

INFORME

INICIATIVA PRIVADA AUTOFINANCIADA “TERMINAL INTERNACIONAL DE CHIMBOTE”

Informe 1 de Evaluación Técnica de la IPA
Segunda Revisión

Cliente: PROINVERSION

Referencia: DB1287-EB-RP-240627

Estado: S1/P03

Fecha: 27 junio 2024

4 ESTUDIO DE LAS CONDICIONES NATURALES

4.1 Condiciones Ambientales

4.1.1 Vientos

La meteorología de la costa peruana está condicionada por El anticiclón del Pacífico Sur el cual produce una enorme masa de aire estable conformada por los vientos alisios del sur. Estos se desplazan sobre la superficie del mar peruano paralelos a la costa, en dirección norte y son los principales responsables del clima desértico de la costa, mientras que las Cordilleras de los Andes es una barrera que impide el paso de las nubes y vientos húmedos que se traslada de la selva hacia la costa.

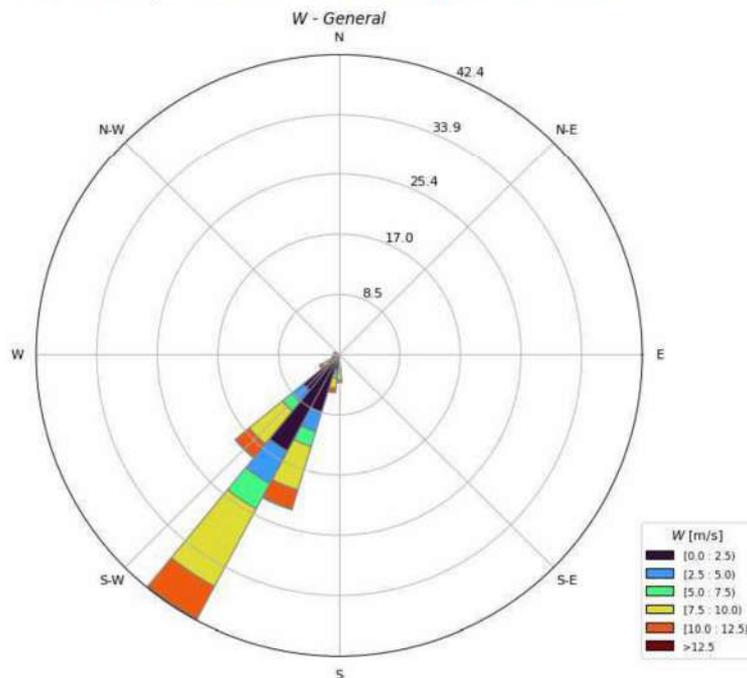


Figura 90: Rosa de Viento Promedio entre 1979 a 2009

Del análisis de Datos extraídos en punto de extracción en la **Figura 91**, se ha elaborado una rosa de vientos de sus resultados se puede observar que existe una dirección predominante desde ssw con una magnitud de 9m/s.

Estas velocidades de viento no generan problemas para las operaciones del puerto, considerando:

- Maniobras de entrada, atraque, desatraque y zarpe de las naves;
- La operación de grúas STS;
- Corrientes generadas por viento;
- Movimientos de buques amarrados en el muelle.

4.1.2 Oleaje

4.1.2.1 Oleaje en Aguas Profundas

Para el análisis de datos de oleaje en la zona de Chimbote se extrajo una serie temporal horaria de Hs, Tp y Dp obtenidos utilizando el modelo NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Este

registro de datos de oleaje se extiende desde enero de 1979 hasta el año 2009. Lo que corresponde a un total de 30 años de registro histórico. La serie de datos extraídos está localizada en las coordenadas 710546.01mE y 8943146.01ms [P-1]. Aproximadamente a 70 km medidos en dirección perpendicular a la costa.

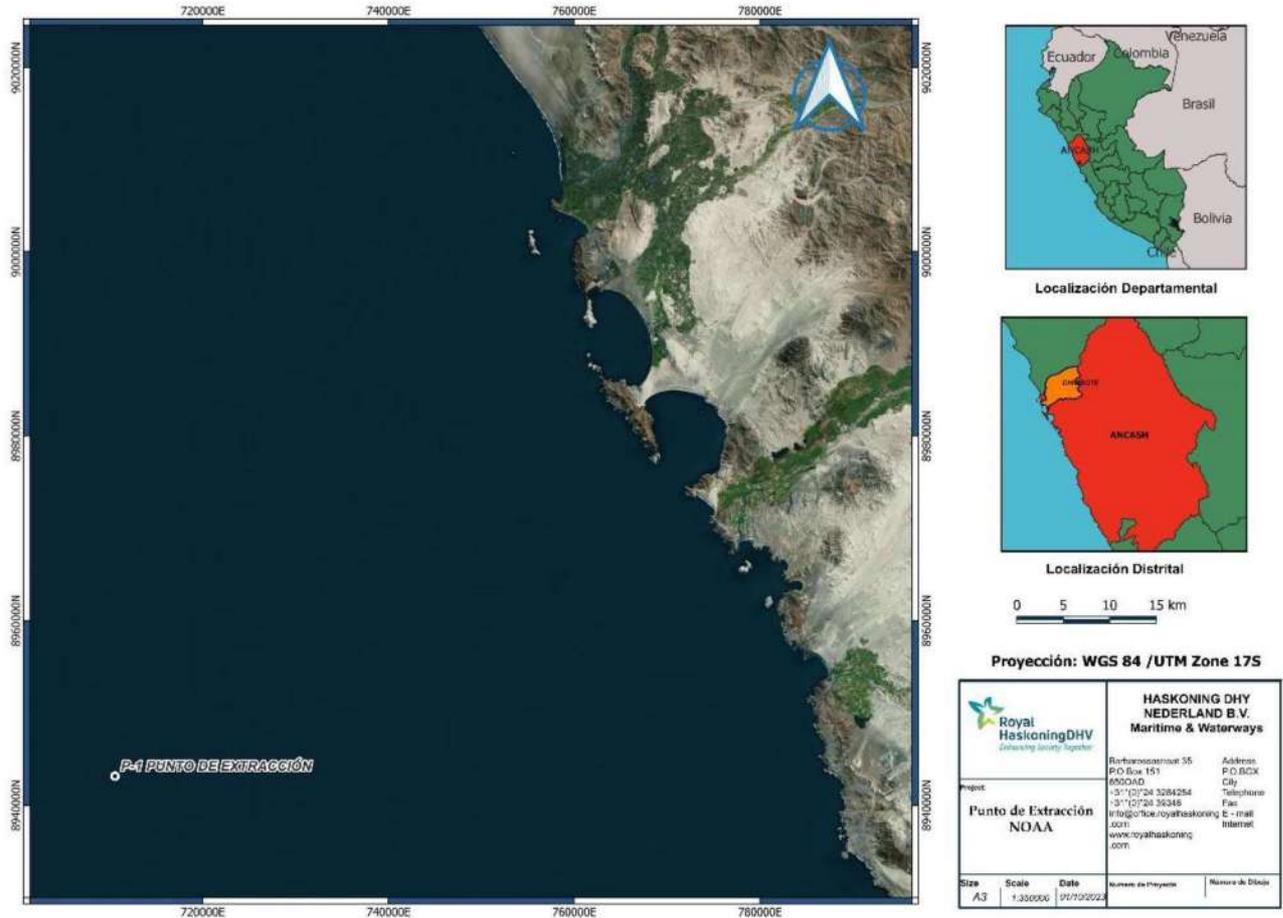


Figura 91: Ubicación del punto de extracción de Datos de NOAA

NOAA opera un modelo de predicción de olas de 3ra generación (WAVEWATCH-III) que ha sido usado para producir un hindcast continuo de vientos y de olas cada hora en una cuadrícula de 1° x 1.25°. Los datos extraídos de la NOAA son: altura de olas (Hs), el periodo pico de las olas (Tp), la dirección pico de las olas (Dp) y el parámetro de viento de olas.

La **Tabla 106** se presenta la descripción estadística de los valores mínimos, máximos, cuartiles y desviación estándar de los datos extraídos.

Tabla 106: Información estadística de datos de oleaje en el punto de extracción.

Estadística	NOAA			
	Hs[m]	Dp[°]	Tp[seg]	W[m/s]
media	1.83	213.42	14.06	5.54
Des. Estándar	0.38	15.68	1.93	3.75
mínimo	1.00	170.98	6.03	0.01
Primer Cuartil	1.56	205.84	12.89	1.81

Segundo Cuartil	1.78	212.96	14.14	5.86
Tercer Cuartil	2.05	219.53	15.31	9.06
máximo	3.93	299.99	21.80	15.96

La **Tabla 107** y **Tabla 108** muestran la frecuencia de ocurrencia de una altura de ola significativa para cada cambio de dirección en los sectores predominantes y periodos cada 2 segundos respectivamente.

Tabla 107: Tabla de Ocurrencia de condiciones de altura significativa de ola y Dirección

Hs [m]	Dp [°]								Sum
	170 - 186	186 - 203	203 - 219	219 - 235	235 - 251	251- 268	268 - 284	284 - 300	
1.00 - 1.75	0.98%	4.39%	22.82%	13.08%	1.92%	0.77%	0.68%	0.97%	45.61%
1.75 - 2.50	2.42%	7.32%	28.19%	8.98%	0.30%	0.07%	0.06%	0.05%	47.40%
2.50 - 3.25	0.61%	1.21%	3.11%	0.38%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	5.32%
3.25 - 4.00	0.04%	0.06%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%
Sum	4.06%	12.98%	54.26%	22.45%	2.24%	0.85%	0.74%	1.01%	100.00%

Tabla 108: Tabla de ocurrencia de condiciones de altura significativa de ola y periodo.

Hs [m]	Dp [°]								Sum
	170 - 186	186 - 203	203 - 219	219 - 235	235 - 251	251- 268	268 - 284	284 - 300	
1.00 - 1.75	0.98%	4.39%	22.82%	13.08%	1.92%	0.77%	0.68%	0.97%	45.61%
1.75 - 2.50	2.42%	7.32%	28.19%	8.98%	0.30%	0.07%	0.06%	0.05%	47.40%
2.50 - 3.25	0.61%	1.21%	3.11%	0.38%	0.01%	0.00%	0.00%	0.00%	5.32%
3.25 - 4.00	0.04%	0.06%	0.14%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.24%
Sum	4.06%	12.98%	54.26%	22.45%	2.24%	0.85%	0.74%	1.01%	100.00%

De la **Tabla 108**, se puede ver que las olas con mayor incidencia presentan un periodo de 12 a 16 segundos, con alturas de ola entre 1.0m y 2.5m. Por otra parte, de la **Tabla 107** se deduce que aproximadamente el 84.78% de todas las olas provienen de una dirección de 186° a 235°, incluidas las olas más grandes.

En la **Figura 92** se observa la rosa de altura de ola, donde puede observarse que las direcciones predominantes son del suroeste con alturas de olas máximo de más de 2.5m y periodos de oleaje de hasta 22seg.

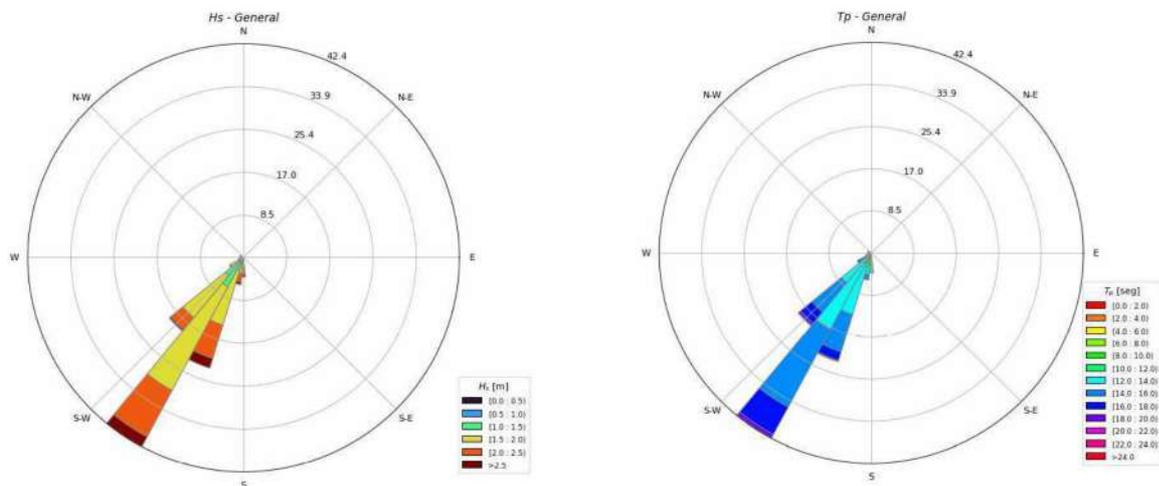


Figura 92: Rosa de Altura de olas y dirección pico.

4.1.3 Marea

4.1.3.1 Metodología

4.1.3.2 Concepto General

Las mareas son aumentos y caídas del nivel del mar de acuerdo a la combinación de las fuerzas gravitacionales de la Luna y el Sol con respecto a la rotación de nuestro planeta. Sin embargo, es la Luna la protagonista de las mareas. La Luna es pequeña, pero está lo suficientemente cerca como para que su atracción gravitacional mueva cosas sobre la Tierra. En general, los principales parámetros que definen las mareas son: amplitud, fase y tipo. La amplitud está determinada por la diferencia entre el nivel de agua más alto (pleamares) y el nivel de agua más bajo (bajamares).

Finalmente, existen parámetros los cuales se enfatizan en determinar la caracterización del régimen de marea presente en el área de estudio, sirven para determinar el carácter diurno, semi-diurno o mixto de la marea. Dicho parámetro se conoce como el coeficiente de Courtier "F", el cual viene definido por la siguiente relación de armónicos:

$$F = \frac{\text{amplitud } K1 + \text{amplitud } O2}{\text{amplitud } M2 + \text{amplitud } S2}$$

- Si $F < 0.25$ Régimen Semidiurno
- Si $0.25 < F < 1.50$ Régimen mixto semidiurno
- Si $1.50 < F < 3.00$ Régimen Diurno
- Si $3.00 < F$ Régimen Diurno

4.1.3.3 Análisis Armónico

Una de las formulaciones matemáticas a través de la cual se representa la variación espacial y temporal de los niveles de marea y de las velocidades de corriente, es el llamado "Análisis Armónico" el cual se basa en la hipótesis que las variaciones del nivel del mar pueden ser descritas en función de un número finito de contribuciones armónicas de la forma:

$$A_{i,j} \cos(Wit - g_{i,j})$$

Donde $A_{i,j}$ es la amplitud de cada componente (i) en el punto geográfico considerado (j), $g_{i,j}$ es el desfase con respecto al máximo de la marea de equilibrio en Greenwich y w_i es la frecuencia angular del armónico. Estas frecuencias no tienen valores aleatorios, por el contrario, dichos valores son determinados por los ciclos de las fuerzas astronómicas que dan origen a las mareas.

Un análisis completo de los datos de un mareógrafo tomados durante un año puede incluir unos cien (100) constituyentes, pudiendo luego de realizarse ese estudio, definirse la elevación de la superficie en un punto j y en un determinado instante de tiempo t de acuerdo con la expresión:

$$n_{i,j} = \sum_{n=1}^n A_{i,j} f_{i,t} \cos(w_i t - g_{i,j} + (V_{i,t} + v_{i,j}))$$

en la cual $A_{i,j}$ es la amplitud del armónico i en el punto j, w_i es la frecuencia, $g_{i,j}$ es el desfase con respecto al máximo de la marea de equilibrio en Greenwich (nótese que esta variable no tiene dependencia temporal por lo cual sirve para expresar las diferencias de fase existentes entre puntos geográficos en un determinado instante), $V_{i,t}$ es el desfase con respecto al origen de tiempo (con valores entre 0 y 2π a lo

largo de un período de marea) y por último, los denominados factores nodales f_i, t y v_i, t los cuales son modulaciones, tanto de amplitud como de fase, que se utilizan para incluir los efectos de los armónicos de período largo (hasta 18,6 años), cuya influencia no puede incluirse en el análisis de un año de datos.

4.1.3.4 Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN)

La Dirección de Hidrografía y Navegación depende de la Marina de Guerra del Perú. Su fundación data de 1903 y desde entonces, con diversas denominaciones continúa trabajando en la realización de las funciones encomendadas en los campos de hidrografía, cartografía náutica; geomática; oceanografía física; meteorología marítima y señalización náutica

En el estudio de régimen de mareas se tomará como referencia los registros de variación del nivel de la superficie libre, únicamente pleamares y bajamares referidas al Nivel Medio de Bajamares emitidos por la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), que se basan esencialmente en la red de estaciones mareográficas establecidas por dicha dirección en el litoral peruano.

Para el caso de Chimbote, la estación mareográfica más cercana donde se dispone de predicciones es la correspondiente a la Estación Chimbote, la cual se ubica en las siguientes coordenadas geográficas: Lat. 09° 04' 34.61" S y Long. 078° 36' 45.85" W.

Tabla 109: Niveles de marea en Chimbote [DHN]

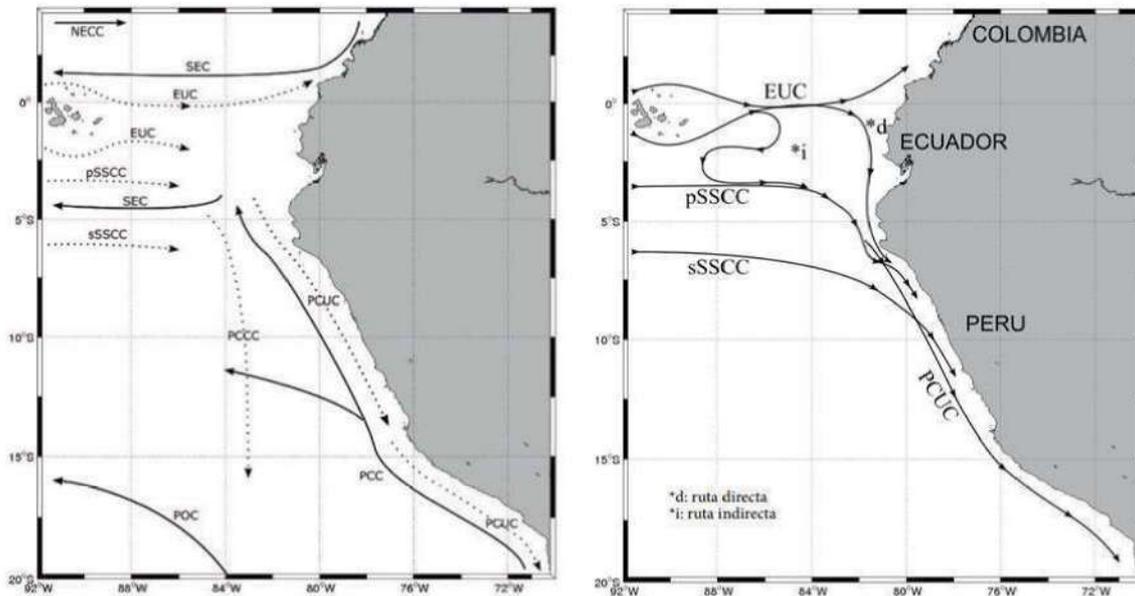
Característica de la Marea	Nivel [NMBSO]
Pleamar Maxima	+1.49 m
Pleamar Media	+1.05 m
Nivel Medio del Mar	+0.73 m
Bajamar Media	+0.37 m
Bajamar Minima	0.00 m

4.1.4 Corrientes

4.1.4.1 Sistema de Corrientes

Las corrientes que forman parte del Sistema de Corrientes Ecuatorial y que son de mayor relevancia para el Perú debido a que se encuentran al lado y en conexión directa con el Sistema de Corrientes de Perú son cuatro: la Corriente Ecuatorial Sur, la Corriente Ecuatorial Subsuperficial y las Contracorrientes Subsuperficiales Sur primaria y secundaria.

En la superficie del Sistema de Corrientes del Perú se localizan la Corriente Oceánica de Perú y la Corriente Costera de Perú (PCC). La PCC está asociada al afloramiento costero de agua rica en nutrientes y fría, cuyo ciclo estacional es poco conocido, aunque se señala que la máxima velocidad es alcanzada durante los meses de invierno. De igual manera, están la corriente subsuperficial de Perú-Chile (PCUC) y la Contracorriente de Perú-Chile (PCCC). Sobre la capa más profunda, se encuentra la recientemente nombrada Corriente Costera Profunda de Perú-Chile que fluye lentamente hacia el Ecuador por debajo de la PCUC (bajo 300-400m), transportando agua fresca y fría proveniente del agua intermedia antártica.



La PCUC es el principal componente del Sistema de Corrientes de Perú debido a que interviene directamente en el afloramiento costero. Esta, debe su existencia a los vientos favorables para el afloramiento que manejan un gradiente de presión a lo largo de la costa hacia el sur. Su origen se traza desde los 5°S hasta los 48°S, fluyendo continuamente a lo largo de la costa bajo la capa superficial. Su máxima velocidad decrece hacia el sur y, ocurre sobre la plataforma continental y la pendiente superior, en profundidades de 50 a 100 m.

4.1.5 Sismicidad

4.1.5.1 Análisis de Sismicidad

La sismicidad histórica reúne las características de los grandes eventos telúricos del Perú que ocurrieron en el pasado.

La subducción, como producto de la convergencia entre las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, es la principal fuente de la actividad sísmica del país, lo cual da como resultado la Sismicidad en el Perú. El borde occidental del Perú es la principal fuente provocadora de sismos y Tsunamis, causando daños y pérdidas humanas debido a la gran intensidad sísmica. El borde occidental en las regiones centrales del Perú presenta actividades sísmicas a profundidades menores a 60 km siendo estas de gran peligro debido a las magnitudes altas que reciben. Una de estas ciudades es Chimbote el cual ha pasado por fuertes actividades sísmicas en los años 1940 (8.0Mw), 1966 (7.5Mw), 1970 (7.7Mw) y 1974 (7.5Mw) causando daño a la población. En la **Figura 93**, se presenta el mapa de intensidades correspondiente al sismo del 24 de Mayo de 1940, el de mayor magnitud ocurrido en los últimos 100 años en el borde occidental de la costa central del Perú.

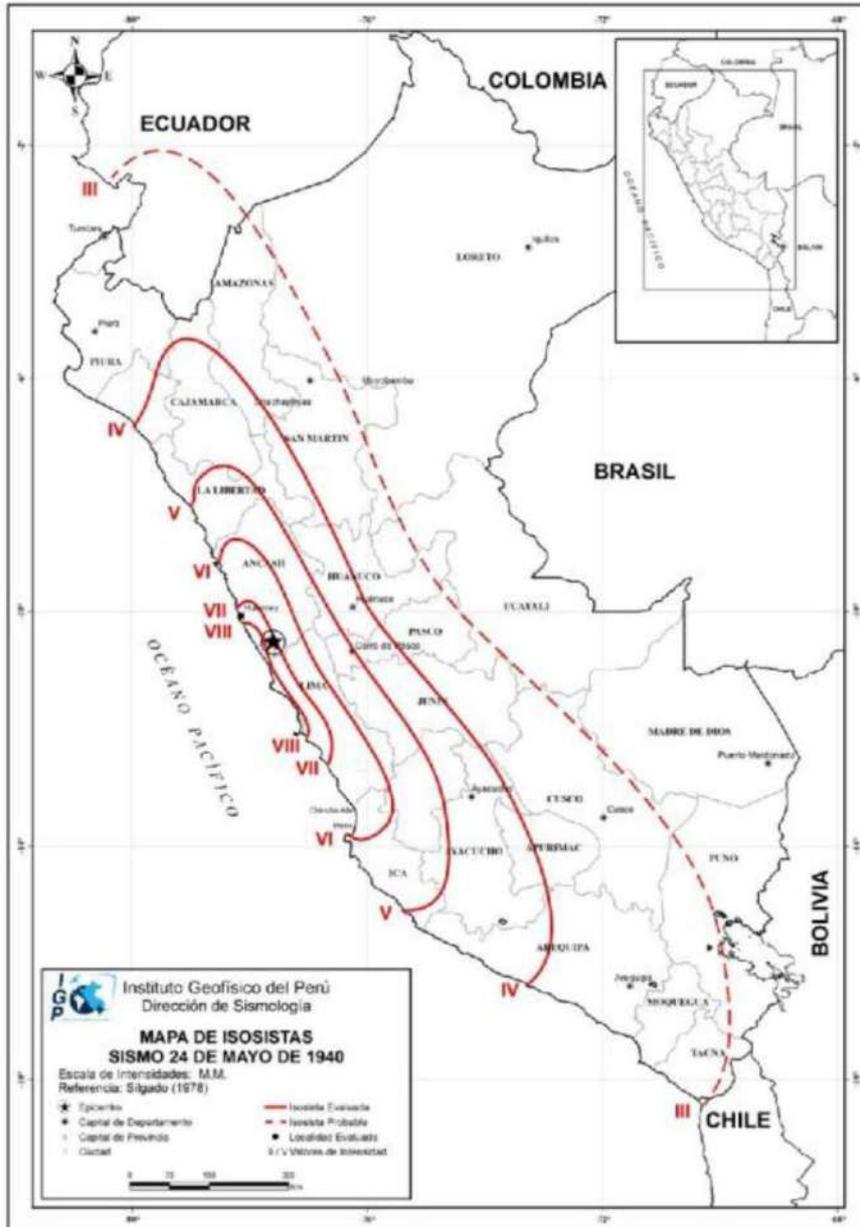


Figura 93: Mapa de Intensidades correspondiente al sismo del 24 de mayo de 1940 (8.0Mw). En la ciudad de Chimbote las intensidades fueron de orden VI en la escala de Mercalli modificada: Fuente Informe técnico N° 068 - Instituto Geofísico del Perú (2021)

Tabla 110: Niveles PGA para proyectos portuario en el Perú

Periodo de Retorno [Años]	PGA en Roca (%g)
75	0.22
100	0.25
475	0.42

4.1.6 Subsuelo

La ciudad de Chimbote se ubica en la costa norte del Perú a 400, km de Lima. La geología de la marea está representada por tres tipos de constituyentes: el Volcánico Casma (derrames andesíticos y riolíticos), el Intrusivo (granodiorita) y el Cuaternario (depósitos de arenas eólicas). Chimbote se ubica en la planicie aluvional del río Lacramarca, con una longitud de 10 km por 5km de ancho. Por el norte limita con cerros de origen volcánico y por el sur del abanico aluvional, el depósito desciende gradualmente llegando a pantanos y lagunas. Las montañas tienen pendientes suaves y planicies amplias, consistentes en depósitos de gran espesor de arena gruesa y grava. En las zonas costeras el mar ha formado líneas de playa recientes y antiguas que consisten en capas de arenas laminares con conchuelas. En la parte sur de Chimbote existe capas gruesas de arena eólica reciente. El abanico aluvional del río Lacramarca está dividido por pequeños valles que consisten de arenas limosas con o sin restos orgánicos.

Los suelos del área litoral de Chimbote pueden ser diferenciados de acuerdo a los paisajes fisiográficos: llanuras de inundación, áreas eólicas, áreas húmedales y área urbana.



Figura 94: Áreas de Dunas e inundación

La microzonificación sísmica de Chimbote fue realizada por Morimoto et al (1971), en base a la geología, ensayos de penetración estándar, evaluación de daños durante el sismo de 1970, medición de microtrepidaciones y réplicas, ensayos de refracción sísmica y análisis de amplificación de ondas sísmicas. En la microzonificación sísmica de Chimbote se distinguen cuatro zonas.

Zona I. El subsuelo consiste en gravas densas o roca; el nivel freático está a más de 10 metros. Las elevaciones topográficas son mayores de 10 m.s.n.m. Existen pocas posibilidades de asentamiento en edificios o subsidencia del terreno. Se esperan mayores fuerzas sísmicas, debido a la interacción suelo-estructura.

Zona II. Esta zona está cubierta por arena suelta a medianamente densa con varios metros de potencia. Por debajo existen arenas densas y cementadas. En la mayor parte el nivel freático se encuentra a 5 metros de profundidad. No se esperan asentamientos en edificios de hasta dos pisos, excepto en los bordes exteriores de las dunas. Se recomienda cimentar los edificios mayores de dos pisos, por pilotes en la arena densa. La construcción en las dunas requerirá vibroflotación.

Zona III. El subsuelo consiste de arena cubierta con capa delgada de suelo agrícola. Las gravas se encuentran por debajo de los 10 metros. El nivel freático se encuentra a poca profundidad. La arena fina

suelta que se encuentra a distintas profundidades se licuará durante un sismo. Sin embargo, debido a su profundidad, no ocurrirán asentamientos apreciables en los edificios, excepto casos especiales.

4.1.7 Morfología general

4.1.7.1 Morfología Costera

La morfología costera se encarga de los estudios de relieves originados por las olas, que son los accidentes geográficos que se encuentran en las costas, que es el lugar donde está en contacto la tierra emergida y el mar, pueden ser abruptos (acantilados) o llanos (playas), tienen entrantes del mar (golfo y bahías) y tienen saliente terrestre (cabo península). En Chimbote se presenta un relieve mayormente llano, pero también cuenta con diferentes bahías, penínsulas y acantilados, contando entre sus elevaciones el cerro Chimbote o de la Juventud y la península de Ferrol el cual es un accidente geográfico conformada por un angosto istmo arenoso de forma triangular y lados curvilíneos que se extiende hacia el suroeste.



Figura 95: Configuración morfológica de las Bahías de Chimbote y Samanco



4.2 Modelación y Evaluación de las Condiciones Ambientales

4.2.1 Oleaje

4.2.1.1 Metodología

Se utilizó el modelo numérico SWAN (Simulating WAVes Nearshore) para trasladar las condiciones del oleaje de aguas profundas al sitio del proyecto.

SWAN es un modelo de vanguardia que se usa para la transformación de olas en aguas profundas a olas cerca de la costa. SWAN es un modelo matemático para la transformación de olas en áreas en donde la difracción y reflexión no juegan un papel dominante. Más información detallada acerca del modelo se puede encontrar en: <http://www.swan.tudelft.nl/>

En este estudio, se usó SWAN para trasladar las olas en aguas profundas hacia la bahía de Chimbote. SWAN considera los siguientes procesos:

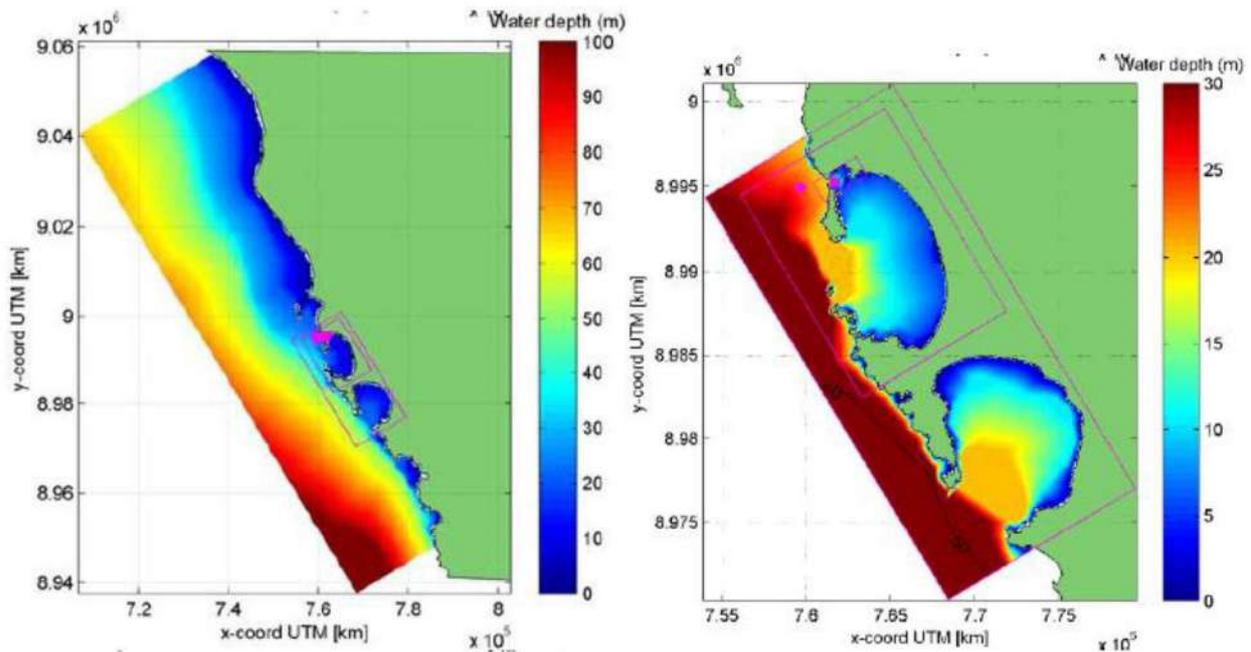
- Propagación de olas en tiempo y espacio, refracción debido a la corriente y la profundidad, cambio de frecuencia debido a las corrientes y a la profundidad no estacionaria.
- Olas generadas por el viento.
- Interacciones de 3 y 4 olas.
- Disipación por rompimiento de ola, fricción inferior y rompimiento de ola inducido por la profundidad.
- Disipación debido a la vegetación.
- Configuración inducida por las olas.
- Transmisión y reflexión (especular y difusa) contra obstáculos.
- Difracción.

4.2.1.2 Configuración del Modelo

El límite del modelo se ubica en el punto en aguas profundas, se utilizó 4 mallas del modelo con el fin de minimizar el tiempo del cálculo y la precisión en el sitio del proyecto:

- Malla A: 400 m x 400 m;
- Malla B: 80 m x 80 m;
- Malla C: 20 m x 20 m;
- Malla D: 5 m x 5m.

La batimetría del modelo se generó con base en cartas náuticas. **Figura 97** muestra las mallas que se utilizaron para la modelación del oleaje. Un espectro tipo JONSWAP fue utilizado para describir las condiciones de las olas al borde del modelo SWAN. Un espectro JONSWAP es típico para olas generadas por el viento que no están completamente desarrollados. Un estado del mar completamente desarrollado sólo se alcanzaría con las condiciones de viento constante durante varios días, en este caso se debe usar un tipo espectro Pierson-Moskowitz. Para un rango de datos por un periodo de 30 años, como fue utilizado en este estudio, el estado del mar casi nunca está completamente desarrollado, por lo cual un espectro tipo JONSWAP fue elegido como una forma de espectro representativa.



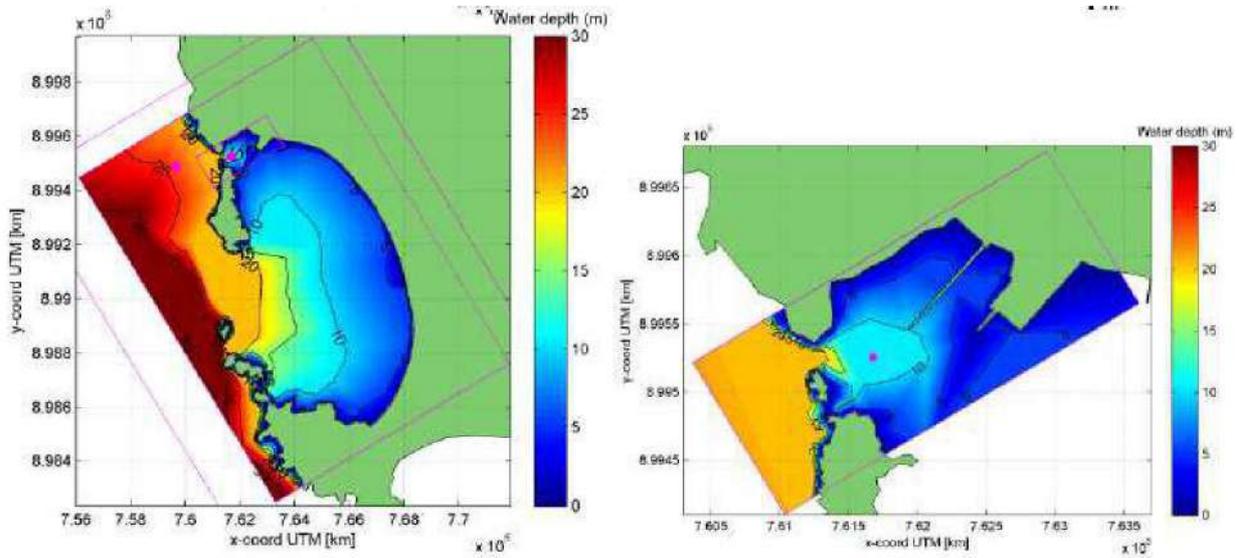


Figura 97: Dominios del grillaado para el modelo de propagación del Oleaje

4.2.1.3 Olas alrededor del puerto

La Figura 98 muestra el resultado típico de una simulación SWAN para la siguiente condición de olas:

- $H_s = 1.83$ m;
- $T_p = 14.0$ s;
- $H_{dir} = 213^\circ N$.

La Isla y la punta de la bahía dan abrigo para el terminal, sin embargo, para esta condición aproximadamente el 20% de la altura de la ola en aguas profundas llega a la ubicación del puesto de atraque que propone TCB. En el puesto de atraque de SiderPeru llega aproximadamente el 10% de la altura de la ola en aguas profundas.

En el resto de la bahía, la altura del oleaje varía entre 80% hasta 0% (en el lado sur) de la altura en aguas profundas. La dirección del oleaje es mayormente perpendicular a la orientación de la orilla.

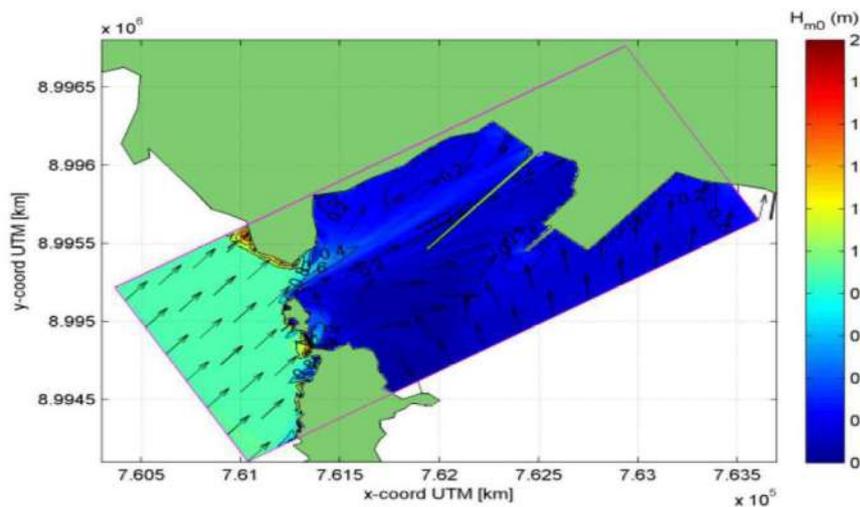


Figura 98: Propagación del oleaje en el Puerto en condiciones normales

Se puede observar claramente que para las condiciones que se han considerado el oleaje en el muelle de TCB es ligeramente mayor que en zonas aledañas. Para olas de 2m de altura en mar abierto hay olas residuales del orden de 0.50-0.60m a la altura del muelle TCB. En los muelles No 3 y de Siderperu el oleaje residual es menos de la mitad, es decir por el orden de 0.20-0.30m.

4.2.1.4 Condiciones anuales del oleaje

Se realizaron simulaciones SWAN para todo un rango de condiciones del oleaje en aguas profundas, que abarcan las condiciones anuales del oleaje en aguas profundas. Con base en los resultados de las simulaciones, la serie de tiempo de la NOAA del oleaje en aguas profundas fue transformada a un patrón de oleaje en la ubicación del proyecto. Ver **Tabla 111**.

La información mostrada en la **Tabla 111**, corresponde a una situación actual, para la situación con proyecto, se requiere determinar la profundidad de dragado necesaria y está modifica la altura del oleaje en el Puerto.

Tabla 111: Condiciones de ocurrencia anual del oleaje

	CLASE			PREDOMINANTE			OCURRENCIA	
	Do	Ho	To	Dpo	Hso	Tpo	Porcentaje	Dias/año
SWxS	213.75	1.75	13	213.37	1.71	13.22	9.78%	35.70
SWxS	213.75	1.75	15	214.04	1.78	14.78	9.59%	34.99
SSW	202.50	1.75	13	203.77	1.74	13.06	6.20%	22.65
SWxS	213.75	2.25	15	213.34	2.19	14.98	5.97%	21.78
SW	225.00	1.75	15	223.60	1.75	14.83	4.85%	17.69
SW	225.00	1.75	13	223.35	1.69	13.27	3.66%	13.38
SWxS	213.75	1.25	13	214.28	1.39	12.90	3.63%	13.24
SSW	202.50	2.25	15	203.94	2.22	14.85	3.42%	12.48
SSW	202.50	1.75	15	204.26	1.81	14.71	3.12%	11.40
SW	225.00	1.25	13	223.93	1.37	13.03	2.87%	10.46
SWxS	213.75	1.75	17	214.93	1.79	16.81	2.69%	9.83
SWxS	213.75	2.25	17	213.91	2.21	16.73	2.26%	8.25
SSW	202.50	2.25	13	202.89	2.20	13.24	2.21%	8.06
SW	225.00	1.75	17	223.33	1.77	16.87	1.65%	6.02
SWxS	213.75	1.25	11	213.32	1.33	11.53	1.55%	5.67
SWxS	213.75	2.25	13	212.85	2.16	13.39	1.55%	5.65
SW	225.00	2.25	15	223.05	2.17	15.04	1.53%	5.60
SSW	202.50	1.75	11	202.23	1.68	11.57	1.37%	4.98
SSW	202.50	1.25	11	203.03	1.35	11.36	1.30%	4.73
SWxS	213.75	1.25	15	215.00	1.40	14.82	1.29%	4.71
SSW	202.50	1.25	13	204.39	1.40	12.77	1.22%	4.44
SW	225.00	1.25	15	224.32	1.40	14.76	1.08%	3.96
SxW	191.25	1.75	11	191.70	1.73	11.21	1.02%	3.74
S	180.00	1.75	9	180.53	1.78	9.07	1.02%	3.72
SWxW	236.25	1.75	15	234.88	1.71	14.87	1.02%	3.71
SSW	202.50	2.75	15	203.37	2.68	15.00	0.93%	3.41
SWxS	213.75	2.75	15	212.71	2.68	15.12	0.93%	3.40
SxW	191.25	1.75	13	193.83	1.80	12.92	0.92%	3.34
SW	225.00	2.25	17	222.88	2.18	16.85	0.86%	3.15
S	180.00	2.25	9	180.77	2.22	9.16	0.85%	3.09