

Ingeniería Civil Oceánica

Universidad de Valparaíso



UNIVERSIDAD
DE
VALPARAISO



MEMORIA DE PROYECTO DE TÍTULO

ESTUDIO DEL SOBREPASO EN AVENIDA PERÚ MEDIANTE EL SOFTWARE CFD - olaFOAM

DESARROLLADO POR: STEPHANIE FRITZ MUSCAT



Fuente: Elaboración propia. Escollera de protección Avenida Perú.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONTENIDOS

1. **INTRODUCCIÓN**
2. **OBJETIVOS**
3. **ALCANCES Y LIMITACIONES**
4. **ANTECEDENTES**
 - a. **DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO**
 - b. **PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”**
5. **MARCO TEÓRICO**
 - a. **MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA**
 - b. **OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM**
 - c. **CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE**
6. **METODOLOGÍA**
 - a. **PRE – PROCESO**
 - b. **POST – PROCESO**
7. **RESULTADOS**
 - a. **VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES**
 - b. **SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN**
 - c. **COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS**
 - d. **COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS**
8. **CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS**

INTRODUCCIÓN



Fuente: Dmaps, mapas gratuitos (2018)



Fuente: Canal 24 Horas (2017)

INTRODUCCIÓN



Fuente: INH (2016)



Fuente: Manual olaFOAM (2016)



Fuente: The OpenFOAM Foundation ©

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar el sobrepaso de la defensa costera de Avenida Perú ante condiciones de oleaje extremo por medio del modelo numérico CFD – olaFOAM y evaluar las alternativas de mejoramiento propuestas por INH.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Entender y analizar el funcionamiento del modelo CFD – olaFOAM.
- Determinar el porcentaje de disminución del sobrepaso en las alternativas de mejoramiento propuestas con respecto a la situación actual, a partir de los parámetros más desfavorables analizados por el INH.
- Determinar velocidades máximas teóricas tolerables y realizar una comparación entre estos valores con los obtenidos mediante el modelo numérico.
- Analizar, evaluar y comparar los datos obtenidos a través de la modelación numérica, de las formulaciones empíricas de EurOtop (2007 y 2016) y de los datos obtenidos por el INH mediante la modelación física.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. **ALCANCES Y LIMITACIONES**
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

ALCANCES Y LIMITACIONES

ALCANCES

- La geometría de los modelos se desarrolla y se trabaja en Linux, con el programa de diseño llamado Blender.
- Se trabaja con las ecuaciones RANS y con las ecuaciones de cierre $k - \epsilon$ para modelar la turbulencia.
- Las condiciones iniciales de los parámetros de oleaje y las condiciones de frontera del modelo numérico se ajustan a lo utilizado en el proyecto "Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra".
- La condición inicial de la superficie libre es determinada para la situación más desfavorable del sobrepaso, lo que incluye la suma de diferentes componentes naturales (marea astronómica y meteorológica, cambio climático, etc.). Este dato es entregado por el INH.
- La teoría utilizada para este Proyecto de Título corresponde a la teoría de oleaje irregular de primer orden (Irregular Wave – First Order), ya que ésta fue la utilizada por el INH para la generación del oleaje en el modelo físico.
- El perfil batimétrico analizado es un perfil promedio obtenido mediante un estudio en terreno realizado por el INH.
- La información utilizada para el desarrollo de este Proyecto de Título fue proporcionada por la DOP, y fue autorizada mediante el documento ORD. DOP N° 1236 con fecha 14-11-2017.

ALCANCES Y LIMITACIONES

LIMITACIONES

- Distinta condición de borde en la paleta generadora.
- Reducción del dominio espacial.
- No se realizó calibración en los modelos numéricos debido a:
 - Determinación de parámetros del cierre de la turbulencia sobrepasa conocimientos de pregrado.
 - Distinta condición de borde en la generación.
- Factores de fricción de la escollera fueron extraídos de análisis de sensibilidad.
- Factores meteorológicos (viento y campos de presión) no son considerados.
- Por limitaciones de tiempo y costos computacionales, se analizó condición de oleaje más desfavorable con nivel de marea extremo.
- Presencia de ondas evanescentes en la señal de desnivelaciones ingresada.
- Simulación de 20 [min] de prototipo (220 [s] escalados) del estado de mar.
- No se realizó diseño estructural.
- No se resolvió transporte de sedimentos, ni corrientes (transversales y longitudinales) ni daños.
- Rocas y dolos fueron trabajados como medios porosos.
- No se desarrollaron las etapas 3A y 4 del proyecto “Diseño conservación defensas costeras sectores Avenida Perú y Juan de Saavedra”

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

ANTECEDENTES

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

ANTECEDENTES

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO



Talud de la protección de piletas



Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

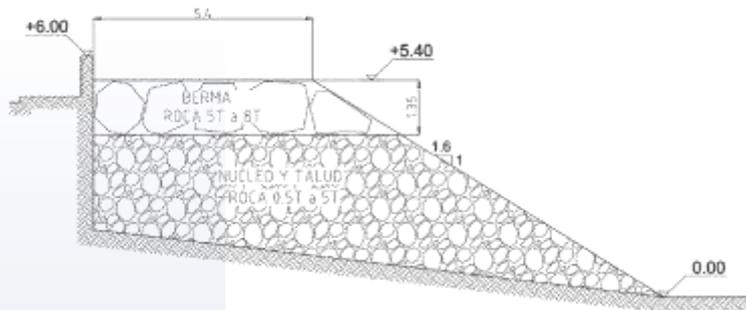
CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

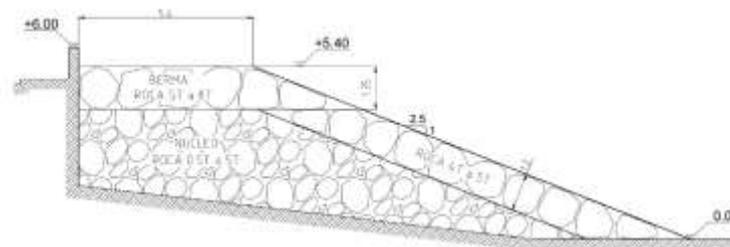
ANTECEDENTES

PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”

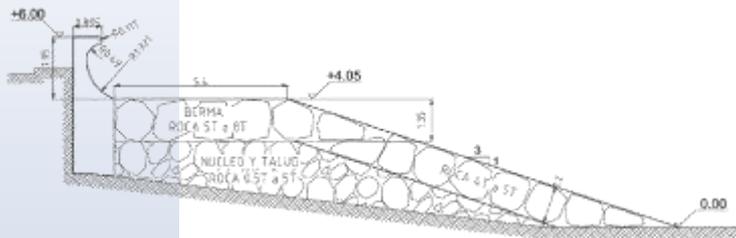
Obra actual o diagnóstico



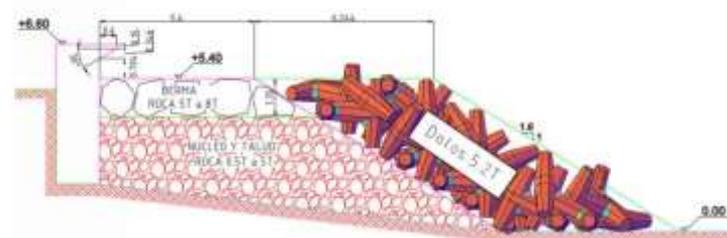
Alternativa 01



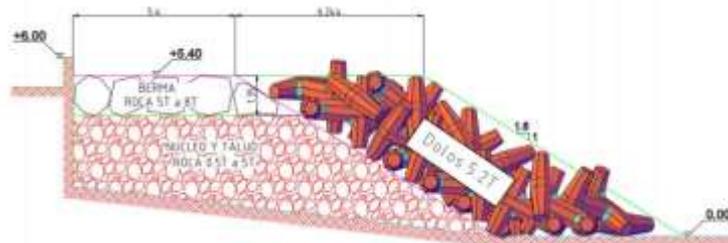
Alternativa 02



Alternativa 03



Alternativa Optimizada



ANTECEDENTES

PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”

Nivel de marea:

$NM = \text{Marea astronómica máx.} + \text{Marea meteorológica INH} + \text{Cambio climático}$

$$NM = 1.85 [mNRS] + 0.5 [mNRS] + 0.33 [mNRS] \Rightarrow NM = 2.68 [mNRS]$$

Condiciones de oleaje:

ENSAYO	PROTOTIPO		MODELO	
	H_{m0} [m]	T_p [s]	H_{m0} [m]	T_p [s]
EB1	4	11.9	0.13	2.2
EB2	4	17.6	0.13	3.2
EB3	4.5	11.9	0.15	2.2
EB4	4.5	17.6	0.15	3.2
EB5	5	11.9	0.17	2.2
EB6	5	17.6	0.17	3.2
EB7	5.6	11.9	0.19	2.2
EB8	5.6	17.6	0.19	3.2

Fuente: INH (2016)

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

MARCO TEÓRICO

MODELACIÓN FÍSICA



Fuente: INH (2016)

- Semejanza geométrica → Dimensiones proporcionales.
- Semejanza cinemática → Velocidades proporcionales.
- Semejanza dinámica → Fuerzas proporcionales.

Relación de escala en modelos físicos:

$$\lambda_l = \frac{l_M}{l_P}$$

$$\lambda_a = \lambda_l^2 = \left(\frac{l_M}{l_P}\right)^2$$

$$\lambda_v = \lambda_l^3 = \left(\frac{l_M}{l_P}\right)^3$$

$$\lambda_t = \sqrt{\lambda_l}$$

$$\lambda_m = \lambda_l^3$$

MARCO TEÓRICO

MODELACIÓN NUMÉRICA

Modelos de Flujo Potencial:

- Resuelven versiones simplificadas de las ecuaciones de Navier Stokes, promediando las variables en la vertical bajo hipótesis euleriana, asumiendo el fluido como un continuo.
- Son modelos bidimensionales.
- Ideales para simular propagación de ondas que involucran fenómenos físicos de refracción, difracción y asomeramiento en dominios de gran tamaño y extensas series de tiempo con bajo costo computacional.
- No es posible caracterizar el oleaje incidente en estructuras altamente reflectantes, ni resolver rotura de oleaje.

MODELO NUMÉRICO	DESARROLLADOR	CÓDIGO ABIERTO	ECUACIONES DE GOBIERNO
SWASH	Delft University	SI	NLSW
FUNWAVE	Fengyan Shi et al.	SI	Boussinesq
COULWAVE	Cornell University	SI	Boussinesq
MIKE21 BW	DHI	NO	Boussinesq

Fuente: Elaboración propia.

MARCO TEÓRICO

MODELACIÓN NUMÉRICA

Modelos de Navier – Stokes:

- Enfoque euleriano:
 - Consideran el fluido como un continuo.
 - Resuelven las ecuaciones de Navier – Stokes por aproximación numérica (RANS, VARANS, etc.).
- Enfoque lagrangiano
 - Consideran el fluido como un conjunto de partículas.
 - Discretizan las ecuaciones de Navier – Stokes.

MODELO NUMÉRICO	DIMENSIONALIDAD	DESARROLLADOR	CÓDIGO ABIERTO	FASES DE FLUIDO	ECUACIONES DE GOBIERNO	MEDIO POROSO
COBRAS	2D	Cornell University	NO	1	RANS / VARANS	NO
COBRAS - UC	2D	Universidad de Cantabria	NO	1	RANS / VARANS	SI
VOFbreak	2D	Peter Troch y Julien de Rouck	SI	2	RANS / VARANS	SI
IH2VOF	2D	IH Cantabria	SI	1	RANS / VARANS	SI
IH3VOF	3D	IH Cantabria	SI	1	RANS / VARANS	SI
IHFOAM	3D	IH Cantabria	SI	2	RANS / VARANS	SI
OLAFOAM	3D	Pablo Higuera	SI	2	RANS / VARANS	SI
SPHysics	3D	Dalrymple et al	NO	1	SPH	NO
GPUSPH	3D	ATHOS Research Program	SI	2	SPH	NO

Fuente: Elaboración propia.

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

MARCO TEÓRICO

OpenFOAM – SOLUCIONADOR oIaFOAM (ECUACIONES DE GOBIERNO)

- Ecuación de continuidad: $\frac{\partial \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_i} = 0$

- Ecuación de momentum:

$$\frac{\partial \rho \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\frac{1}{\phi} \rho \langle \bar{u}_i \rangle \langle \bar{u}_j \rangle \right] = -\phi \frac{\partial \langle \bar{p}^* \rangle^f}{\partial x_i} - \phi g_j X_j \frac{\partial \rho}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu_{eff} \frac{\partial \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_j} \right] + \phi F_i^{ST} - [CT]$$

Hipótesis de viscosidad turbulenta: $-\overline{\rho u'_i u'_j} = \mu_{turb} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \Rightarrow \mu_{eff} = \mu + \mu_{turb}$

Fuerza asociada a la tensión superficial: $F_i^{ST} = \sigma \kappa \frac{\partial \alpha}{\partial x_j}$

Modelo de cierre para flujo en medios porosos: $[CT] = [CT]_{ST} + [CT]_{DY}$
 $= -A \phi \langle \bar{u}_i \rangle - B \phi \sqrt{\langle \bar{u}_j \rangle \langle \bar{u}_j \rangle} \langle \bar{u}_i \rangle - C \frac{\partial \rho \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial t} - F_D$

$$A = a \frac{(1 - \phi)^3}{\phi^3} \frac{\mu}{D_{50}^2}$$

$$B = b \left(1 + \frac{7.5}{KC} \right) \frac{1 - \phi}{\phi^3} \frac{\rho}{D_{50}}$$

$$C = 0.34$$

MARCO TEÓRICO

OpenFOAM – SOLUCIONADOR oIaFOAM (ECUACIONES DE GOBIERNO)

- **Ecuación de fracción de fase:**
$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \frac{1}{\phi} \frac{\partial \alpha \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_i} + \frac{1}{\phi} \frac{\partial \alpha (1 - \alpha) \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_i} = 0$$

Densidad de mezcla:
$$\rho = \alpha \rho_{agua} + (1 - \alpha) \rho_{aire}$$

- **Ecuación de energía cinética turbulenta (k):**

$$\frac{\partial \langle k \rangle}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{1}{\phi} \langle k \rangle \langle \bar{u}_j \rangle \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{1}{\phi} \frac{\langle \nu_t \rangle}{\sigma_k} \right) \frac{\partial}{\partial x_i} \langle k \rangle \right] + \langle \epsilon \rangle = \frac{2}{\phi^2} \langle \nu_t \rangle \left| \frac{\partial \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle \bar{u}_j \rangle}{\partial x_i} \right|^2 + [CT]_k$$

- **Ecuación de tasa de disipación de energía cinética turbulenta (ϵ):**

$$\frac{\partial \langle \epsilon \rangle}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{1}{\phi} \langle \epsilon \rangle \langle \bar{u}_j \rangle \right) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{1}{\phi} \frac{\langle \nu_t \rangle}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial}{\partial x_i} \langle \epsilon \rangle \right] + C_{\epsilon_2} \left(\frac{\langle \epsilon \rangle^2}{\langle k \rangle} \right) = \frac{2C_{\epsilon_1}}{\phi^2} \langle \nu_t \rangle \left(\frac{\langle \epsilon \rangle}{\langle k \rangle} \right) \left| \frac{\partial \langle \bar{u}_i \rangle}{\partial x_j} + \frac{\partial \langle \bar{u}_j \rangle}{\partial x_i} \right|^2 + [CT]_\epsilon$$

MARCO TEÓRICO

OpenFOAM – SOLUCIONADOR oIaFOAM (GENERACIÓN DE OLEAJE)

Teorías de oleaje:

- Stokes I, II, V.
- Cnoidal.
- Streamfunction Theory.
- Boussinesq Solitary Wave.
- Irregular Wave (First Order, Second Order).

$$\eta = \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{2} \cos(k_{x_i}x + k_{y_i}y - \omega_i t + \psi_i)$$

$$\overline{u_x} = \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{2} \omega_i \Lambda \frac{\cosh(k_i z^*)}{\sinh(k_i h)} \cos(\theta_i) \cos(\Phi_i)$$

$$\overline{u_y} = \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{2} \omega_i \Lambda \frac{\cosh(k_i z^*)}{\sinh(k_i h)} \cos(\theta_i) \sin(\Phi_i)$$

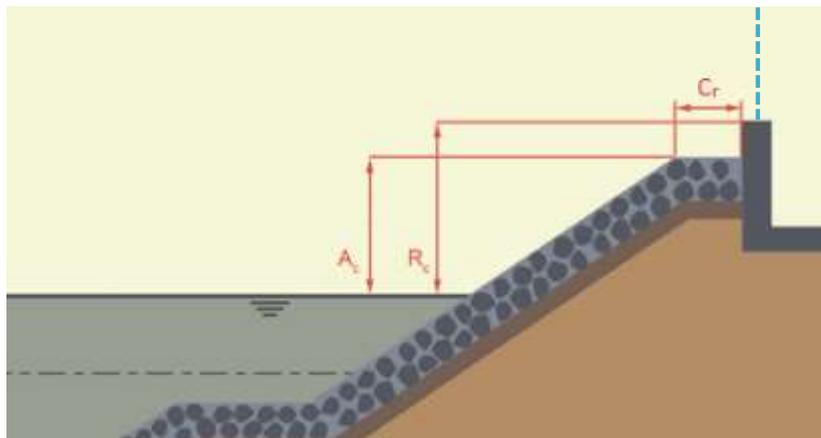
$$\overline{u_z} = \sum_{i=1}^N \frac{H_i}{2} \omega_i \Lambda \frac{\sinh(k_i z^*)}{\sinh(k_i h)} \sin(\theta_i)$$

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. **MARCO TEÓRICO**
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. **CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE**
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

MARCO TEÓRICO

CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE



Fuente: EurOtop (2016)

EurOtop 2007:

- Enfoque de valor medio (\bar{x}):

$$Q = \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot 0.2 \cdot \exp\left(\frac{-2.6 \cdot V_c}{H_{m0} \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f}\right)$$

- Enfoque de evaluación o semi – probabilístico ($\bar{x} + \sigma$):

$$Q = \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot 0.2 \cdot \exp\left(\frac{-2.3 \cdot R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f}\right)$$

EurOtop 2016:

- Enfoque de valor medio (\bar{x}):

$$Q = \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot 0.09 \cdot \exp\left[-\left(1.5 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f}\right)^{1.3}\right]$$

- Enfoque de valor medio con incertidumbre ($\bar{x} + \sigma$):

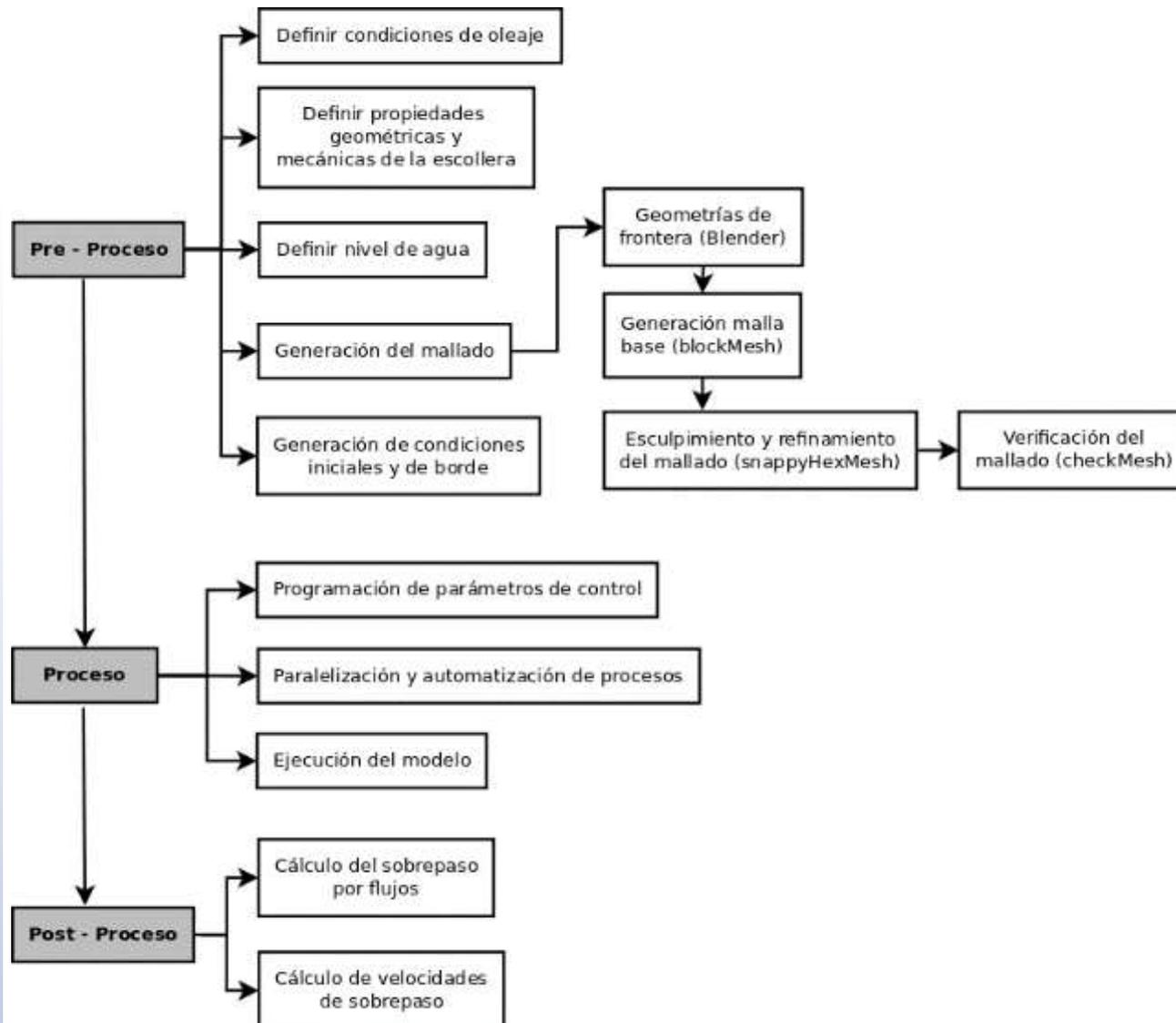
$$Q = \sqrt{g \cdot H_{m0}^3} \cdot 0.1035 \cdot \exp\left[-\left(1.35 \cdot \frac{R_c}{H_{m0} \cdot \gamma_\beta \cdot \gamma_f}\right)^{1.3}\right]$$

Factor de reducción por berma: $C_w = 3.06 \cdot \exp\left(-1.5 \cdot \frac{C_r}{H_{m0}}\right)$

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. **METODOLOGÍA**
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

METODOLOGÍA



CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

METODOLOGÍA

PRE - PROCESO



Fuente: Elaboración propia

Condiciones de oleaje:

	H_{m0} [m]	T_p [s]
Estado de mar (33 [min])	0.191	3.168
Registro (220 [s])	0.199	2.89

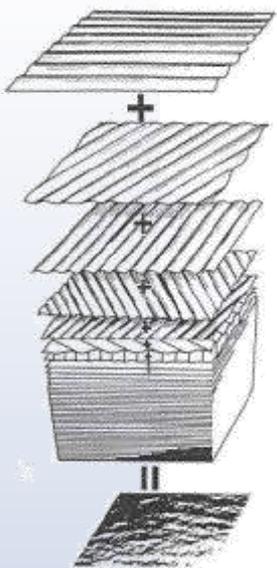
Fuente: Elaboración propia

Error relativo: 4%

METODOLOGÍA

PRE – PROCESO

Condiciones de oleaje:



Fuente: Ochi, M (1998)

$$F(f_n) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} \eta_i e^{-i2\pi f_n i \Delta t} \quad n = 0, 1, 2, \dots, \frac{N}{2}$$

$$S(f_n) = \frac{1}{2\Delta f} |2F(f_n)|^2 \quad n = 1, 2, 3, \dots, \frac{N}{2}$$

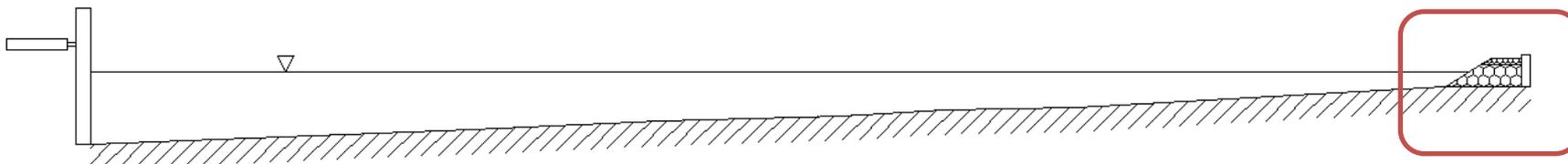
$$S(f_n) = 0 \quad n = 0$$

$$H_n = (8 \cdot S(f_n) \cdot \Delta f)^{\frac{1}{2}} \quad T_n = \frac{1}{f_n} \quad \psi_n = \ln \left[\frac{F_n}{|F_n|} \right]$$

$$\eta(t) = \sum_{n=1}^P \frac{H_n}{2} \cdot \cos \left(\frac{2\pi}{L_n} \cdot x - \frac{2\pi}{T_n} \cdot t + \psi_n \right)$$

METODOLOGÍA

PRE – PROCESO



Fuente: Elaboración propia

Propiedades de las escolleras:

COEFICIENTES DE FRICCIÓN	$\alpha = 0$	$\beta = 2$
---------------------------------	--------------	-------------

Fuente: Pablo Higuera (2015)

DIÁMETRO MEDIO (D_{50})	Rocas Núcleo	Rocas Coraza	Rocas Berma	Dolos
Prototipo	1.28 [m]	1.5 [m]	1.7 [m]	1.28 [m]
Modelo	0.043 [m]	0.05 [m]	0.057 [m]	0.043 [m]

Fuente: INH (2016) – Elaboración propia

	Rocas	Dolos
POROSIDAD	0.37	0.56

Fuente: Coastal Engineering Manual (2008)

Condición inicial de agua:

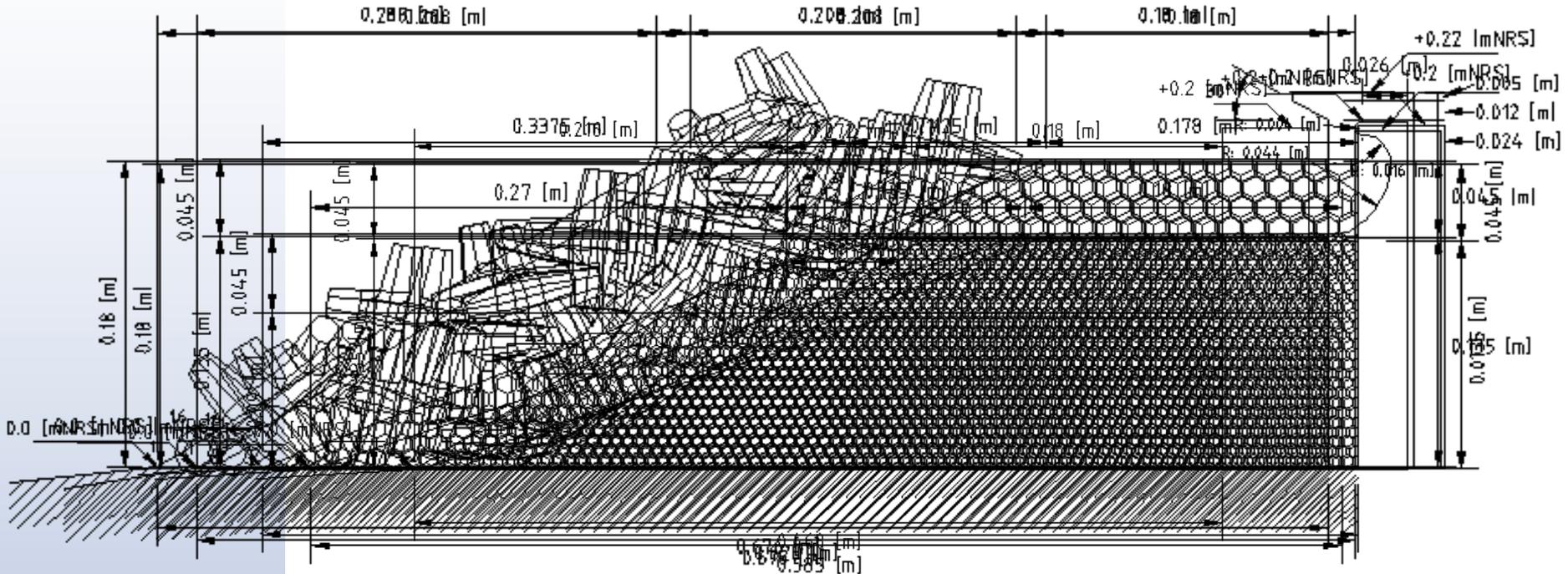
$$NM_{modelo} = \frac{NM_{prototipo}}{30} = \frac{2.68 [mNRS]}{30} = 0.0893 [mNRS]$$

METODOLOGÍA

PRE - PROCESO

Escalado de los modelos:

Alternativa Optimizada



Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

PRE – PROCESO

Generación del mallado – Diseño de la geometría en Blender:

**Parche
“Atmósfera”**



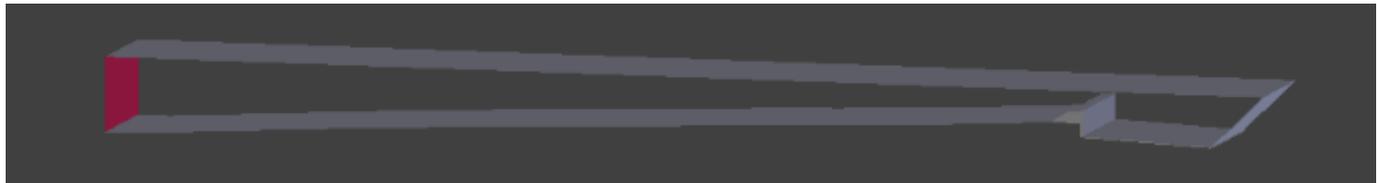
Fuente: Elaboración propia

**Parche
“Fondo”**



Fuente: Elaboración propia

**Parche
“Inlet”**



Fuente: Elaboración propia

**Parche
“Outlet”**



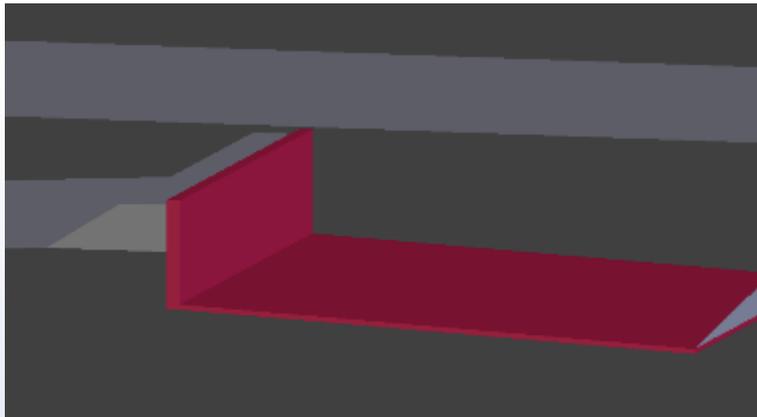
Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

PRE – PROCESO

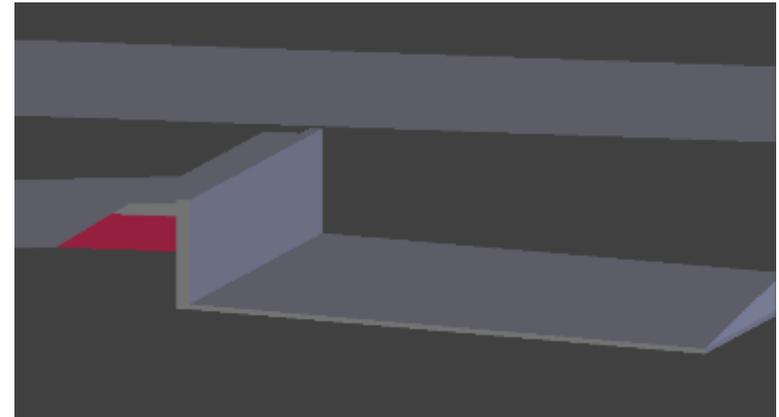
Generación del mallado – Diseño de la geometría en Blender:

Parche “Muro”



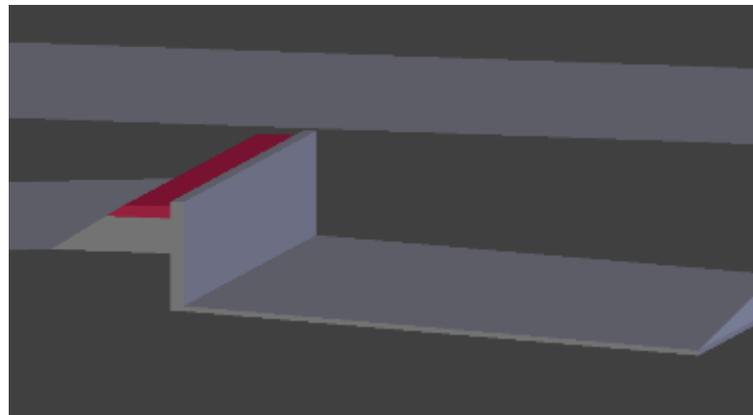
Fuente: Elaboración propia

Parche “Escollera01”



Fuente: Elaboración propia

Parche “Escollera02”



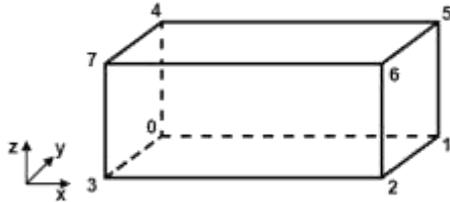
Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

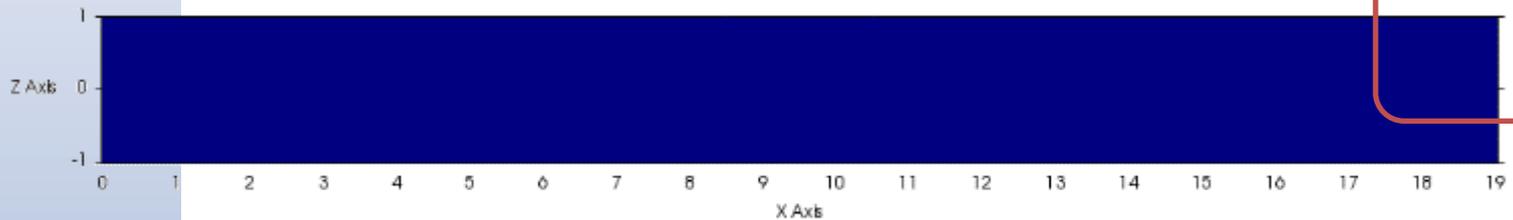
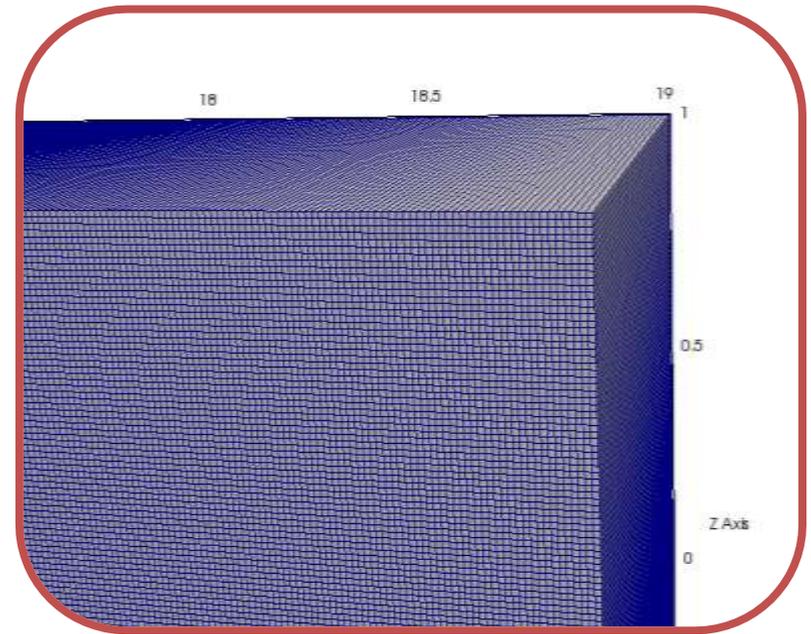
PRE – PROCESO

Generación del mallado – Generación de malla base (blockMesh):

```
19
20 vertices
21 (
22   (0 0 -1)
23   (19 0 -1)
24   (19 1 -1)
25   (0 1 -1)
26   (0 0 1)
27   (19 0 1)
28   (19 1 1)
29   (0 1 1)
30 );
31
32 blocks
33 (
34   hex (0 1 2 3 4 5 6 7) (1900 1 200) simpleGrading (1 1 1)
35 );
36
```



Fuente: Elaboración propia

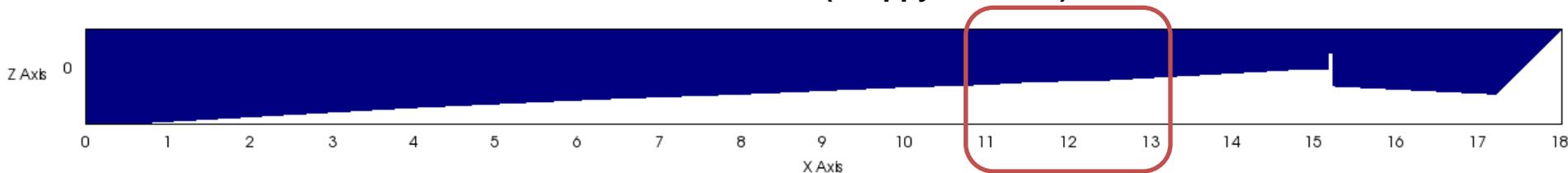


Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

PRE – PROCESO

Generación del mallado – Generación de malla base (snappyHexMesh):



Fuente: Elaboración propia

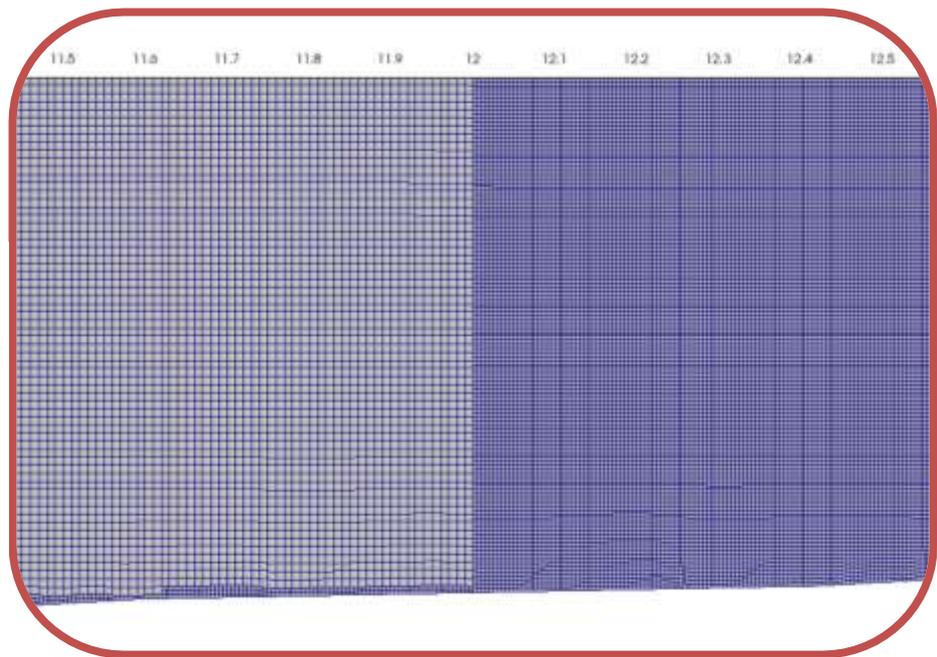
```

geometry
{
  Fondo.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name fondo;
  }
  Atmosfera.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name atmosfera;
  }
  Inlet.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name entrada;
  }
  Outlet.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name salida;
  }
  Muro.stl
  {
    type triSurfaceMesh;
    name muro;
  }
  cuboescollera
  {
    type searchableBox;
    min (12 0 -1);
    max (19 1 0.5);
  }
}
    
```

```

refinementSurfaces
{
  fondo      {level (1 1); patchInfo {type wall;}}
  entrada    {level (0 0); patchInfo {type patch;}}
  salida     {level (0 0); patchInfo {type wall;}}
  atmosfera  {level (0 0); patchInfo {type patch;}}
  muro       {level (1 1); patchInfo {type wall;}}
}

refinementRegions
{
  cuboescollera
  {
    mode inside;
    levels ((1E15 1));
  }
}
    
```



METODOLOGÍA

PRE – PROCESO

Generación del mallado – Generación de malla base (checkMesh):

```
Checking topology...
Boundary definition OK.
Cell to face addressing OK.
Point usage OK.
Upper triangular ordering OK.
Face vertices OK.
Number of regions: 1 (OK).
```



Control de calidad de topologías del mallado

```
Checking patch topology for multiply connected surfaces...
Patch      Faces    Points    Surface topology
cara_frontal 255209  259205  ok (non-closed singly connected)
cara_trasera 255209  259205  ok (non-closed singly connected)
fondo       3167    6336    ok (non-closed singly connected)
atmosfera   2403    4008    ok (non-closed singly connected)
entrada     117     236    ok (non-closed singly connected)
salida      117     636    ok (non-closed singly connected)
muro        550     1102    ok (non-closed singly connected)
```



Control de calidad de los parches

```
Checking geometry...
Overall domain bounding box (0 -1 -0.686676) (18.0197 0 0.499992)
Mesh has 2 geometric (non-empty/wedge) directions (1 0 1)
Mesh has 2 solution (non-empty) directions (1 0 1)
All edges aligned with or perpendicular to non-empty directions.
Boundary openness (1.4547e-18 7.84127e-13 8.51209e-16) OK.
Max cell openness = 1.98774e-16 OK.
Max aspect ratio = 3.68882 OK.
Minimum face area = 1.87411e-05. Maximum face area = 8.0111402. Face area magnitudes OK.
Min volume = 1.07411e-05. Max volume = 8.008188985. Total volume = 14.3116. Cell volumes OK.
Mesh non-orthogonality Max: 34.5998 average: 1.57403
Non-orthogonality check OK.
Face pyramids OK.
Max skewness = 2.04676 OK.
Coupled point location match (average 0) OK.

Mesh OK.

End
```



Control de calidad de la malla

METODOLOGÍA

PRE – PROCESO

Condiciones iniciales y de borde:

	α [adim]	ϵ [m ² /s ³]	k [m ² /s ²]	ν^T [m ² /s]	p_{rgh} [Pa]	ϕ [adim]	U [m/s]
internalField	uniform 0	uniform 0.0001	uniform 0.0001	uniform 0	uniform 0	uniform 0	uniform (0, 0, 0)
Parche de Entrada	waveAlpha	zeroGradient	zeroGradient	calculated	fixedFlux Pressure	zeroGradient	waveVelocity
	uniform 0			uniform 0	uniform (0, 0, 0)		
Parche de Salida	zeroGradient	epsilonWall Function	kqRWall Function	nutkWall Function	fixedFlux Pressure	zeroGradient	fixedValue
		uniform 0.0001	uniform 0.0001	uniform 0	uniform 0		uniform (0, 0, 0)
Parche de Fondo	zeroGradient	epsilonWall Function	kqRWall Function	nutkWall Function	fixedFlux Pressure	zeroGradient	fixedValue
		uniform 0.0001	uniform 0.0001	uniform 0	uniform 0		uniform (0, 0, 0)
Parche de Muro	zeroGradient	epsilonWall Function	kqRWall Function	nutkWall Function	fixedFlux Pressure	zeroGradient	fixedValue
		uniform 0.0001	uniform 0.0001	uniform 0	uniform 0		uniform (0, 0, 0)
Parche de Cara Frontal	empty	empty	empty	empty	empty	empty	empty
Parche de Cara Trasera	empty	empty	empty	empty	empty	empty	empty
Parche de Atmósfera	inletOutlet	inletOutlet	inletOutlet	calculated	totalPressure	zeroGradient	pressureInlet OutletVelocity
	uniform 0	uniform 0.0001	uniform 0.0001	uniform 0	uniform 0		uniform (0, 0, 0)

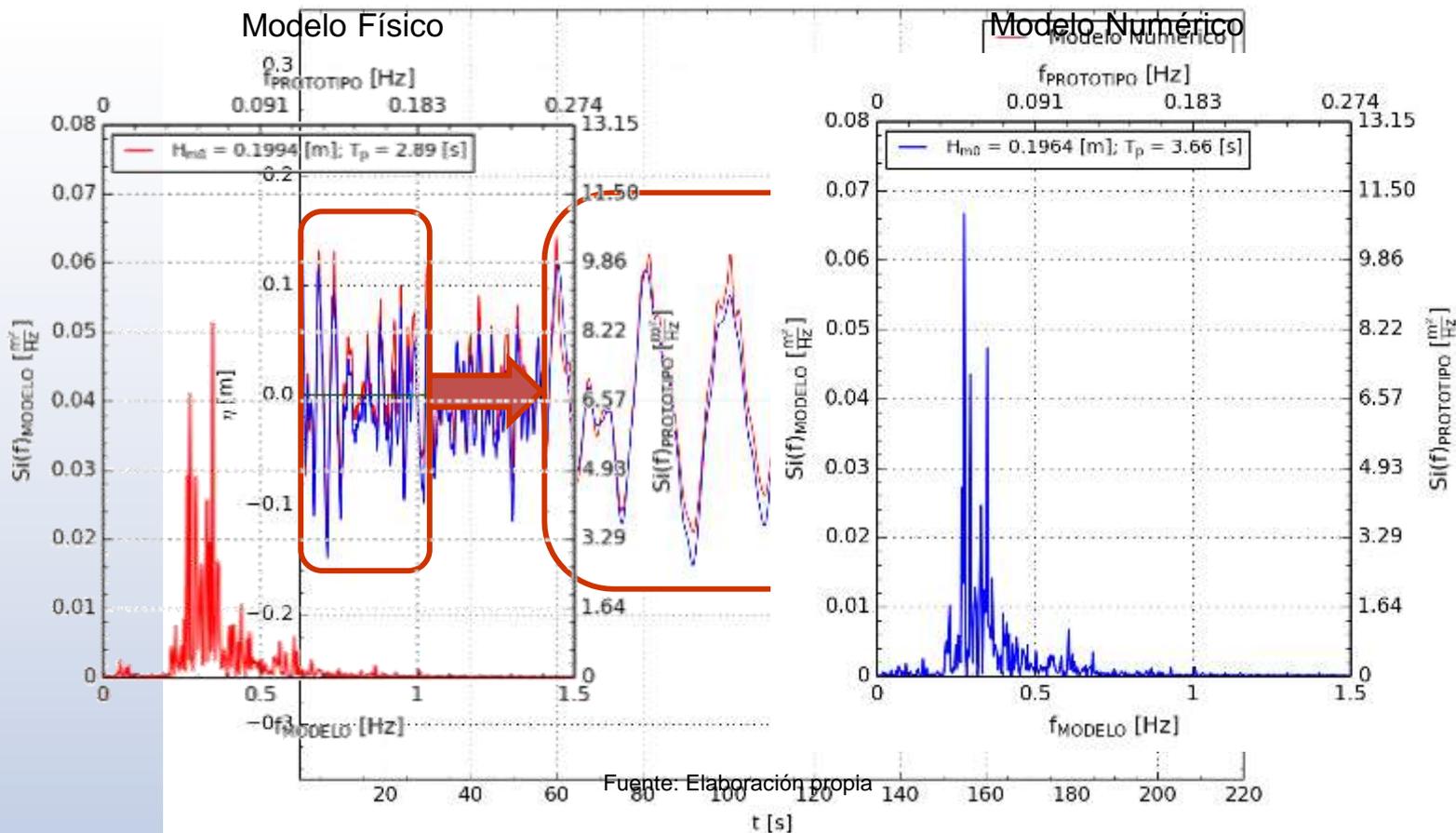
CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. **METODOLOGÍA**
 - a. PRE – PROCESO
 - b. **POST – PROCESO**
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

METODOLOGÍA

POST - PROCESO

Validación del oleaje generado



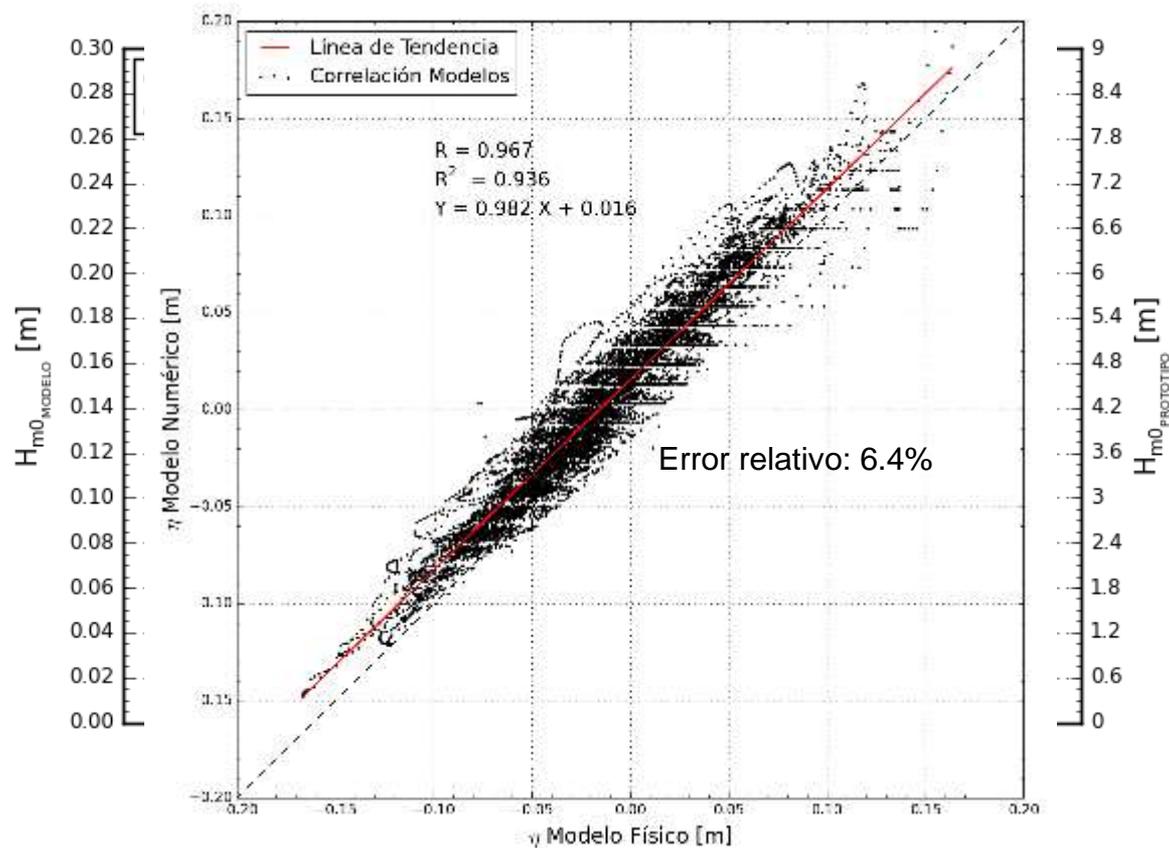
Fuente: Elaboración propia

Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

POST – PROCESO

Validación del oleaje generado

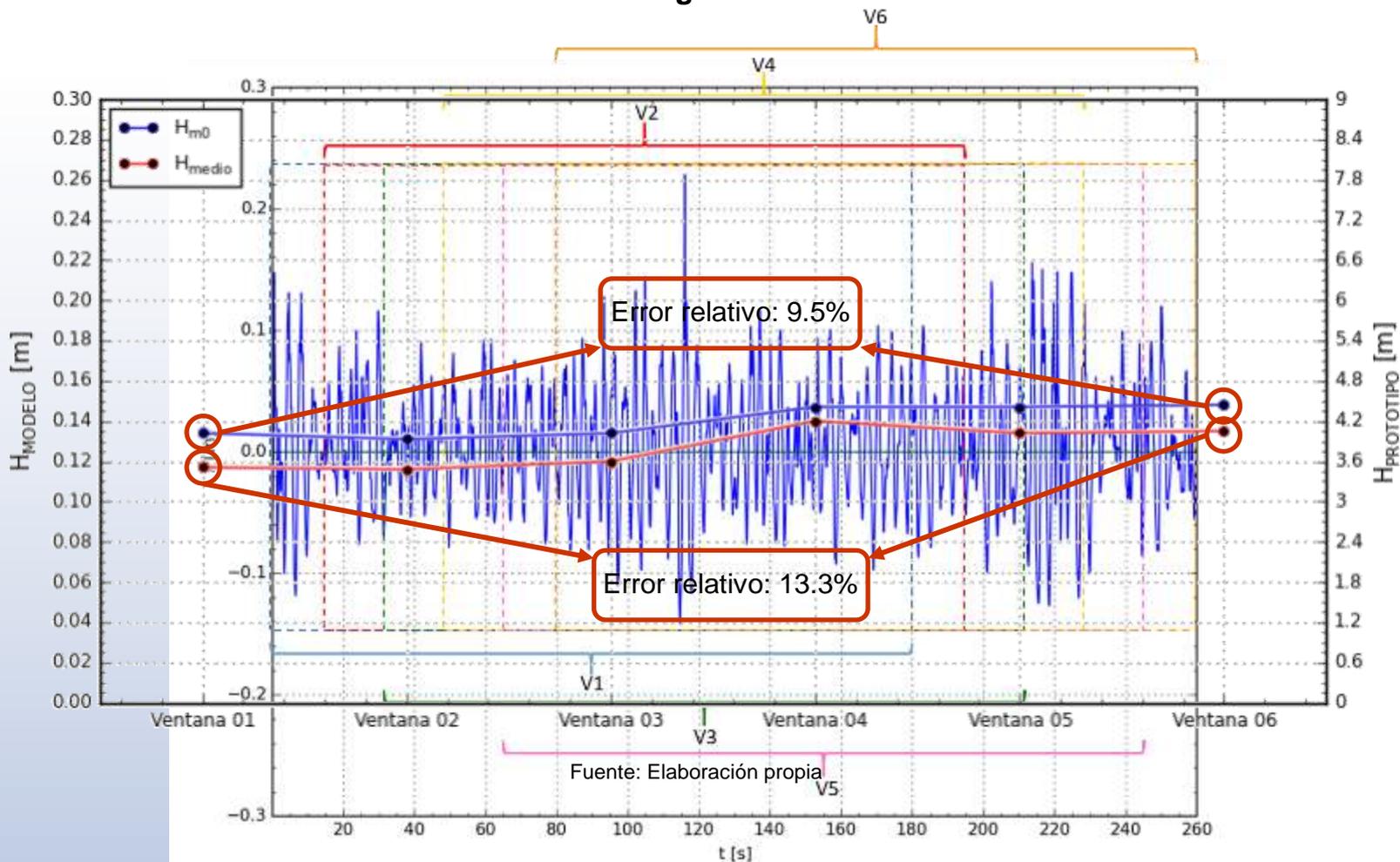


Fuente: Elaboración propia

METODOLOGÍA

POST – PROCESO

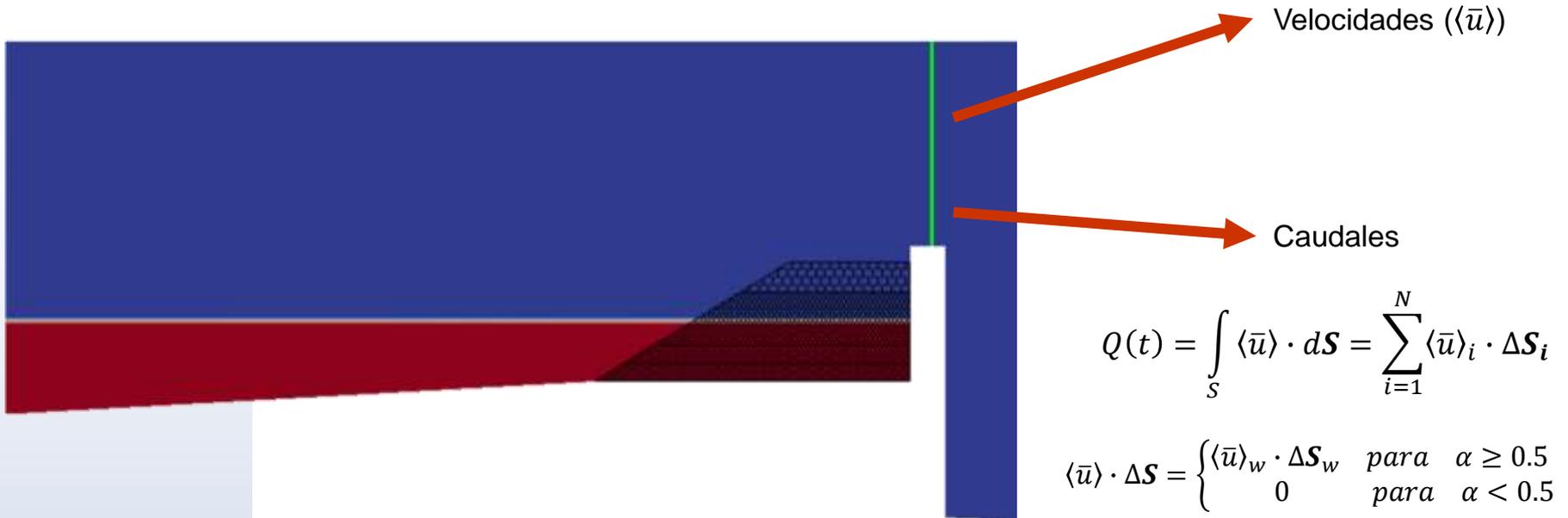
Estabilidad del modelo numérico – Situación Diagnóstico



CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

RESULTADOS



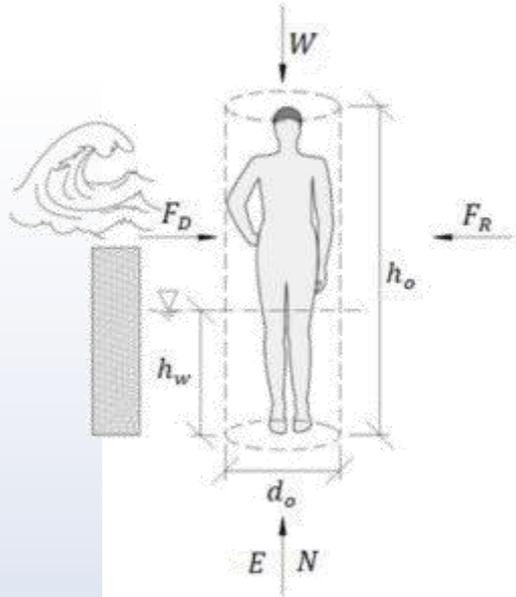
Fuente: Elaboración propia

CONTENIDOS

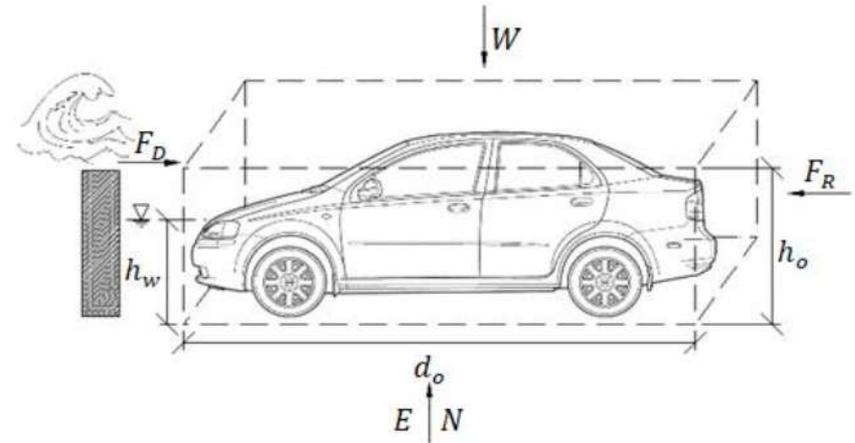
1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

RESULTADOS

VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

$$\sum F_H = 0 \Rightarrow F_D = F_R \Rightarrow \frac{C_D \cdot \rho_w \cdot A \cdot u^2}{2} = C_R \cdot N$$

$$\sum F_V = 0 \Rightarrow E + N = W \Rightarrow N = W - E$$

RESULTADOS

VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES

Caso sin empuje:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot C_R \cdot W}{C_D \cdot \rho_W \cdot A}}$$

Caso con empuje:

$$u = \sqrt{\frac{2 \cdot C_R \cdot (W - E)}{C_D \cdot \rho_W \cdot A}}$$

	Persona	Vehículo
C_D	1	0.3
C_R	0.7	0.8

En donde:

C_D (Persona): Coeficiente de arrastre de una persona de pie.

C_D (Vehículo): Coeficiente de arrastre de un auto tipo (Honda Insight 2001).

C_R (Persona): Coeficiente de roce de una persona en una superficie mojada.

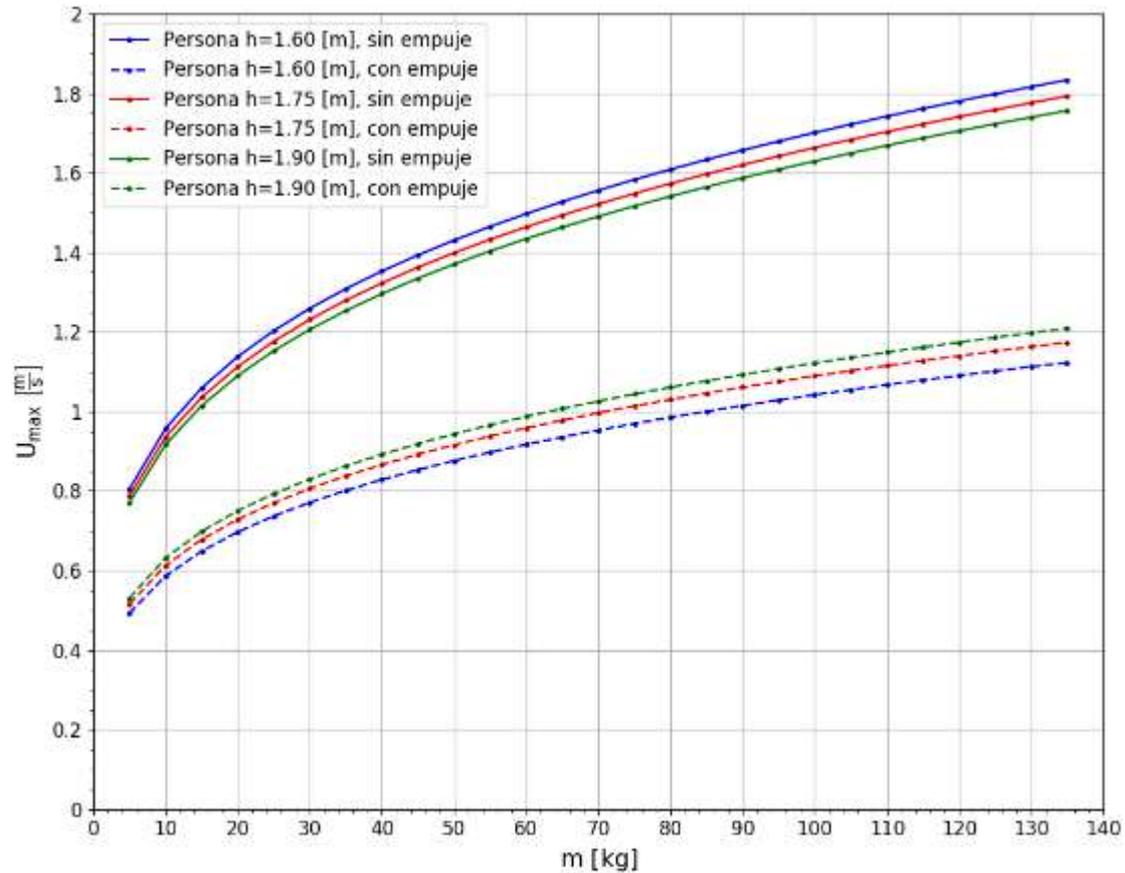
C_R (Vehículo): Coeficiente de roce de un vehículo entre el caucho de los neumáticos con el pavimento mojado.

	Persona 01	Persona 02	Persona 03	Persona 04	Vehículo
m [kg]	100	80	60	30	1200
h_o [m]	1.75	1.75	1.75	1.35	1.35
d_o [m]	$2 \cdot \sqrt{\frac{m}{\rho_o \cdot \pi \cdot h_o}}$	d_o			

Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES



Fuente: Elaboración propia

CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN**
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – SITUACIÓN DIAGNÓSTICO

Tiempo: 260.00

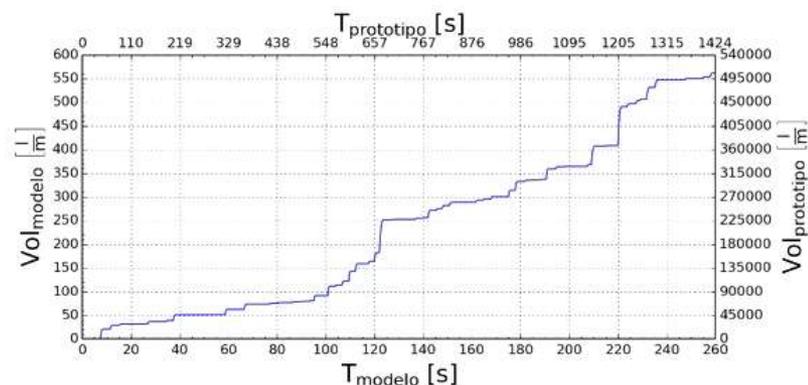
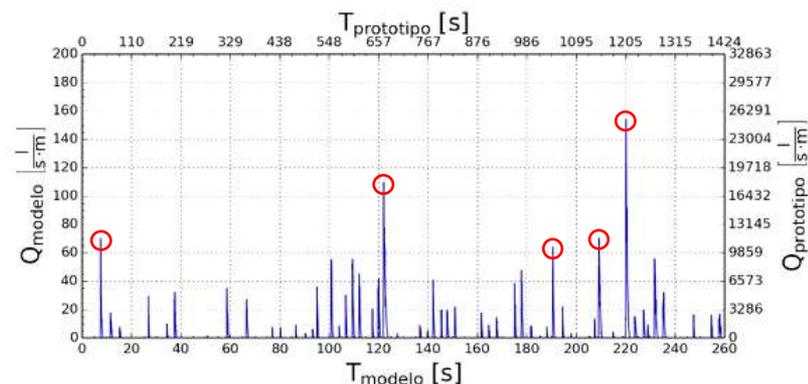


Condiciones de oleaje de diseño

Prototipo:	Modelo:
$H_{m0} = 5.6 [m]$	$H_{m0} = 0.19 [m]$
$T_p = 17.6 [s]$	$T_p = 3.2 [s]$
$Z_{marea} = 2.68 [mNRS]$	$Z_{marea} = 0.0893 [mNRS]$

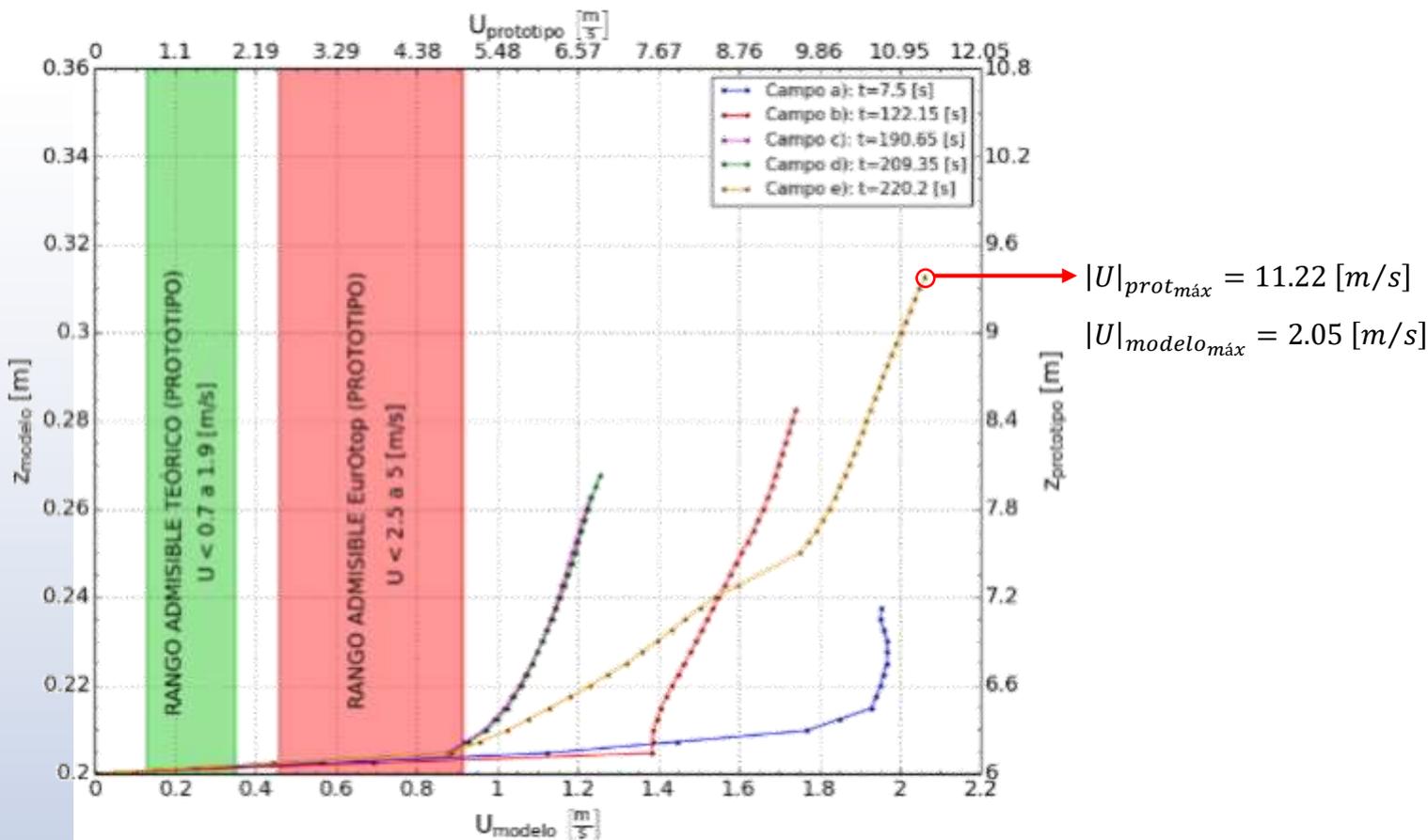
Resultados:

Prototipo:	Modelo:
$\bar{Q} = 354.8 [l/s \cdot m]$	$\bar{Q} = 2.16 [l/s \cdot m]$
$V_{acum} = 505278 [l/m]$	$V_{acum} = 561.42 [l/m]$



RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – SITUACIÓN DIAGNÓSTICO

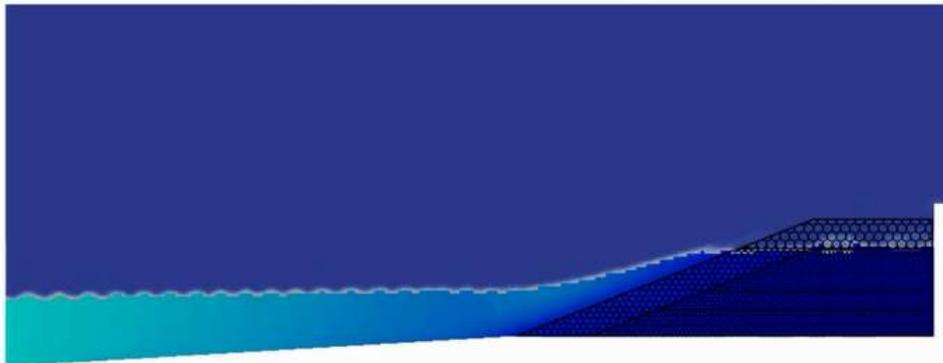


Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA 01

Tiempo: 260.00

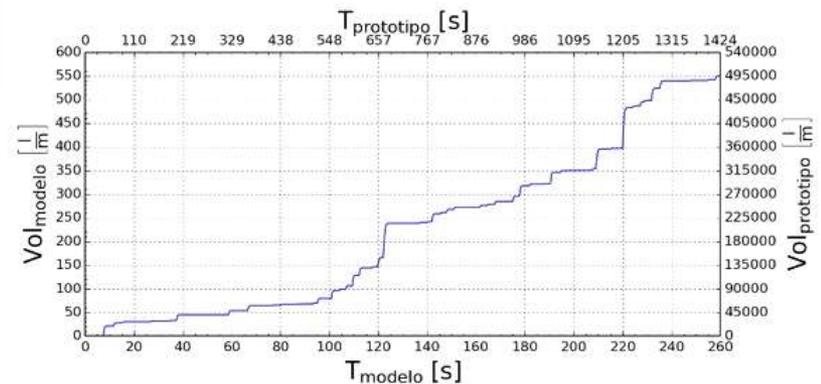
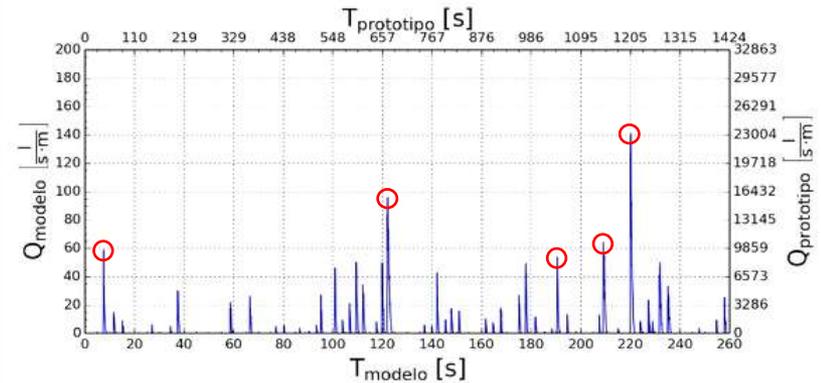


Condiciones de oleaje de diseño

Prototipo:	Modelo:
$H_{m0} = 5.6 [m]$	$H_{m0} = 0.19 [m]$
$T_p = 17.6 [s]$	$T_p = 3.2 [s]$
$Z_{marea} = 2.68 [mNRS]$	$Z_{marea} = 0.0893 [mNRS]$

Resultados:

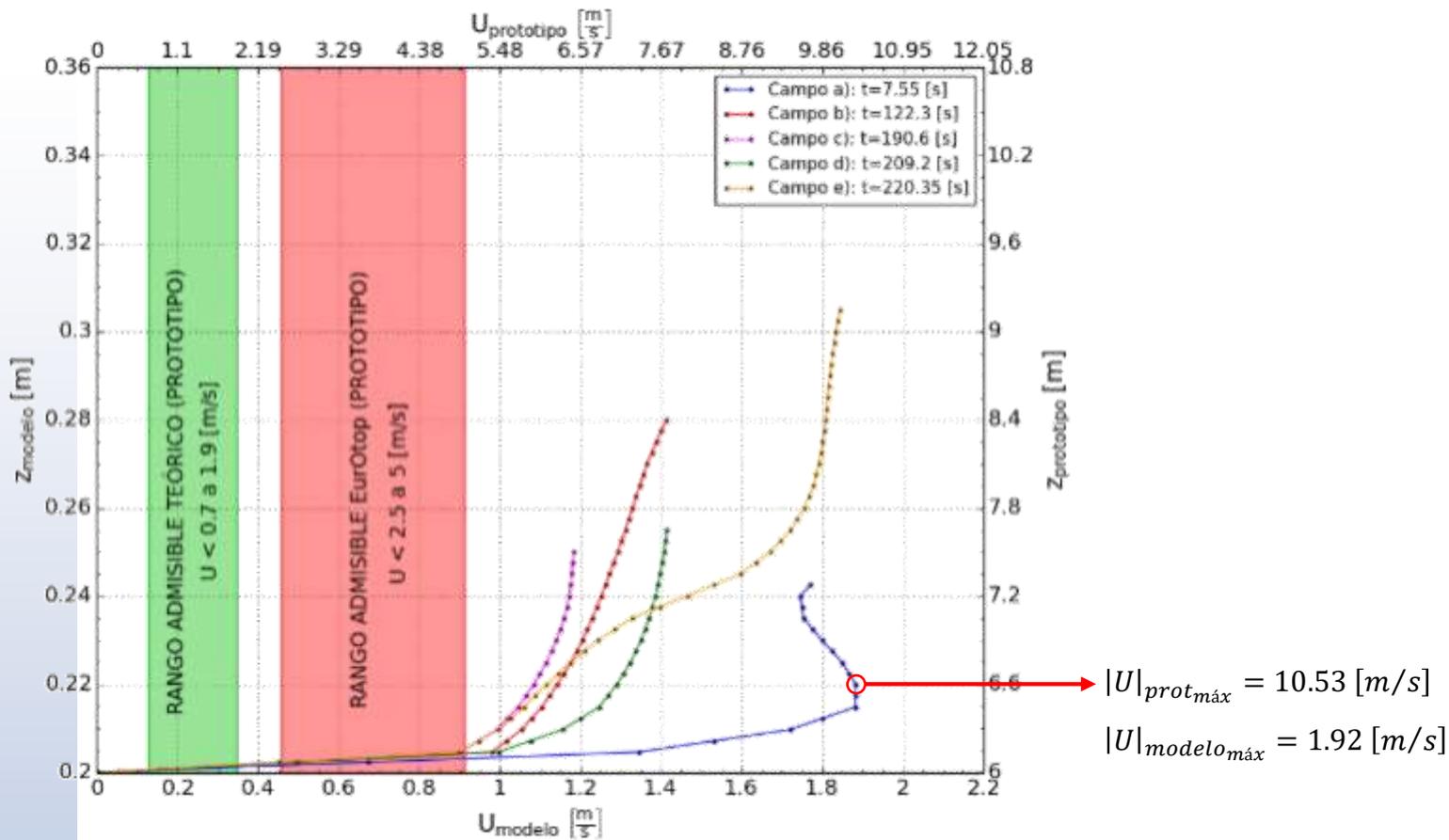
Prototipo:	Modelo:
$\bar{Q} = 347.5 [l/s \cdot m]$	$\bar{Q} = 2.11 [l/s \cdot m]$
$V_{acum} = 494829 [l/m]$	$V_{acum} = 549.81 [l/m]$



Reducción \bar{Q} : 2%

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA 01



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA 02

Tiempo: 260.00

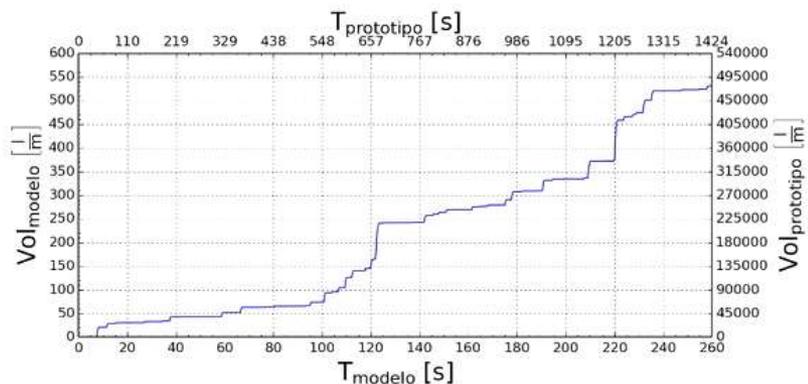
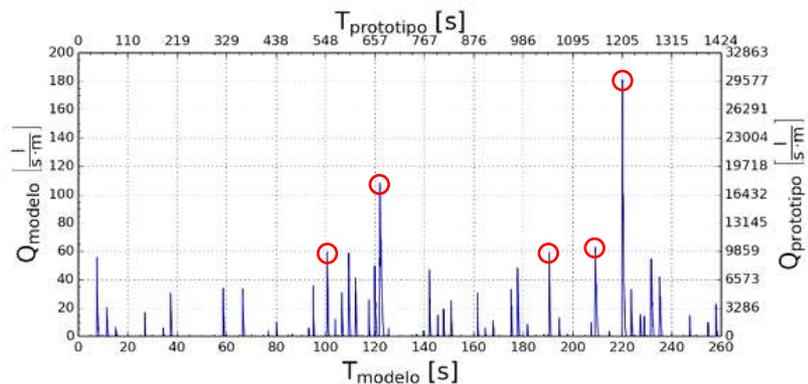


Condiciones de oleaje de diseño

Prototipo:	Modelo:
$H_{m0} = 5.6$ [m]	$H_{m0} = 0.19$ [m]
$T_p = 17.6$ [s]	$T_p = 3.2$ [s]
$Z_{marea} = 2.68$ [mNRS]	$Z_{marea} = 0.0893$ [mNRS]

Resultados:

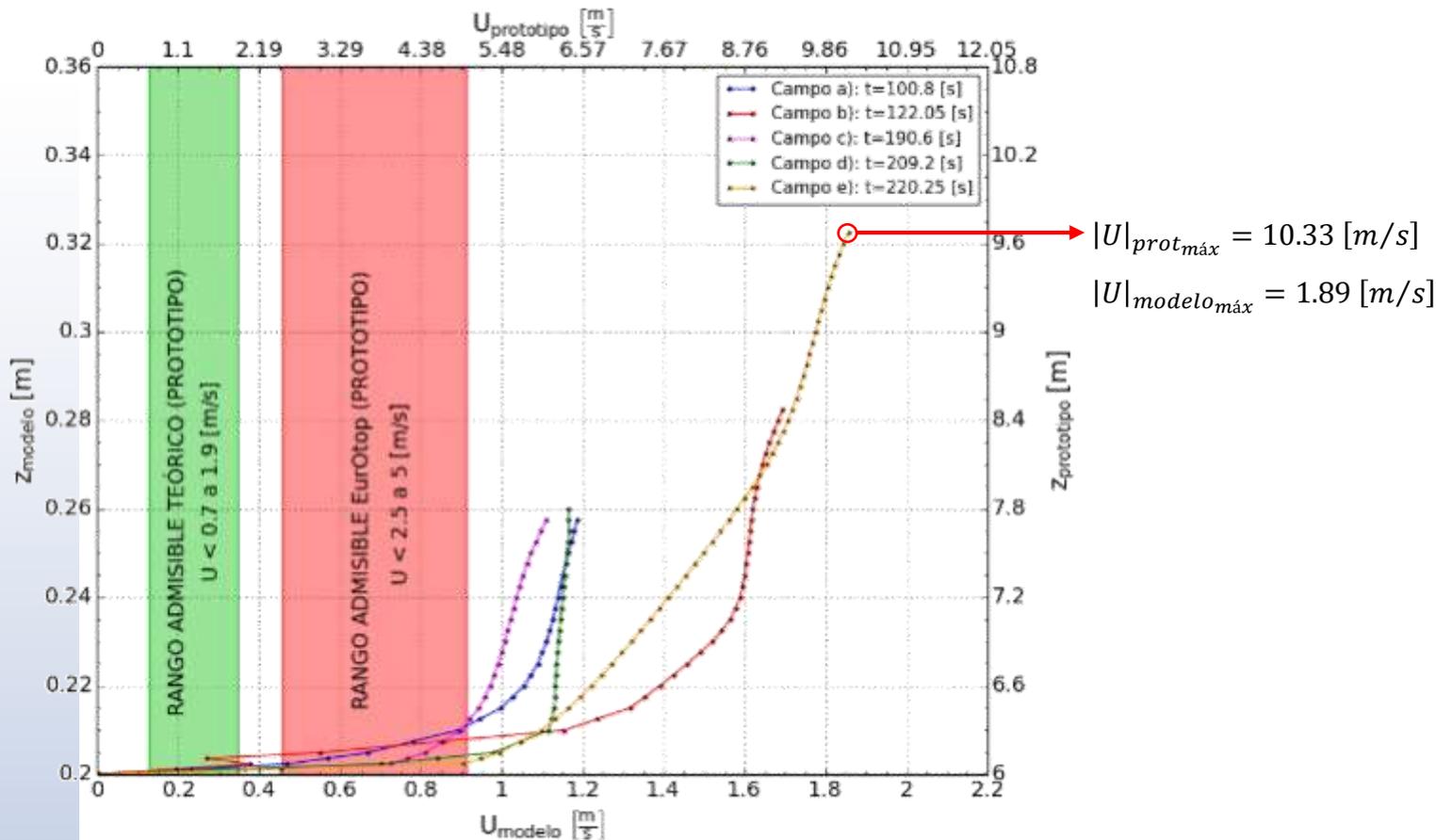
Prototipo:	Modelo:
$\bar{Q} = 335,6$ [$l/s \cdot m$]	$\bar{Q} = 2,04$ [$l/s \cdot m$]
$V_{acum} = 477855$ [l/m]	$V_{acum} = 530,95$ [l/m]



Reducción \bar{Q} : 5%

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA 02

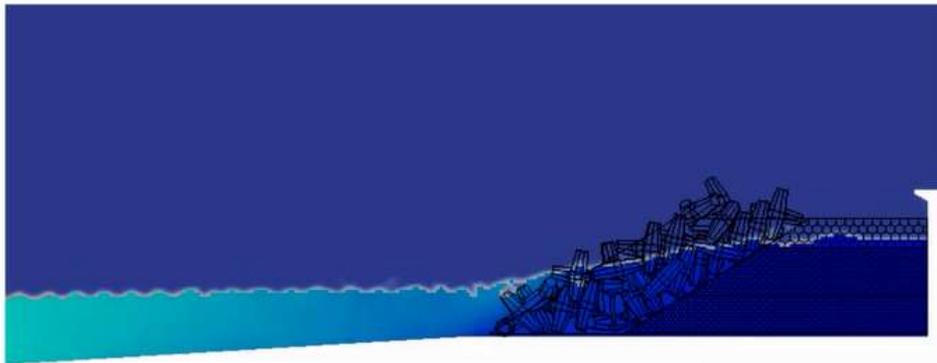


Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA 03

Tiempo: 260.00

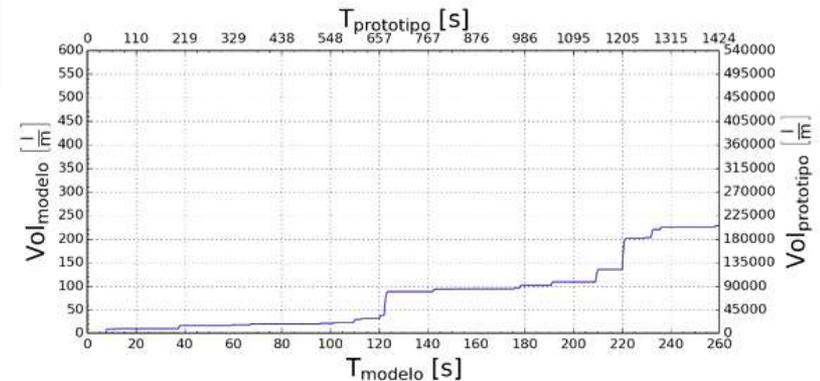
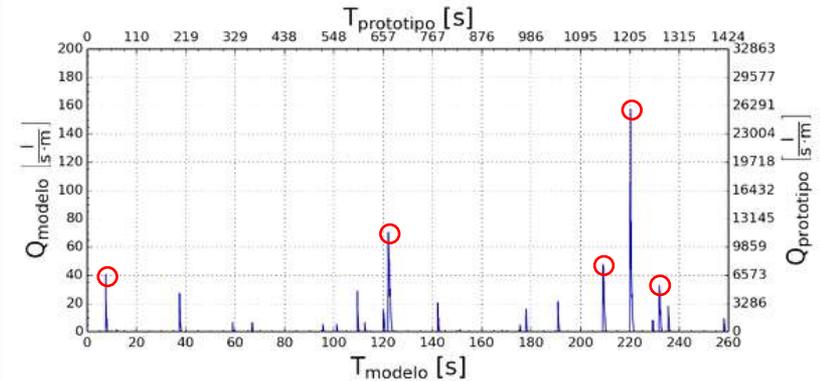


Condiciones de oleaje de diseño

Prototipo:	Modelo:
$H_{m0} = 5.6$ [m]	$H_{m0} = 0.19$ [m]
$T_p = 17.6$ [s]	$T_p = 3.2$ [s]
$Z_{marea} = 2.68$ [mNRS]	$Z_{marea} = 0.0893$ [mNRS]

Resultados:

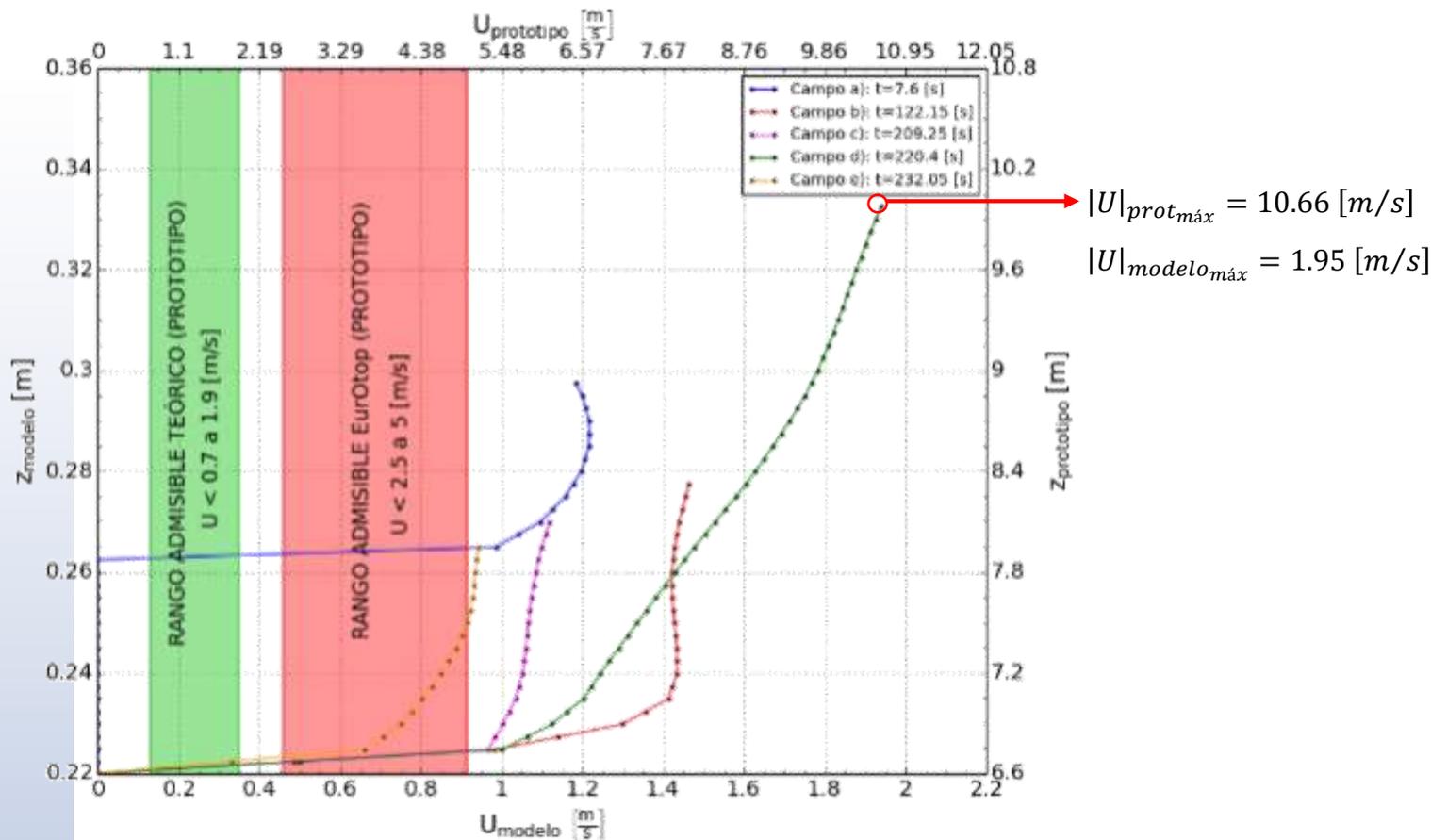
Prototipo:	Modelo:
$\bar{Q} = 144.4$ [l/s · m]	$\bar{Q} = 0.88$ [l/s · m]
$V_{acum} = 205632$ [l/m]	$V_{acum} = 228.48$ [l/m]



Reducción \bar{Q} : 59%

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA 03



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA OPTIMIZADA

Tiempo: 260.00

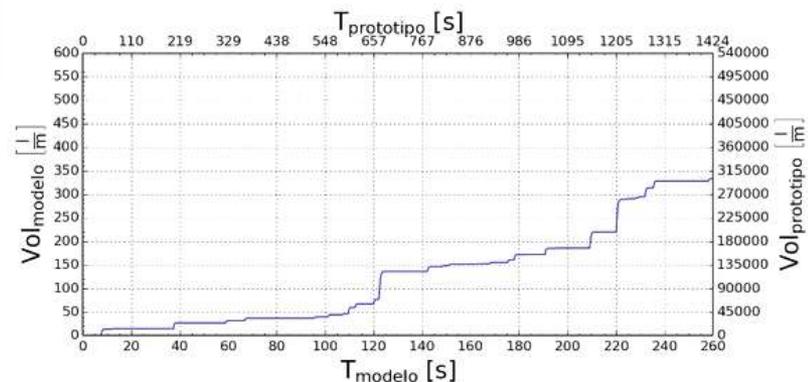
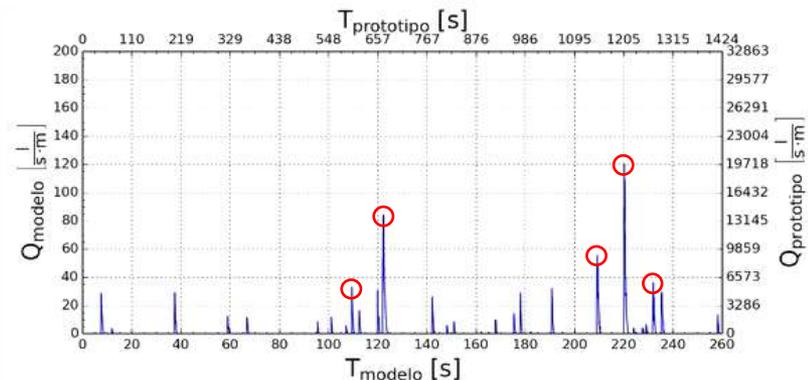


Condiciones de oleaje de diseño

Prototipo:	Modelo:
$H_{m0} = 5.6 [m]$	$H_{m0} = 0.19 [m]$
$T_p = 17.6 [s]$	$T_p = 3.2 [s]$
$Z_{marea} = 2.68 [mNRS]$	$Z_{marea} = 0.0893 [mNRS]$

Resultados:

Prototipo:	Modelo:
$\bar{Q} = 210.6 [l/s \cdot m]$	$\bar{Q} = 1.28 [l/s \cdot m]$
$V_{acum} = 299853 [l/m]$	$V_{acum} = 333.17 [l/m]$

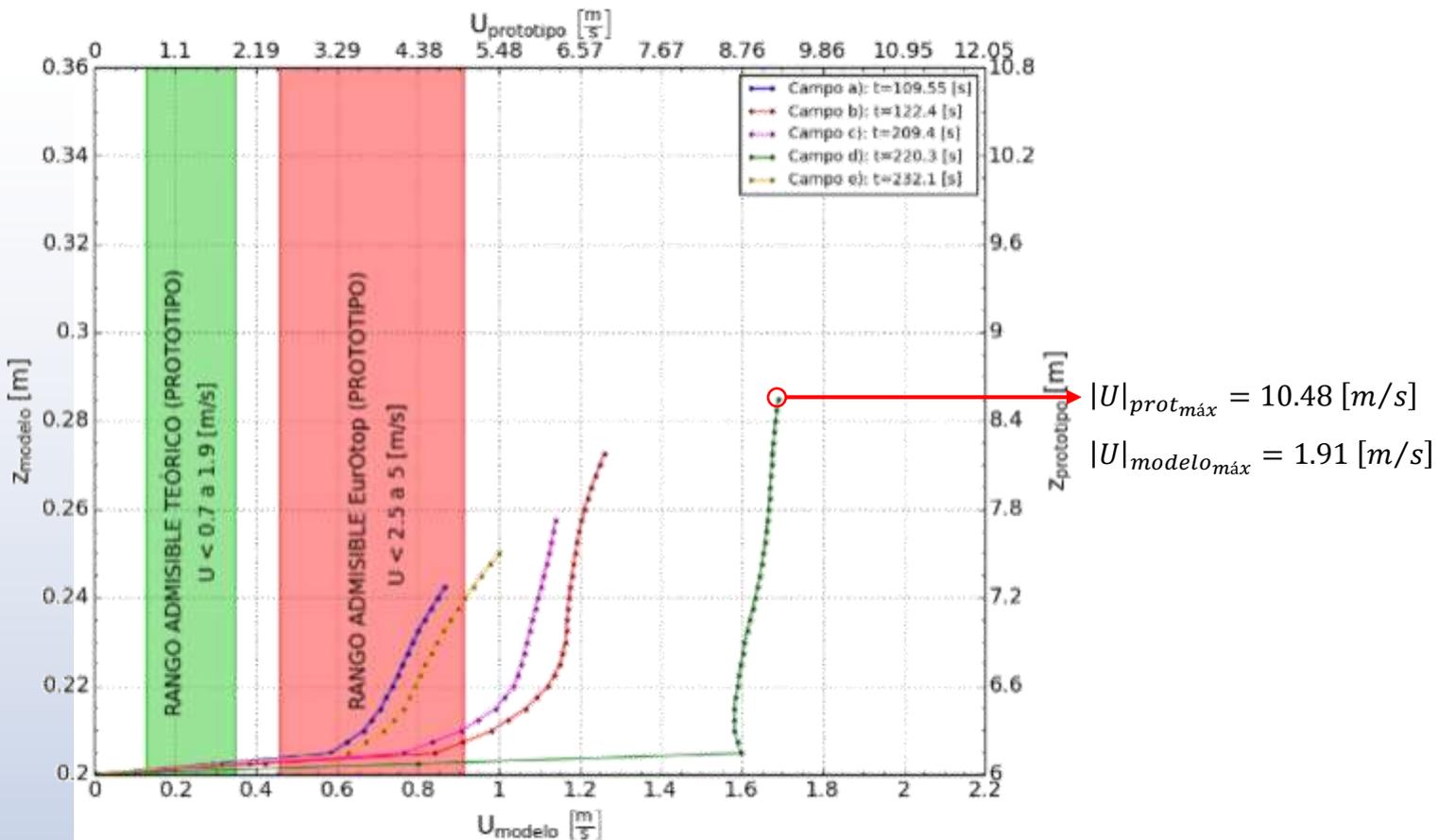


Fuente: Elaboración propia

Reducción \bar{Q} : 41%

RESULTADOS

SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN – ALTERNATIVA OPTIMIZADA



Fuente: Elaboración propia

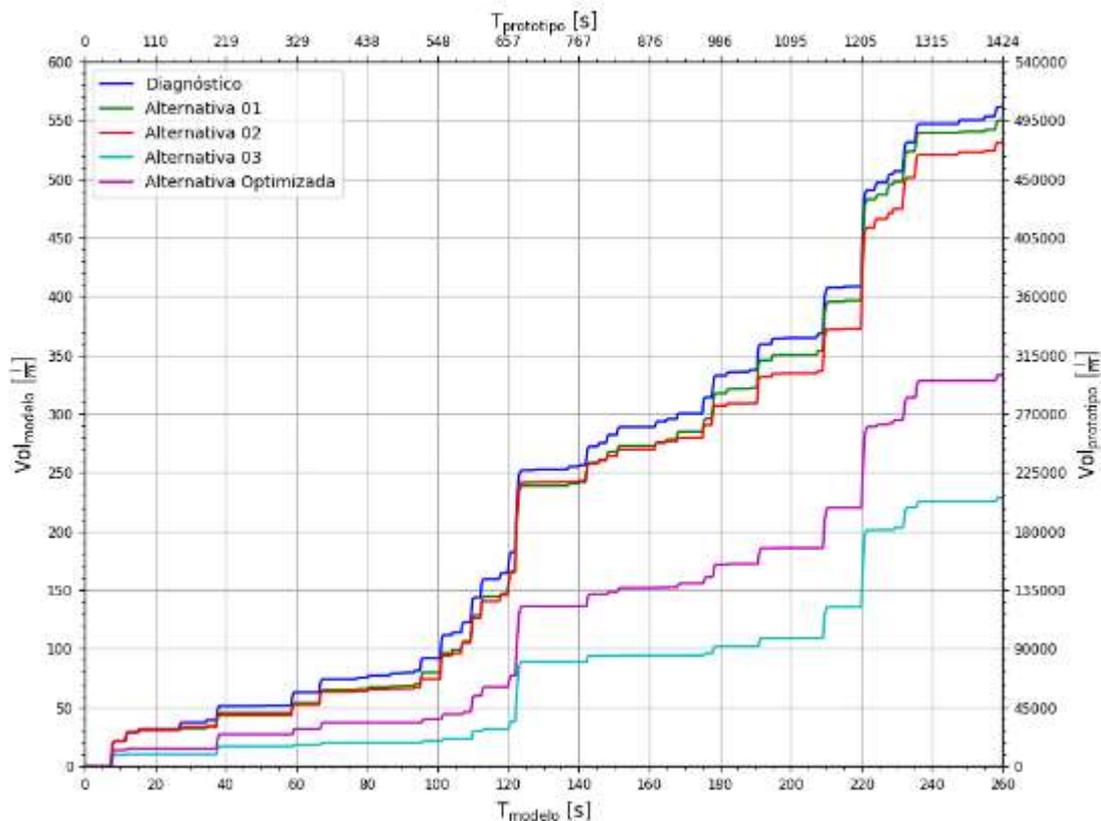
CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

RESULTADOS

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS

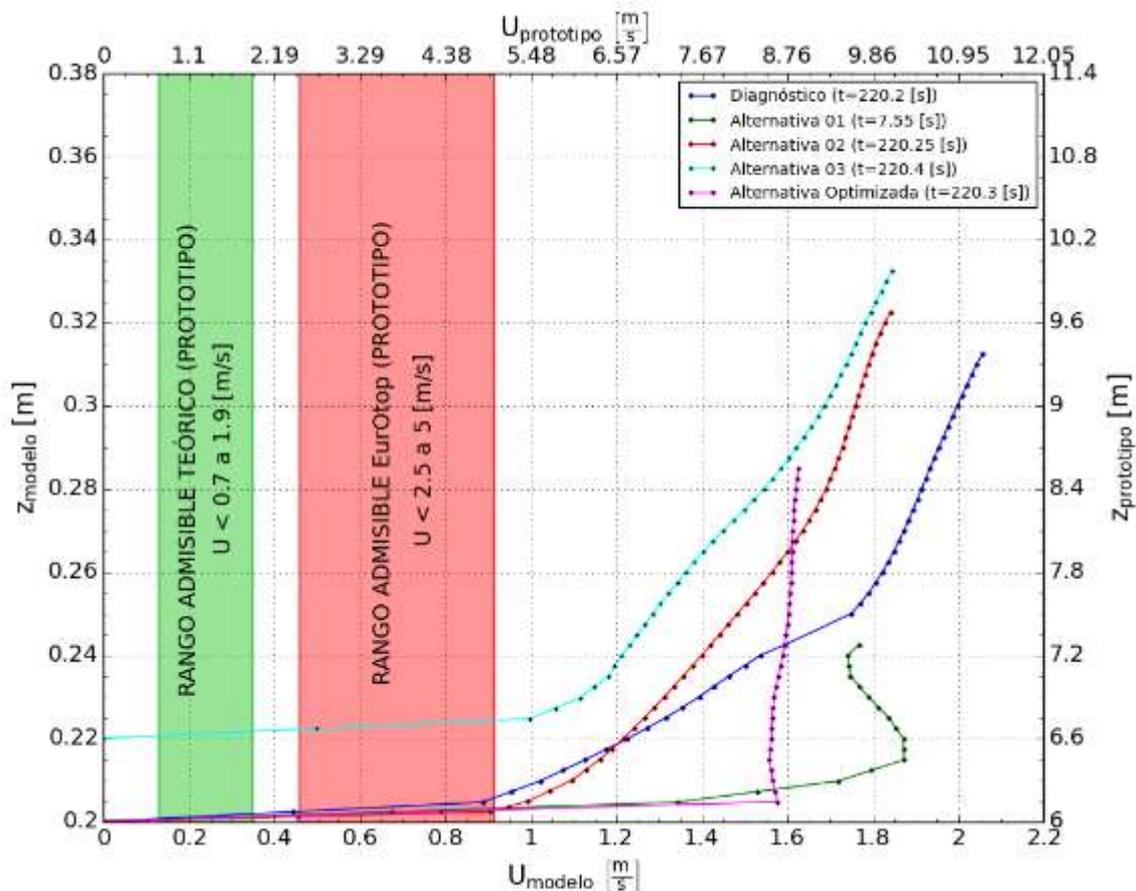
	\bar{Q} [l/s m]		Vol [l/m]	
	Modelo	Prot.	Modelo	Prot.
Diagnóstico	2.2	354.8	561.4	505278
Alternativa 01	2.1	347.5	549.8	494829
Alternativa 02	2	335.6	531	477855
Alternativa 03	0.9	144.4	228.5	205632
Alternativa Optimizada	1.3	210.6	333.2	299853



Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS



Fuente: Elaboración propia

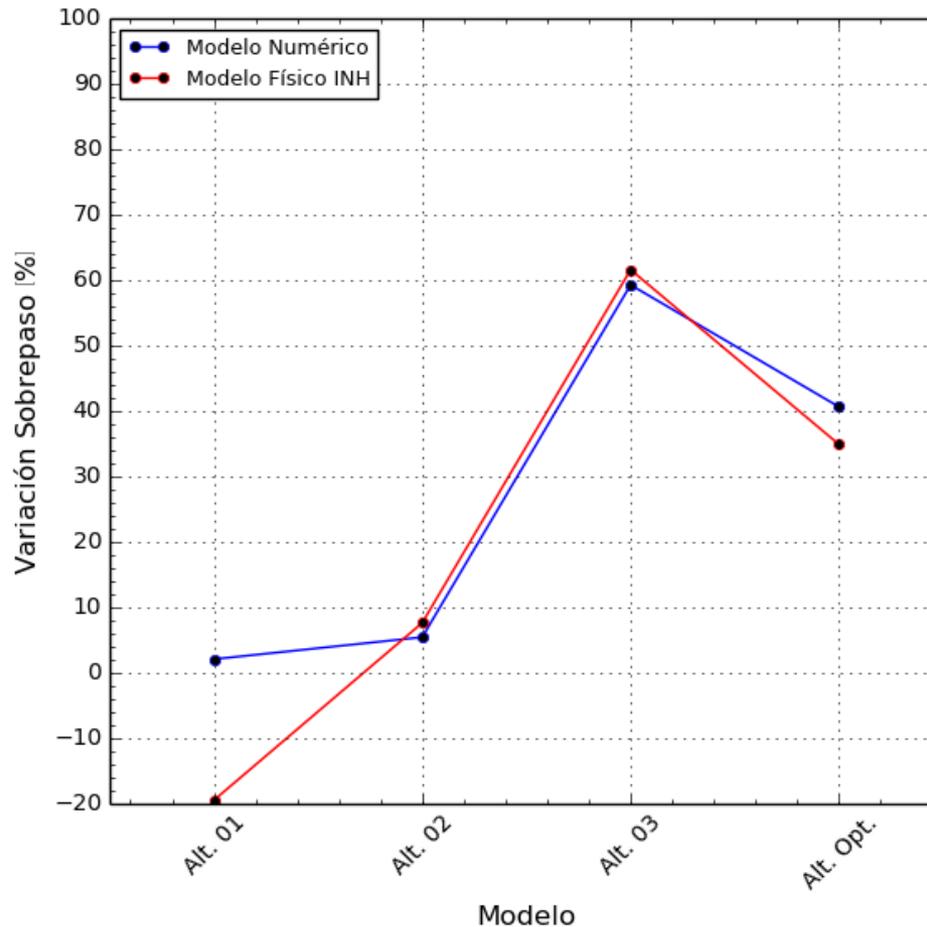
CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

RESULTADOS

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS

Comparación con resultados de INH:

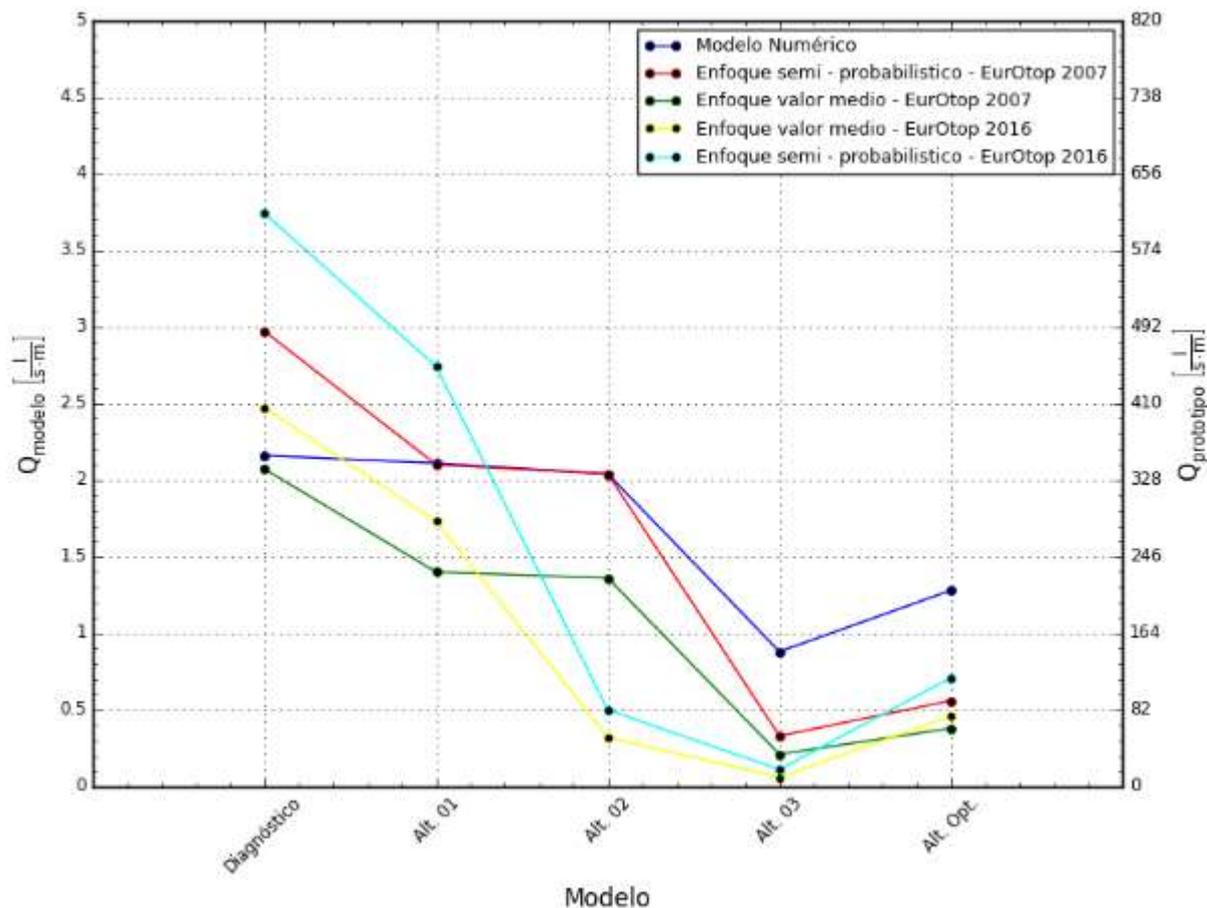


Fuente: Elaboración propia

RESULTADOS

COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS

Comparación con resultados obtenidos por EurOtop:



CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN
2. OBJETIVOS
3. ALCANCES Y LIMITACIONES
4. ANTECEDENTES
 - a. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA EN ESTUDIO
 - b. PROYECTO “DISEÑO CONSERVACIÓN DEFENSAS COSTERAS SECTORES AVENIDA PERÚ Y JUAN DE SAAVEDRA”
5. MARCO TEÓRICO
 - a. MODELACIÓN FÍSICA Y NUMÉRICA
 - b. OpenFOAM – SOLUCIONADOR olaFOAM
 - c. CUANTIFICACIÓN DEL SOBREPASO Y VELOCIDAD MÁXIMA ADMISIBLE
6. METODOLOGÍA
 - a. PRE – PROCESO
 - b. POST – PROCESO
7. RESULTADOS
 - a. VELOCIDADES MÁXIMAS TOLERABLES
 - b. SIMULACIONES NUMÉRICAS DE OBRAS DE PROTECCIÓN
 - c. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE ALTERNATIVAS
 - d. COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS NUMÉRICOS CFD Y OTROS MÉTODOS
8. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES

Como conclusión general del modelo numérico olaFOAM, se infieren que:

- olaFOAM es una alternativa real para la modelación de procesos costeros que incluye la transformación de oleaje en aguas someras y la interacción oleaje - estructura - corrientes.

De la comparación entre la modelación numérica y la modelación física se concluye que:

- La modelación numérica es complementaria a la modelación física, ya que ambas modelaciones tienen sus ventajas y desventajas. Esto permite la generación de estudios con modelos híbridos, utilizando los resultados de un modelo como input del otro, iniciando el proceso de calibración.

Ya que el proceso de calibración es una limitación dentro de este Proyecto de Título, se encontró que los caudales de sobrepaso medio de ambas modelaciones (modelación numérica y física) difieren entre ellos. Sin embargo, se observó que los porcentajes de reducción de sobrepaso de las diversas alternativas, respecto a la situación Diagnóstico, tienen un comportamiento similar entre ambos tipos de modelaciones.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos de las simulaciones numéricas de las alternativas de mejoramiento de la situación Diagnóstico del borde costero de la Avenida Perú, y analizando las alternativas con mayor porcentaje de reducción de sobrepaso, se concluye:

- Alternativa 03 respecto a la situación Diagnóstico: Se infiere que el porcentaje de reducción del caudal de sobrepaso de un 59% es importante. Esta mejora sólo se ve influenciada por la instalación de dos capas de elementos prefabricados tipo dolos, manteniendo la pendiente del talud y la cota de coronamiento de la escollera, pero aumentando la altura del muro de contención en 0.6 [m] con un pequeño vertedero recto. En esta simulación se observa la eficiencia de las capas de dolos por el aumento de la porosidad del medio y del ancho de la berma.
- Alternativa Optimizada respecto a la situación Diagnóstico: Se infiere que el porcentaje de reducción del caudal de sobrepaso de un 41% es significativo, pensando que sólo se instalaron dos capas de dolos sobre la escollera ya existente en la situación Diagnóstico, sin presentar mejoras adicionales en el muro de contención.

Se infiere que el aumentar el ancho de la berma y la implementación de un medio poroso eficiente, donde el volumen de vacíos sea cercano al 50% del volumen total, genera una disminución sustancial del caudal de sobrepaso.

Cualquier mejora en la pendiente del talud sólo será un aporte marginal en el porcentaje de reducción de sobrepaso; y la contribución del muro de contención, ya sea la cota de coronamiento y su geometría, puede ser una medida complementaria a la mejora realizada en la escollera.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

CONCLUSIONES

Respecto a los estudios de sobrepaso realizados para este Proyecto de Título, se propone que:

- El estudio del caudal de sobrepaso puede ir orientado para estimar los tiempos de inundación de una determinada zona a proteger.
- El estudio de velocidades de sobrepaso puede ir orientado a un análisis de riesgo, desde el punto de vista de la seguridad de las personas y del desarrollo comercial e industrial en el borde costero.

Finalmente se concluye que, desde el punto de vista numérico de la reducción del sobrepaso respecto a la situación Diagnóstico, se recomienda la Alternativa 03 como opción de mejoramiento para el borde costero de la Avenida Perú, ya que es la que presenta un mayor porcentaje de reducción de sobrepaso.

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

TRABAJOS FUTUROS

- Evaluar el sobrepaso de las simulaciones, estudiadas para este proyecto, con un oleaje irregular de segundo orden, y comparar dichos resultados con los obtenidos en este estudio.
- Realizar un estudio estadístico del sobrepaso por medio de varias simulaciones asociadas a señales con fases aleatorias que representen un mismo espectro de un estado de mar. De dichas simulaciones se pueden extraer los caudales medios de sobrepaso, para ser promediados. Esta técnica se conoce como de simulaciones promedio o "Ensemble average".
- Realizar un estudio de sobrepaso de un flujo turbulento resolviendo las ecuaciones de Navier Stokes por medio de la aproximación LES (Large Eddy Simulation).
- Si las condiciones computacionales lo permiten, realizar una simulación 3D en el modelo olaFOAM para evaluar, e.g. temporales en una dársena, fuerzas tipo slamming sobre el tablero de un muelle piloteado, dispersión de contaminantes, etc.

Ingeniería Civil Oceánica
Universidad de Valparaíso



UNIVERSIDAD
DE
VALPARAISO

MUCHAS GRACIAS

