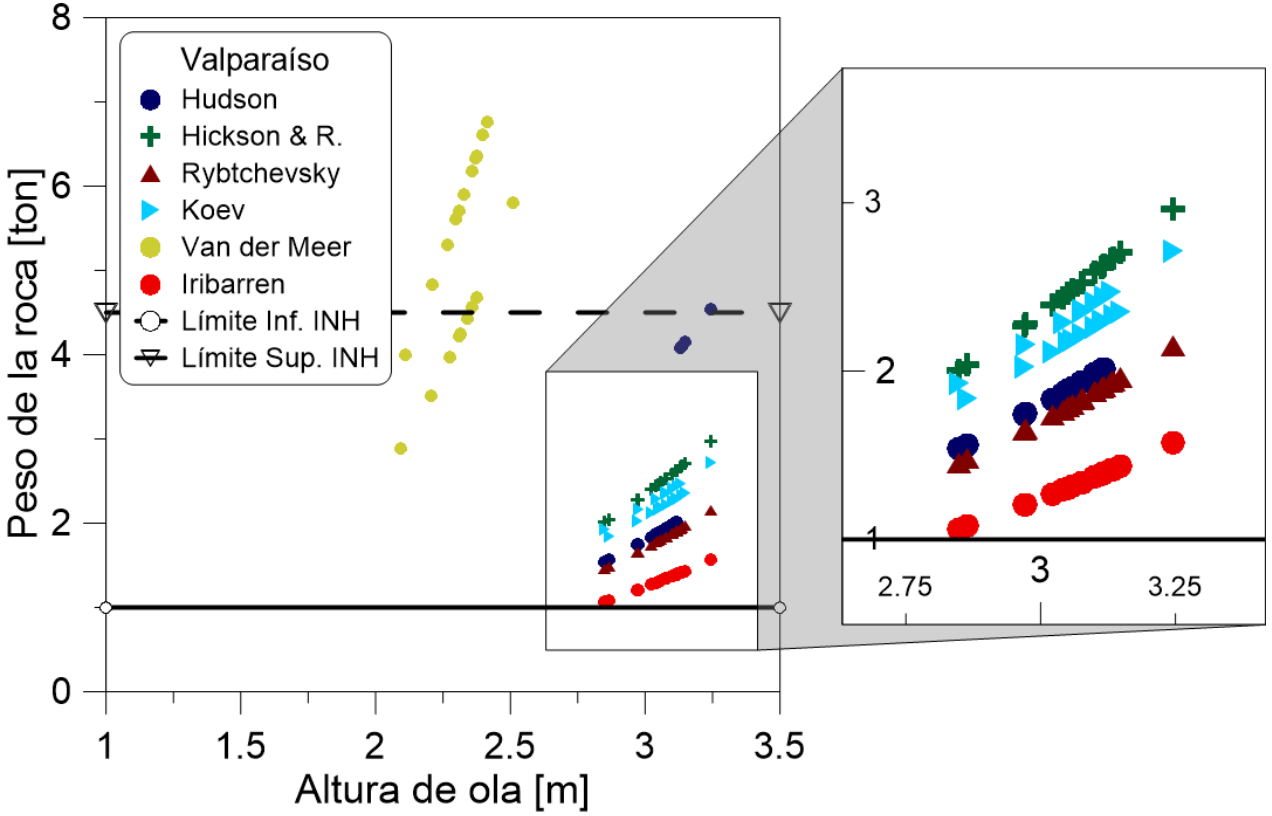


FIG. 22: Pesos de roca en el estudio de Valparaíso - Alternativa 2.

Rango propuesto por el INH: 1.0 – 4.0 [ton]

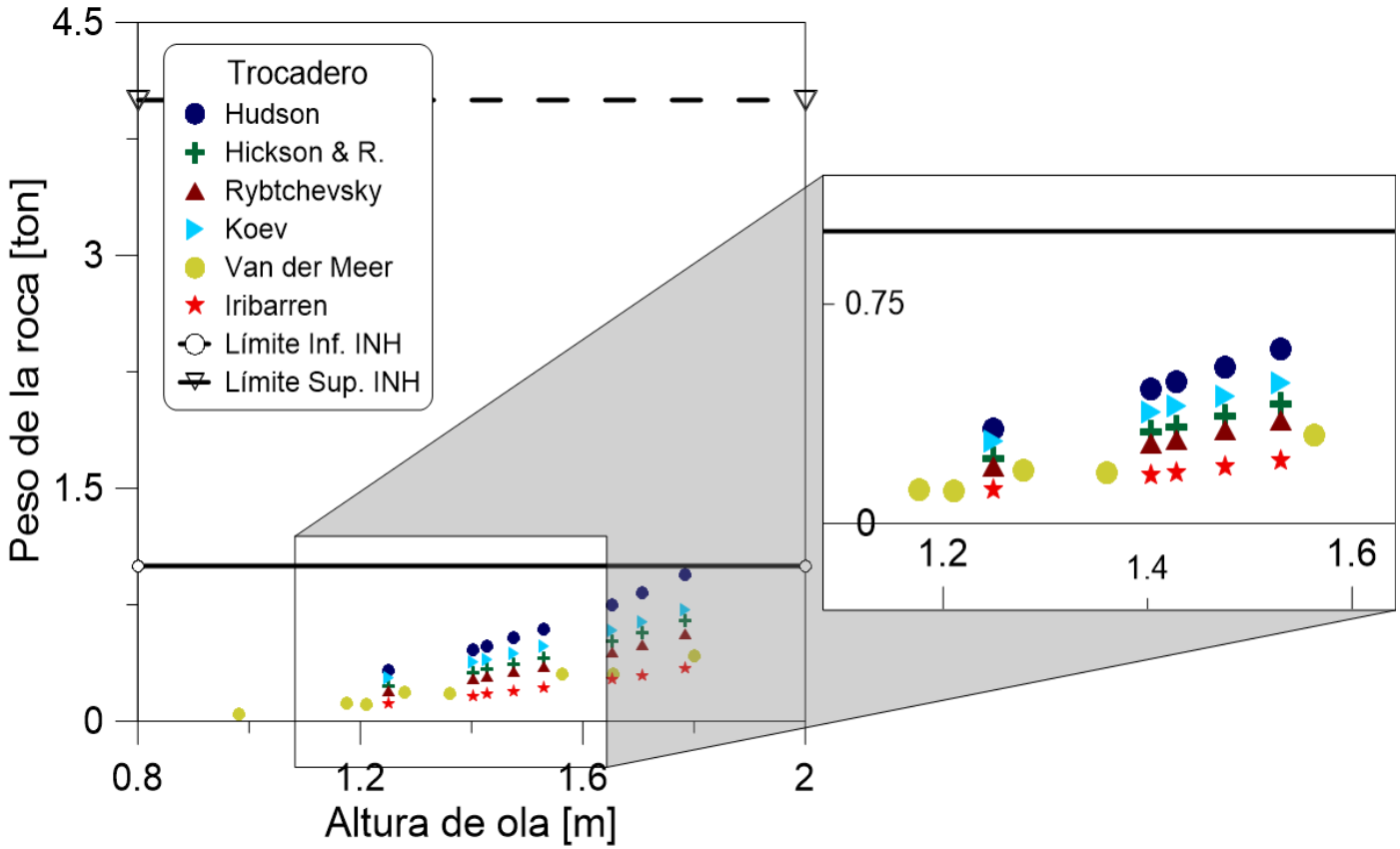


FIG. 23: Pesos de roca en el estudio de Trocadero.

Rango propuesto por el INH: 4.0 – 7.0 [ton]

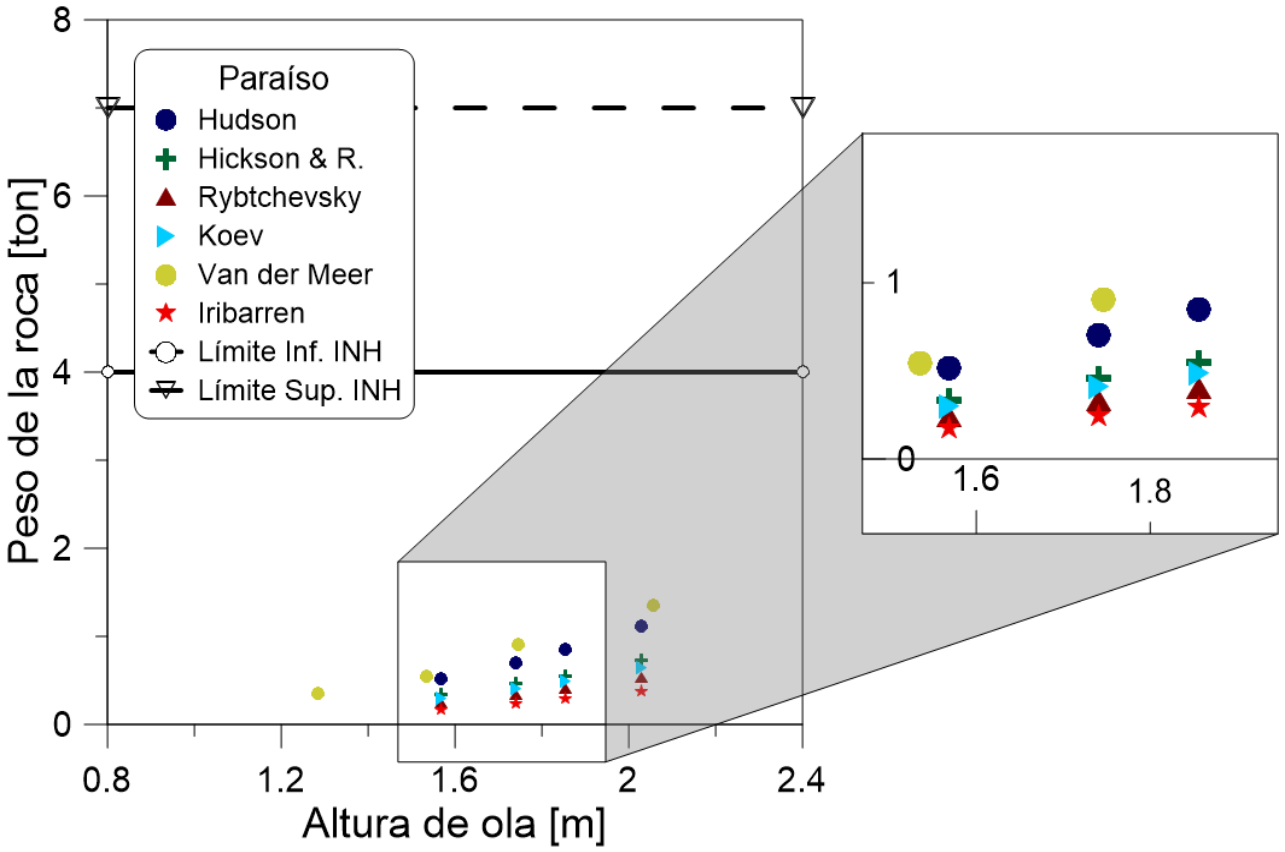


FIG. 24: Pesos de roca en el estudio de Paraíso.

Rango propuesto por el INH: 4.0 – 6.0 [ton]

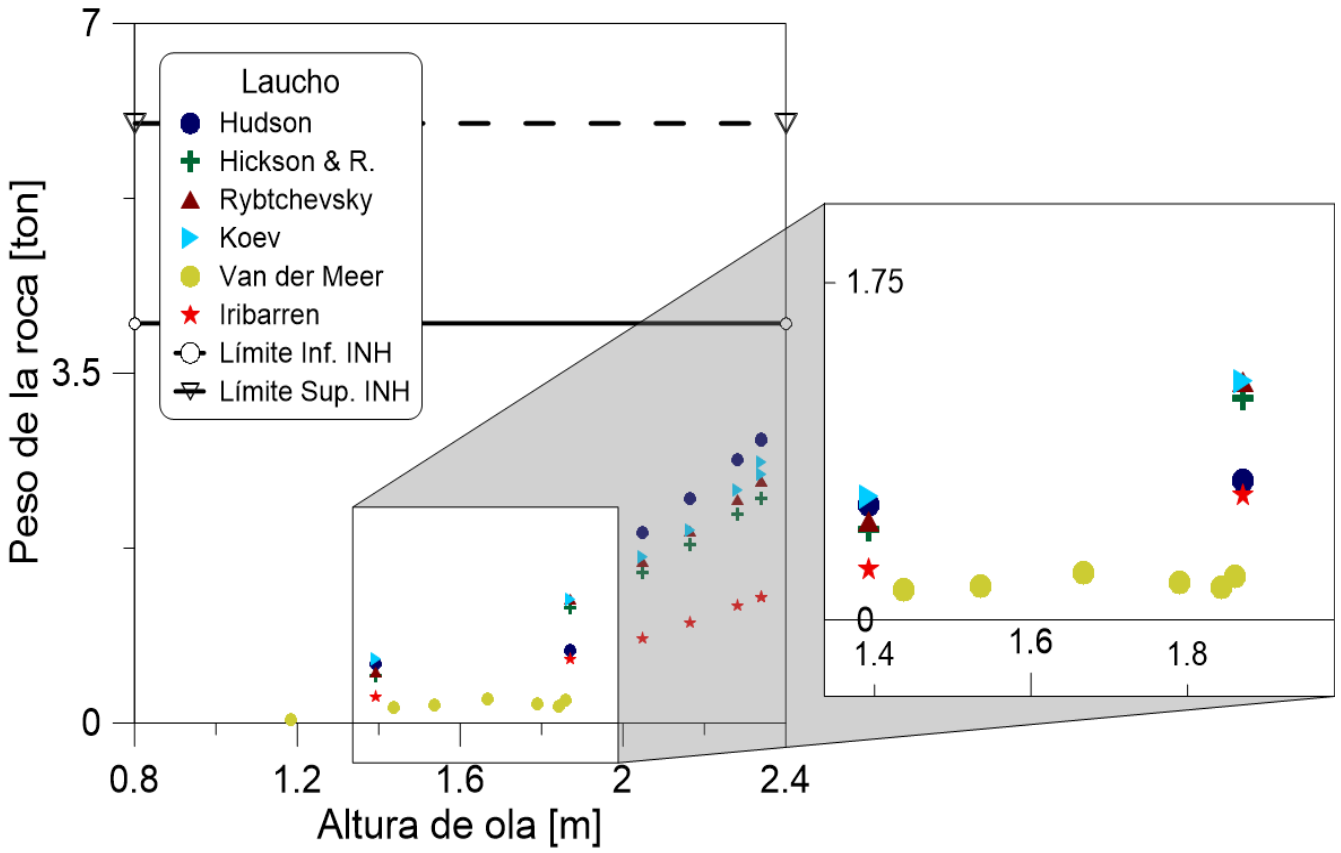


FIG. 25: Pesos de roca en el estudio de El Laucho

Rango propuesto por el INH: 8.0 – 10 [ton]

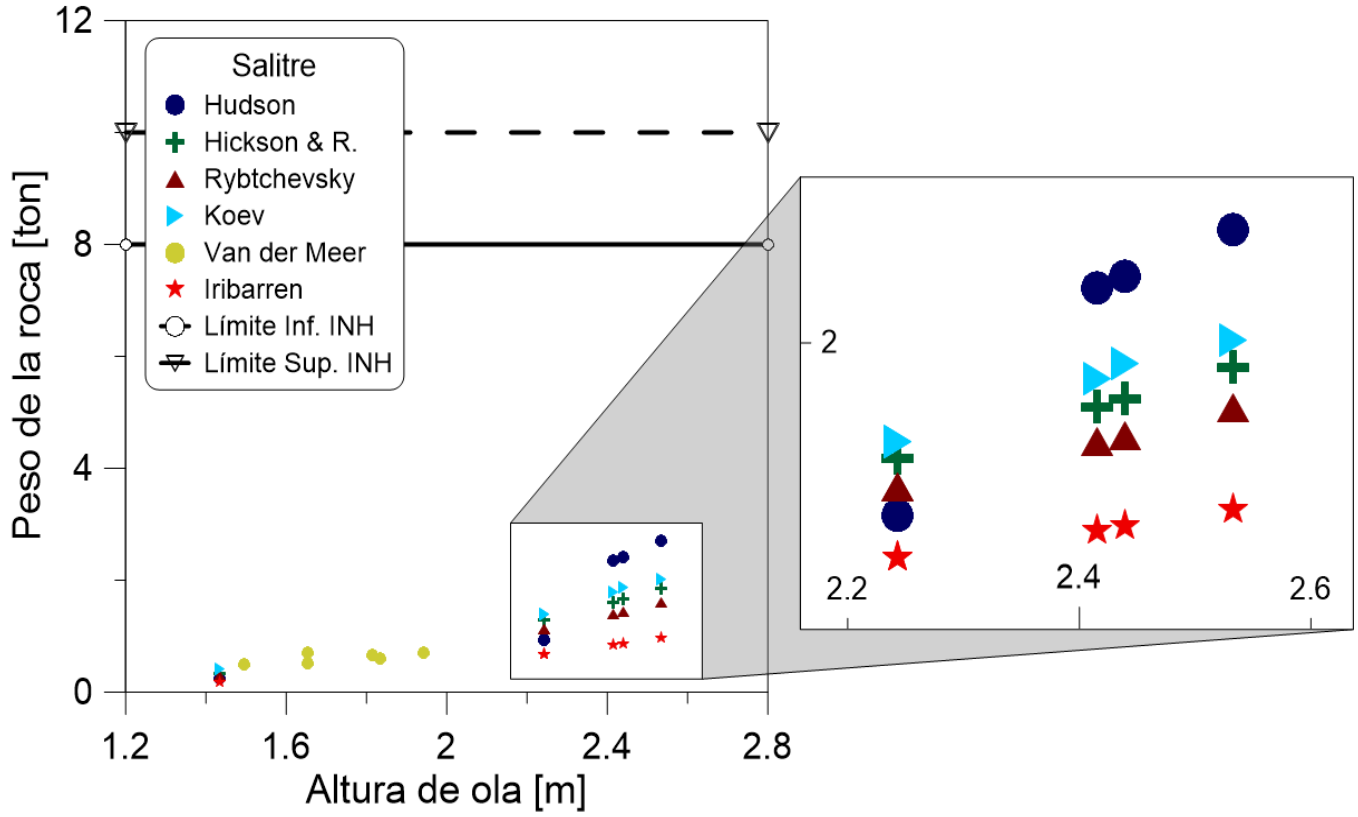


FIG. 26: Pesos de roca en el estudio de El Salitre – Alternativa 1

Rango propuesto por el INH: 8.0 – 12 [ton]

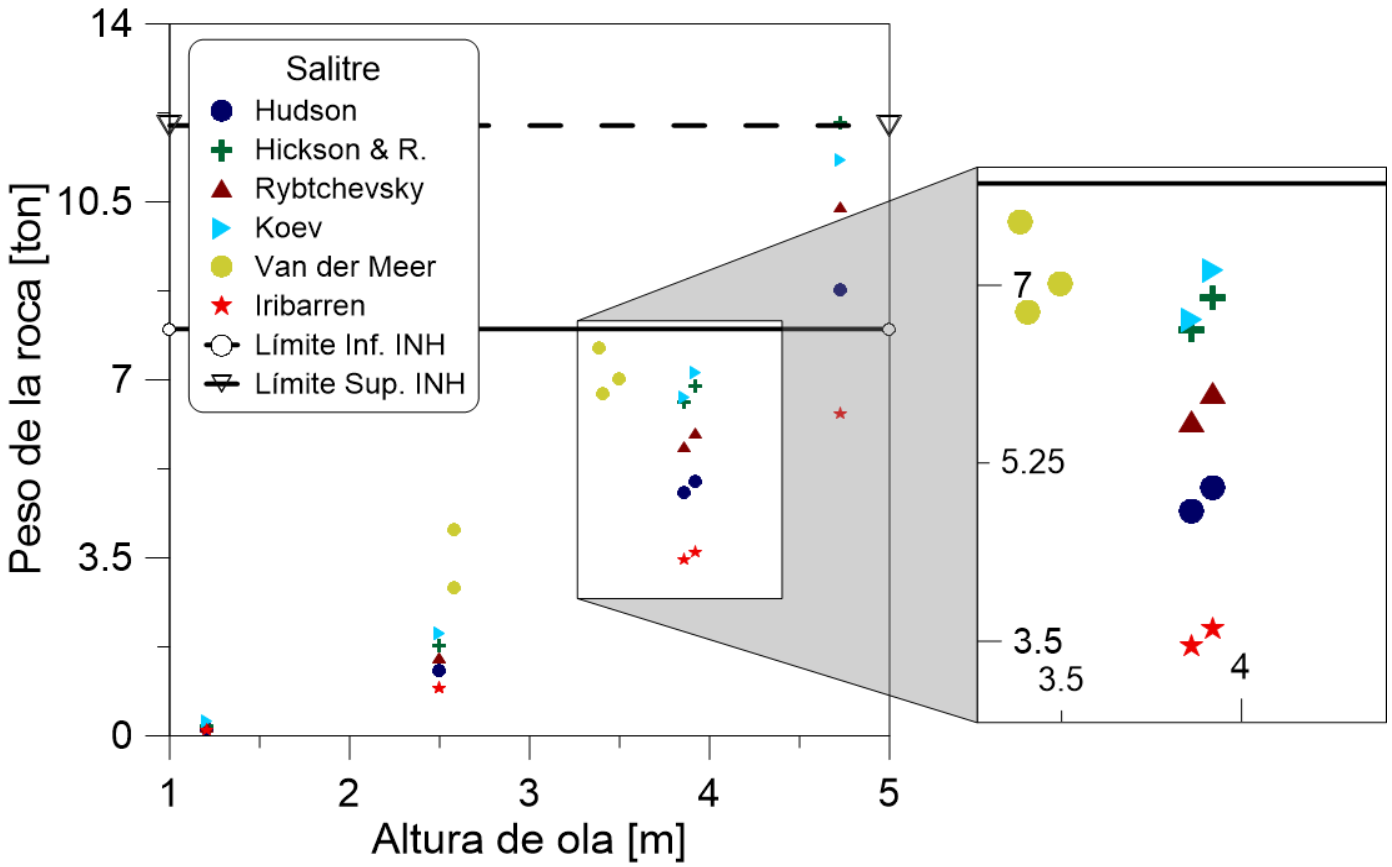


FIG. 27: Pesos de roca en el estudio de El Salitre – Alternativa 2

Rango propuesto por el INH: 5.8 - 9.7 [ton]

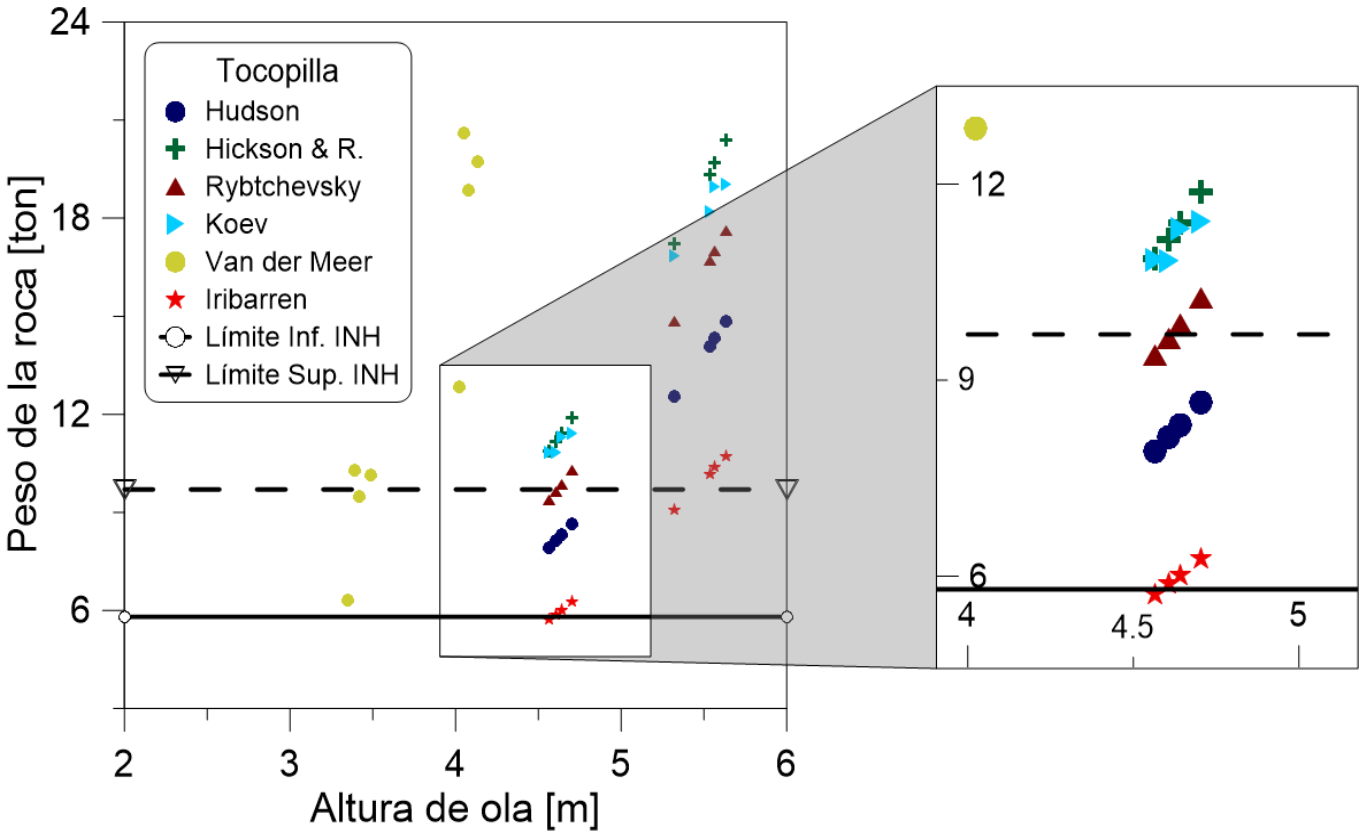


FIG. 28: Pesos de roca en el estudio de Tocopilla

COMENTARIO GENERAL

¿Son óptimos los rangos propuestos por el INH?

Probablemente no, pero cumplen.

COMENTARIO GENERAL

Los valores fuera de rango probablemente se deban a:

- Falta de sensibilización en los tamaños de la escollera para optimizar el diseño.
- Aproximaciones conservadoras.
- Modelos físicos que consideran efectos que no se incluyen en las fórmulas.
- Sobreestimación de pesos.

COMENTARIO GENERAL

Las fórmulas: ¿Son aplicables a Chile?

Existe mucha incertidumbre

COMENTARIO GENERAL

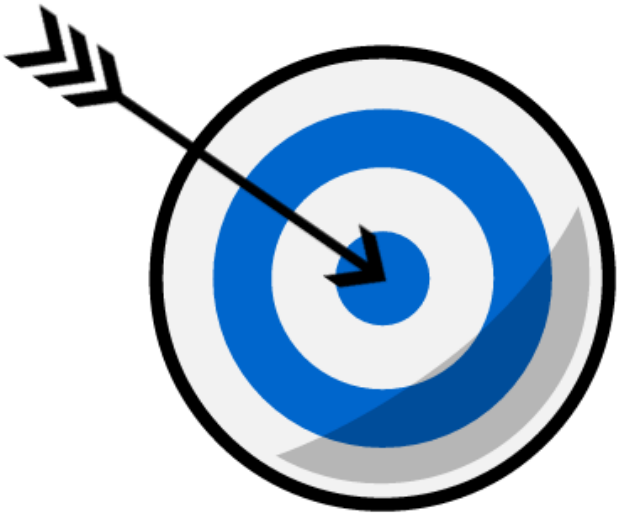
¿Por qué Hudson (1959)?

Hasta la época se siguen perfeccionando

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

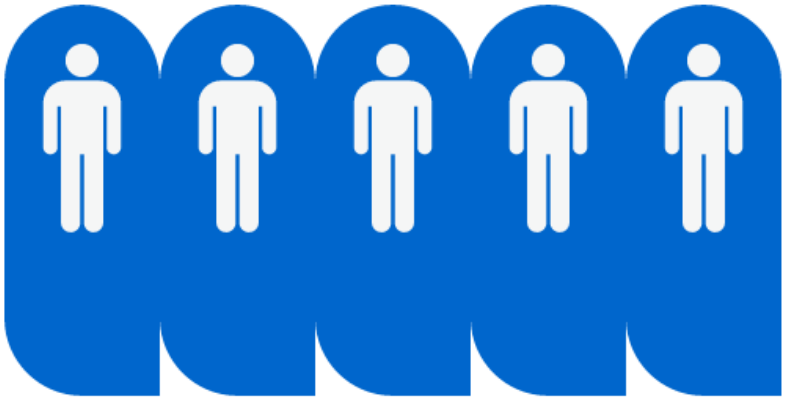
CONSIDERACIONES



Trigonometría y constantes: Ajuste preciso

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSIDERACIONES



Autores: múltiples metodologías

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSIDERACIONES

Set de datos y características:

establecidos en un laboratorio

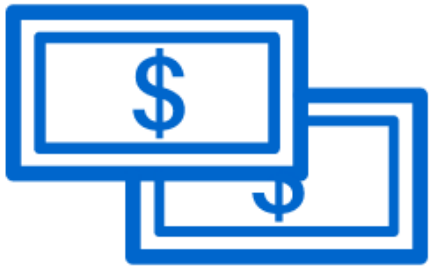
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSIDERACIONES

Experiencia del diseñador y requerimientos

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSIDERACIONES



Recursos y tiempo disponible

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONSIDERACIONES

Disponibilidad de cantera

Teoría v/s práctica

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

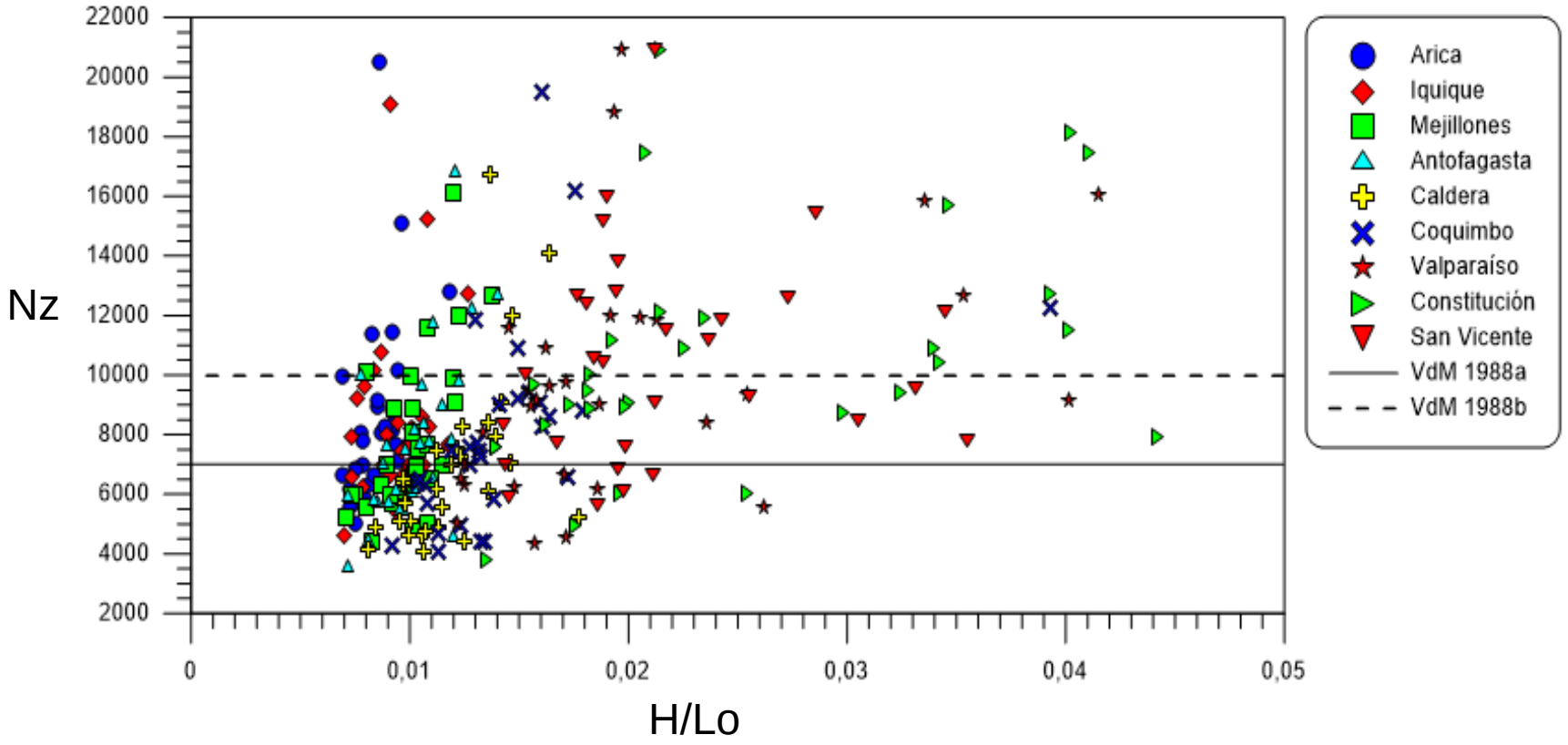


FIG. 29: Análisis del peralte del oleaje por zonas de estudio.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Inclinación del talud igual a 1.5 presenta tonelajes de roca elevados que se alejan de la realidad

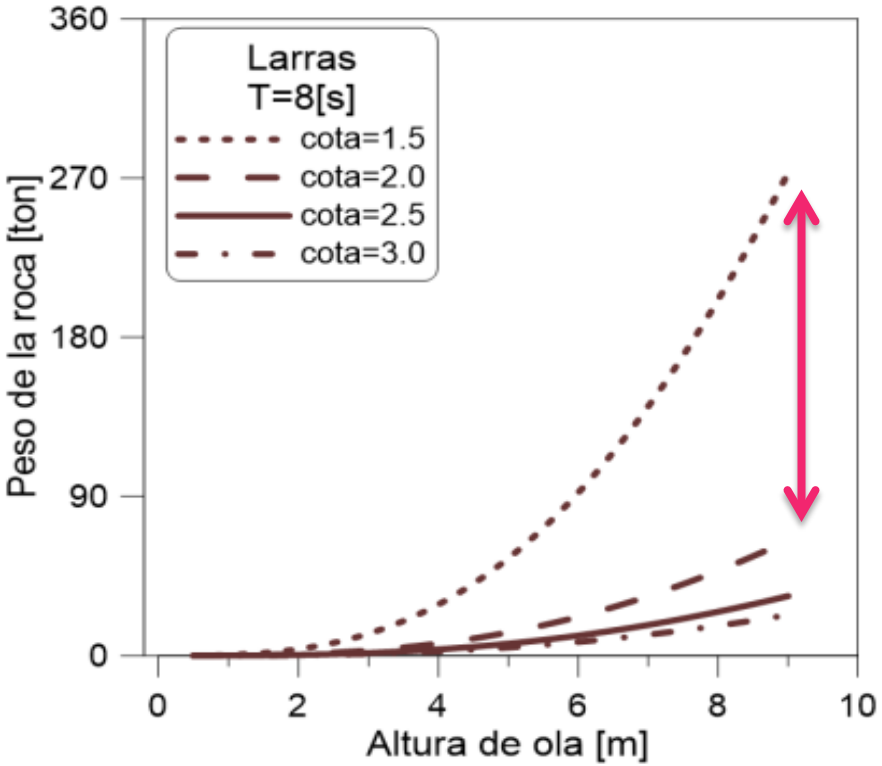


FIG. 30: Variación del peso de roca en relación al talud.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido al amplio espectro de parámetros e incertidumbre, se recomienda de manera categórica el ensayo de un modelo a escala.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Eventualmente se recomienda incluir ensayos de laboratorio para la verificación de una ecuación de diseño chilena que pueda satisfacer las necesidades específicas del país y se incluya en:

“Guía para el Diseño, Construcción y Conservación de Obras Marítimas y Costeras” generada por la DOP para el MOP en el año 2013.

MUCHAS GRACIAS