

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

Evaluación de un diseño de rompeolas bajo condiciones de oleaje extremo
utilizando dinámica de fluidos computacional (CFD).

INGE 2790

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Oceanográfico

Presentado por:

Karen Diaz

Milena Valero

Guayaquil - Ecuador

Año: 2024 - 2025

Dedicatoria

Le dedico a mi papá Harry Valero Guevara, mi mamá Erika Soto Touriz y hermana Gabriela Valero Soto este trabajo que es el reflejo de todo el apoyo y comprensión que me han brindado durante todo mi trayecto universitario, por inspírame a ser perseverante y nunca rendirme. También le quiero dar una mención especial a mis abuelitos María Guevara y Juan Valero quienes han sido un ejemplo de amor y trabajo duro para mí.

Milena Valero

Este trabajo está dedicado a mi familia, que con su amor y apoyo incondicional he podido atravesar todos los obstáculos que se me han presentado. En especial, a mis padres Mariuxi Elizabeth Vizueta Castro y Víctor Elenin Díaz Chiang, quienes han sido pilares fundamentales en mi formación, inculcándome responsabilidad, espíritu de superación y valores que han marcado cada etapa de mi vida.

Karen Diaz

Agradecimientos

Agradezco en primer lugar a Dios por estar conmigo cuidándome, permitirme seguir disfrutando, aprendiendo y mejorando; a mi familia por siempre estar conmigo y todo el esfuerzo que han hecho para que yo pueda estar bien y nunca me falte nada; a mis profesores en general gracias a ustedes por sus enseñanzas gracias por hacerme sentir en casa estoy muy feliz y agradecida.

Milena Valero

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Dios por permitirme culminar esta etapa junto a las personas que amo. A mis padres, quienes han sido mi pilar y apoyo incondicional; a mi tía, que me ha criado con amor y dedicación desde pequeña; a mis hermanos, cuya alegría y compañía iluminan incluso los días más oscuros; y a mis profesores, que han creído en mí incluso cuando yo misma dudaba.

Karen Diaz

Declaración Expresa

Nosotros Karen Diaz Vizueta y Milena Valero Soto acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores. La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 11 de febrero del 2025.

Karen Diaz Vizueta

Milena Valero Soto

Evaluadores

MSc. Jorge Espinoza Amaguaña

Profesor de Materia

MSc. Iván Saltos Andrade

Tutor de proyecto

Resumen

Las zonas costeras se ven afectadas por diferentes condiciones como el oleaje o la erosión, para disminuir estos impactos se construyen estructuras de protección costeras como los rompeolas. Ecuador no cuenta con modelos numéricos computacionales que muestren los procesos que ocurren en la interacción de un fluido en una estructura, es por esto por lo que este proyecto integrador tiene como objetivo evaluar un diseño conceptual de un rompeolas previamente propuesto en San Pedro - Santa Elena, mediante el análisis de las velocidades y presiones del oleaje que actúan sobre la estructura de protección, utilizando REEF3D para mejorar su eficiencia y durabilidad. Mediante una metodología definida en 5 fases se muestra las herramientas que fueron utilizadas para obtener los resultados en el modelo computacional. Se realizó la comparación de velocidades y presiones para los diseños 1 (rompeolas sin pie de talud) y 2 (rompeolas con pie de talud) para dos escenarios de oleajes extremos. Debido a que el diseño 2 cuenta con un pie de talud, y este tuvo como objetivo principal disipar la energía del oleaje, las presiones que se ejercieron en el fluido en la estructura disminuyeron en comparación al diseño 1.

Palabras Clave: CFD, rompeolas, condiciones de borde, oleaje, protección.

Abstract

Coastal areas are affected by different conditions such as waves or erosion, to reduce these impacts coastal protection structures such as breakwaters are built. Ecuador does not have numerical computational models that show the processes that occur in the interaction of a fluid in a structure, this is why this integrative project aims to evaluate a conceptual design of a breakwater previously proposed in San Pedro - Santa Elena, by analyzing the speeds and pressures of the waves that act on the protection structure, using REEF3D to improve its efficiency and durability. Using a methodology defined in 5 phases, the tools that were used to obtain the results in the computational model are shown. A comparison of speeds and pressures was made for designs 1 (breakwater without slope toe) and 2 (breakwater with slope toe) for two extreme wave scenarios. Because design 2 has a slope footer, and its main objective was to dissipate wave energy, the pressures exerted on the fluid in the structure decreased compared to design 1.

Keywords: *CFD, breakwater, boundary conditions, wave, protection.*

Índice General

Resumen.....	I
Abstract.....	II
Índice General.....	III
Abreviaturas.....	V
Simbología.....	VI
Índice de Figuras.....	VII
Índice de Tablas.....	VII
Capítulo 1.....	1
1. Introducción.....	2
1.1 Descripción del Problema	2
1.2 Justificación del Problema	2
1.3 Objetivos	3
1.4 Marco teórico	4
1.5 Área de estudio.....	11
Capítulo 2.....	14
2. Metodología.....	15
2.1 Recopilación de información	15
2.2 Levantamiento de información bibliográfica y de campo	16
2.3 Configuración del modelo REEF3D	19
2.4 Calibración	20
2.5 Diseño en AutoCAD	21
2.6 Generación de escenarios.....	23
Capítulo 3.....	25
3.1 Resultados y análisis.....	26
3.1.1 Escenario 1: Diseño 1.....	26
3.1.2 Escenario 1: Diseño 2.....	26

3.1.3 Escenario 2: Diseño 1.....	27
3.1.4 Escenario 2: Diseño 2.....	28
3.2 Costos	30
Capítulo 4.....	32
4.1 Conclusiones y recomendaciones	33
4.1.1 Conclusiones	33
4.1.2 Recomendaciones.....	33
Referencias.....	29
Anexos	31

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

FIMCM Facultad de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar

INOCAR Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada

GAD Gobierno Autónomo Descentralizado

CFD Computacional Fluid Dinamic

NWT Numerical Wave Tank

RANS Reynolds-averaged Navier Stokes

VRANS Volume Reynolds-averaged Navier Stokes

WENO Weighted Essentially Non-Oscillatory

ENSO El Niño/Southern Oscillation

MSL Mean Sea Level

UTM Universal Transverse Mercator

cd Change directory

cp Copy

ls List

usr Username

Simbología

°	Grados
%	Porcentaje
m	Metro
mm	Milímetro
s	Segundos
Pa	Pascales
Cu	Cobre
m/s	Metros por segundo
u	Velocidad promediada en el tiempo
x	Escala geométrica espacial
ρ	Densidad del fluido
p	Presión
v	Viscosidad cinemática.
vt	Viscosidad del remolino.
g	Aceleración respecto a la gravedad.
gr	Gramo
P	Porosidad abierta
Msat	Masa de la muestra saturada
Ms	Masa de la muestra seca
MH	Masa de la muestra saturada y sumergida en agua
H	Altura de ola
T	Periodo de la ola
MDW	Dirección Promedio de la ola

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Rompeolas Santa Elena – La Libertad</i>	5
Figura 2	<i>Teoría de ondas</i>	7
Figura 3	<i>Zona de NWT ingreso de las olas y absorción de las olas</i>	9
Figura 4	<i>Configuración de límites para el ingreso de datos.</i>	10
Figura 5	<i>Generación de cuadrícula para el dominio establecido</i>	11
Figura 6	<i>El área de estudio en San Pedro – Santa Elena</i>	12
Figura 7	<i>Fases de la metodología del proyecto integrador</i>	15
Figura 8	<i>Área de estudio cercano a la estación 1 en San Pedro</i>	17
Figura 9	<i>Ubicación de la cantera “El Tablazo”</i>	18
Figura 10	<i>Resultados de modelo calibrado</i>	20
Figura 11	<i>Diseños en CAD de propuestas</i>	22
Figura 12	<i>Resultados de modelo calibrado</i>	23
Figura 13	<i>Modelo obtenido en REEF3D Escenario 1 diseño 1</i>	26
Figura 14	<i>Modelo obtenido en REEF3D Escenario 1 diseño 2</i>	27
Figura 15	<i>Modelo obtenido en REEF3D Escenario 2 diseño 1</i>	28
Figura 16	<i>Modelo obtenido en REEF3D Escenario 2 diseño 2</i>	29
Figura 17	<i>Presupuesto final para la evaluación de un rompeolas en REEF3D</i>	31

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Características principales de modelos numéricos</i>	6
Tabla 2	<i>Parámetros base en la configuración del modelo REEF3D</i>	20
Tabla 3	<i>Calibración utilizando altura de ola promedio</i>	21
Tabla 4	<i>Calibración utilizando altura de ola significativa</i>	21
Tabla 5	<i>Resultados de velocidades y presiones – Escenario 1, Diseño 1</i>	26
Tabla 6	<i>Resultados de velocidades y presiones – Escenario 1, Diseño 2</i>	27
Tabla 7	<i>Resultados de velocidades y presiones – Escenario 2, Diseño 1</i>	28
Tabla 8	<i>Resultados de velocidades y presiones – Escenario 2 Diseño 2</i>	29

Capítulo 1

1. Introducción

1.1 Descripción del Problema

Las zonas costeras de muchas partes del mundo sufren graves procesos de erosión, lo que ha llevado a la construcción de rompeolas como medida de protección. Sin embargo, los métodos tradicionales para diseñar estos rompeolas, con ecuaciones analíticas simples, no logran capturar con precisión los efectos no lineales y las complejas interacciones entre el oleaje y la estructura. Esta limitación dificulta la evaluación detallada de la funcionalidad y durabilidad de los rompeolas, lo que puede comprometer su capacidad a largo plazo, especialmente en condiciones de oleaje extremo, recordando que la fuerza del oleaje es un factor relevante en el diseño de estructuras que se encuentra en entornos costeros ya que la carga que se ejerce a la estructura puede sobrepasar los límites de eficiencia (Bellido & Siesquen, 2018).

1.2 Justificación del Problema

En la actualidad, el Ecuador no cuenta con modelos numéricos computacionales que muestren los procesos que ocurren en la interacción de un fluido en una estructura. Debido a que no se cuenta con modelos físicos que se asemejen a la realidad de efectos que produce el oleaje en una estructura, La empresa CONSULSUA requiere de una herramienta avanzada que se base en Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) para simular con precisión la interacción entre el oleaje y los rompeolas. Esta herramienta permitirá analizar en detalle la eficiencia estructural frente a diferentes escenarios de oleaje extremo y proponer mejoras en el diseño de las estructuras de protección. Con ello, se busca mejorar la funcionalidad y asegurar la durabilidad de los rompeolas, garantizando una mayor protección para las zonas costeras afectadas por la erosión.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar un diseño conceptual de un rompeolas previamente propuesto para la localidad de San Pedro, Santa Elena, mediante el análisis de las velocidades y presiones del oleaje que actúan sobre la estructura de protección, utilizando el software REEF3D para mejorar su eficiencia y durabilidad.

1.3.2 Objetivos específicos

1. Evaluar la eficiencia del diseño del rompeolas a través de un análisis detallado del funcionamiento, identificando zonas críticas que podrían comprometer su estabilidad bajo diversas condiciones de oleaje. Esto incluye el estudio de variables como velocidades y presiones que actúan sobre la estructura.
2. Simular distintos escenarios de oleaje extremo para evaluar su impacto sobre la estructura de protección, con un enfoque en la interacción fluido-estructura y analizar el comportamiento de la estructura frente a diferentes condiciones en términos de disipación de energía, y proponer mejoras basadas en estos resultados.
3. Proponer mejoras en el diseño del rompeolas, optimizando su geometría y los materiales utilizados (como el tipo de rocas, Dn50, y porosidad), para maximizar la eficiencia en la reducción de la energía de las olas y minimizar el riesgo de erosión costera.

1.4 Marco teórico

Ingeniería costera

El objetivo de esta ingeniería es resolver los problemas que ocurren en la franja en las diferentes escalas de tiempo y espacio, además de los conceptos técnicos y económicos que la zona posee (Sánchez, 1994). Su importancia se basa principalmente en la protección de las playas y para evitar de la erosión costera, además para la construcción de obras marítimas como puertos, muelles, paseos marítimos, entre otras.

Rompeolas

Un rompeolas cerca de la costa es una estructura que protege diferentes zonas como puerto, fondeadero o cuenca de las olas. Los rompeolas son construidos normalmente paralelos a la costa, y construidos generalmente con rocas o con hormigón prefabricado. Su principal función es disminuir la energía de las olas y a su vez disminuye el transporte litoral de los sedimentos. Generalmente existen tres tipos de rompeolas los que se encuentran de forma emergida, sumergida y los que son intermedios. La construcción de una batería de rompeolas generalmente afecta a la costa, creando acumulación de sedimentos denominados tómbolos o salientes, pero esto reduce la erosión en la zona, sin embargo, tendrá lugar a una erosión en playa vecinas (Shore Protection Manual, 1973).

Figura 1

Rompeolas Santa Elena – La Libertad



Nota. Fuente: Jotuvén, 2014

Modelos numéricos computacionales

Los modelos numéricos son herramientas que permiten obtener predicciones técnicas. Estos pueden ser aplicados tanto para dominios extensos o pequeños, categorías oceánicas y costeras, de manera que la resolución, la demanda computacional y el detalle dependerá de la aplicación del modelo en el caso de estudio. (Lavidas & Venugopal, 2018)

En la actualidad aún existen dificultades con respecto a las ecuaciones de gobierno del movimiento ondulatorio y las de contorno que dificultan obtener soluciones analíticas que describan por completo y den soluciones más reales con respecto a la propagación de las olas, sin embargo, los avances computacionales han permitido desarrollar modelos analíticos y descriptivos complejos para los diferentes tipos de oleajes como sea y swell. Los modelos computacionales que existen se dividen que promedian la fase, resuelven la fase y dinámica de fluidos computacional.

Los modelos que promedian la fase describen el espectro de energía de la ola teniendo en cuenta las condiciones del viento, corriente y batimetría, permite obtener la propagación de las olas desde la zona de generación hasta la costa (se aplica en áreas mayores). Los

modelos que resuelven la fase basados en ecuaciones no estacionarias de conservación de masa y son usados en condiciones de oleaje variable con dominios pequeños sin considerar generación ni disipación de energía. Sin embargo, en la actualidad en el área de la ingeniería marina y costera, se han desarrollado herramientas complementarias para el modelado como es la dinámica de fluidos computacional (CFD) con numérica wave tanks (NWTs), que permite simular la interacción de ola-estructura, la fuerza de la ola, la interacción con estructuras permeables o flotantes, entre otros. (Miquel et al., 2018)

Tabla 1

Características principales de modelos numéricos

Tipo	Promedian la fase	Resuelven la fase	Dinámica de fluidos computacional
Modelo	SWAN	SWASH	OpenFOAM
	MIKE 21 SW	MIKE 21 BW	REEF3D
	DELFT3D	FUNWAVE	
Formula conceptual	Modelos espectrales:	Modelos no espectrales:	RANS
	Balance de energía	Balance de momentun Flujo de masa	
Dimensiones	2D	2D	3D
Malla	Cuadrada	Cuadrada	Cuadrada escalonada
	Flexibles	Flexibles	uniforme. Ghost cell
Eficiencia computacional	Media	Media	Alta

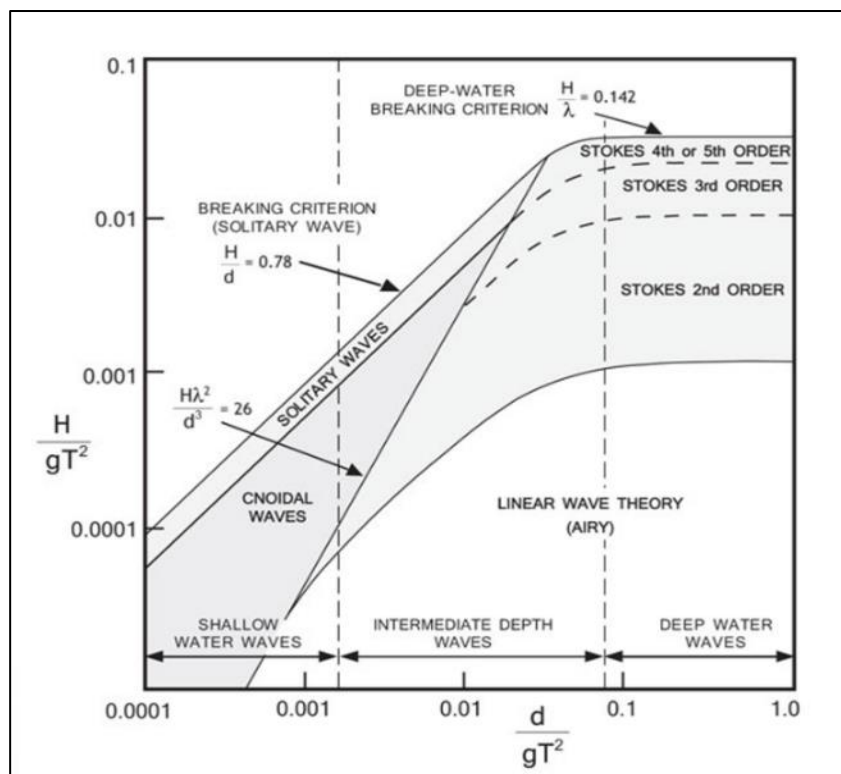
REEF 3D

REEF3D con su módulo de CFD de código abierto, desarrollado por Hans Bihs el 2008. El software admite un archivo (ctrl.txt) donde se codifican con letras y seguido por dos

números, que representa el parámetro que se analiza, luego el primer número representa el solucionador y el último indica la función o valor que se empleará, además el software genera archivos binarios que requieren de un post-procesamiento en plataformas como PARAVIEW. El software permite modelar diferentes tipos de ecuaciones de ondas, desde aguas profundas hasta someras con aproximaciones de ondas largas como ondas Cnoidal ondas de amplitud finita y efectos no lineales, entre otros. La Figura 2 permite identificar que teoría de onda se acopla mejor con las características del modelo.

Figura 2

Teoría de ondas



Nota. Fuente: Le Méhauté, 1976

Ecuaciones de gobierno

Resuelven las ecuaciones de continuidad (1.1) en conjunto con la ecuación de momento de Reynolds-Averaged Navier Stokes (1.2) para fluidos incompresibles, bajo los supuestos de Boussinesq y la presión hidrostática donde resuelven el siguiente sistema:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left((\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right) + g_i \quad (1.2)$$

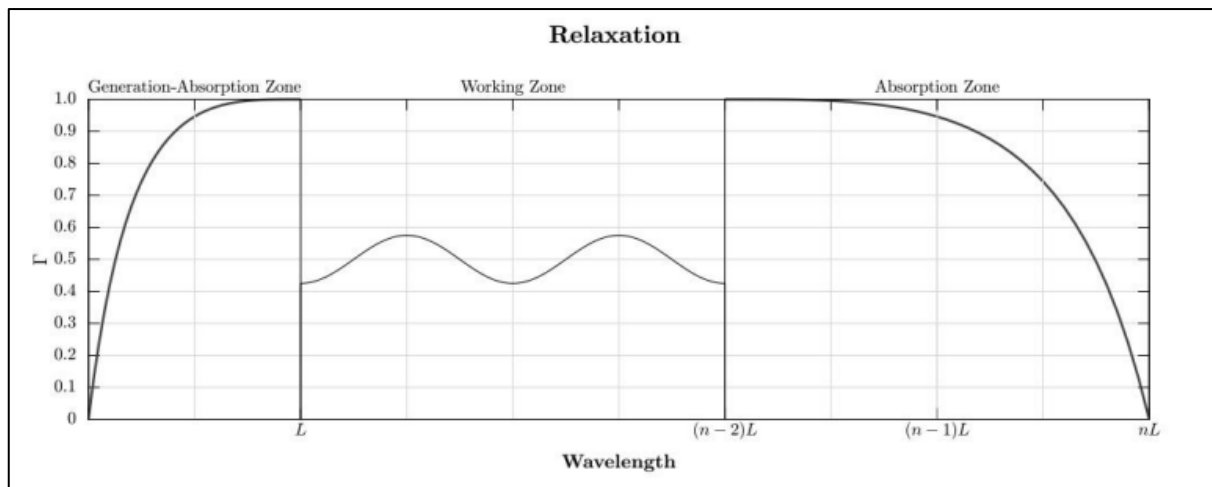
REEF 3D utiliza el método de diferencias finitas dado la complejidad de resolver ecuaciones de manera analítica. (Fleit, 2015) En la ecuación (1.2) se utilizan métodos numéricos WENO (Weighted Essentially Non-Oscillatory) para resolver derivadas parciales hiperbólicas y para la discretización temporal el esquema de tercer orden Runge-Kutta. (Miquel et al., 2018) Además, el método de proyección para obtener el cálculo de la presión como una técnica en las ecuaciones de Navier-Stokes. (Chorin, 1968) Para flujo turbulento dentro del modelo se utilizan dos ecuaciones k- ω y k- ϵ , con ecuaciones de transporte de energía cinética turbulenta y la tasa de disipación turbulenta, además según Menter por la simplicidad y estabilidad numérica el modelo k- ω es el más recomendable. (Menter, 1994)

Condiciones de borde: Generación y absorción de las olas

Debido a que los modelos de CFD tienen un dominio es necesario establecer cuál es la zona de generación de las olas y la absorción de las olas (donde finaliza el oleaje) como se observa en la Figura 3, y establecer cual método utilizar dentro esa zona como relaxation method y Dirichlet para el ingreso de la ola y para la salida del oleaje se utilizan relaxation method y Active Wave Absorption (Miquel et al., 2018).

Figura 3

Zona de NWT ingreso de las olas y absorción de las olas



Nota. Fuente: Miquel et al., 2018

Medio Poroso: Ecuaciones de VRANS

Una manera de resolver el flujo en un medio poroso que emplea REEF3D es por medio de las ecuaciones de RANS que es aplicado para promediar un volumen, generando las ecuaciones de VRANS tridimensional donde considera el medio poroso como un medio continuo, simplificado a no necesitar una resolución detallada de cada roca. (Sasikumar et al., 2019)

En el caso de modelar con una estructura es necesario identificar que es un medio por los efectos de la resistencia del flujo. Para el caso de estructuras con rocas la Ley de Darcy que se basa en flujo laminar donde el tamaño del poro y las velocidades son pequeñas, se sustituye por la ley de Forcheimer en termino no lineal, que analiza el flujo turbulento en un material grueso. (CIRIA, 2007)

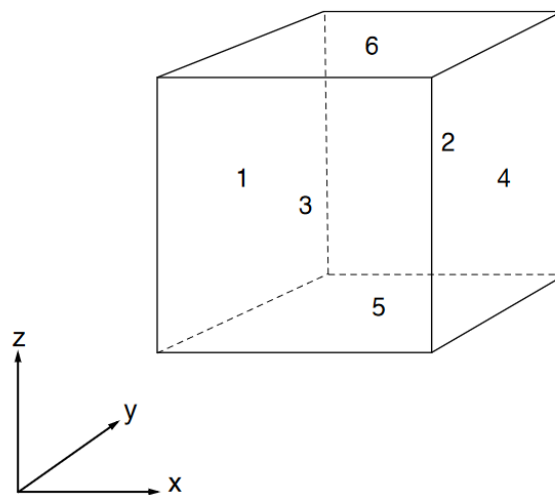
DIVEMESH

El modelo numérico REEF 3D viene en conjunto con DIVEMESH (archivo de ingreso control.txt), en general es donde se define las condiciones de borde y se define el

dominio, es responsable de la generación de la malla que posteriormente se utiliza en REEF3D, también fue desarrollado por Hans Bihs (2008). Dentro del programa se debe definir el tamaño de la zona que consta de 6 límites (Figura 4) como es la entrada (1), la salida (4), atmosfera (6), fondo (5), la parte de frente y posterior (3 y 2) y a cada una de estas áreas se define las condiciones de contorno para recrear el comportamiento físico. (Sasikumar et al., 2019)

Figura 4

Configuración de límites para el ingreso de datos.

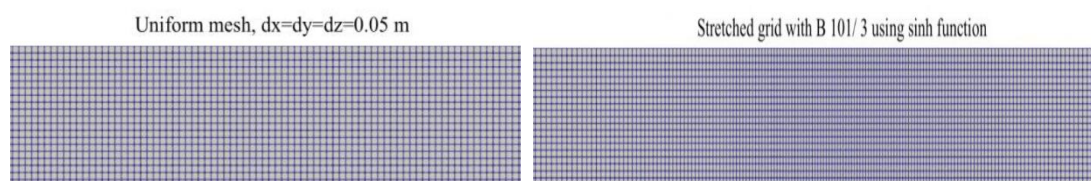


Nota. Establece los datos en el eje x, y, z. Fuente: Team REEF3D

El área designada se utiliza para la discretización espacial, división de dominio computacional en cuadrículas cartesianas, la cuadrícula se la designa con un mismo tamaño para $dx=dy=dz$ donde entre más pequeña es la cuadrícula tendrán mejores resultados con respecto a la resolución de los detalles y de este valor dependerá el número de celdas generadas. También el programa tiene la capacidad de generar cuadrículas estiradas generando una malla no uniforme (Figura 5).

Figura 5

Generación de cuadrícula para el dominio establecido



Nota. Fuente: Arun Kamath, CFD online.

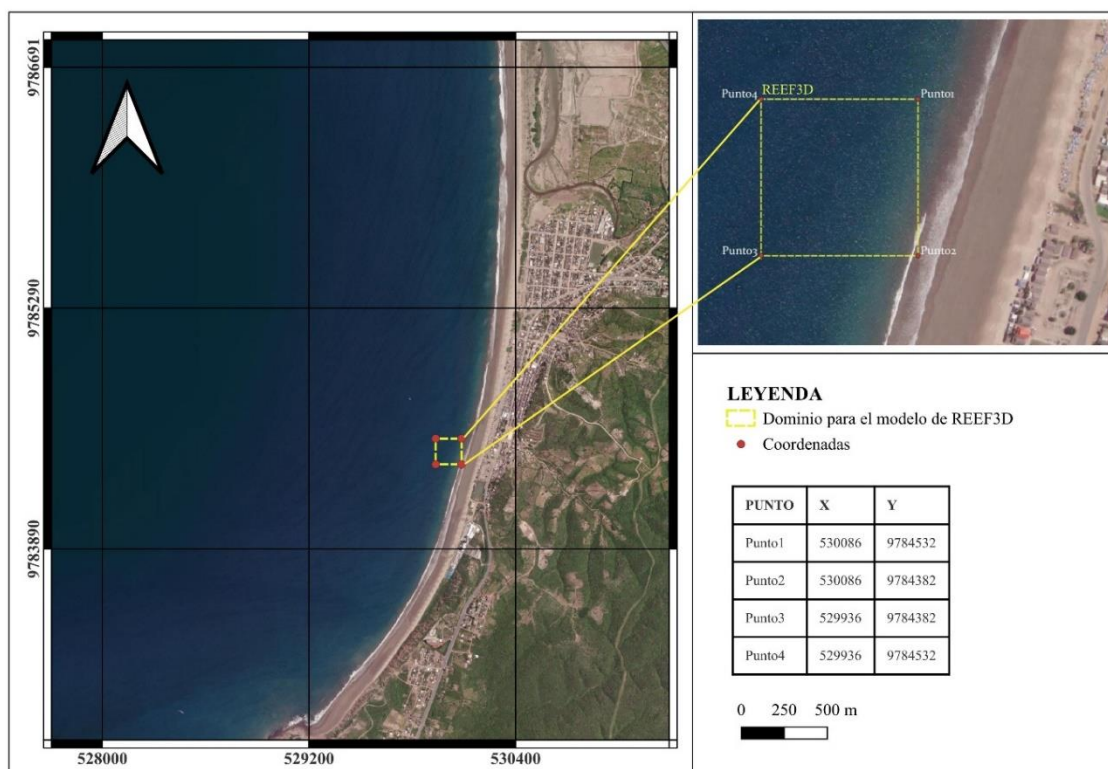
Sin embargo, al ser igual el tamaño de la cuadrícula se vuelven regulares con una estructura definida, por lo tanto, si se coloca alguna estructura irregular (geometría compleja) se vuelve un problema para un buen análisis del fluido, por esa razón se utiliza el método de límite inmerso de ghost cell, donde los valores del régimen del fluido se extrapolan a la región sólida formando las celdas fantasmas y el valor es calculado por una línea ortogonal que pasa por el límite. (Fleit, 2015)

1.5 Área de estudio

La comuna de San Pedro se encuentra dentro de la parroquia Manglaralto en la provincia de Santa Elena – Ecuador. La comuna cuenta con una playa de 2000 metros de longitud, y está limitada por la comuna de Valdivia al norte, la comuna del Ayangue por el sur y al este con Sinchal y Manantial de Colonche. Su morfología se encuentra dominada principalmente por el oleaje y las mareas.

Figura 6

El área de estudio en San Pedro – Santa Elena



Nota. El modelo REEF3D se encuentra en el recuadro amarillo con sus respectivas coordenadas.

1.5.1 Características morfológicas

San Pedro se caracteriza por su variabilidad de acantilados, además de playas de barrera que se encuentran frente a sus costas (Reyes, 2021). Al sur del área de estudio se encuentra el acantilado de San Antonio, compuesto por la formación de conglomerado y areniscas, materiales que aparecen en la zona debido a la erosión generada principalmente por el oleaje (Andrade Bowen et al., 2020).

1.5.2 Características meteorológicas

En Santa Elena el clima es húmedo con una temperatura media anual entre 23°C – 25°C (GAD Parroquial Manglaralto, 2018). El suelo es considerado estéril debido a sus bajos promedios de precipitaciones anuales que son menores de 300 mm. Las series temporales de vientos en años 1945 a 1977 se encuentran con velocidades que van desde 2.9 m/s - 4.2 m/s.

La velocidad máxima registrada es de 16 m/s con un 0.2% de ocurrencia. La dirección de viento que predomina en la zona es SO (Andrade & Maquilón, 2019).

1.5.2 Características hidrodinámicas

La playa de San Pedro se encuentra expuesta a una energía de oleaje alta. La dirección del oleaje se divide en 4 categorías: del noroeste (NO), oeste (O), del suroeste (SO), siendo la mayoría provenientes del suroeste; además de vientos locales. Diversos estudios sobre el oleaje determinaron que las alturas significativas más altas se presentan en los meses de noviembre hasta abril (Piedra, 1990).

En un estudio realizado por el INOCAR en el 2008 en la zona de Monteverde, la máxima velocidad que alcanzaron las corrientes fue de 0.33 m/s en flujo y 0.29 m/s en reflujo en la época húmeda (INOCAR, 2015)

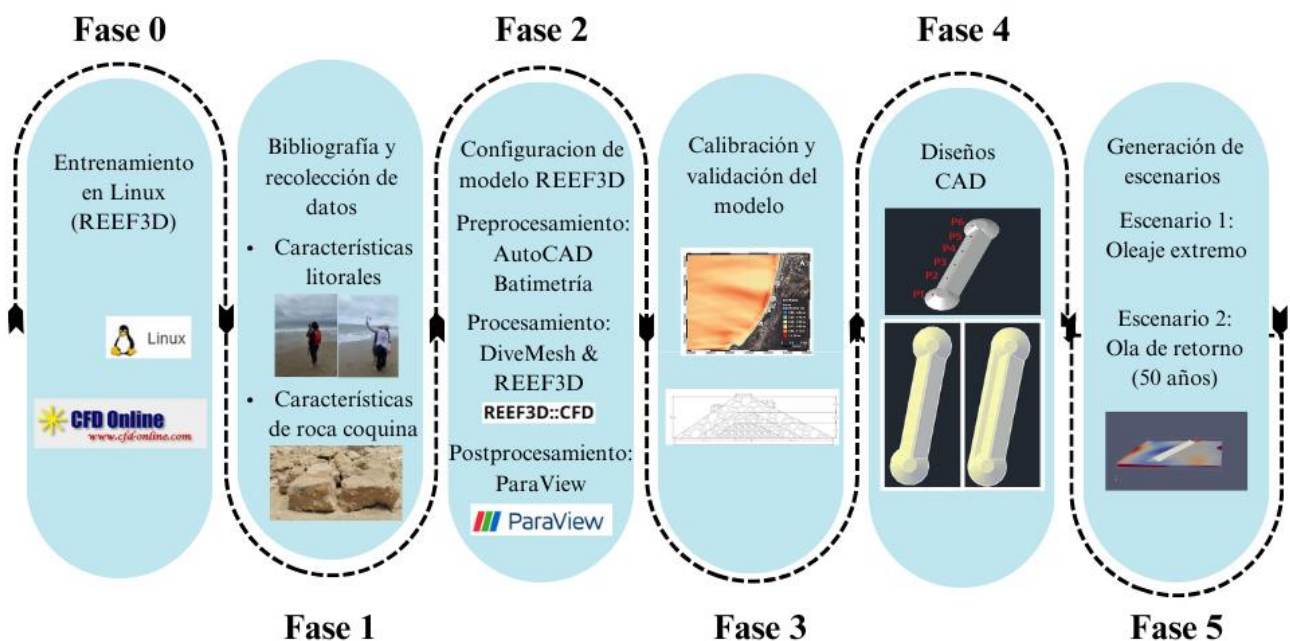
Capítulo 2

2. Metodología

En esta sección se describe la metodología utilizada para la elaboración del proyecto, además de las fases establecidas y la recopilación de información necesaria para cada una de ellas. A continuación, se representa de forma secuencial las fases del proyecto y sus datos de entrada.

Figura 7

Fases de la metodología del proyecto integrador



2.1 Recopilación de información

Instalación de Linux & REEF3D: Para la instalación de Linux se utilizaron los foros de instalación obtenidos de la página oficial de Linux ya que para el manejo del programa computacional de REEF3D, Linux cumple la función de Kernel, siendo el medio de comunicación entre el sistema operativo y el Hardware. Los programas se instalaron en la WORKSTATIONLENOVO P920 ubicado en la facultad de FIMCM, dentro del Campus Galindo ESPOL.

Entrenamiento en Linux: Se utilizaron comandos para desplazarse por el directorio. Que fueron proporcionados por los Foros del sistema operativo de código abierto (Linux) y

son necesario al momento de abrir la plataforma de REEF3D, DIVEMESH y los archivos generados. Los dos comandos más utilizados son: /(PROGRAM), en donde "PROGRAM" es el programa o script en donde se quiere ejecutar los archivos de entrada y para correr un programa con la cantidad de núcleos necesarias para su eficiencia, mpirun -np # PROGRAM, donde "#" es el número de procesos/subprocesos a crear (núcleos) y "PROGRAM" es el programa o script que se ejecutará en el clúster.

Entrenamiento en REEF3D & DIVEMESH: Para el entrenamiento de REEF3D y DIVEMESH, se emplearon las guías descargadas del sitio web de REEF3D, en donde mostraban a detalle los inputs que recibe el modelo computacional.

2.2 Levantamiento de información bibliográfica y de campo

2.2.1 Levantamiento de información bibliográfica

Se realizó una investigación detallada del uso académico y profesional de la herramienta REEF3D para verificar las bondades y características que puede realizar el software, para eso se revisaron documentos científicos de investigaciones académicas internacionales y tesis que abordan el modelo computacional mencionado. Además, con la plataforma de CFD online (CFD community, 1994), el cual es un sitio web donde se pueden hacer preguntas y expertos que ya han utilizado el software y al equipo profesional de desarrolladores de REEF3D responde a los problemas o inquietudes que se tenga con respecto al programa.

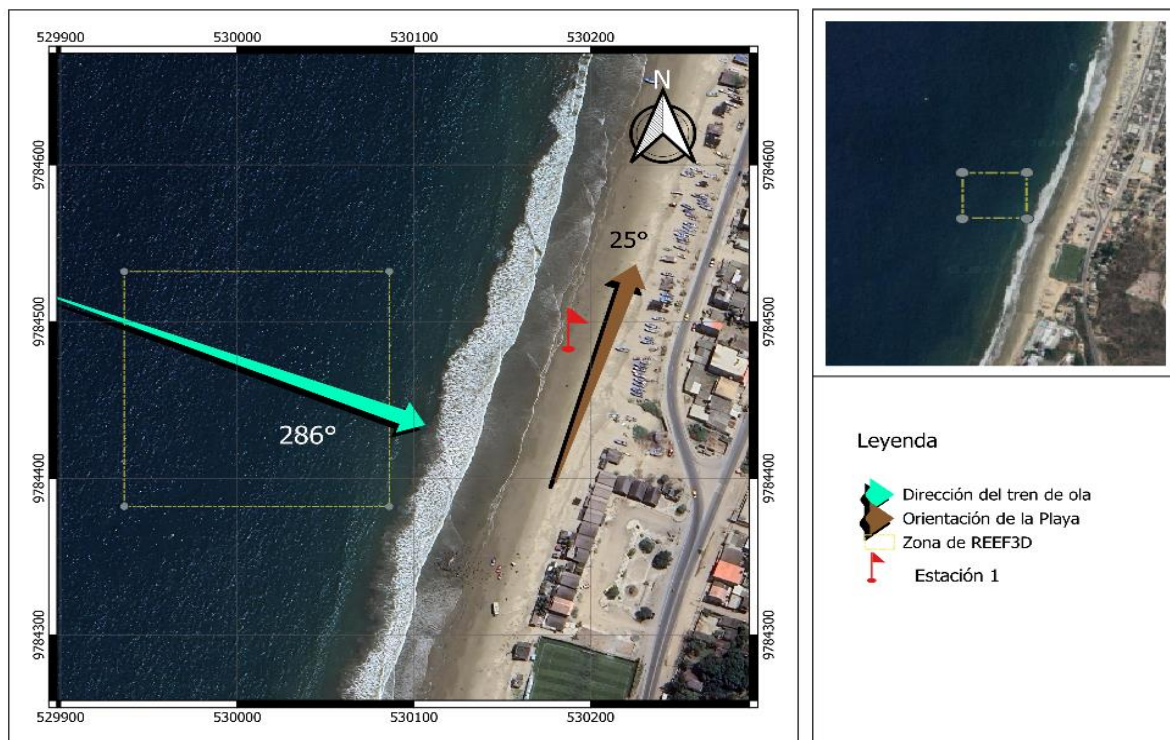
Al mismo tiempo, se consultaron a expertos de diferentes áreas de oceanografía para establecer ciertos parámetros que se ingresan dentro del software, asimismo para establecer la zona de estudio que esté relacionada con las estaciones en las cuales se tienen datos históricos (estación 1 y 2) de la plataforma OLE (ver Apéndice E) la cual es una plataforma de ESPOL donde tienen datos de características litorales desde el 2019 y a partir de esto comparar los datos obtenidos en campo y verificar que tienen relación.

2.2.2 Levantamiento de información en campo

El día 17 de octubre del 2024 con mareas de sicigia, se llevó a cabo la salida de campo para encontrar características litorales de la zona de San Pedro, Santa Elena en las siguientes estaciones con sus respectivas coordenadas en UTM estación 1 y estación 2 al Este 530081m y al Norte 9783977m., Entre las variables destacadas de nuestro proyecto y debido a que el área de estudio esta más cercana a la estación 1, se obtuvo que la altura promedio es de 0.5m, el periodo promedio 14s y la dirección promedio de la ola 286°, como se puede evidenciar en la Figura 7, esta información fue comparada por la información obtenida en OLE.

Figura 8

Área de estudio cercano a la estación 1 en San Pedro

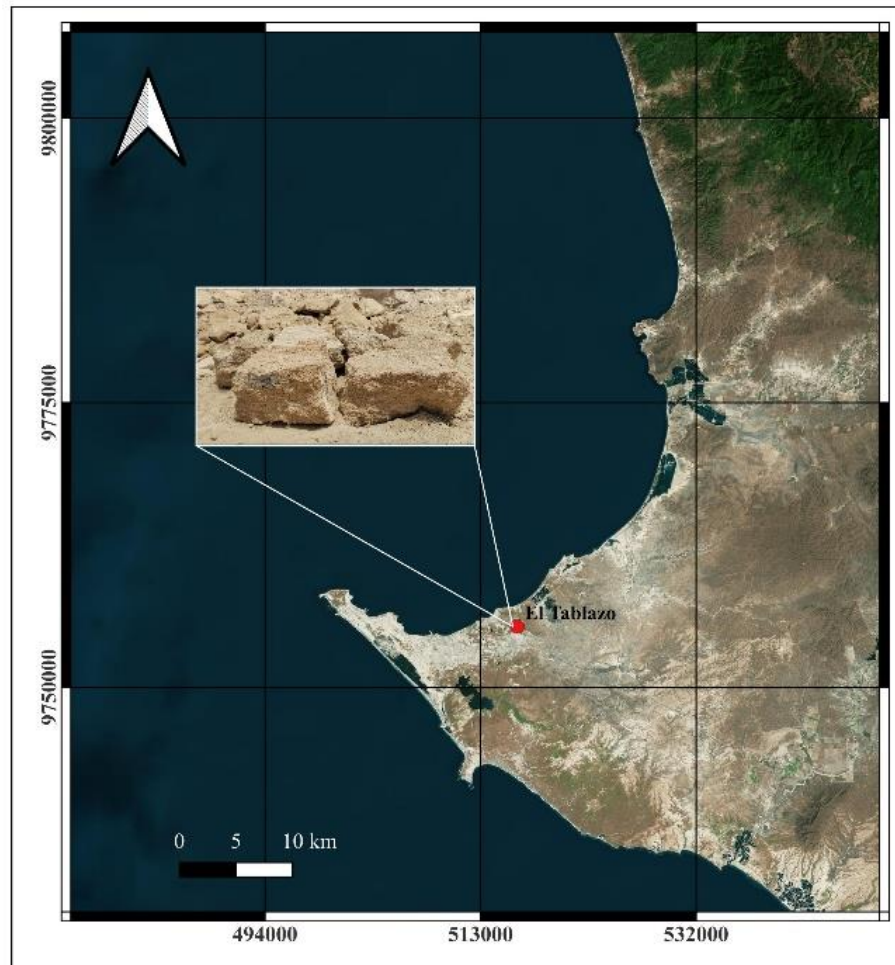


Nota. Se observan datos de dirección de oleaje y orientación de la laya del día 17 de octubre del 2024

Se extrajeron rocas coquinas de la cantera “El Tablazo” para calcular la porosidad de la roca, debido a que uno de los inputs necesarios para la parte estructural es la porosidad de la roca.

Figura 9

Ubicación de la cantera “El Tablazo”



Fue indispensable fragmentar la roca para poder obtener pequeñas muestras, con el fin de obtener la porosidad. Para calcular la porosidad de la roca se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H} \quad (2.1)$$

Se calculó la porosidad de 6 muestras de la roca coquina para tener un valor más preciso de su porosidad. El procedimiento fue realizado en el laboratorio de FICT. Se utilizó el horno para secar las muestras y calcular el valor de M_s ; y para obtener el peso de la masa

sumergida fue necesario un recipiente con agua en donde se colocó la muestra. El porcentaje de la porosidad promedio de la muestra fue de 27.1%.

2.3 Configuración del modelo REEF3D

En esta fase se muestra los datos de entradas del modelo además los parámetros utilizados para la configuración de este.

Teorías de ondas

Con los datos de entrada de REEF3D (altura, periodo y profundidad) y mediante la Figura 2 de teoría de ondas, el programa generara resultados con las ecuaciones de ondas Cnoidal que son utilizadas en aguas someras.

Resoluciones en 2D y 3D

Considerando la disponibilidad de tiempo, la capacidad de almacenamiento y el rendimiento de la Workstation, la resolución en 2D utilizada fue 0.5 (m) y la resolución en 3D de 1 (m) debido a que se generan celdas en tres dimensiones por lo tanto se tiene una mayor generación de datos.

Batimetría y rugosidad

Se utilizo la batimetría generada en la herramienta Delft Dashboard por (Reye & Vilela) con información disponible del año 2019, La batimetría era de la provincia de Santa Elena, así que con el modelo QGis se filtraron los datos correspondientes a nuestra zona de estudio (San Pedro). El modelo de REEF 3D solo acepta archivos de batimetría .dat.

Se obtiene el valor de la rugosidad en un punto del área de estudio mediante un modelo de cobertura del suelo de la Universidad de Tsinghua.

Otros parámetros

A continuación, se muestra la siguiente tabla 2 en donde describe las variables de mayor relevancia para la generación de los resultados de presión, velocidad y elevación en REEF 3D.

Tabla 2

Parámetros base en la configuración del modelo REEF3D

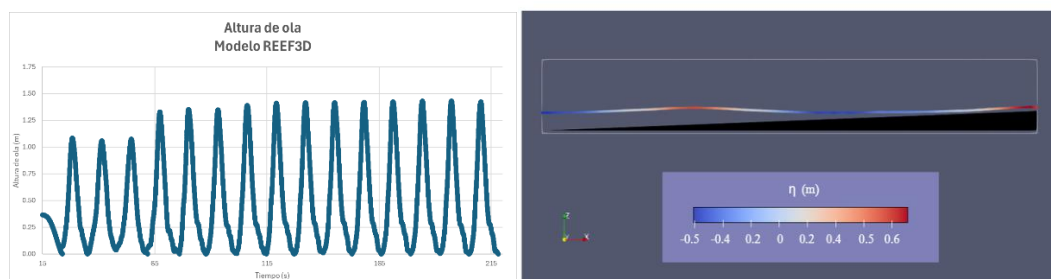
Parámetros	Valor
<i>Aceleración de la gravedad (m/s)</i>	<i>-9.81</i>
<i>Nivel del agua quieta (m)</i>	<i>0.2</i>
<i>Área de estudio (m2)</i>	<i>150 x190</i>
<i>Rugosidad</i>	<i>0.04</i>
<i>Número de iteraciones</i>	<i>200</i>
<i>Número de procesadores</i>	<i>56</i>

2.4 Calibración

A partir de los datos del proyecto integrados de Reyes y Vilela, con el programa SWASH (validado y calibrado) se utilizaron los datos de altura de ola de 0.7m y periodo de 13s como datos de entrada en REEF3D y se configuró para generar el modelo en 2D con el fin de calibrar la información con los datos de medición en campo que se tiene en la zona y con el modelo de SWASH.

Figura 10

Resultados de modelo calibrado



En la figura 9 se puede observar los resultados del modelo REEF3D, con los cuales se obtuvo la altura de ola promedio para comparar con datos de campo obtenidos de la plataforma de OLE y en la fase 1, recopilación de información con la medición de campo (2024), como se observa en la tabla 3.

Tabla 3

Calibración utilizando altura de ola promedio

Comparación entre datos de campo y el Modelo REEF3D

	2018	2019	2024	Modelo REEF3D
Altura promedio (m)	0.47	0.81	0.5	0.49

Además, se comprobó la calibración también con el modelo de SWASH y las salidas de campo en relación con la altura de ola significativa como se observa en la tabla 4, en ambos casos cumple por lo tanto el modelo se encuentra calibrado.

Tabla 4

Calibración utilizando altura de ola significativa

Comparación de datos de campo, Modelo SWASH y REEF3D

	2018-2021	2022	Modelo REEF3D
Altura significativa (m)	0.74	0.78	0.8

2.5 Diseño en AutoCAD

a georreferenciación en AutoCAD 3D ayudo a obtener las coordenadas de las estructuras diseñadas ya que son necesarias para el modelo REEF3D en el cual se debe diseñar un objeto hexaedro, cada uno con 8 puntos con coordenadas en $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2, x_3, y_3, z_3, x_4, y_4, z_4$. Se utilizó el programa de AutoCAD 3D para los diferentes diseños que fueron propuestas para el nuevo diseño. A continuación, se nombran las propuestas realizadas.

Propuesta 1: Esta estructura tiene las dimensiones propuestas en el proyecto integrador de Andrade & Maquilón.

Propuesta 2: Esta estructura con mitad de pie de talud tiene las dimensiones que se muestran en la Figura 11.

Propuesta 3: Esta estructura tiene adicional un pie de talud, además de las dimensiones que se muestran en la Figura 11.

Propuesta 4: Esta estructura con el cabezal inferior de mayor diámetro.

Figura 11

Diseños en CAD de propuestas



Para la definición de los diseños se tomó en cuenta las consultas a experto y los resultados de la simulación en REEF3D de cada propuesta por un periodo corto de tiempo. Los diseños elegidos que se visualizan en la Figura 10 son la propuesta 1 que es la estructura

base y la propuesta 12, que serán nombrados en el siguiente capítulo con diseño 1 y diseño 2 respectivamente.

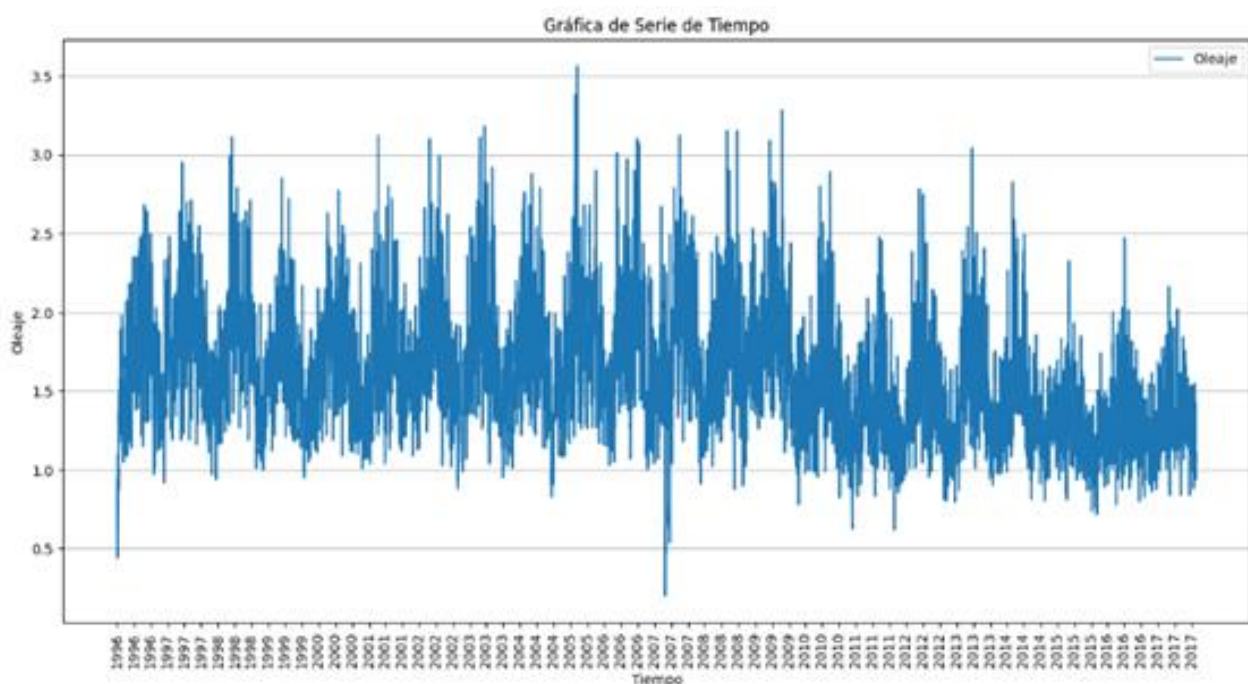
2.6 Generación de escenarios

Para la generación de escenarios nuestro cliente solicito la simulación de los diseños 1 y 2 bajo condiciones de oleaje extremo, para esto se obtuvo registros de la boya con coordenadas (278.75, -2), ya que esta es la más cercana a nuestra zona de estudio (San Pedro). Los registros contienen datos de periodo, altura y dirección de ola desde 1996 hasta el 2018.

Se realizó estadística de oleaje (Figura 12) la cual mostro que las mayores alturas de las olas registradas son en el año 2005 con una altura máxima mayor a 3 metros, sin embargo, en el año 1997 se registraron la mayor cantidad de alturas de olas por encima del promedio, por esta razón se escogió 1997 como un año con oleaje extremo.

Figura 12

Resultados de modelo calibrado



Se definieron 2 escenarios descritos a continuación:

Escenario 1: Para el escenario uno se obtuvo la altura máxima, periodo pico y la dirección media del noroeste de 1997. Con ayuda de Delft 3D se realizó transformación de oleaje hasta el punto más cercano a nuestra zona de estudio, considerado como condiciones de borde para el modelo de REEF3D.

Escenario 2: Para el segundo escenario se obtuvo la ola de retorno de 50 años con registros de 1997. Se obtuvieron altura de ola de los métodos de Weibull, Log log, Log in y Draper. Se escogió la altura de ola de retorno en 50 años del método de Weibull ya que el libro de modelaje estadístico con valores extremos (Coles, 2001) considera que este método es más recomendable en valores extremos. Cabe recalcar que para ambos escenarios se simularán los diseños 1 y 2.

Capítulo 3

3.1 Resultados y análisis

Los resultados de velocidad y presión para los escenarios 1 y 2 se presentarán mediante 6 punto ubicados en la superficie del rompeolas del diseño 1 y 2.

3.1.1 Escenario 1: Diseño 1

Para el escenario 1 con el diseño 1, se realizó una simulación en donde se obtuvo los resultados de velocidad y presión mostrados en la Tabla 5.

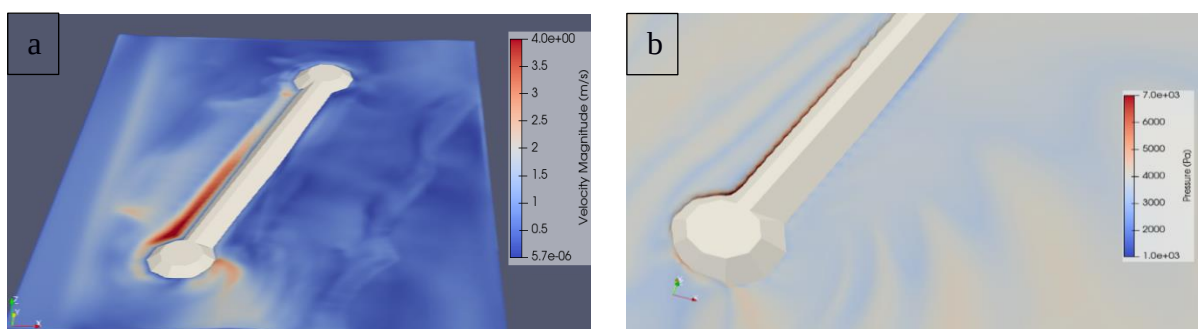
Tabla 5

Resultados de velocidades y presiones – Escenario 1, Diseño 1

Puntos	Velocidad (m/s)	Presión (kPa)
P1	1.79	12
P2	1.03	20
P3	1.03	19
P4	1.16	17
P5	0.88	12
P6	1.26	8

Figura 13

Modelo obtenido en REEF3D Escenario 1 diseño 1



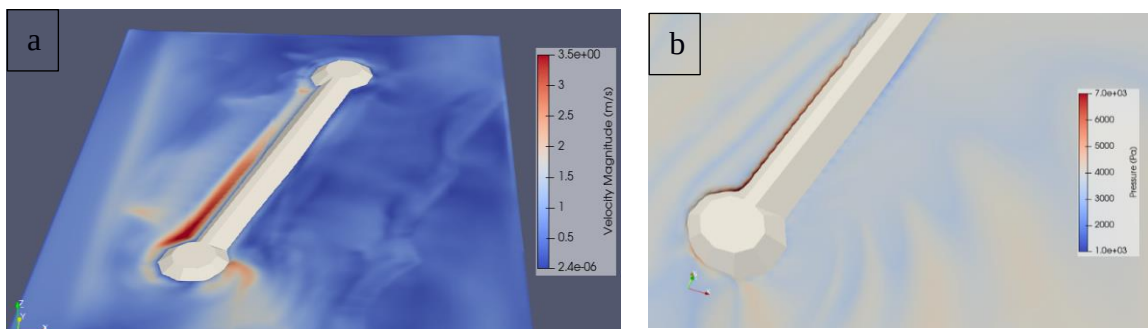
Nota. Ambos casos se visualizan mayor impacto en la parte inferior. La Figura (a) representa la magnitud de velocidades y la Figura(b) las presiones

3.1.2 Escenario 1: Diseño 2

Para el escenario 1 con el diseño 2, se realizó una simulación en donde se obtuvo los resultados de velocidad y presión mostrados en la Tabla 6.

Tabla 6*Resultados de velocidades y presiones – Escenario 1, Diseño 2*

Puntos	Velocidad (m/s)	Presión (kPa)
P1	1.75	12
P2	1.25	18
P3	1.32	16
P4	1.38	15
P5	1.22	15
P6	1.13	5

Figura 14*Modelo obtenido en REEF3D Escenario 1 diseño 2*

Nota. La Figura (a) representa la magnitud de velocidades se visualiza como se distribuye en toda la estructura y la Figura(b) únicamente se aprecian las presiones altas en la estructura

3.1.3 Escenario 2: Diseño 1

Para el escenario 2 con el diseño 1, se realizó una simulación en donde se obtuvo los resultados de velocidad y presión mostrados en la Tabla 7.

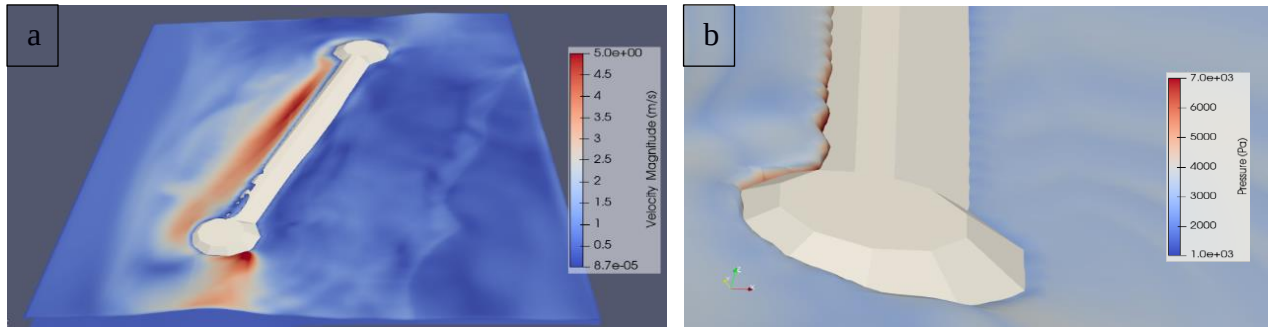
Tabla 7

Resultados de velocidades y presiones – Escenario 2, Diseño 1

Puntos	Velocidad (m/s)	Presión (kPa)
P1	2.02	24
P2	1.33	31
P3	1.29	29
P4	1.31	27
P5	0.98	21
P6	1.46	15

Figura 15

Modelo obtenido en REEF3D Escenario 2 diseño 1



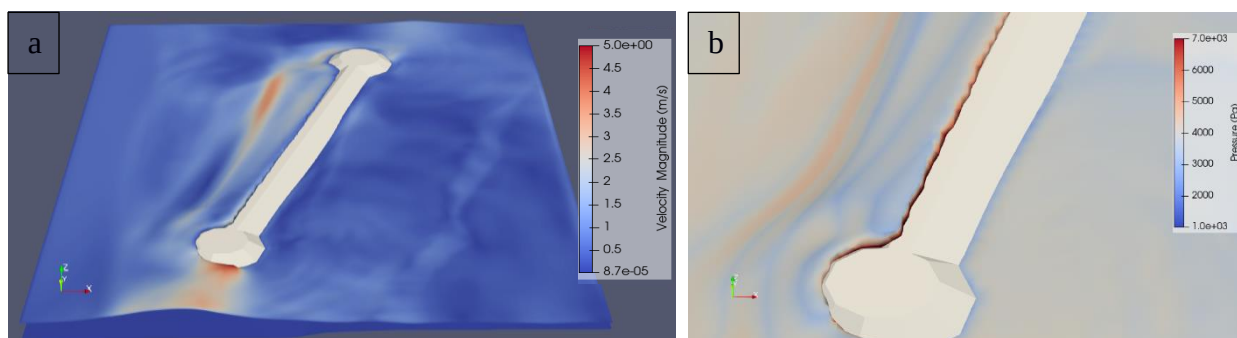
Nota. La Figura (a) representa la magnitud de velocidades además podemos apreciar que el fluido esta encima de la corona, la Figura(b) únicamente se aprecian las mayores presiones en el punto P2.

3.1.4 Escenario 2: Diseño 2

Para el escenario 2 con el diseño 1, se realizó una simulación en donde se obtuvo los resultados de velocidad y presión mostrados en la Tabla 8.

Tabla 8*Resultados de velocidades y presiones – Escenario 2 Diseño 2*

Puntos	Velocidad (m/s)	Presión (kPa)
P1	2.06	23
P2	1.9	28
P3	1.9	27
P4	1.6	27
P5	1.2	22
P6	1.6	13

Figura 16*Modelo obtenido en REEF3D Escenario 2 diseño 2*

Nota. La Figura (a) representa la magnitud de velocidades además podemos apreciar que aumentan las velocidades en el morro inferior; la Figura(b) se distribuye el fluido y las presiones permanecen constantes en P2, P3, P4.

Se realizó la comparación de velocidades y presiones para los diseños 1 y 2 en ambos escenarios. Debido a que el diseño 2 cuenta con un pie de talud, y este es tiene como objetivo principal disipar la energía del oleaje, las presiones que se ejerce el fluido en la estructura deberían disminuir en comparación al diseño 1. Según los resultados mostrados esto se cumple para ambos escenarios. Para el escenario 1 las mayores diferencias de presiones son en el punto 3 y 6, en el punto 1 las presiones y velocidades se mantienen iguales esto se debe a que dicho punto está ubicado en el cabezal inferior de la estructura la cual no se ve afectada por el pie de talud. Para el escenario 2 las mayores diferencias de presiones son en el punto 2,

las presiones en el punto 4 se mantienen para ambos diseños, y en el punto 5 la mayor presión sucede en el diseño 2 lo cual muestra que el fluido utiliza el pie de talud como medio de propagación, cabe destacar que para el punto 6 en ambos escenarios genera una mayor protección, a pesar de que con el diseño 1 no mantenía altas presiones con respecto a los oleajes del noroeste. Los resultados demuestran la utilidad del pie de talud en la estructura, sin embargo, las presiones disminuyen aproximadamente 2 kPa que es equivalente a una disminución del 10%. Este porcentaje es bajo en comparación a la construcción de un pie de talud en una estructura de protección costera, aunque según las simulaciones realizadas este porcentaje puede aumentar modificando las dimensiones de este.

Según la ecuación de Bernoulli la velocidad y la presión instantánea son inversamente proporcional, esto se cumpliría en casos de fluidos ideales, pero debido a que el modelo de REEF3D utiliza ondas senoidales, batimetría, rugosidad, entre otras variables, los resultados de velocidad y presión no necesariamente son proporcionales, además para ambos escenarios en el diseño 1 la ola llega a la estructura y se dispersa, pero en el diseño 2 aumenta la velocidad con mayor significancia debido a la ecuación de continuidad donde la ola al encontrarse con el pie de talud cambia su área siendo más pequeña y por ende la velocidad aumenta.

3.2 Costos

Para el estudio del diseño de rompeolas utilizando REEF3D, se necesitaron datos generales de la zona con respecto al oleaje, orientación de la playa, dirección ortogonal del tren de olas, además de la batimetría del sector y hallar el tipo de porosidad que tiene el material en ese sector, esto es un gasto previo en el cual se invierte en un inicio un total de \$16, 070. 00 , estas actividades se esperan que sean realizadas en un día. Luego, se requiere durante 4 meses una oficina con todos los servicios básicos para hacer la evaluación del diseño con el programa, además de alquilar de una computadora que cumpla con las

características para tener una mejor resolución y espacio para la generación de datos, aparte de eso se requiere personal técnico dos ingenieros/as oceanográficos que conozcan de modelos numéricos y diseños en CAD de tiempo completo y como trabajo de medio tiempo un ingeniero en software siendo un total del presupuesto de \$50,950.00, también está incluido los gastos adicionales, garantías, y otros.

Figura 17

Presupuesto final para la evaluación de un rompeolas en REEF3D

PRESUPUESTO PARA EL ESTUDIO DE DISEÑO USANDO REEF3D				
	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	TOTAL
AUXILIARES PREVIOS				
CARACTERISTICAS LITORALES	hora	1	82 \$	82.00
BATIMETRIA	hora	1	1500 \$	1,500.00
CARACTERISTICAS DE ROCA (POROSIDAD)	hora	1	25 \$	25.00
			sub-total	\$ 1,607.00
CARGAS SOCIALES PERSONAL		25%		\$ 401.75
TOTAL DE ACTIVIDADES PREVIAS	dia	1		\$ 16,070.00
PERSONAL TECNICO				
INGENIERO OCEANOGRAFICO	mes	1	2000 \$	2,000.00
INGENIERO OCEANOGRAFICO	mes	1	2000 \$	2,000.00
INGENIERO EN SOFTWARE	mes	1	1000 \$	1,000.00
			sub-total	\$ 5,000.00
CARGAS SOCIALES PERSONAL		25%		\$ 1,250.00
TOTAL DE COSTO DE PERSONAL TECNICO	mes	4		\$ 25,000.00
GASTOS DIRECTOS GENERALES				
ARRIENDO DE OFICINA	mes	1	300 \$	300.00
ALQUILER DE COMPUTADORA	mes	1	600 \$	600.00
AGUA	mes	1	20 \$	20.00
LUZ	mes	1	15 \$	15.00
INTERNET	mes	1	35 \$	35.00
			sub-total	\$ 970.00
TOTAL DE GASTOS DIRECTOS GENERALES	mes	4		\$ 3,880.00
GASTOS ADICIONALES				
DOTACION DE EQUIPO DE CAMPO Y SEGURIDAD		Global	3000 \$	3,000.00
GARANTIAS		Global	2000 \$	2,000.00
OTROS		Global	1000 \$	1,000.00
			sub-total	\$ 6,000.00
TOTAL DE PRESUPUESTO				\$ 50,950.00

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y recomendaciones

4.1.1 Conclusiones

- Se logró evaluar un diseño conceptual de una protección costera (rompeolas) propuesto mediante el análisis de las velocidades y presiones del oleaje en la estructura utilizando REEF3D.
- Mediante los resultados en el diseño 1 y el diseño 2 se observó la disminución del 10% en las presiones. Además, se identificaron las zonas críticas (zonas de mayor presión) el P1, P2, P3 y P4 que podrían comprometer la estabilidad de la estructura en condiciones de oleaje extremo.
- REEF3D permite capturar los efectos no lineales y las interacciones en el oleaje y la estructura. Además de la visualización de los efectos de refracción, difracción, run up, overtopping entre otros.
- El uso de programas basados en dinámicas de fluidos computacionales es una herramienta útil para evaluar diseños de protección costera con cambios geométricos en su estructura.

4.1.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar la validación del modelo con sensores de presión y velocidad en el campo o en laboratorio a un modelo de diferente escala.
- Es recomendable utilizar un computador con mayor cantidad de núcleos y memoria para que exista una mejor resolución, y se puedan apreciar los cambios del fluido de mejor forma.
- Es recomendable utilizar un computador con mayor cantidad de núcleos y memoria para evaluar los diseños con mayor cantidad de tiempo para que las presiones y velocidades sean las más representativas y muestren con mayor precisión la interacción que ocurre en la realidad.

- Teniendo en cuenta que las mejoras de presión no son muy significativas se recomienda analizar con cambios de pendientes la estructura o con otro material como artificiales (hormigón) o de geo tubos.
- Es recomendable mencionar que, aunque se puede tener un modelado identificando los puntos críticos y disminuir las presiones igual es indispensable tener un seguimiento e inspección de las obras marítimas constante.

Referencias

- Bellido, H., & Siesquen, M. (2018). Aplicación de la fuerza del oleaje en el diseño estructural de un muelle embarcadero en el distrito de la punta, región callao. USMP
- CFD community. (1994). CFD Online. <https://www.cfd-online.com/Forums/reef3d/>
- Piedra Peña, J. (1990). *Procesos Litorales en San pedro-Valdivia* (Bachelor's thesis, ESPOL. FIMCM: Oceanografía).
- INOCAR. (2015). *Atlas Marino Costero del Ecuador*. Guayaquil: INOCAR.
- Reyes, B.; Vilela, K. (2021). Estudio del oleaje de aguas profundas a someras integrando los modelos computacionales SWAN y SWASH mediante la comparación de datos insitu e imágenes satelitales. [TESIS]. Escuela Superior Politécnica del Litoral
- Chorin, A. J. (1968). Numerical solution of the Navier-Stokes equations. *Mathematics of Computation*, 22(104), 745–762. <https://doi.org/10.1090/S0025-5718-1968-0242392-2>
- CIRIA. (2007). Physical processes and design tools. In *The Rock Manual* (Blue Marks, pp. 481–772). <https://kennisbank-waterbouw.nl/DesignCodes/rockmanual/>
- Fleit, G. (2015). Numerical modeling of complex free surface flows [Norwegian University of Science and Technology (NUNT)]. <https://www.researchgate.net/publication/324656508>
- Lavidas, G., & Venugopal, V. (2018). Application of numerical wave models at European coastlines: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 489–500. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.112>
- Menter, F. R. (1994). Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications. *AIAA Journal*, 32(8), 1598–1605. <https://doi.org/10.2514/3.12149>
- Miquel, A. M., Kamath, A., Alagan Chella, M., Archetti, R., & Bihs, H. (2018). Analysis of Different Methods for Wave Generation and Absorption in a CFD-Based Numerical

Wave Tank. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(2), 73.

<https://doi.org/10.3390/jmse6020073>

Sasikumar, A., Kamath, A., Musch, O., Bihs, H., & Arntsen, Ø. A. (2019). Numerical Modeling of Berm Breakwater Optimization With Varying Berm Geometry Using REEF3D. *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*, 141(1).

<https://doi.org/10.1115/1.4040508>

Andrade Bowen, G., Andrade-García, G., Cedeño-Oviedo, J., Cervantes-Bernabe, E., Maquilón Muñoz, B., Martillo Bustamante, C., & Saltos Andrade, I. (2020). Evaluación de Alternativas de Protección Costera Clásicas y de Ingeniería Verde, utilizando Modelos Numéricos. Caso de Estudio: San Pedro, Ecuador. *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* “Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy”.

Dempwolff, L.-C., Windt, C., Bihs, H., Melling, G., Holzwarth, I., & Goseberg, N. (2024). Hydrodynamic coupling of multi-fidelity solvers in REEF3D with application to ship-induced wave modelling. *Coastal Engineering*, 188(104452), 104452.

<https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2023.104452>

Anexos

Apéndice A: Comandos utilizados para el manejo de Linux

Code:

```
cd/ruta/directorio
```

```
ls/usr
```

```
cp/archivo.txt
```

Code:

```
./ (PROGRAM)
```

Code:

```
mpirun -np # PROGRAM
```

Apéndice B: Tabla de características de la computadora WORKSTATIONLENOVO P920 utilizada para la generación de escenarios



Operating System: GNU UBUNTU

1 processor with 28 physical Cores with 56 cores

1 NVIDIA 128 Cores Graphics Card

36 GB of RAM

3 Disks NVme of 1 TB

1 4 TB HHD Disk

Apéndice C: Salida de campo realizada el 17 de octubre del 2024 en San Pedro - Santa Elena



Apéndice D: Datos promedio obtenidos en la estación 1 y estación 2

	Estación 1	Estación 2
Hmean	0.5m	0.4m
Tmean	14s	11s
MWD	286°	271°

Apéndice E: Plataforma OLE encuéntralo utilizando el siguiente link de acceso:

<https://www.cip-rrd.espol.edu.ec/ole>

← → ↺ [cip-rrd.espol.edu.ec/ole](https://www.cip-rrd.espol.edu.ec/ole) 🔍 ☆ 📁 M ⋮

📁 OneDrive para la E... 📄 Adobe Acrobat ➕ curso | 📁 All Bookmarks

OLE Inicio Políticas Datos Contacto 👤

Observaciones Litorales del Ecuador

Misión
Consolidar información marino-costera del litoral ecuatoriano para mejorar la capacidad de toma de decisiones sobre los diversos procesos costeros y el análisis de las características de las playas, a través de gráficos estadísticos.

Visión
Crear estadísticas internacionales de las diferentes variables que intervienen en los procesos costeros con el fin de entender su influencia en la población mundial.

© Mapbox © OpenStreetMap Improve this map

Escuela Superior Politécnica del Litoral - Campus Gustavo Galindo - Guayaquil - Ecuador
© 2019 Copyright: [espol.edu.ec](https://www.espol.edu.ec)

Apéndice F: Calculo de porosidad de la coquina en 6 muestras de núcleos

Muestra 1:

	Muestras					
	1	2	3	4	5	6
Masa seca (gr)	181.16 g	139.19 g	241.08 g	224.74 g	172.59 g	188.02 g
Masa saturada (gr)	213.81 g	159.54 g	288.46 g	250.12 g	187.19 g	215.40 g
Masa sumergida (gr)	101.65 g	75.42 g	139.63 g	121.29 g	91.77 g	103.23 g

Muestra 1:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H}$$

$$P_o = \frac{231,81 - 181,16}{213,81 - 101,65}$$

$$P_o = 0,2911$$

$$P_o = 29.11\%$$

Muestra 2:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H}$$

$$P_o = \frac{159,54 - 139,19}{159,54 - 75,42}$$

$$P_o = 0,2419$$

$$P_o = 24.19\%$$

Muestra 3:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H}$$

$$P_o = \frac{288,46 - 241,08}{288,46 - 139,63}$$

$$P_o = 0,3183$$

$$P_o = 31.83\%$$

Muestra 4:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H}$$

$$P_o = \frac{250,12 - 224,74}{250,12 - 121,29}$$

$$P_o = 0,1970$$

$$P_o = 19.70\%$$

Muestra 5:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H}$$

$$P_o = \frac{187,19 - 172,59}{187,19 - 91,77}$$

$$P_o = 0,1530$$

$$P_o = 15.30\%$$

Muestra 6:

$$P_o = \frac{M_{sat} - M_s}{M_{sat} - M_H}$$

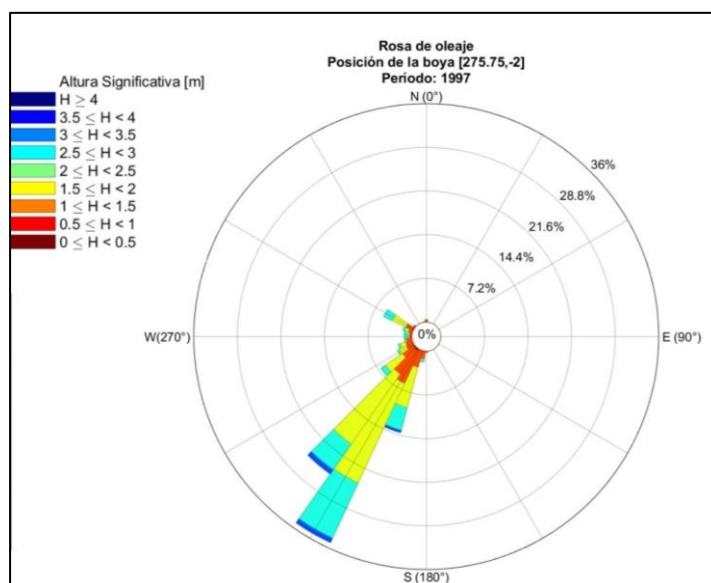
$$P_o = \frac{215,40 - 188,02}{215,46 - 103,23}$$

$$P_o = 0,2441$$

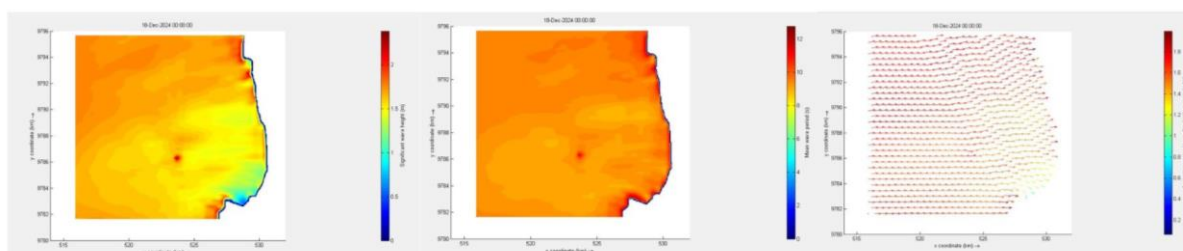
$$P_o = 24.41\%$$

	1	2	3	4	5	6
Porosidad %	27.1%	24.2 %	26.8%	19.7%	15.3%	24.4%

Apéndice G: Rosa de oleaje del evento extremo 1997



Apéndice H: Modelo en DELFT3D propagación del oleaje desde aguas profundas hasta nuestra área de estudio para escenario 1



Apéndice I: Modelo en DELFT3D propagación del oleaje desde aguas profundas hasta nuestra área de estudio para escenario 2

