

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**ANÁLISIS COMPARATIVO DE OBRAS DE PROTECCIÓN
COSTERA PARA LA BAHÍA EL FERROL EN CHIMBOTE**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADA POR:

Bach. MONTESINOS CONTRERAS, LUIS EDUARDO

Bach. VILLAR ORTIZ, WILLIAM JESUS

Asesor: Dr. LÓPEZ SILVA, MAIQUEL

LIMA-PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis abuelos y padres quiénes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir un sueño más.

A mi hermana por estar siempre presente acompañándome durante toda mi carrera universitaria.

Luis Montesinos Contreras

A mis padres, porque este logro no hubiera sido posible sin todo su apoyo brindado desde que decidí ser Ingeniero Civil.

A mi hermana Angie por ser mi mejor compañía cuando regresaba de la universidad y del trabajo, que este logro sirva de inspiración para la vida profesional que está a punto de comenzar.

A mis mejores amigos JEDR y KERSS por haber estado conmigo en los buenos y malos momentos desde que ingresé a la universidad y a MLBC por ser la persona que marcó mi vida universitaria.

William Villar Ortiz

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Ricardo Palma y a todos los docentes que fueron parte de nuestra formación como Ingenieros Civiles; a nuestros asesores, el Dr. Maiquel López y la Dra. Dayma Carmenates por el apoyo constante brindado durante toda la investigación; y a nuestros padres por brindarnos la oportunidad de alcanzar nuestras metas. Gracias.

William Villar Ortiz y Luis Montesinos Contreras

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.1. Descripción del Problema.....	2
1.2. Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Problema Principal:	3
1.2.2 Problemas Secundarios:	3
1.3 Importancia y Justificación del estudio	3
1.4 Delimitación del estudio.....	4
1.4.1 Delimitación espacial.....	5
1.4.2 Delimitación temporal	5
1.5 Objetivo general y específico	5
1.5.1 Objetivo principal:.....	5
1.5.2 Objetivos específicos	5
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	6
2.1. Marco histórico	6
2.2. Investigaciones relacionadas con el tema.....	7
2.2.1. Internacionales.....	7
2.2.2. Nacionales	9
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.....	9
2.3.1. Corrientes superficiales.....	9
2.3.1.1. Teoría del oleaje.....	9
2.3.1.2. Batimetría	16
2.3.1.3. Viento	19
2.3.1.4. Temperatura	22
2.3.1.5. Humedad Relativa.....	24
2.3.2. Obras de protección costera	25
2.3.2.1. Espigones	26
2.3.2.2. Rompeolas de gravedad.....	28

2.3.2.3.	Rompeolas sumergidos.....	35
2.3.2.4.	Muros costeros	36
2.3.2.5.	Geotubos	37
2.4.	Definición de términos básicos	40
2.5.	Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis.....	40
2.5.1.	Corrientes superficiales en la bahía	40
2.5.2.	Obras de protección costera	41
2.6.	Hipótesis	43
2.6.1.	Hipótesis general	43
2.6.2.	Hipótesis específicas.....	43
2.7.	Variables	43
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO	44
3.1.	Tipo, método y diseño de la investigación	44
3.2.	Población y muestra	44
3.3.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	44
3.4.	Descripción de procedimientos de análisis.....	45
4.	CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	47
4.1.	Resultados.....	47
4.1.1.	Caracterización de las corrientes superficiales de la bahía El Ferrol	47
4.1.1.1.	Temperatura superficial del mar	47
4.1.1.2.	Humedad Relativa	50
4.1.1.3.	Velocidad del viento.....	53
4.1.1.4.	Dirección del viento	56
4.1.1.5.	Ola de diseño.....	61
4.1.1.6.	Batimetría.....	66
4.1.2.	Análisis de la tipología de las obras de protección costera.....	69
4.1.2.1.	Espigones	69
4.1.2.2.	Diques verticales	71
4.1.2.3.	Diques en talud.....	74
4.1.2.4.	Diques mixtos	77
4.1.2.5.	Rompeolas sumergidos.....	78
4.1.2.6.	Muros costeros	79
4.1.2.7.	Geotubos	81
4.1.2.8.	Cuadro comparativo	83

4.1.2.9. Diagramas de Flujo	85
4.1.3. Elaboración de matriz mixta cualitativa y cuantitativa para dique vertical, espigón de escollera y dique en talud.....	87
4.1.3.1. Predimensionamiento	87
4.1.3.2. Presupuestos.....	102
4.1.3.3. Matrices	104
4.2. Análisis de Resultados.....	108
4.3. Contrastación de Hipótesis	110
CONCLUSIONES	112
RECOMENDACIONES	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114
ANEXOS.....	118
Anexo 1: Cronograma de actividades	118
Anexo 2: Presupuesto (asignación de recursos).....	119
Anexo 3: Matriz de consistencia	120
Anexo 4: Matriz de Operacionalización de Variables.....	121
Anexo 5: Formato o protocolo de los instrumentos que utilizará.....	122
Anexo 6: Valores de diseño para elementos de estructuras marinas.....	124
Anexo 7: Valores de coeficiente de capa para el diseño de elementos de estructuras marinas.....	125
Anexo 8: Tabla de metrados del dique vertical	126
Anexo 9: Tabla de metrados del espigón de escollera	127
Anexo 10: Tabla de metrados del dique talud	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación de la bahía El Ferrol.....	5
Figura 2 Viento generando fricción con la superficie del agua	10
Figura 3 Sismo generando un tsunami	11
Figura 4 Fuerza gravitacional del sol y la luna	11
Figura 5 Partes de una ola.....	11
Figura 6 Refracción y difracción de olas.....	13
Figura 7 Periodo de ola para sus distintos orígenes	15
Figura 8 Batimetría en 3D del mar peruano	17
Figura 9 Ondas del sonar revotando en la superficie marina.....	18
Figura 10 Ondas del sonar en forma de cono	19
Figura 11 Gráfico de cómo funciona un anemómetro.....	20
Figura 12 Velocidad y dirección del viento en la costa del Perú.....	21
Figura 13 Escalas para medición de temperatura.....	22
Figura 14 Distribución de la temperatura en aguas marinas superficiales	23
Figura 15 Temperatura media anual de la superficie del mar (grado Celsius)	23
Figura 16 Comportamiento de la humedad en el aire	25
Figura 17 Esquema referencial de los espigones	26
Figura 18 Espigones en la Costa Verde en Perú	27
Figura 19 Sección transversal de dique vertical.....	28
Figura 20 Diagramas de presiones Sainflou Modificado	29
Figura 21 Diagrama de fuerzas que actúan sobre el dique para el deslizamiento	30
Figura 22 Diagramas de fuerzas que actúan sobre el dique para el vuelco	31
Figura 23 Sección transversal de dique en talud.....	32
Figura 24 Esquema referencial de un dique mixto.....	35
Figura 25 Rompeola sumergido.....	35
Figura 26 Muro costero	36
Figura 27 Esquema referencial de Geotextile wrap-around	37
Figura 28 Temperatura superficial del mar en el año 2016	47
Figura 29 Temperatura superficial del mar en el año 2017	48
Figura 30 Temperatura superficial del mar en el año 2018	48
Figura 31 Temperatura superficial del mar en el año 2019	48
Figura 32 Temperatura superficial del mar en el año 2016, 2017, 2018 y 2019	49

Figura 33 Temperatura superficial promedio del mar del año 2016 al 2019	50
Figura 34 Humedad relativa de Chimbote en el año 2015	50
Figura 35 Humedad relativa de Chimbote en el año 2016	51
Figura 36 Humedad relativa de Chimbote en el año 2017	51
Figura 37 Humedad relativa de Chimbote en el año 2018	51
Figura 38 Humedad relativa de Chimbote en el año 2019	52
Figura 39 Humedad relativa de Chimbote en el año 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019....	52
Figura 40 Humedad relativa promedio de Chimbote del año 2015 al 2019.....	53
Figura 41 Velocidad del viento en el año 2015	54
Figura 42 Velocidad del viento en el año 2016	54
Figura 43 Velocidad del viento en el año 2017	54
Figura 44 Velocidad del viento en el año 2018	55
Figura 45 Velocidad del viento en el año 2019	55
Figura 46 Velocidad del viento Chimbote en el año 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019....	56
Figura 47 Velocidad promedio del viento en Chimbote del año 2015 al 2019	56
Figura 48 Rosa del viento del año 2015	57
Figura 49 Rosa del viento del año 2016	57
Figura 50 Rosa del viento del año 2017	58
Figura 51 Rosa del viento del año 2018	58
Figura 52 Rosa del viento del año 2019	59
Figura 53 Rosa de viento promedio del año 2015 al 2019	59
Figura 54 Relación de velocidades promedio del viento y altura de olas en Chimbote..	65
Figura 55 Gráfico de elevación del mar mediante modelo POM	65
Figura 56 Comparación de elevación del mar entre modelo POM y SUTROM.....	66
Figura 57 Isóbatas en la bahía El Ferrol.....	67
Figura 58 Ubicación del Malecón Grau	67
Figura 59 Señalización de la longitud del Malecón Grau	68
Figura 60 Erosión, enrocado y desmonte en el Malecón Grau	68
Figura 61 Isóbatas en la zona norte de la bahía El Ferrol, ubicación del Malecón Grau	69
Figura 62 Proceso constructivo de un espigón	70
Figura 63 Piezas de escollera artificial.....	71
Figura 64 Proceso constructivo de un dique vertical con cajones de hormigón.....	73
Figura 65 Piezas de escollera artificial.....	75
Figura 66 Proceso constructivo de dique en talud	76

Figura 67 Construcción de muro costero de concreto armado	80
Figura 68 Construcción de obra de protección costera con geotextil	82
Figura 69 Diagrama de flujo del proceso constructivo de un espigón	85
Figura 70 Diagrama de flujo del proceso constructivo de un dique vertical	86
Figura 71 Diagrama de flujo del proceso constructivo de un dique en talud	86
Figura 72 Esquema geométrico de un dique vertical	87
Figura 73 Predimensionamiento de dique vertical.....	91
Figura 74 Vista en planta y perfil del predimensionamiento de espigón de escollera	92
Figura 75 Predimensionamiento de espigón de escollera.....	95
Figura 76 Esquema geométrico de un dique en talud	96
Figura 77 Predimensionamiento del dique en talud.....	102
Figura 78 Aspecto Técnico	105
Figura 79 Aspecto Ambiental	106
Figura 80 Aspecto Social.....	107
Figura 81 Aspecto Económico.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Valores de daño S	34
Tabla 2 Parámetros estadísticos de la velocidad del viento del año 2015 al 2019	61
Tabla 3 Altura de olas aproximadas en la zona norte, centro y sur de la bahía El Ferrol en enero del año 2017.....	61
Tabla 4 Altura de olas aproximadas en la zona norte, centro y sur de la bahía El Ferrol en setiembre del año 2020	62
Tabla 5 Parámetros estadísticos de las olas de la bahía El Ferrol.....	64
Tabla 6 Cuadro comparativo de ventajas y desventajas de las 7 obras de protección costera más usadas	83
Tabla 7 Presupuesto de dique vertical.....	103
Tabla 8 Presupuesto de espigón de escollera.....	103
Tabla 9 Presupuesto de dique en talud.....	104

RESUMEN

La presente investigación ha tenido como objetivo principal realizar un análisis comparativo de obras de protección costera para la Bahía el Ferrol. Se caracterizó las corrientes superficiales de la bahía, la tipología de siete obras de protección costera para obtener las más viable mediante matrices cualitativas y cuantitativas elaboradas por los investigadores.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron herramientas de información de los boletines diarios de las condiciones oceanográficas de HIDRONAV y de la base de datos del sitio web Weather Online. Se utilizaron criterios empíricos y normas técnicas nacionales e internacionales, hojas de cálculo, así como también, softwares profesionales (AutoCAD 2020). Se elaboraron cuadros comparativos y diagramas de flujo para entender la complejidad de los procesos constructivos de diques verticales, diques talud y espigones. Los predimensionamientos hechos para el cálculo de metrados de las estructuras se basaron en las recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 1.0-09) del Gobierno de España.

Los principales resultados obtenidos fueron que la velocidad promedio del viento más alta en los años de estudio ha sido de 25 km/h, ocurriendo alturas de olas de hasta 2.00m, siendo este valor el de diseño óptimo para la construcción de obras en la bahía. Tras el análisis de costos, la obra más económica a llevar a cabo fue la construcción de espigones con un monto total de \$ 4' 090 207.29.

Al finalizar el análisis comparativo entre los diques verticales, diques talud y espigones mediante los aspectos técnicos, ambientales y sociales como parte cualitativa; y el aspecto económico como única parte cuantitativa, se concluyó que la obra de protección costera que más se adecuaba a la Bahía el Ferrol son los espigones.

Palabras clave: Obras de protección costera, bahía, corrientes superficiales, tipología, ola de diseño, predimensionamiento, obras marítimas.

ABSTRACT

The main objective of this research has been to carry out a comparative analysis of coastal protection works for the Bay of El Ferrol. The surface currents of the bay, the typology of seven coastal protection works, were characterized to obtain the most viable ones using qualitative and quantitative matrices elaborated by the researchers.

For the development of the research, information tools from the daily bulletins of the oceanographic conditions of HIDRONAV and the database of the Weather Online website will be used. Empirical criteria and national and international technical standards, spreadsheets, as well as professional software (AutoCAD 2020) were used. Comparative tables and flow charts were prepared to understand the complexity of the construction processes of vertical dikes, embankments and breakwaters. The predimensioning made for the calculation of the metrics of the structures was based on the recommendations for Maritime Works (ROM 1.0-09) of the Government of Spain.

The main results obtained were that the highest average wind speed in the study years was 25 km / h, with wave heights of up to 2.00m, this being the optimal design value for the construction of works in the bay. After the cost analysis, the most economical work to be carried out was the construction of breakwaters with a total amount of \$ 4,090,207.29.

At the end of the comparative analysis between vertical dikes, embankment dikes and breakwaters through technical, environmental and social aspects in the qualitative part; and the economic aspect as the only quantitative part, it was concluded that the coastal protection work that best suits the Ferrol Bay are the breakwaters.

Keywords: Coastal protection works, bay, surface currents, typology, design wave, predimensioning, maritime works.

INTRODUCCIÓN

La bahía El Ferrol, ubicada en Chimbote, presenta problemas ambientales debido a la erosión y la contaminación de desechos tóxicos tanto de las empresas metalúrgicas como de las industrias. El presente trabajo contribuirá en la recuperación de la bahía desde el ámbito ingenieril, centrándose en los problemas causados por la erosión, inundaciones que afectan el desarrollo económico y social.

Para combatir esta problemática se realizará un análisis comparativo de las estructuras de protección costera más conocidas con el propósito de encontrar la obra más viable. Este análisis se llevará a cabo caracterizando primero las corrientes superficiales de la bahía, analizando la tipología y finalmente predimensionando las estructuras escogidas para la elaboración de metrados y presupuestos.

No existen limitaciones para llevar a cabo la investigación puesto que toda información que se necesita para cumplir con los objetivos es completamente accesible y no hay necesidad de realizar estudios in situ ni ensayos de laboratorios.

En el capítulo I se describirá y formulará el problema, la importancia, justificación y limitaciones de la investigación, así como también, los objetivos.

En el capítulo II se expone el marco histórico, las investigaciones relacionadas con el tema, la estructura teórica y científica que sustenta el estudio, definiciones de términos básicos, hipótesis y los fundamentos teóricos que las sustentan, y por último las variables.

El capítulo III abarcará el tipo, método y diseño de la investigación, el escenario de estudio, la validez, confiabilidad y la descripción de los procesos de análisis.

El capítulo IV, se darán a conocer los resultados y análisis de resultados. Estos servirán como base de cualquier proyecto de protección costera que se desee realizar en la bahía, así como también, de referencia para futuros trabajos de investigación relacionados al tema.

El capítulo de Conclusiones, se dará respuesta a cada objetivo planteado en el capítulo I.

Por último, el capítulo de Recomendaciones, se otorgará consideraciones a tener en cuenta para posibles investigaciones futuras.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Los niveles del mar han ido en aumento, ganando territorio y trayendo consecuencias que llegarán a afectar nuestro modo de vida. Algunas de estas consecuencias ya son visibles en las zonas costeras, las cuales son afectadas por la erosión, esta se define como el proceso natural responsable de la reducción de las playas, el retroceso de dunas y acantilados que dan forma a la costa por la acción de las olas, corrientes y el viento (CORIMAT, 2017).

El territorio peruano cuenta con una longitud de 3080 km en toda su extensión de la costa colindada con el océano Pacífico, nuestra costa es una más en el mundo que se ve afectada por esta problemática ocasionando diversos problemas sociales y de infraestructura, las cuales se verán dañadas con el paso del tiempo originando pérdidas económicas de manera significativa.

La Bahía de Chimbote, más conocida como El Ferrol ubicada en la provincia de Santa, departamento de Ancash, Perú; es una de las zonas costeras que más han sido afectadas por la erosión en nuestro país. Este fenómeno, ha significado la pérdida de 150 m en promedio de playa y la destrucción de infraestructura urbana, deportiva y de servicios, poniendo en riesgo a más de 10000 habitantes de las zonas de Malecón Grau, Miramar, Florida Baja, La libertad y Trapecio (Loayza, 2013).

La enorme producción de “spray marino”, generado por las olas cuando revientan sobre el enrocado y magnificado en momentos de oleajes anómalos, origina que toda la zona se encuentre bajo esta “ducha” de agua marina poniendo en serio riesgo las estructuras y la integridad física de las personas que las habitan frente a un eventual movimiento sísmico, ya que el spray marino impacta a las estructuras de las viviendas y corroe los ladrillos, fierros y concreto armado. Por si fuera poco, este spray marino también está originando problemas respiratorios en las personas que habitan esta zona, en la cual la gran mayoría son de bajos recursos económicos (Loayza, 2013).

De los problemas detallados, el referido a la erosión es el que ponderadamente merece mayor atención. Actualmente el proceso erosivo se hace muy evidente inclusive inmediatamente al norte del conjunto de muelles en la zona del “27 de octubre”, en donde el punto crítico de erosión está apenas a unos 80 m del frontis de PETROPERU. Frente al barrio “Florida” la zona intermareal ha desaparecido y amenaza con destruir viviendas, un almacén de aceite, entre otros problemas, y para evitar que ocurra esto, desde hace algún tiempo se viene depositando grandes cantidades de desmote en la orilla de la playa. Hacia la zona norte de la bahía, la zona supra litoral e intermareal desaparecieron algunos años atrás, por lo que ha sido necesario enrocar dicha franja, hasta el Jr. Ancash (MINAM, 2012).

La recuperación de la bahía El Ferrol sigue siendo un anhelo, así como sigue la erosión en la zona costera, tanto que la población que vive cerca al mar está a expensas de que el agua ingrese a sus viviendas cuando se producen oleajes anómalos. El enrocado servirá por un tiempo, pero luego la erosión continuará (Radio RSD Chimbote, 2018).

1.2. Formulación del Problema

1.2.1 Problema Principal:

¿Cómo realizar el análisis comparativo de las obras de protección costera en la Bahía El Ferrol?

1.2.2 Problemas Secundarios:

- a) ¿Serán las corrientes superficiales de la bahía el Ferrol las adecuadas para el proyecto?
- b) ¿Cuáles son las obras de protección costera que más se adecuan a la Bahía el Ferrol?
- c) ¿Existirán diferencias significativas entre los diques verticales, espigones y diques en talud para las condiciones específicas de la Bahía el Ferrol?

1.3 Importancia y Justificación del estudio

Debido a la problemática conocida y anteriormente expuesta, desde hace más de 20 años se ha estado colocando grandes cantidades de desmote y rocas en el frente de las playas, situación que en estos últimos años se ha incrementado, originando así en un crónico círculo vicioso, ya que la acumulación de estos

materiales por acción de las mareas y el oleaje, en muy breve tiempo quedan debajo del mar. Para evitar estas malas prácticas que lo único que hacen es agrandar el problema a largo plazo, es de suma importancia proyectos de obras de protección costera.

Al controlar la erosión, las playas volverán a ganar terreno dejando de ser un lugar inhóspito. Esto devolverá a la población de Chimbote la posibilidad de reencontrarse con el mar, el cual siempre ha sido su fuente de inspiración e identidad local

El mejoramiento de los paisajes impulsará el turismo nacional y extranjero, no solo por la calidad paisajista sino también, como ejemplo de estudio de cómo recuperar una bahía. Este turismo traerá consigo empleo local para los pobladores y así su economía también se verá beneficiada de manera significativa.

La bahía “El Ferrol” actualmente es conocida en el mundo como un ejemplo de cómo no se debe gestionar el ambiente, la problemática abarca diversas áreas, pero este trabajo ayudará a contribuir desde el ámbito ingenieril la recuperación de esta para demostrar al mundo que los peruanos podemos enmendar el grave error ambiental ocasionado en Chimbote.

Al finalizar la investigación se habrán identificado las obras de protección que mejor se adecuan a la bahía el Ferrol, así como también conocer las características de las corrientes superficiales de la zona. También se obtendrá el predimensionamiento de las estructuras, los cuales pueden ser usados para su análisis y diseño de futuros proyectos.

Por todo lo antes expuesto, la presente investigación es de real importancia para el sector salud, social, económico, turístico y del medio ambiente en nuestro país.

1.4 Delimitación del estudio

La investigación puede llevarse a cabo sin mayores limitaciones tanto metodológicas como de los propios investigadores, ya que no serán necesarios permisos especiales para el acceso a la información. El tamaño de la muestra serán 07 obras de protección costera de las cuales se escogerán las 03 que más se adecuen a la zona estudiada para su análisis.

Sí existen estudios previos de los cuales los investigadores pueden hacer referencia para cumplir con todos los objetivos específicos.

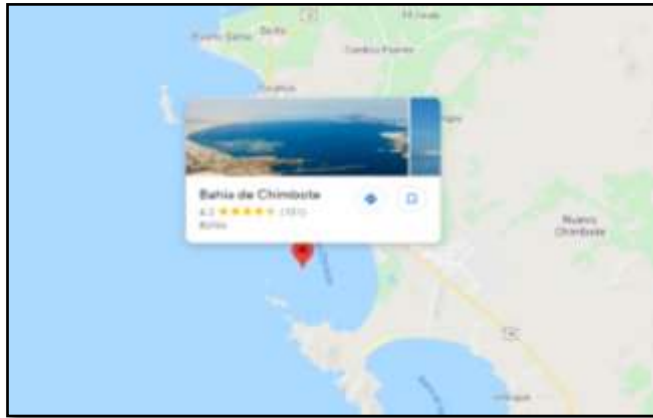
1.4.1 Delimitación espacial

- a) Coordenadas : 9°07'40.6"S 78°36'00.9"W
- b) Ciudad : Chimbote
- c) Provincia : Casma
- d) Departamento : Ancash

En la figura 1 se muestra ubicación de la bahía El Ferrol.

Figura 1

Ubicación de la bahía El Ferrol



Fuente: Google Maps

1.4.2 Delimitación temporal

El tiempo de investigación se llevará a cabo en un plazo máximo de 3 meses, por lo que las técnicas de recolección de datos serán realizadas desde gabinete, mediante sitios web confiables y oficiales.

1.5 Objetivo general y específico

1.5.1 Objetivo principal:

Realizar el análisis comparativo de las obras de protección costera en la bahía El Ferrol.

1.5.2 Objetivos específicos

- a) Caracterizar las corrientes superficiales de la bahía el Ferrol.
- b) Analizar la tipología de las obras de protección costera
- c) Elaborar matrices cualitativas y cuantitativas para los diques verticales, espigones y diques en talud.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Marco histórico

A mediados del año 50 en el Perú había una bahía con un gran potencial turístico, esta bahía era El Ferrol quien en su momento por su gran apogeo la denominaron como La Perla del Pacífico, la bahía se encuentra en Chimbote exactamente en el departamento de Ancash.

Con el paso de los años la bahía ya no sólo atraía a turistas por su biodiversidad marina y sus paisajes ya que a partir del año 60 se comenzaron a desarrollar grandes industrias como una empresa siderúrgica y empresas pesqueras convirtiéndose como el principal puerto pesquero en el mundo, dejando de lado el servicio turístico como fuente de ingreso a la bahía y comenzar a aprovechar el recurso pesquero de la zona como nueva fuente de ingreso de la bahía (Grandez, 2017).

Al haberse incrementado de estas industrias en la bahía, trajo consigo grandes consecuencias en sus aguas debido a que estas empresas desechaban sus efluentes directamente a la bahía, obligando un cambio radical en sus aguas y destruyendo la riqueza marina con la que contaba el lugar, estos cambios se dieron debido a que la bahía cuenta con una configuración cerrada evitando que se purifique por si sola y haciendo que la materia orgánica derivada de las industrias se queden atrapadas en el interior provocando que se concentren grandes cantidades de sedimentos, además con el paso de las grandes embarcaciones marítimas que atrajo la industria pesquera originó un cambio en la dinámica marina del lugar dando inicio a un proceso erosivo (Loayza, 2013).

En el año de 1974 se comenzó a apreciar que el mar se acercaba al litoral para esto se decidió iniciar con la construcción de un primer enrocado en la bahía, para esto se determinó la velocidad de erosión entre el varadero de INASSA y la plaza de 28 de Julio a cargo de Livesey & Henderson quienes obtuvieron como resultado una velocidad de erosión de 5 m año^{-1} con este dato se dio inicio a la construcción del primer enrocado entre los años de 1976 y 1977. Con el transcurso del tiempo se obtuvo una nueva velocidad de erosión entre los años de 1997 y 2004 justo frente a la plaza 28 de Julio dando como resultado de 10 – 12 m año evidenciando que el proceso erosivo se fue incrementando y ahora amenaza con afectar a la

población que habita a los alrededores, como respuesta rápida se comenzó a colocar grandes cantidades de desmonte en la orilla de playa (MINAM, 2012).

Este proceso erosivo origina que se pierda cerca de 150 m de playa y amenaza con destruir viviendas cercanas y vías que se encuentren cerca al litoral perjudicando a toda la población que se encuentra aledaña a la bahía El Ferrol.

2.2. Investigaciones relacionadas con el tema

2.2.1. Internacionales

- Sánchez (2003), realizó una tesis titulada “Diseño de las obras de protección costera del malecón de La Libertad, provincia del Guayas”. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil; tiene como objetivo general presentar el diseño de las obras de protección costera que son requeridas para la restauración del Malecón de La Libertad, de tal forma que este pueda ser desarrollado de forma segura, reduciendo la energía de las olas incidentes, y sin el peligro de sufrir los embates del mar. Su principal resultado fue el diseño de cinco escolleras costa – fuera, así como la reconstrucción del muro de contención del Malecón La Libertad. Esta investigación nos sirve para saber los aspectos a considerar que tuvo el autor de la presente tesis para la elección de una de sus tres alternativas con la que contaba como posible solución para la protección costera del malecón La Libertad. Sin embargo, no elaboró una matriz comparativa entre los 3 aspectos para una mejor evaluación de la misma.
- Gonzáles (2013), realizó una investigación sobre el “Estudio de Obras de protección costera. Caso México” para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Civil en la Universidad Nacional Autónoma de México. Tiene como objetivo principal en la revisión de las diferentes alternativas de protección costera conocidas en las playas de Cancún y la Riviera Maya. Su resultado fundamental fue que las alternativas otorgadas como protección costera en las playas de Cancún y la Riviera Maya deben ser analizadas numéricamente mediante simulaciones para un mejor dimensionamiento de las obras de protección costera para poder mitigar los efectos que trae el proceso erosivo. No obstante, no realizó una modelación de software SAP2000 para una mejor comprensión de las obras.

- Ovalle (2012), realizó una tesis titulada “Aplicación de obras de defensa blandas para la protección de la costa Catalana” para optar el grado académico de Magister en Ingeniería Ambiental en la Universidad Politécnica de Cataluña. Su objetivo fundamental fue plantear la aplicación de una obra de defensa blanda utilizando geosintéticos en una playa de Cataluña que se encuentra en estado erosivo, para proteger así su trasdós. Su resultado fundamental fue el uso de la técnica Geotextile Wrap-around Revetment como protección de la costa catalana. Se concluye de esta investigación que la técnica empleada genera impactos positivos preservando la armonía del paisaje. Por el contrario, no consideró las estructuras rígidas como posibles alternativas comparándolas con su propuesta dada.
- Medina & Vidal (2014), en su artículo sobre Diseño y construcción de diques rompeolas. Obtuvo como objetivo fundamental describir la evolución de las técnicas de diseño de los diques rompeolas y de algunos equipos y técnicas constructivas que los han impulsado. Fue una investigación de tipo descriptiva. Su resultado fundamental fue que a pesar de la evolución y los avances tecnológicos muchos ingenieros proyectistas y constructores se rehúsan a dejar de emplear la fórmula generalizada de Hudson (1959) y el coeficiente de estabilidad (K_D). Por otra parte, no realizó un diseño de dique rompeola con las ecuaciones especificadas en el artículo.
- Gutiérrez & Grassa (2015), en su artículo sobre Diseño, construcción y explotación de diques de abrigo portuario en España desde finales del siglo XX. Obtuvo como objetivo presentar una panorámica del excepcional desarrollo en materia de diques portuarios que ha tenido lugar en España desde finales del siglo xx. Fue una investigación de tipo explicativa y descriptiva. Su resultado fundamental fue que debido al incremento del desarrollo portuario en España se ampliaron los diques de abrigo en España. Sin embargo, no se consideró el aspectos ambientales, económicos y técnicos en las ampliaciones de las obras de dique de abrigo.
- Pitton & Peyregne (2016), en su artículo Paper N°5- Construcción de defensa de Costas, Puente y Cabecera de escollera en el Relleno al norte del Sexto Espigón – Puerto Buenos Aires. Tiene como objeto principal la

construcción de defensa de Costas, Puente y Cabecera de escollera en la zona norte del sexto espigón del Puerto de Buenos Aires. Fue una investigación de tipo explicativa y aplicada. Su principal resultado fue brindar los conocimientos empleados para un diseño de cada uno de ellas. En cierta medida, no detallan el aspecto económico por parte de cada una de las 3 obras.

2.2.2. Nacionales

- Díaz (2019), realizó una tesis titulada “ Evaluación de la defensa costera para la construcción del tramo de la autopista costanera: Zona de Marbella”. Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil; tiene como objetivo general realizar la evaluación de la defensa costera para la construcción de una autopista en la zona de Marbella. Su resultado fundamental fue el dimensionamiento del enrocado entre los espigones existentes como medida de protección para la construcción de la autopista. En cierto modo, no consideró el uso de software para tener un mayor conocimiento en la evaluación de la defensa costera.
- Saldaña del Río (2017), realizó una tesis titulada “Diseño de un dique de escollera para protección de la vía Costa Verde tramo Callao”. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil; tiene como objetivo general fue realizar el diseño del dique de protección marítima para la nueva vía de la Costa Verde, la cual está proyectada sobre terrenos cercanos al nivel del mar. Su resultado fundamental fue obtener de manera analítica los cálculos correspondientes del diseño de dique de escollera, contando el modelo con sólo un nivel de coronación haciendo que el proceso constructivo se facilite. En cierta medida no consideró el impacto ambiental y económico en el desarrollo del diseño del dique de escollera.

2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

2.3.1. Corrientes superficiales

2.3.1.1. Teoría del oleaje

Toda masa de agua está sometida a oscilaciones. Estas pueden ir desde ondas largas como las mareas (causadas por las fuerzas

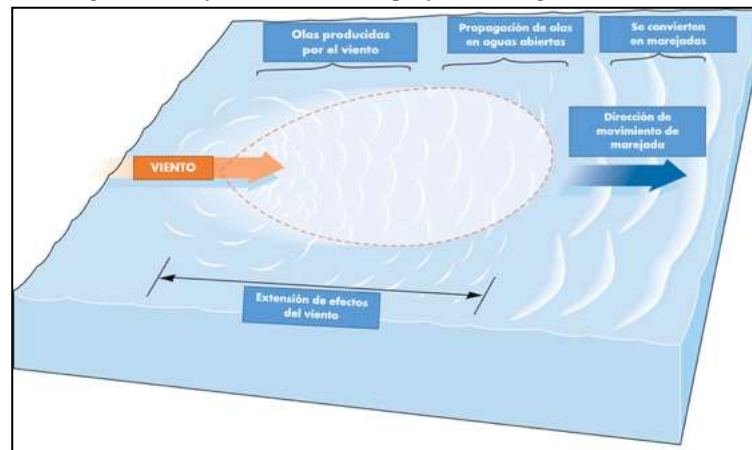
gravitacionales del sol y la luna) hasta pequeñas rizaduras generadas por el arrastre del viento sobre la superficie del mar. Si se observa la distribución de energía oscilatoria en el mar verá que se manifiesta con un rango que va desde las 12 horas hasta medio segundo. Una parte importante de esta energía se localiza en la banda de 0,5 a 30 segundos, (olas gravitatorias), la cual es comúnmente referida como oleaje de viento (Hidronav, 2013).

¿Cómo se forman las olas?

Las olas son formadas por el viento en más del 99.9 % de los casos; sin embargo, los terremotos, cuyo epicentro se localiza en el mar o muy cerca, producen las olas más destructivas del planeta, las mismas que son conocidas como tsunamis. De otro lado, la fuerza de atracción de la Luna y el Sol también forman un tipo especial de olas, a las cuales llamamos mareas que son de mayor periodo y a veces de mayor amplitud (Hidronav, 2013). En la figura 2 se observa una ilustración de cómo el viento genera mareas.

Figura 2

Viento generando fricción con la superficie del agua

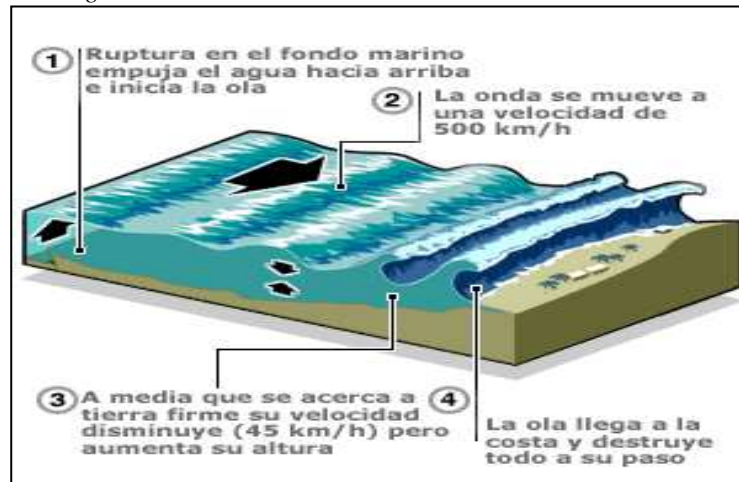


Fuente: Ecoexploratorio, n.d.

En la figura 3 se aprecian los momentos que genera un sismo para producir tsunamis.

Figura 3

Sismo generando un tsunami

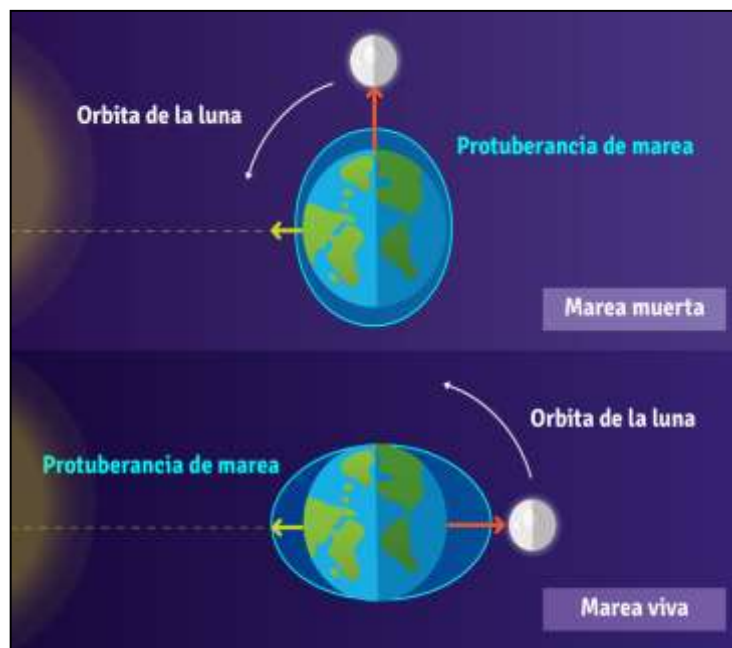


Fuente: Geología venezolana, 2011.

En la figura 4 se observa la manera en que el sol y la luna genera marea viva y muerta.

Figura 4

Fuerza gravitacional del sol y la luna



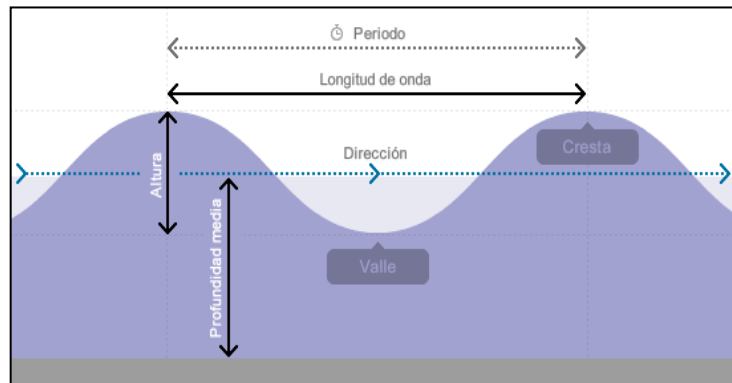
Fuente: GCF Global, n.d.

Parámetros del oleaje:

En la figura 5 se detallan las partes de una ola.

Figura 5

Partes de una ola



Fuente: Hidronav, 2013.

Donde:

La cresta es la parte más alta de una ola

El valle es la parte más profunda de la depresión entre dos olas consecutivas

La longitud de onda (λ) es la distancia entre dos crestas

La altura de la ola (H) es la diferencia de altura entre una cresta y un valle

La amplitud es la mitad de la altura (A).

La pendiente (δ) es el cociente de la altura y la longitud de onda: $\delta = H/\lambda$

El período de la ola (T) es el tiempo que transcurre entre el paso de dos crestas consecutivas por el mismo punto.

La velocidad de onda (velocidad de fase o celeridad), es decir la velocidad de propagación, se calcula dividiendo la longitud de onda por el período: $C = \lambda/ T$

Refracción de olas:

Al aproximarse a la línea de costa, las primeras olas que pasan dentro de las aguas más bajas disminuyen su velocidad, en tanto que la

línea de crestas se oriente progresivamente a sí misma, de modo que tiende a ser paralela a la costa, este fenómeno es denominado refracción de olas y está en función a la disminución de la profundidad del agua hacia la costa (Hidronav, 2013).

La refracción de olas es descrita utilizando la ley de Shell:

$$\sin(\alpha / Vd) = \sin(\beta / Vs) \quad (1)$$

Donde:

α = es el ángulo de aproximación de la ola que viene de aguas profundas.

β = es el ángulo de aproximación de la ola en aguas someras.

Vd = es la velocidad de propagación de la ola en agua profundas.

Vs = es la velocidad de propagación de la ola en agua somera.

Difracción de olas:

La difracción es el resultado de la ampliación de las direcciones de propagación de la ola y en un incremento de la longitud de onda. Esto sucede cuando las olas entran a un cuerpo de agua, una bahía por ejemplo a través de una entrada comparativamente angosta. Por lo general se necesitan promontorios de lados inclinados o entradas de bahías para producir ese efecto y se necesita que el ancho de la abertura sea mayor a una o dos longitudes de onda (Hidronav, 2013).

En la figura 6 se observa la refracción y difracción de olas en costas.

Figura 6

Refracción y difracción de olas



Fuente: Freepng, n.d.

Cálculo de la altura de una ola en aguas poco profundas

Se puede emplear la siguiente fórmula:

$$H = H_0 \times K_{sh} \times K_r \times K_d \quad (2)$$

Donde:

H = Altura de olas a calcular.

H₀ = Altura de olas en aguas profundas.

K_{sh} = Coeficiente de Shoaling.

K_d = Coeficiente de difracción.

K_r = Coeficiente de refracción.

Para el cálculo del coeficiente de Shoaling (K_{sh}), se considera una característica de la celeridad de grupo de olas en aguas profundas y en aguas poco profundas según la fórmula:

$$K_{sh} = \sqrt{C_0 / 2C_g} \quad (3)$$

Donde:

C₀ = Celeridad de olas en aguas profundas.

C_g = Celeridad de grupo de olas en aguas poco profundas.

El coeficiente de difracción se emplea cuando el frente de olas es obstaculizado por alguna estructura (isla o dique) cortando la energía

del oleaje. Es importante para determinar la distribución de las alturas de olas en una zona protegida.

El coeficiente de refracción se puede encontrar mediante el método o fórmula de Snell.

$$K_r = \sqrt{\cos \beta_0 \cos \beta} \quad (4)$$

β_0 = Angulo de incidencia que forma el frente de olas con la batimetría, es decir cuando comienza a sentir el efecto del fondo marino.

$\cos \beta$ = Angulo de incidencia del frente de olas en el lugar de interés. Cuando:

$K_r = 1$ poca influencia en la altura de la ola. $K_r > 1$ La altura de las olas aumenta.

$K_r < 1$ La altura de la ola disminuye.

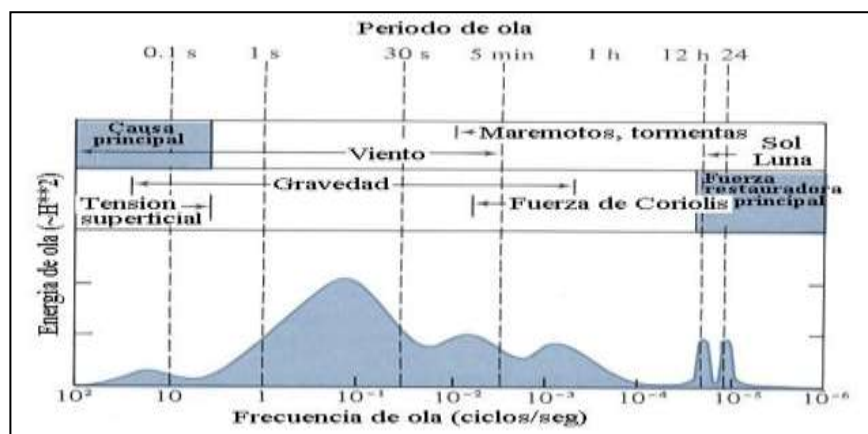
Periodo:

Es el tiempo en segundos, entre el paso de dos crestas sucesivas sobre un mismo punto.

En la figura 7 se muestra un gráfico de Energía de Ola vs Frecuencia de Ola para los distintos factores que originan olas.

Figura 7

Periodo de ola para sus distintos orígenes



Fuente: Mercedes, Touchard, 2014

2.3.1.2. Batimetría

La batimetría es la técnica que se utiliza para la medición de las profundidades de los océanos, ríos, mares y lagos.

Definiciones

La batimetría, aplicada al medio marino, es la medición de las profundidades marinas para determinar la topografía del fondo del mar. Su medición implica la obtención de datos con los valores de la profundidad y la posición de cada uno de los puntos muestreado. Estos puntos de posición, al igual que ocurre con la altimetría, están formados por coordenadas de puntos X, Y, Z . (*Comunidad ISM, 2017*).

La realización de trabajos de batimetría supone la recogida de datos (x, y, h', t) en un área, lo que requiere la elección de un sistema de referencia. Dada un área en la que los trabajos deben ser desarrollados, es preciso previamente a su ejecución elegir y definir un sistema de referencia en el plano (X, Y) . Una vez está concretado el ámbito de trabajo y el correspondiente sistema de referencia, procede establecer la recogida de datos. Los sistemas de adquisición de datos, y en consecuencia los métodos de trabajo, han registrado recientemente importantes cambios, sobre todo en cuanto se refiere al equipamiento electrónico (*Esteban Chaparría et al., 1995*).

En todo caso, la instrumentación de la recogida de datos requiere, en cada momento del trabajo, de:

- 1.- referencia con el nivel del mar (Z)
- 2.- medición del calado (h)
- 3.- medición de la posición (x, y)
- 4.- análisis y tratamiento de datos (x, x, y', t)

Entre las técnicas más usadas destacan los ecosondas Monohaz y Multihaz. Este sistema permite emitir ondas de sonido que miden la distancia entre la superficie del agua y el fondo marino, así como

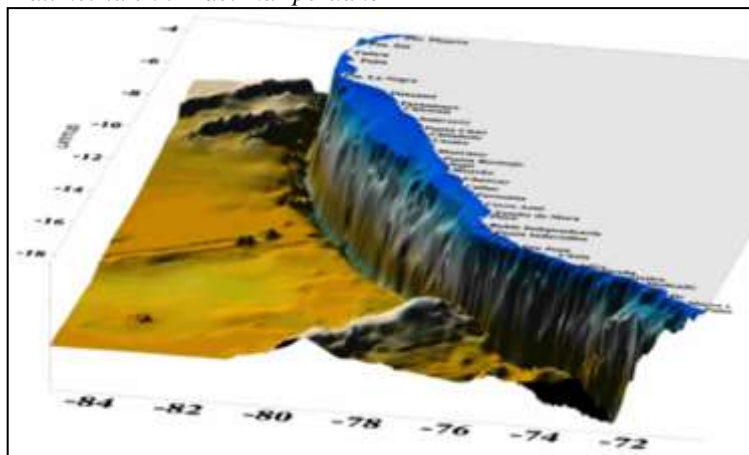
objetos suspendidos en ésta o que reposan en el fondo (*Comunidad ISM, 2017*).

La diferencia entre el mono y multihaz es que la sonda monohaz permite obtener la profundidad en un punto, de forma de que al mover la embarcación utilizando la sonda monohaz, se tiene la batimetría de una línea. Mientras que, la sonda multihaz permite obtener la profundidad de una línea, de forma que al mover la embarcación se tiene la batimetría de un área (abanico de información) (*Comunidad ISM, 2017*).

En la figura 8 se muestra la batimetría del mar peruano en 3D.

Figura 8

Batimetría en 3D del mar peruano



Fuente: IMARPE, n.d.

El sonar y cómo funciona:

Otro sistema usado para la obtención de la batimetría es el Sonar, este instrumento emite ondas de sonido que, al rebotar contra algún cuerpo material o el fondo marino, devuelve su profundidad y posición. La medida se realiza a lo largo de la línea de trayectoria que realice la embarcación donde esté ubicado el sonar (*Comunidad ISM, 2017*).

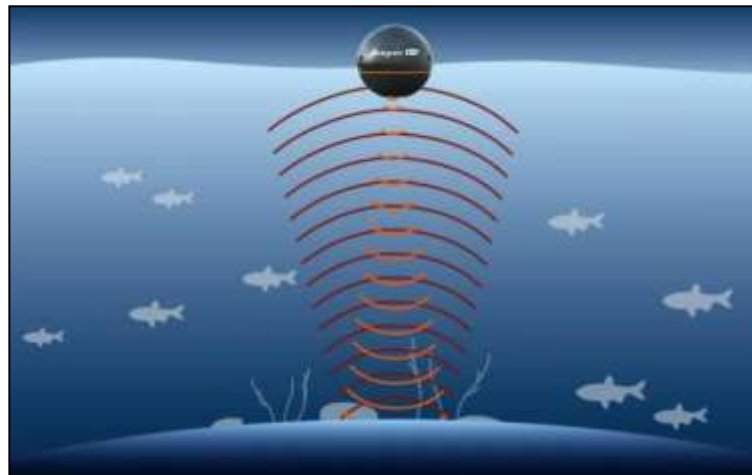
¿Cómo funciona el sonar?

SONAR significa por sus siglas Sonido Navegación Rango. Un dispositivo de sonar envía pulsos de ondas de sonido a través del

agua. Cuando estos pulsos golpean objetos como peces, vegetación o el fondo, se reflejan de nuevo en la superficie. El dispositivo de sonar mide el tiempo que tarda la onda de sonido en bajar, golpear un objeto y luego rebotar. Es el mismo sistema de ubicación de eco que utilizan los murciélagos y los delfines. Esta información le permite al dispositivo juzgar la profundidad del objeto que reflejó. También mide la fuerza del pulso de retorno: cuanto más duros son los objetos, más fuerte es el pulso de retorno (*Cómo Funciona El Sonar*, 2020). En la figura 9 se observa el comportamiento de las ondas del sonar en la superficie marina.

Figura 9

Ondas del sonar revotando en la superficie marina

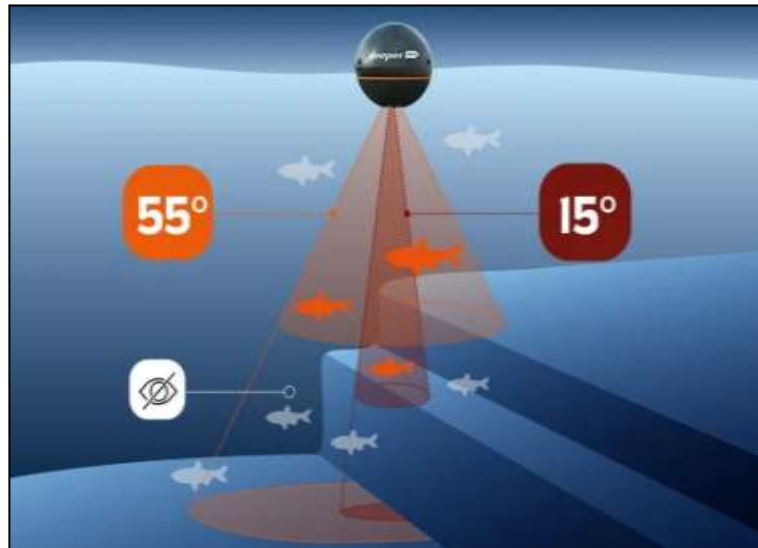


Fuente: Deepersonar.com, n.d.

Los sonares, para localizar objetos, las ondas que emiten son un pulso de sonido. Estas ondas se expanden formando conos, haciéndose cada vez más amplias como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Ondas del sonar en forma de cono



Fuente: Deepersonar.com, n.d.

2.3.1.3. Viento

Velocidad:

La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. Se mide mediante un anemómetro, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s). Las ausencias de viento se denominan calmas (Meteo Navarra, n.d.)

Anemómetro:

La función de un anemómetro es la de medir algunas o todas las componentes del vector velocidad del viento. Lo más común es expresar el viento como un vector de 2 dimensiones, considerando solo la dimensión horizontal, ya que la componente vertical es muy pequeña cerca de la superficie. Sin embargo, en algunos casos la componente vertical es importante y existen hoy en día anemómetros diseñados para medir las 3 componentes (Capacchione, 1994)

La fuerza de arrastre del viento sobre un objeto viene dada por:

$$F = \frac{1}{2} C_d \rho A V^2 \quad (5)$$

aerodinámico hay un error de desalineamiento dinámico ($\varepsilon = \theta - \theta_i$), debido al cambio de dirección del viento θ_i (Capacchione, 1994).

La ecuación de movimiento viene dada por:

$$I \frac{d^2\theta}{dt^2} + \frac{NR}{V} \frac{d\theta}{dt} = -N(\theta - \theta_i) \quad (6)$$

Donde I es el momento de inercia de la veleta, N es el torque aerodinámico por unidad de ángulo y R es la distancia desde el eje de rotación al centro efectivo de la fuerza aerodinámica sobre la veleta (Renom, 2011).

$$N = \frac{1}{2} C_L \rho A R V^2 \quad (7)$$

Donde

CL = coeficiente de sustentación

A = área de la veleta.

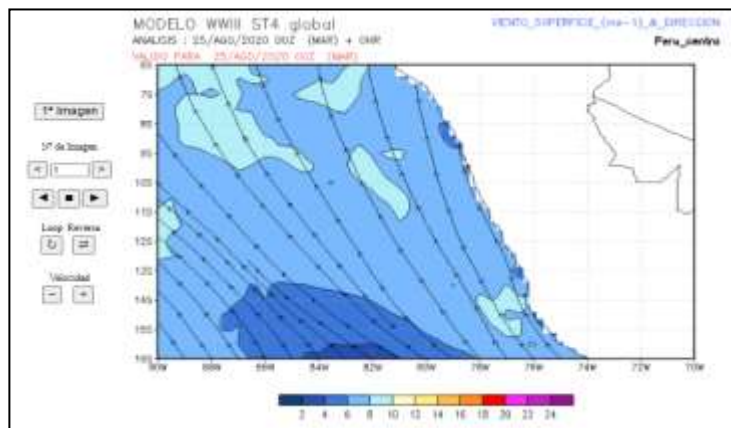
La veleta ideal debe seguir las siguientes características:

- 1) baja fricción en las juntas
- 2) balanceado estáticamente (usando un contrapeso)
- 3) máximo torque por viento y mínimo I
- 4) radio de amortiguación ≥ 0.3
- 5) umbral bajo de velocidad de viento (alrededor de 0.5 m/s)
- 6) diseño robusto capaz de soportar vientos hasta 90 m/s

En la figura 12 se muestra una captura del modelo WWATCH III donde muestra la velocidad y dirección en el mar peruano.

Figura 12

Velocidad y dirección del viento en la costa del Perú



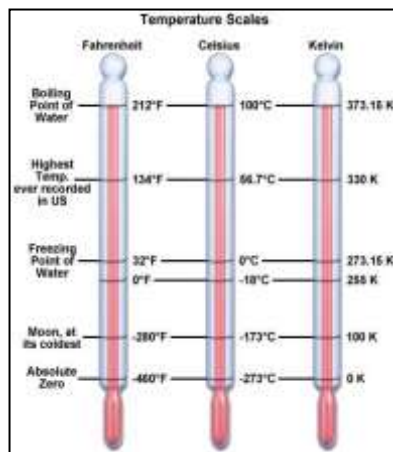
Fuente: WWATCH III, 2020

2.3.1.4. Temperatura

El principal aporte calorífico que tiene el agua del mar está representado por las radiaciones energéticas que le llegan del Sol. Su calor específico tiene un valor elevado en comparación con el calor específico de las demás sustancias existentes en la superficie del planeta; esto confiere al mar una extraordinaria capacidad para almacenar calor y por esta propiedad puede actuar como un gigantesco moderador del clima (Cifuentes et al., n.d.). La figura 13 muestra 3 termómetros comparando las medidas de las escalas Fahrenheit, Celsius y Kelvin.

Figura 13

Escalas para medición de temperatura.



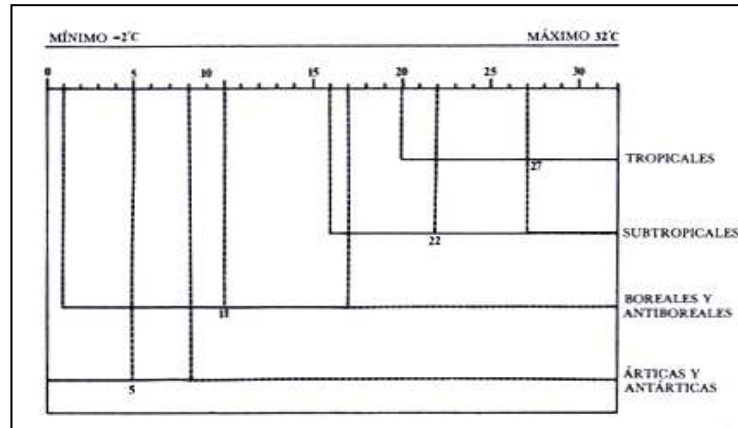
Fuente: Slideplayer, n.d.

Temperatura superficial del mar:

La Figura 14 muestra un gráfico en donde figuran las temperaturas superficiales del mar y cómo están asignadas.

Figura 14

Distribución de la temperatura en aguas marinas superficiales

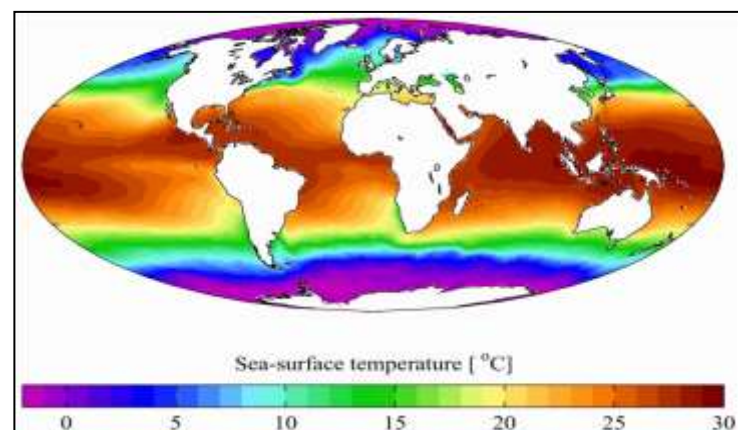


Fuente: bibliotecadigital, n.d.

Si bien es cierto, la temperatura del mar se solía medir con una muestra de agua y un termómetro, en la actualidad son los satélites quienes nos facilitan esta medición con bandas de infrarrojos que miden la cantidad de energía emitida por la superficie de la Tierra. En la Figura 15 se muestra la temperatura superficial del mar en el mundo en grados Celsius.

Figura 15

Temperatura media anual de la superficie del mar (grados Celsius)



Fuente: Wikipedia, 2006

2.3.1.5. Humedad Relativa

Para hablar de humedad relativa debemos entender algunos conceptos básicos.

Humedad:

La humedad es el término usado para describir la cantidad de vapor de agua en el aire (Inzunza, 2002).

Saturación en el aire:

El aire a una temperatura dada puede contener una cantidad determinada de vapor de agua, con un máximo hasta un límite que depende de la temperatura. Cuando se llega al límite se dice que el aire está saturado de humedad, si se excede del límite, el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes (Inzunza, 2002)

Humedad Absoluta (UA)

Humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua (comúnmente medido en gramos) contenido en un determinado volumen de aire (comúnmente un m³). Así pues la humedad absoluta la mediremos en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire (S&P, 2018).

$$UA = (\text{Masa de vapor}) / (\text{volumen de aire})$$

Humedad Relativa (UR)

Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire (humedad absoluta) y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a esa temperatura (humedad absoluta de saturación) (S&P, 2018).

$$UR = w / w_s \quad (8)$$

$$UR = (e / e_s) \times 100\% \quad (9)$$

Donde: “e” es la presión y “e_s” es la presión de saturación

UR = 100%: aire está saturado. (nubes, niebla, precipitación)

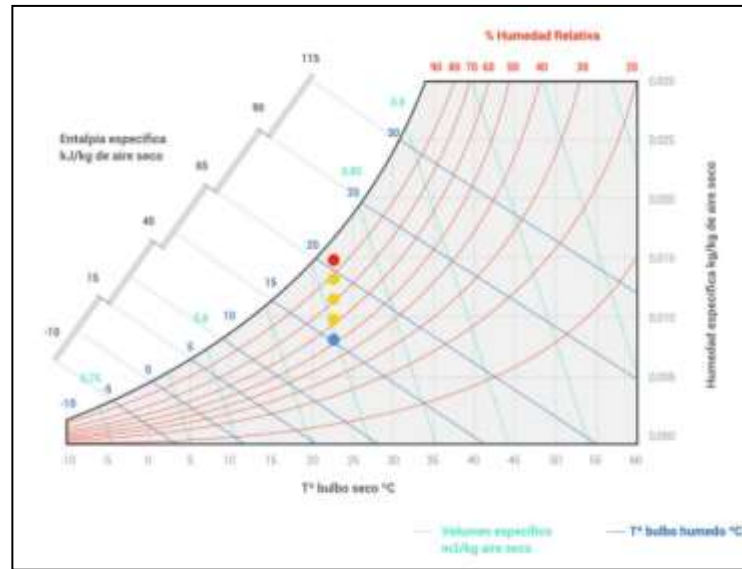
UR < 100%: aire no saturado.

UR > 100%: aire sobresaturado- aire limpio sin núcleos de condensación.

En la Figura 16 se muestra la manera en que la humedad se comporta en el aire.

Figura 16

Comportamiento de la humedad en el aire



Fuente: Solerpalau, 2018

2.3.2. Obras de protección costera

Las obras costeras deben tener en cuenta las células litorales, de manera que afecten lo menos posible a los procesos naturales, que mantienen la cantidad de sedimento dentro del sistema (Proyecto Eurosion, 2004). Se destacan dos métodos de protección:

- Método Rígido:** Cumplen la función de proteger del proceso erosivo, pero en un plazo medio puede traer grandes consecuencias ya que modifica la dinámica del funcionamiento provocando que se agrave la erosión costera. Cuenta con una vida útil larga (ANCORIM, 2017).
- Método Flexible:** A diferencia del método rígido, este método se integra a la dinámica del lugar ya que se adapta a la naturaleza del lugar, cuentan con una vida útil menor que el método rígido (ANCORIM, 2017).

2.3.2.1. Espigones

Para la ejecución de los espigones se debe contar con una pendiente suave, es uno de los procedimientos más empleados debido a la sencillez del proceso constructivo (González, 2013).

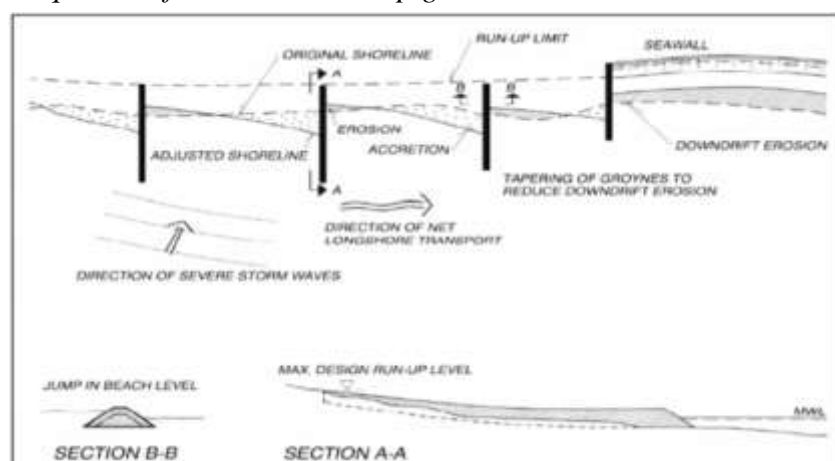
Este tipo de protección costera se puede colocar en altamar o también se podrían conectar a la costa. Tiene como función de disipar la energía proveniente de las olas reduciendo el oleaje debido a que se encuentra de manera perpendicular a la costa (Maccaferri Iberia, n.d.). Se caracteriza por tener una estructura angosta de distintos tamaños longitudinales (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2013).

El diseño de un espigón por lo general es recto, pero en ocasiones son curvos o en forma de T, el espigón al tener forma de T también actúa como un rompeola. Para un próximo diseño de un espigón se debe de considerar localización en planta, longitud, espaciamiento entre espigones, altura, perfil, tipo, materiales, permeabilidad y otros. (Suarez, 2001).

En la figura 17 se muestra un esquema referencial sobre la ubicación de los espigones de mar.

Figura 17

Esquema referencial de los espigones



Fuente: Coastal Engineering Manual

En la figura 18 se muestra la ubicación de espigones de mar en la Costa Verde en Perú.

Figura 18

Espigones en la Costa Verde en Perú



Fuente: CanalN

Diseño de Espigón

- Peso de escollera

Moreno et al. (2001) manifiesta que para el cálculo del peso de escollera hace mención a fórmula de Hudson (1958) generalizada que fue desarrollada a su vez de Iribarren (1938).

$$W = \frac{1}{K_D} * \frac{H^3}{\left(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1\right)^3} * \frac{\gamma_r}{\cot \alpha} \quad (10)$$

Dónde:

W = Peso del manto

H = Altura de la ola

γ_r = Peso específico del hormigón

γ_w = Peso específico del agua

α = Ángulo que forma la horizontal con el talud

K_D = Coeficiente de estabilidad, depende del material

- Espaciamiento de Espigones

El espaciamiento entre los espigones, depende en varias ocasiones de la longitud de ellas individualmente, por ello comúnmente tiene una relación. (Suarez, 2001).

$$1.5L < E < 2L$$

2.3.2.2. Rompeolas de gravedad

El Ministerio de Obras Públicas (2013) de Chile divide al rompeolas de gravedad en tres partes, siendo los siguientes:

a) Diques verticales

Son estructuras que cuentan con un muro de forma vertical en la parte superior, estos muros pueden estar compuestos de cajones o bloques, que se encuentran sobre una banqueta con un espesor determinado. El impacto de las olas genera dos clases de esfuerzos sobre la estructura: esfuerzo vertical ascendente y un esfuerzo horizontal, estos esfuerzos dependen de la fuerza de impacto que genera las olas. Lo que otorga estabilidad al dique vertical son su propio peso y el rozamiento que genera el dique vertical con la banqueta, estos componentes deben tener la capacidad de resistir los esfuerzos generados por el impacto de las olas (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2013).

En la figura 19 se presenta la sección transversal de un dique en vertical.

Figura 19

Sección Transversal de Dique Vertical



Fuente: Puertos del Estado 2008

Puertos del Estado (2008) da detalles de lo beneficioso que es construir este tipo de diques de gravedad:

- La construcción de estos diques se realiza de manera rápida.
- Se utiliza un menor número de material procedente de cantera.
- En las fases constructivas no se complica debido al oleaje.

- El desmontaje de esta estructura se realiza de una manera más sencilla que el dique de talud.

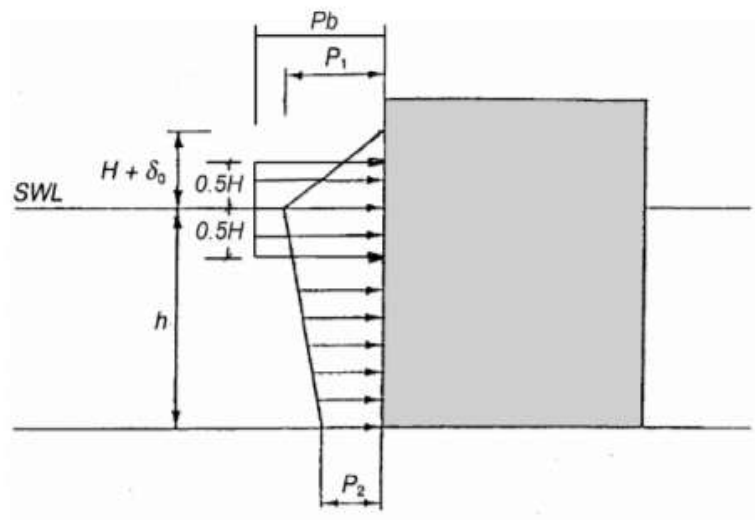
Diagrama de Presiones:

Para el diagrama de Presiones sobre el dique vertical, está en base al comportamiento empleado por la fórmula de Sainflou en 1928, pero a su vez, la fórmula se vio modificada debido a que la inicial subestimaban las presiones en condiciones de tormenta energética, es por esto que se sustituyó las presiones por las de Hiroi, ésta modificación en el diagrama de presiones se le llamó Sainflou Modificado. (Galmés, 2005).

En la figura 20 se muestra el diagrama de presiones Sainflou Modificado de un dique vertical.

Figura 20

Diagrama de Presiones Sainflou Modificado



Fuente: Xavier Gironella

Dónde:

H = Altura ola de diseño

$$P_b = 1.5 * \gamma_w * H \quad (12)$$

$$P_1 = \frac{(P_2 + \gamma_w * g * h) * (H + \delta_0)}{(h + H + \delta_0)} \quad (13)$$

$$P_2 = \frac{\gamma W * g * H}{\cosh \frac{2\pi h}{L}} \quad (14)$$

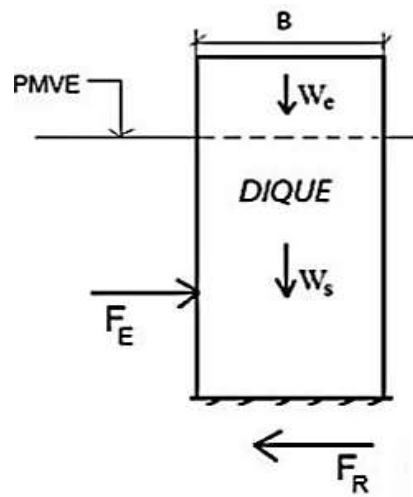
Cálculo de Seguridad del Dique Vertical.

Munoz (2020) especifica el calculo de estabilidad de deslizamiento y vuelco de la siguiente manera.

En la figura 21 se muestra el diagrama de fuerzas que actúan sobre el dique para el deslizamiento.

Figura 21

Diagrama de fuerzas que actúan sobre el dique para el deslizamiento



Fuente: Munoz, 2020

Dónde:

W_e = Peso de bloque emergido

W_s = Peso de bloque sumergido

F_e = Fuerza que genera el empuje de oleaje

F_R = Fuerza de rozamiento entre la superficie y la estructura

B = Ancho de la estructura

- Deslizamiento: Para calcular la estabilidad al deslizamiento se deberá cumplir lo siguiente.

$$F_E < F_R \quad (15)$$

Donde:

$$F_R = \text{Tan } \alpha_R * W_{\text{Peso}}$$

$$W_{\text{Peso}} = (W_s + W_e)$$

$$W_e = \text{Vol}_E * \rho H_E$$

$$W_s = \text{Vol}_s * \rho H_s$$

$$\alpha_R = \text{Ángulo de rozamiento}$$

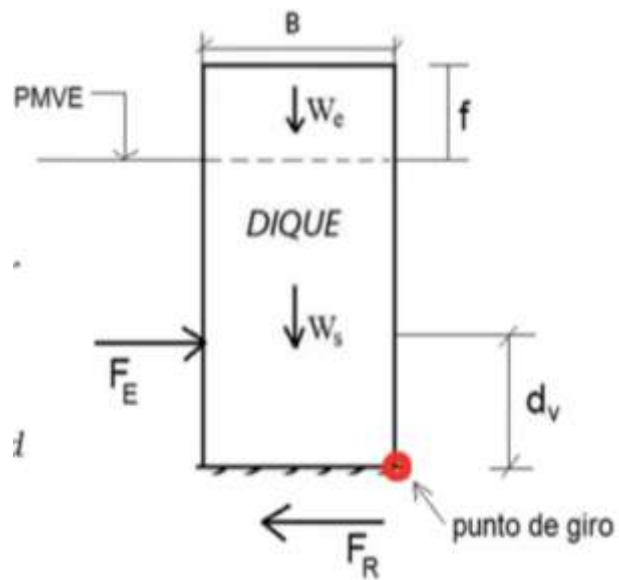
- Vuelco: Para calcular la estabilidad al vuelco se deberá cumplir lo siguiente.

$$f_s * M_{Vuelco} \leq M_{Estabilizador} \quad (16)$$

En la figura 22 se muestra el diagrama de fuerzas que actúan sobre el dique para el vuelco.

Figura 22

Diagramas de Fuerzas que actúan sobre el dique para el vuelco



Fuente: Munoz, 2020

Donde:

$$M_{Vuelco} = F_{empuje} * d_v \quad (17)$$

$$M_{Estabilizador} = (W_E + W_S) * \frac{B}{2} \quad (18)$$

$$d_v = \text{Brazo de vuelco}$$

$$f_s = \text{Factor de Seguridad, varía de 1.5 a 2}$$

b) Diques en talud

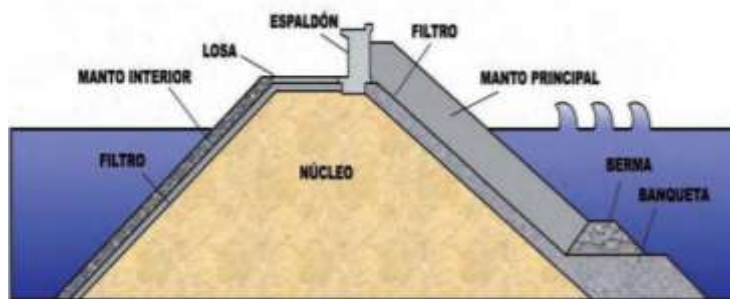
Un dique en talud cuenta con un núcleo en la parte interior teniendo como función impedir el paso de energía generados por el impacto

de olas. El núcleo se encuentra protegida por mantos superiores que impiden el desplazamiento del núcleo otorgándoles estabilidad, estos mantos están compuestos por rocas o de elementos prefabricados a base de hormigón, por lo que el manto superior cuenta con un rol muy importante en estas clases de estructuras ya que definen la resistencia del dique ante los eventos temporales (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2013).

En la figura 23 se muestra la sección transversal de dique en talud.

Figura 23

Sección Transversal de Dique en Talud



Fuente: Puertos del Estado 2008

- Cálculo de la Estabilidad del Manto Principal:

Medina & Vidal (2014) en su investigación manifiestan que para el cálculo de estabilidad hidráulica del manto principal, se utiliza la ecuación de Hudson(1959) que a su vez se derivó de una ecuación de Iribarren(1938).

$$W = \frac{1}{K_D} * \frac{H^3}{(\frac{\gamma_r}{\gamma_w} - 1)^3} * \frac{\gamma_r}{\cot \alpha} \quad (19)$$

Dónde:

W = Peso del manto

H = Altura de la ola

γ_r = Peso específico del hormigón

γ_w = Peso específico del agua

α = Ángulo que forma la horizontal con el talud

K_D = Coeficiente de estabilidad, depende del material

A su vez manifiesta la formula Generalizada de Hudson (1959), reordenando la ecuación (1), para el cálculo del número de estabilidad.

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} \quad y \quad N_{sd} = \frac{H_{sd}}{\Delta D_n} = \quad (20)$$

$$\Delta = \left(\left[\frac{\gamma_r}{\gamma_w} \right] - 1 \right) \quad D_n = (W/\gamma_r)^{\frac{1}{3}}$$

Dónde:

N_s = Número de estabilidad del manto

H_s = Altura de ola significativa

N_{sd} = Número de estabilidad del diseño

H_{sd} = Altura de ola significativa correspondiente a un determinado nivel

Medina & Vidal (2014), también manifiesta la estabilidad de manto, mediante la ecuación de Van der Meer(1988) que fue otorgada mediante ensayos a escala reducida empleando un oleaje irregular.

- Aguas Profundas:

$$N_s = 6.2P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} Ir^{-0.5} \quad Ir < Ir_{crit} \quad (21)$$

$$N_s = p^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\tan \alpha} Ir^p \quad Ir > Ir_{crit} \quad (22)$$

- Aguas Someras:

$$N_s = 8.7P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} Ir^{-0.5} \quad Ir < Ir_{crit} \quad (23)$$

$$N_s = 1.4p^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \sqrt{\tan \alpha} Ir^p \quad Ir > Ir_{crit} \quad (24)$$

$$Ir = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H}{L_0}}} \quad ; \quad Ir_{crit} = (6.2P^{0.31} \sqrt{\tan \alpha})^{1/(P+0.5)}$$

Donde:

P = Factor de Permeabilidad

N = Número de olas del estado del mar

S = Parámetro de daño

Ir = Número de Iribarren

Lo = Longitud de olas profundas

Tan α = Pendiente de la estructura

En la tabla 1 se presenta los valores de daño S.

Tabla 1

Valores de daño S

Pendiente	Daño		
	inicial	Daño Intermedio	Falla
1:1.5	2	3 - 5	8
1:2	2	4 - 6	8
1:3	2	6 - 9	12
1:4	3	8 - 12	17
1:6	3	8 - 12	17

Fuente: Van der Meer, 1988

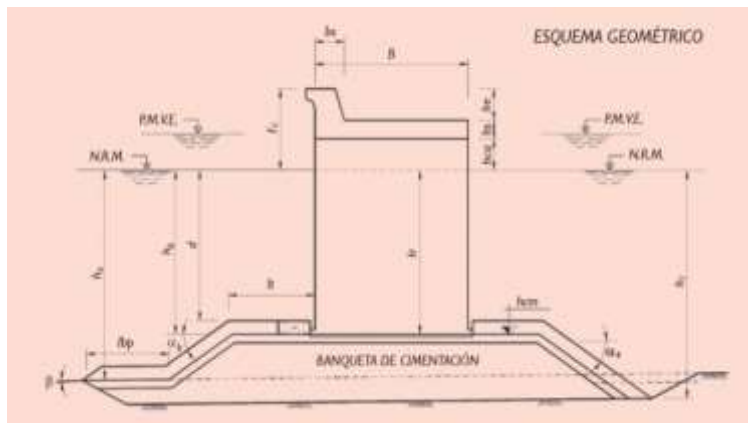
c) Diques mixtos

Los diques mixtos se caracterizan por contar con un muro de forma vertical apoyados sobre un dique en forma de talud, por lo que al actuar sobre la rompiente de una ola se debe a la marea; es decir si la marea es alta el impacto se dará sobre el muro vertical, caso contrario si la marea es baja el impacto se dará sobre el talud que se encuentra por debajo del muro vertical (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2013).

En la figura 24 se muestra un esquema referencial de un dique mixto.

Figura 24

Esquema referencial de un Dique Mixto



Fuente: Puertos del Estado, 2009

Para casos de diseño de esta clase de Dique Mixto, se empleará la misma metodología de un Dique Vertical. Ver sección a)

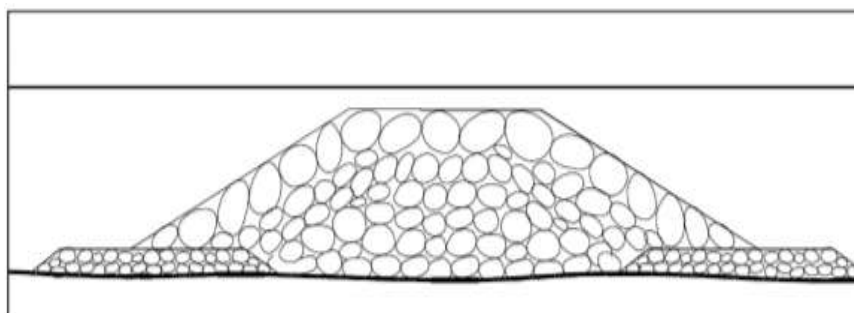
2.3.2.3. Rompeolas sumergidos

Al encontrarse aguas abajo origina un obstáculo en la propagación del oleaje por lo que sólo llega a pasar una porción de energía provocando que la ola llegue romper sobre la costa, pero con una baja intensidad. La construcción de estos rompeolas está conformada por rocas (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2013).

En la figura 25 se muestra un esquema referencial de un rompeola sumergido.

Figura 25

Rompeola Sumergido



Fuente: Coastal Engineering Manual

Diseño de Rompeolas Sumergido:

- Para el diseño de un rompeola Sumergido, tiene mucho enfoque al dique de talud, por lo que el diseño se calcularía con las mismas

especificaciones que aborda el dique en talud. Ver sección b)

- Así mismo, para el diseño de un rompeola se deberá cumplir con los siguientes parámetros de relaciones (Suarez, 2001).

Relación de Exposición “E”:

$$E = \frac{LONGITUD\ TOTAL\ DE\ ESPACIOS}{LONGITUD\ TOTAL\ DE\ ROMPEOLAS} \quad (27)$$

$$0.25 < E < 0.66$$

Relación de Distancias “D”:

$$D = \frac{L}{Y} \quad (28)$$

Donde:

L = Longitud del rompeolas

Y = Distancia del rompeola con la costa

$$0.2 < D < 2.5$$

Si: $D > 1.00$, se forma tómbolos

2.3.2.4. Muros costeros

Los muros costeros son colocados de forma paralela a la costa, separando el área terrestre y el mar. Tiene como función otorgar estabilidad evitando deslizamientos de tierra hacia el mar, previniendo el proceso erosivo provocados por la energía del mar al momento de impactar las olas sobre la costa (MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS, 2013).

En la figura 26 se muestra un muro costero separando la costa y el mar.

Figura 26

Muro Costero



Fuente: Ministerio de Obras Públicas, 2013

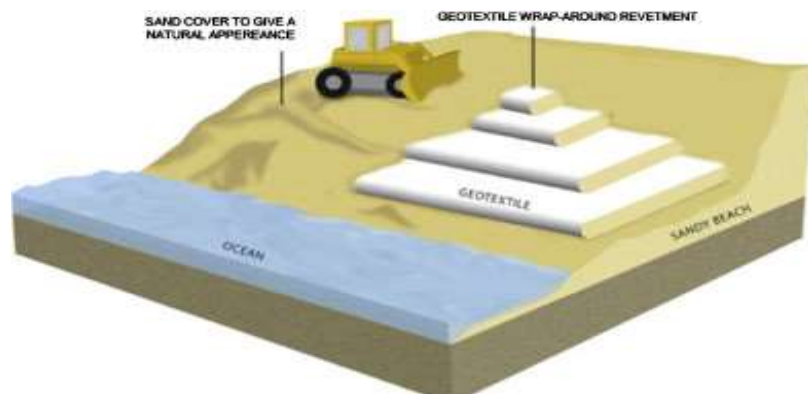
2.3.2.5. Geotubos

La técnica conocida como “Geotextile wrap-around” consiste en envolver la arena como una capsula utilizando el geotextil como una envoltura, para poder apilarlos y alcanzar la altura deseada, en este caso el material de relleno que estaría envuelto el geotextil sería de la misma playa o material extraído de actividades extractivas. Para ello los geotextiles usados en este tipo de procedimientos tienen que ser lo suficientemente resistentes a la abrasión y perforación. Cuando se termina de apilar es cubierto con arena para que otorgue una apariencia natural (Recio-Molina & Yasuhara, 2005)

En la figura 27 se muestra una imagen representativa de Geotextile wrap-around.

Figura 27

Esquema referencial de Geotextile wrap-around



Fuente: Saathoff y Zitscher, 2001

Clasificación de Geotextiles:

Los geotextiles se clasifican de dos maneras, geotextil no tejido y geotextil tejido (Suarez, 2001).

a) Geotextil no Tejido

- Punzonados:

Este método consiste en unir los geotextiles mediante miles de alfileres mediante una placa perforada, al ingresar los alfileres sueltan una gran cantidad de fibras quedando entrelazadas en la estructura.

- Pegados al calor

El método empleado para unir los geotextiles es otorgar calor a la misma haciendo que las fibras termoplásticas se ablanden, para poder unir las se ejercen presión sobre ellas hasta que se adhieran.

- Pegados con resina

El método empleado es colocar resina o goma sobre las fibras, para después unir las con las otras.

b) Geotextil Tejido

- Monofilamento

Tejido a base de monofilamento en las dos direcciones.

- Hilo

Son hilos torsionados, tejidos en las dos direcciones.

- Cinta

Este tejido consiste es a base de cintas de espesores que varían de 1.5 a 4.0 mm.

- Fibrilados

A base de hilo fibrilados con secciones elípticas o rectangulares.

Diseño de geoestructura:

Para realizar este tipo de diseño con geotextiles, está compuesto por dos clases de diseño, mediante solución hidráulica y diseño interno de la geoestructura (Ramirez, 2017).

a) Solución Hidraulica

Para la solución Hidraulica se empleará las ecuaciones dadas por Pilarczyk (2001).

- Fuerzas ejercidas por las olas.

$$\left(\frac{H_S}{\Delta D}\right) = \frac{F}{\xi_{op}^{2/3}} \quad (29)$$

$$\Delta = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} ; \quad \xi_{op} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{\frac{H_S}{L_{op}}}} ; \quad L_{op} = \frac{g}{2\pi} * T_p^2$$

Dónde:

Hs = Altura de la ola de diseño

D = Espesor de revestimiento

F = Factor de estabilidad

ξ = Parámetro Breaker

α = Ángulo de talud

ρ_s = Densidad del revestimiento

ρ_w = Densidad del agua

Lop = Longitud de onda

Tp = Periodo de onda

- Fuerzas ejercidas por el flujo de agua:

$$\Delta D = 0.035 * \frac{\phi}{\psi} * \frac{K_T * K_h}{K_m} * \frac{u_{cr}^2}{2g} \quad (30)$$

Dónde:

Δ = Densidad Relativa

D = Espesor

ϕ = Parámetro de estabilidad

ψ = Parámetro crítico de Shields

K_T = Parámetro de Turbulencia

K_h = Parámetro de profundidad

K_m = Parámetro de pendiente

g = Gravedad

u_{cr} = Velocidad crítica

b) Solución de la geoestructura

- El geotextil debe contar con una permeabilidad adecuada.
- El geotextil deberá tener la capacidad de contener el material de relleno.
- El geotextil deberá resistir las presiones a las que estará sometida.

2.4. Definición de términos básicos

Amplitud de ola: Es la altura que llega a alcanzar la ola desde el nivel medio del mar.

Batimetría: Conocimiento de la profundidad del mar, océano, ríos, etc.

Estructura: Conjunto de elementos perfectamente equilibrados y estables que tienen como función resistir cargas.

Erosión Costera: Proceso por el cual el oleaje origina la reducción de costas.

Geotextil: Tiene forma de tela, pero está conformado por un material textil sintético.

Sedimentos: Material sólido que se encuentra en la parte inferior de un líquido.

Temperatura Superficial del mar: Temperatura registrada en la superficie del mar.

Vida útil: Es el tiempo de estimación por lo que un objeto ha sido creado.

Predimensionado: Cálculo necesario previo al diseño de una estructura.

Rompeolas: Estructura costera que ayuda a proteger las costas del oleaje.

2.5. Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

2.5.1. Corrientes superficiales en la bahía

El ente encargado de medir los datos meteorológicos en Chimbote es la estación CORPAC que se encuentra ubicado en el aeropuerto de Chimbote.

a) Área de Estudio:

El área de estudio se encuentra ubicado en la parte central de la costa peruana, en la provincia de Santa, Ancash. Cuenta con unas dimensiones de 11.1 km de longitud y 6.5 km de ancho, contando con una geometría plana. Presenta un área más cerrada en el sector sur (MINAM, 2012).

b) Batimetría:

La bahía El Ferrol cuenta con una batimetría promedio de 14 m de profundidad (MINAM, 2012).

c) Temperatura de la zona:

La temperatura del lugar tiene un promedio de 20.7° teniendo pequeñas diferencias en todo el año, en los meses de diciembre a abril la temperatura tiende a aumentar, y en los meses de julio a setiembre la temperatura tiende a disminuir (MINAM, 2012).

d) Vientos:

Chimbote al encontrarse en la costa peruana cuenta con un clima desértico por lo que cuenta constantemente con viento. Cuenta con valores altos en los meses de noviembre a abril alrededor de los 7 m/s y bajo en los meses de mayo a setiembre con un valor de 5 m/s, teniendo la dirección de sur a norte. Al ocurrir ráfagas de viento estas tienden a alcanzar un valor de 15-17 m/s (MINAM, 2012).

e) Mar

En la bahía El Ferrol tiene un promedio de 75 – 85 % de condiciones normales en el comportamiento del mar, dando un índice de comportamiento irregular en oleaje de 15 -25% donde de este porcentaje el 10% corresponde a un oleaje fuerte (MINAM, 2012).

f) Humedad Relativa:

Al encontrarse cerca al mar cuenta con una humedad relativa alta y constante, siendo sus valores aproximados de 81 – 91% (MINAM, 2012).

2.5.2. Obras de protección costera

Debido a que la bahía El Ferrol, se ve afectado notoriamente específicamente en el Malecón Grau, que cuenta con habitantes muy cercanos a él perjudicando sobre sus viviendas.

a) Dique Vertical

Puertos del Estado (2008) da detalles de lo beneficioso que es construir este tipo de diques de gravedad:

- La construcción de estos diques se realiza de manera rápida.
- Se utiliza un menor número de material procedente de cantera.
- En las fases constructivas no se complica debido al oleaje.
- El desmontaje de esta estructura se realiza de una manera más sencilla que el dique de talud.

b) Espigones

La construcción de espigones como obra de protección costera es uno de los sistemas más comunes en las playas. Se construyen de manera perpendicular a la costa, haciendo que la arena de playa no se traslade a lo largo de la playa para poder manejar el proceso erosivo que podría ocurrir en la playa. El diseño de un espigón por lo general es recta, pero en ocasiones son curvos o en forma de T (Suarez, 2001).

Suarez (2001) menciona beneficios del uso de espigones:

- La construcción de un espigón es desde la playa hacia el mar, haciendo que sea una obra sencilla de realizar.
- Efectivos en el control de la erosión
- Económicamente rentable a comparación de otras.
- Se puede modificar las medidas incluso después de su ejecución.
- Al ser una de las obras de protección más usada se cuenta con una mayor cantidad de información.

c) Dique Talud

Suarez (2001) menciona beneficios del uso del dique talud:

- Efectivos para controlar la erosión por transporte a lo largo de la orilla.
- Se diseña para mejorar la calidad del agua junta a la orilla.
- Reducen de forma significativa la altura de las olas.
- Se puede diseñar sumergido para no afectar el paisaje.
- Efectivos para conservar la línea de playa y proteger a estructuras que se encuentran junto a la orilla

2.6. Hipótesis

2.6.1. Hipótesis general

La obra de protección costera que mejor se adecúa a la bahía el Ferrol son los espigones.

2.6.2. Hipótesis específicas

- a) Las corrientes superficiales son las adecuadas para el proyecto.
- b) Las obras de protección costera que más se adecuan a la bahía el Ferrol son diques verticales, espigones y diques en talud.
- c) Existen diferencias significativas entre los diques verticales, espigones y diques en talud para la Bahía el Ferrol.

2.7. Variables

Existe una relación directa entre las variables, puesto que la bahía El Ferrol depende de las 3 obras de protección costera: Rompeolas sumergidos, Espigones y Diques Sumergidos

Variable dependiente: La bahía El Ferrol

Variable independiente: Obras de protección costera

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

3.1. Tipo, método y diseño de la investigación

“Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (Hernández et al. 2014). La Presente investigación es de tipo aplicada no experimental transversal, debido a que se recolectarán datos en un tiempo determinado sin intervenir en el ambiente, con enfoque mixto, cualitativo y cuantitativo. No habrá uso de laboratorios, toda la información será recolectada a través de distintas bases de datos y por medio de la observación de mapas interactivos. El alcance es descriptivo (Hernández et al. 2014). debido a que se caracterizarán las corrientes superficiales de la bahía El Ferrol y se analizará la tipología de las obras de protección costera.

3.2. Población y muestra

“Una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones” (Hernández et al. 2014).

Población: La población de la investigación serán las 7 obras de protección costera más usadas en el mundo, para el Malecón Grau que cuenta con una longitud de 1.13 km.

“La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población.” (Hernández et al. 2014).

Muestra: La muestra de la investigación serán las 3 obras de protección costera que más se adecuan a la Bahía el Ferrol. Las estructuras escogidas serán los espigones, diques verticales y en talud.

3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

El diseño muestral será no probabilístico, todas las técnicas de recolección de datos serán realizadas desde gabinete, mediante sitios web confiables y oficiales como SENAMHI, IMARPE, MARINA DE GUERRA DEL PERÚ; bases de datos como HIDRONAV, WEATHER ONLINE, WAVEWATCH y normas técnicas como las Normas Técnicas Hidrográficas de la Marina de Guerra del Perú. Como

herramientas para el predimensionamiento se utilizarán hojas de cálculo de EXCEL y AUTOCAD; programas de OFFICE en general también serán usados.

3.4. Descripción de procedimientos de análisis

- Para la caracterización de las corrientes superficiales se recolectó información de distintas fuentes. Para la temperatura, los datos fueron recolectados de los boletines diarios de las condiciones oceanográficas de HIDRONAV. Para la humedad relativa, velocidad del viento y su dirección, los valores fueron recolectados de la base de datos de Weather Online.
- Para la temperatura, humedad relativa y velocidad del viento se calculó un promedio mensual de los valores de los últimos 5 años.
- Cada promedio mensual fue el resultado de 5 valores escogidos utilizando el método de muestreo no probabilístico a juicio.
- Se elaboró un gráfico para cada año, valor promedio vs mes.
- Se elaboró un gráfico comparativo de los resultados de los últimos 5 años.
- Para la dirección del viento se elaboraron rosas de viento anuales en una hoja de cálculo de Excel.
- Cada rosa de viento se elaboró con el promedio de los valores de todos los meses.
- Se elaboró una sexta rosa de viento con los valores promedio de los últimos 5 años.
- Por último, se aplicó estadística descriptiva a los valores del viento por cada año estudiado.
- Para la ola de diseño se realizó una toma de datos mediante observación a un mapa interactivo (DIMODEL) de HIDRONAV en las dos únicas fechas disponibles en el modelo numérico.
- Las alturas de las olas fueron registradas tanto para la zona norte, centro y sur de la bahía el Ferrol cada tres horas dando un total de 93 horas en enero del 2017 y 120 horas para el mes de setiembre del 2020.
- Se aplicó estadística descriptiva a todos los valores de la zona norte, luego a todos los valores de la zona centro y por último a todos los valores de la zona sur.
- Una vez que se obtuvo la altura de ola máxima, la altura de ola promedio y la altura de ola mínima, se consultó otras investigaciones con la finalidad de comparar resultados.
- Se analizaron los resultados de otras investigaciones junto con las obtenidas y se

escogió la altura de ola óptima para el predimensionamiento.

- Para la batimetría se usó como referencia las isóbatas mostradas en el informe núm. 1, Vol. 34, pág. 30 de IMARPE, en la zona de estudio.
- Para analizar la tipología de las siete obras de protección costera más comunes, se describió los materiales que emplean, el proceso constructivo, las ventajas y desventajas para cada una de ellas, así como también algunas recomendaciones.
- Para comprender mejor el proceso constructivo, se elaboró un diagrama de flujo sobre ello para las tres estructuras que más adelante se analizaron en las matrices.
- Para la elaboración de las matrices primero se hizo un predimensionamiento de las siguientes estructuras: Dique vertical, espigón de escollera y dique talud.
- Con el predimensionamiento terminado, se realizó el metrado de cada estructura.
- Los costos fueron sacados del “Cálculo de dique exterior en el puerto de Cartagena” de David Gimeno Martínez en la Universidad Politécnica de Cartagena. Estos fueron llevados a dólares con valor de: 1 Euro = 1.17 Dólares.
- Se elaboraron 3 matrices cualitativas, teniendo como aspectos principales el aspecto técnico, el aspecto ambiental y el aspecto social.
- Se elaboró 1 matriz cuantitativa teniendo como único aspecto a analizar el económico.
- Se analizaron las 4 matrices y se escogió el espigón de escollera como mejor alternativa a la problemática de la investigación.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Resultados

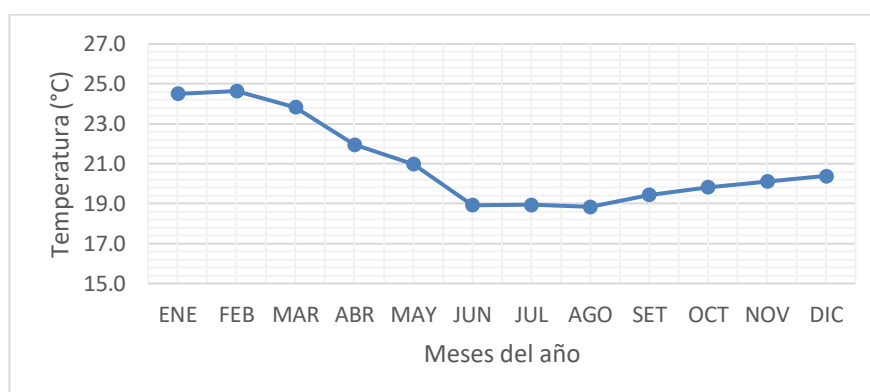
4.1.1. Caracterización de las corrientes superficiales de la bahía El Ferrol

4.1.1.1. Temperatura superficial del mar

En las figuras 28, 29, 30 y 31, se muestran las temperaturas superficiales del mar desde el año 2016 hasta el año 2019. Dichos promedios mensuales fueron el resultado de un muestreo no probabilístico a juicio por parte de los investigadores de los boletines diarios de las condiciones oceanográficas de HIDRONAV. Siendo el año 2017 el año con las temperaturas más altas registradas en el primer semestre y el año 2019 el año con las temperaturas más bajas registradas en el segundo semestre del año.

Figura 28

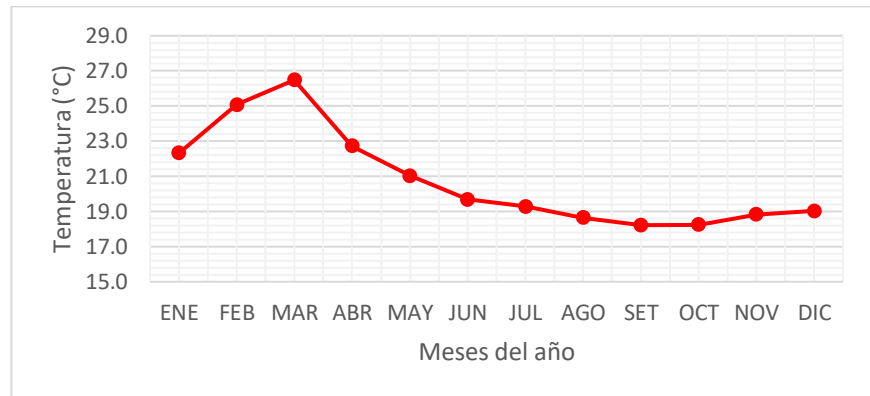
Temperatura superficial del mar en el año 2016



Fuente: Propia.

Figura 29

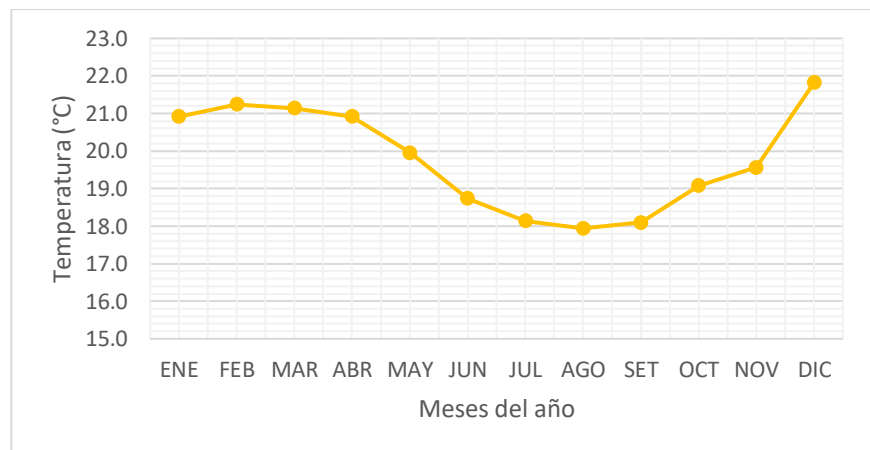
Temperatura superficial del mar en el año 2017



Fuente: Propia.

Figura 30

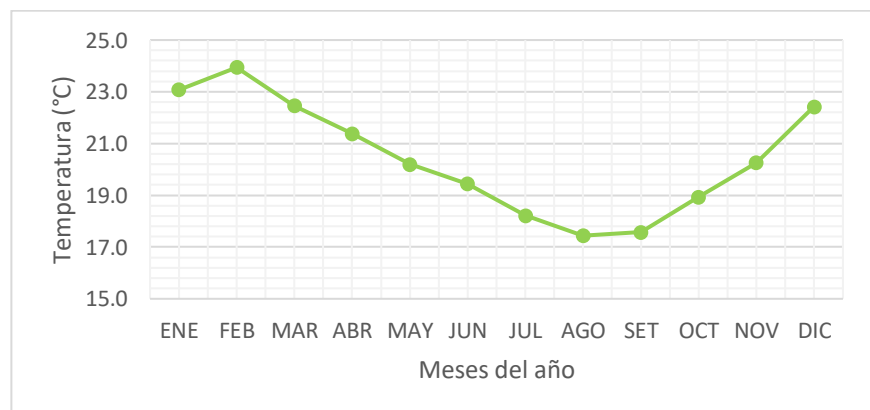
Temperatura superficial del mar en el año 2018



Fuente: Propia.

Figura 31

Temperatura superficial del mar en el año 2019

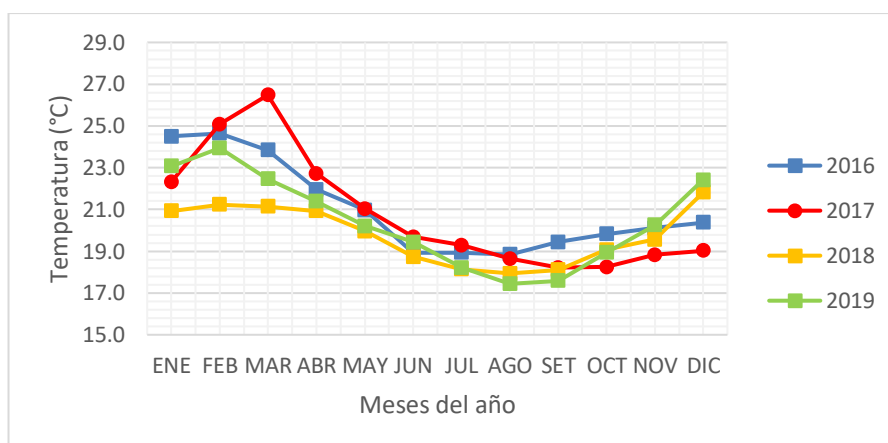


Fuente: Propia.

En la figura 32 se muestra un gráfico comparativo las temperaturas superficiales del mar de los años 2016, 2017, 2018 y 2019. Esta temperatura se ha comportado de manera muy similar en los últimos 4 años. Teniendo temperaturas más altas en los meses de enero, febrero y marzo; y las más bajas en los meses de julio, agosto y setiembre. El verano con la temperatura más alta ha sido en el año 2017, llegando aproximadamente a un promedio de 27°C en el mes de marzo, así mismo, el invierno con la temperatura más baja se registró en el mes de agosto del año 2019, con un promedio de 17°C.

Figura 32

Temperatura superficial del mar de los años 2016, 2017, 2018 y 2019.

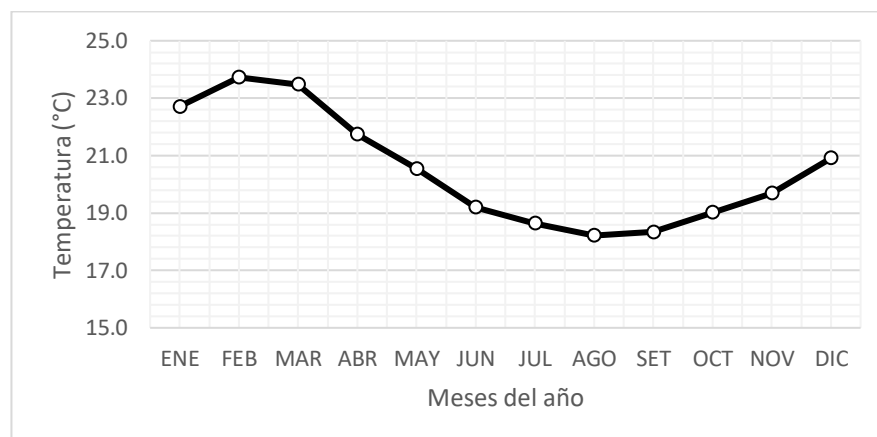


Fuente: Propia.

En la figura 33 se muestra las temperaturas promedio de los años 2016, 2017, 2018 y 2019 de la superficie marina en la bahía el Ferrol. En el gráfico se puede observar que la temperatura promedio oscila entre los 18°C y 24°C. Estos valores se encuentran dentro del intervalo de valores que propone IMARPE (2015) sobre la temperatura superficial en la bahía El Ferrol dando como resultados 21.8°C en el mes de marzo y 17.8°C en el mes de octubre.

Figura 33

Temperatura superficial promedio del mar del año 2016 al 2019.



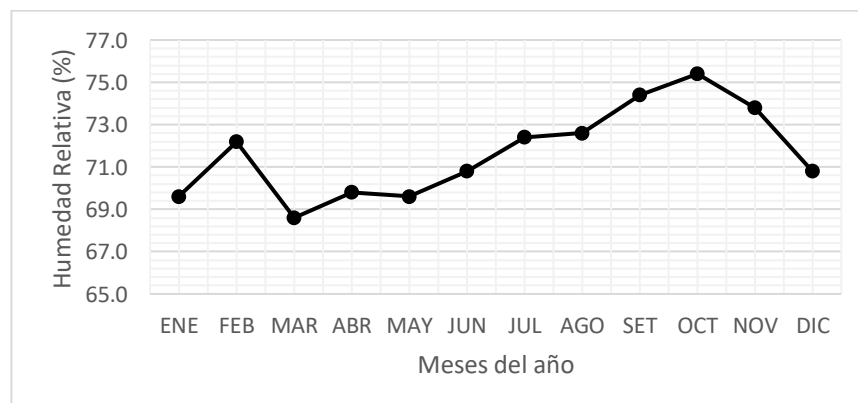
Fuente: Propia.

4.1.1.2. Humedad Relativa

En las figuras 34, 35, 36, 37 y 38, se muestran las humedades relativas de Chimbote desde el año 2015 hasta el año 2019. Dichos promedios mensuales fueron el resultado de un muestreo no probabilístico a juicio por parte de los investigadores de la base de datos Weather Online. Siendo el año 2015 el año donde se registró valores por muy debajo del promedio durante todo el año, así mismo en el año 2018 tuvo un mayor contenido de humedad en el aire en el primer semestre del año.

Figura 34

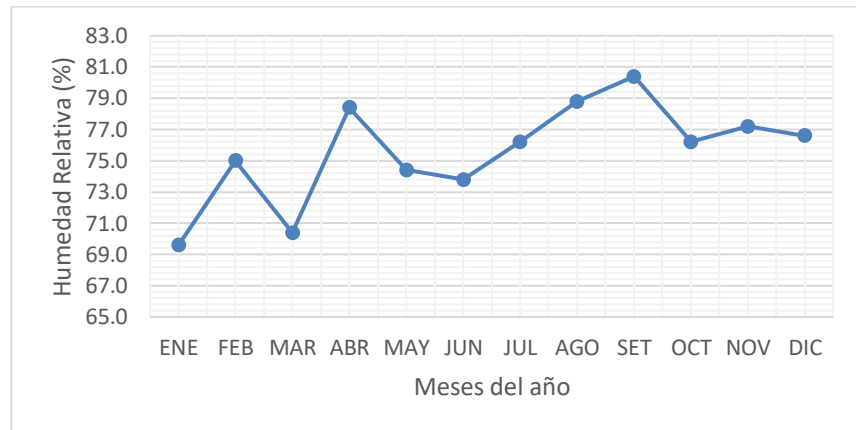
Humedad relativa de Chimbote en el año 2015



Fuente: Propia.

Figura 35

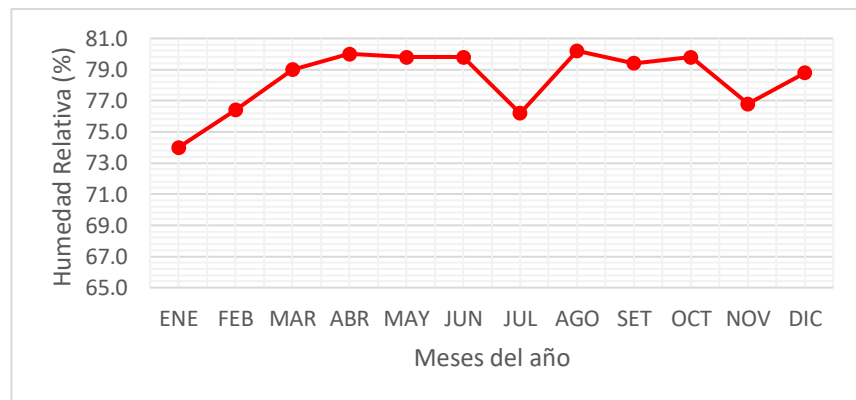
Humedad relativa de Chimbote en el año 2016



Fuente: Propia.

Figura 36

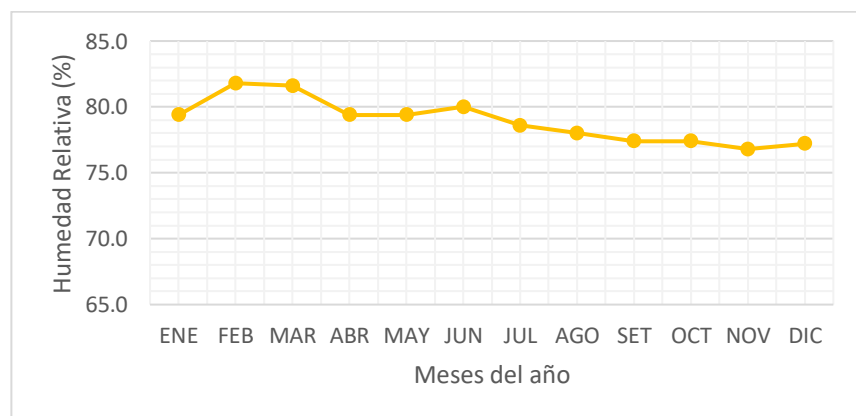
Humedad relativa de Chimbote en el año 2017



Fuente: Propia.

Figura 37

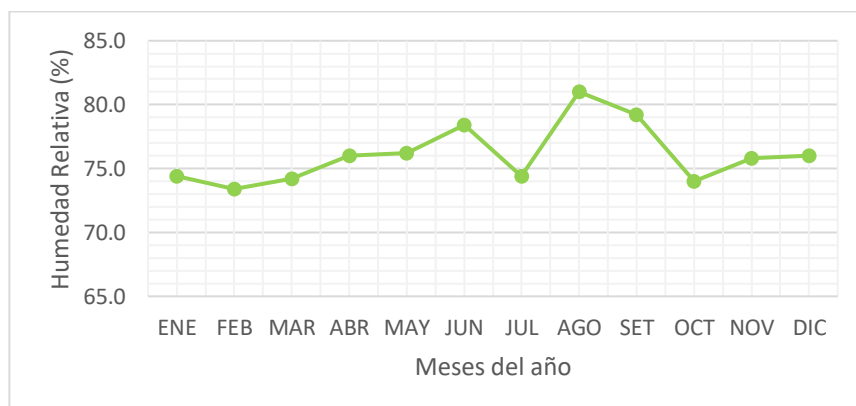
Humedad relativa de Chimbote en el año 2018



Fuente: Propia.

Figura 38

Humedad relativa de Chimbote en el año 2019

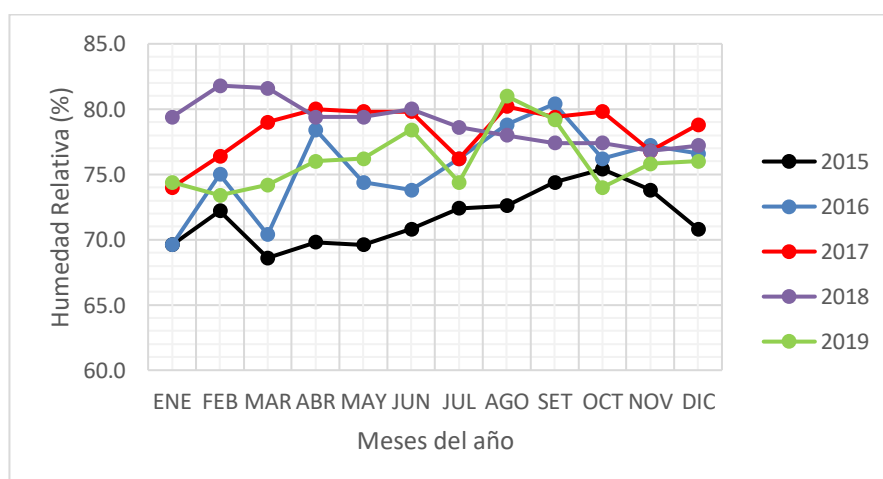


Fuente: Propia.

En la figura 39 se muestra un gráfico comparativo las humedades relativas en Chimbote de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Como se puede observar, en el año 2015 se encuentran los valores de humedad relativa por debajo del promedio a comparación de los demás años, por otra parte, los valores del año 2016 y 2019 han ido en aumento a lo largo del año mientras que, en el 2018, sucedió lo contrario, los valores fueron disminuyendo desde febrero hasta diciembre del mismo año.

Figura 39

Humedad relativa de Chimbote en los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

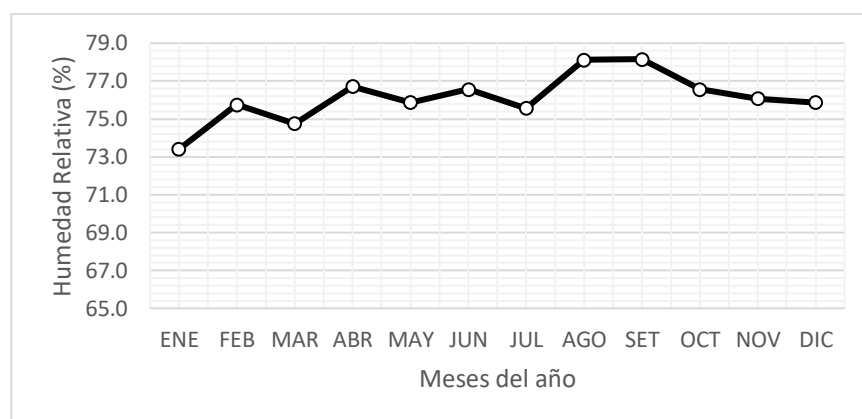


Fuente: Propia.

En la figura 40 se muestra la humedad relativa promedio de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 de Chimbote. En el gráfico se puede observar que la humedad relativa oscila de 73% al 79%. Siendo los valores más bajos aproximadamente en el mes de enero sin embargo los más elevados en los meses de agosto y setiembre. Estos valores se encuentran dentro del intervalo que propone MINAM (2012) con humedad relativa de 81% la mínima y 91% la máxima, teniendo como promedio un valor de 87%.

Figura 40

Humedad relativa promedio en Chimbote del año 2015 al 2019.



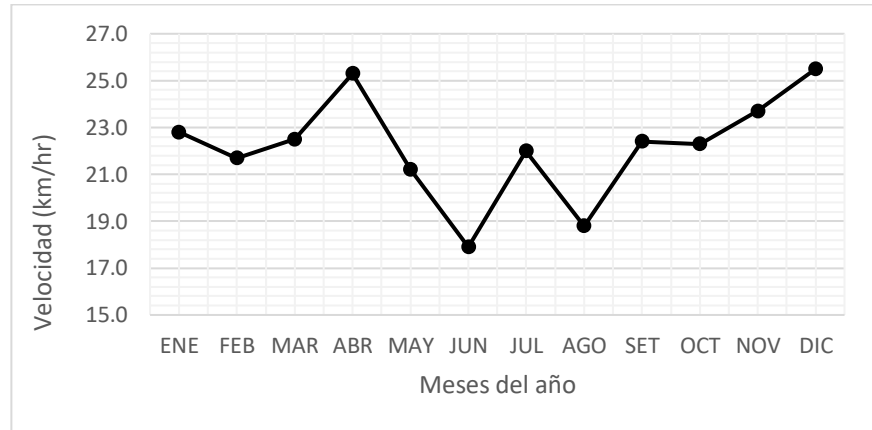
Fuente: Propia.

4.1.1.3. Velocidad del viento

En las figuras 41, 42, 43, 44 y 45 se muestran las velocidades del viento desde el año 2015 hasta el año 2019. Dichos promedios mensuales fueron el resultado de un muestreo no probabilístico a juicio por parte de los investigadores de la base de datos Weather Online. Los valores de cada año son muy similares con respecto a los demás.

Figura 41

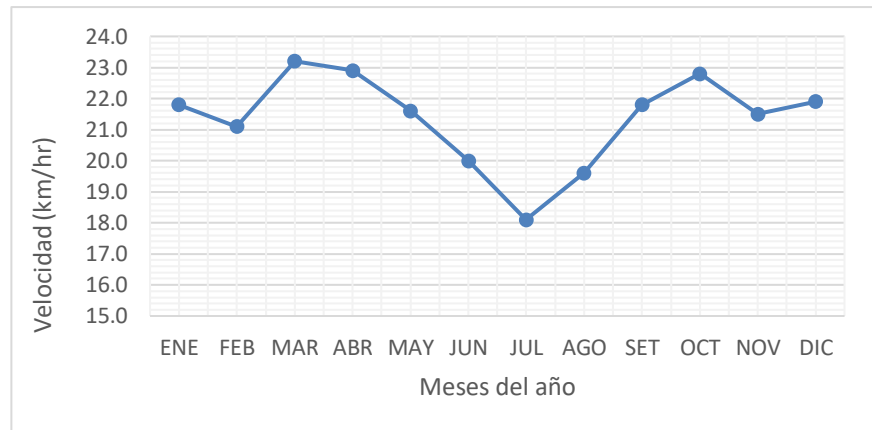
Velocidad del viento en el año 2015



Fuente: Propia.

Figura 42

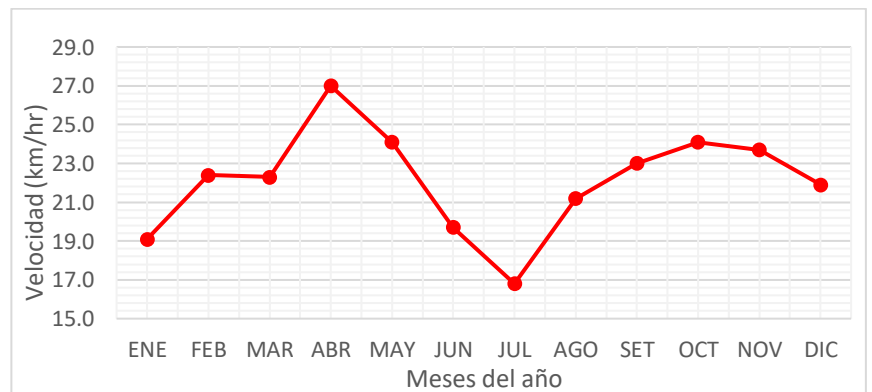
Velocidad del viento en el año 2016



Fuente: Propia

Figura 43

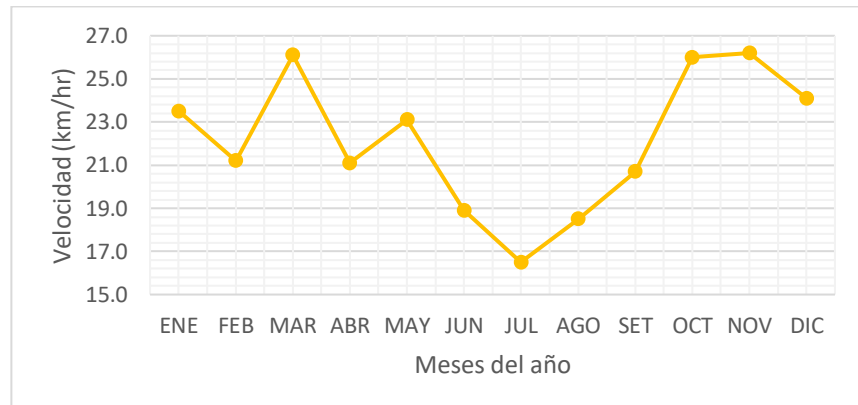
Velocidad del viento en el año 2017



Fuente: Propia.

Figura 44

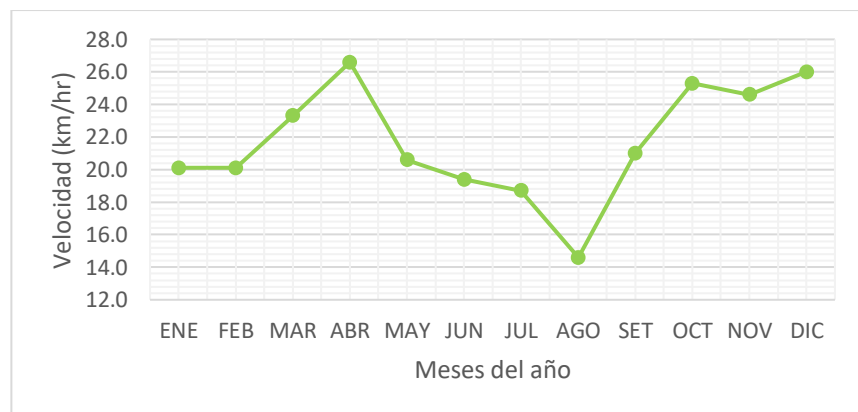
Velocidad del viento en el año 2018



Fuente: Propia.

Figura 45

Velocidad del viento en el año 2019

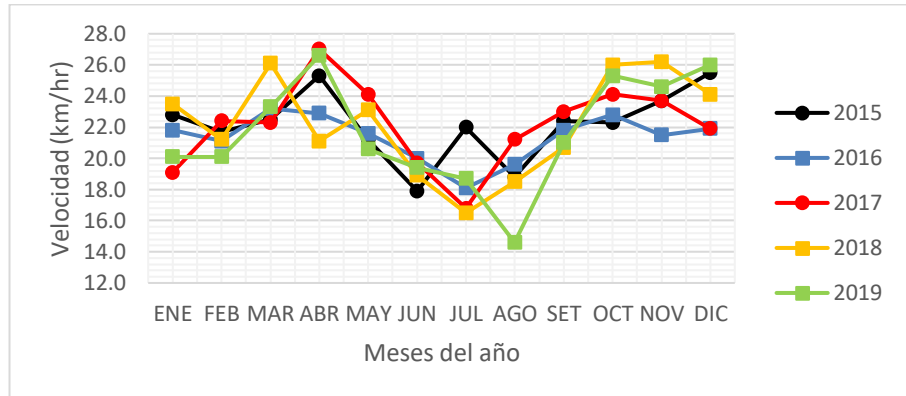


Fuente: Propia.

En la figura 46 se muestra un gráfico comparativo las velocidades del viento de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los valores de la velocidad registradas se asemejan entre sí, teniendo velocidades altas en los meses de marzo, abril y mayo, mientras que la velocidad del viento disminuye notablemente durante los meses de junio, julio y agosto debido a la presión atmosférica. Se observa también, que el año 2017 es el año en que la velocidad del viento alcanzó los 27 km/hr aproximadamente en el mes de abril y la más baja se encuentra en agosto del año 2019 con 14 km/hr aproximadamente.

Figura 46

Velocidad del viento en Chimbote en los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019.

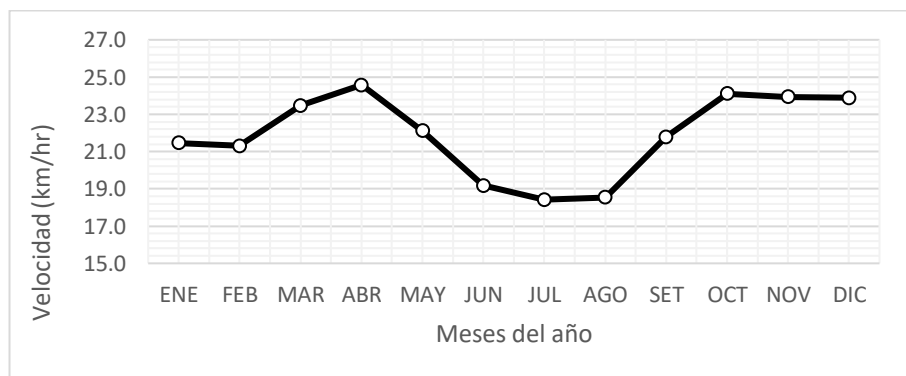


Fuente: Propia.

En la figura 47 se muestra los valores de humedad relativa de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019 en Chimbote. En el gráfico se puede observar que las velocidades más bajas oscilan los 19 km/hr en los meses de junio, julio y agosto, mientras que las más altas se encuentran entre los 21 y 25 km/hr el resto del año. Estos valores se encuentran dentro del intervalo que propone MINAM (2012) con velocidad 25.2 km/h en los meses de noviembre a abril y, 18 km/h en los meses de mayo a setiembre para la zona en estudio.

Figura 47

Velocidad promedio del viento en Chimbote del año 2015 al 2019.



Fuente: Propia.

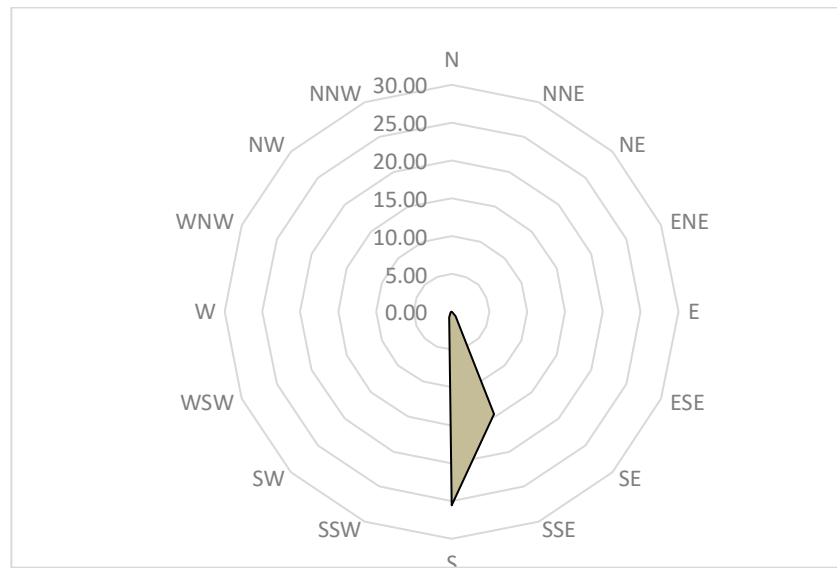
4.1.1.4. Dirección del viento

En las figuras 48, 49, 50, 51, y 52 se muestra un promedio anual de las direcciones del viento desde el año 2015 hasta el año 2019, las

direcciones están representadas mediante rosas de vientos. Los datos para la elaboración de las rosas de viento fueron recolectados de la base de datos Weather Online. Se observa que, en los años 2015, 2016, 2018 y 2019 la dirección predominante del viento es Sur y Sur-sureste mientras que, en el año 2017 la dirección del viento predominante es el Sur.

Figura 48

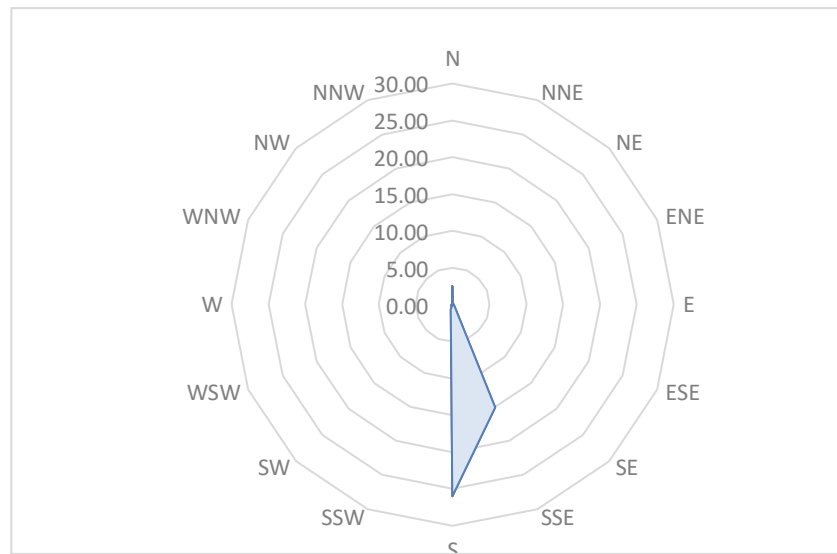
Rosa de viento del año 2015



Fuente: Propia.

Figura 49

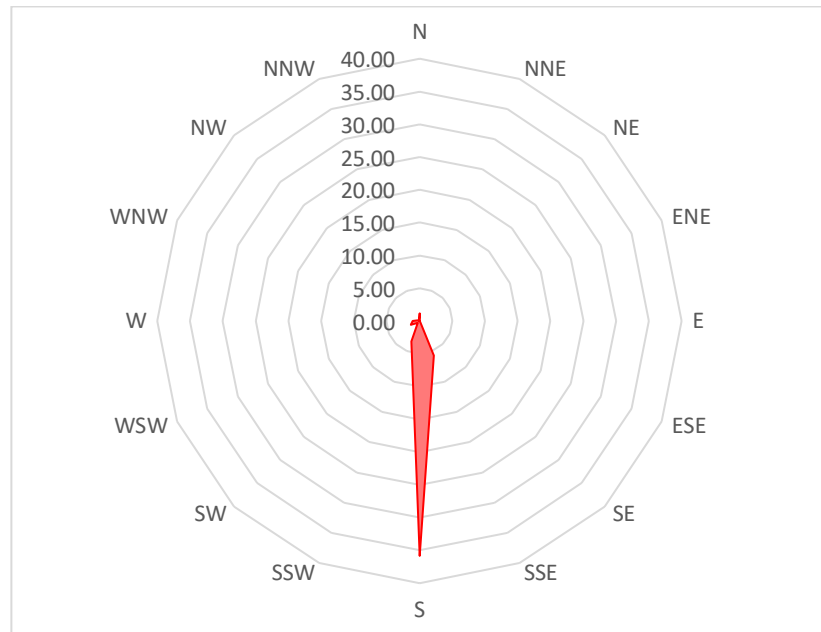
Rosa de viento del año 2016



Fuente: Propia.

Figura 50

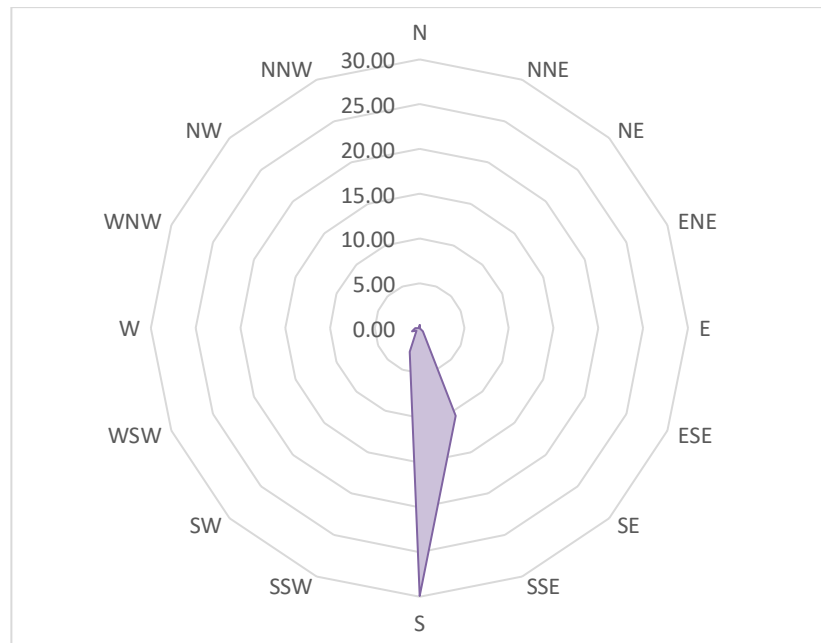
Rosa de viento del año 2017



Fuente: Propia.

Figura 51

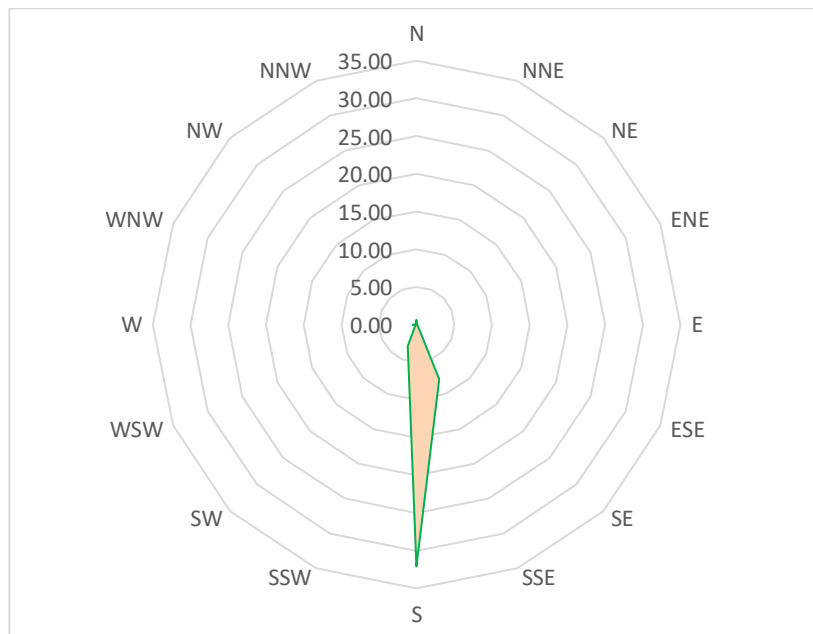
Rosa de viento del año 2018



Fuente: Propia.

Figura 52

Rosa de viento del año 2019

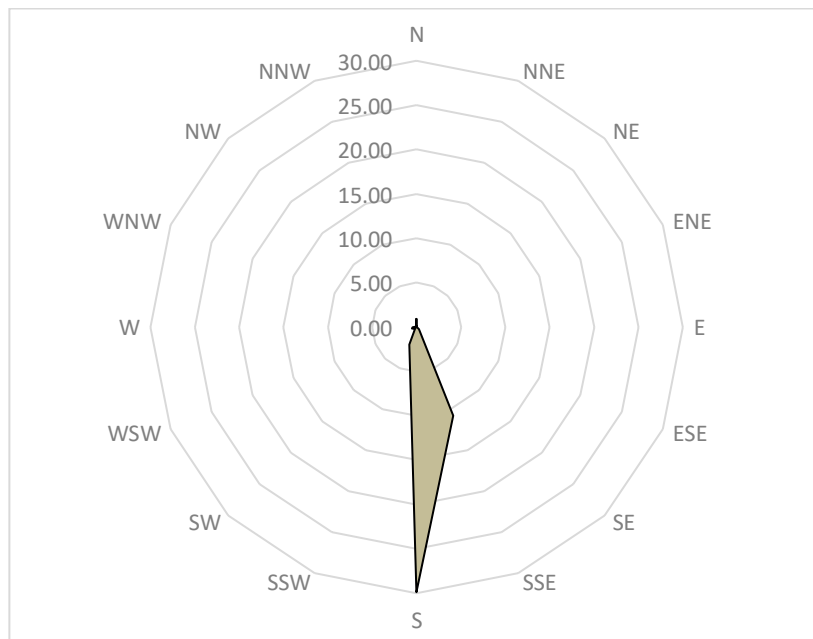


Fuente: Propia.

En la figura 53 se muestra la dirección promedio de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019, en donde se aprecia que el viento viene del sur y sur-sureste predominando la dirección sur.

Figura 53

Rosa de viento promedio del año 2015 al 2019.



Fuente: Propia.

Estadística descriptiva para la velocidad del viento:

Se ha aplicado la estadística descriptiva a los valores de viento de los años 2015, 2016, 2017, 2018 y 2019. Los parámetros obtenidos se muestran en la tabla 2, llegándose a observar lo siguiente.

- a) La velocidad del viento en el año 2015, comprendido en el rango de una velocidad mínima de 17.90 km/hr y una velocidad máxima de 25.50 km/hr, se obtiene un promedio del viento de 22.8 km/hr, obteniendo un coeficiente de variación del 10%, este valor significa que se tiene una variabilidad muy baja con respecto a las variaciones del viento.
- b) La velocidad del viento en el año 2016, comprendido en el rango de una velocidad mínima de 18.10 km/hr y una velocidad máxima de 23.20 km/hr, se obtiene un promedio del viento de 21.36 km/hr, obteniendo un coeficiente de variación del 7%, este valor significa que se tiene una variabilidad muy baja con respecto a las variaciones del viento.
- c) La velocidad del viento en el año 2017, comprendido en el rango de una velocidad mínima de 16.80 km/hr y una velocidad máxima de 27.00 km/hr, se obtiene un promedio del viento de 22.11 km/hr, obteniendo un coeficiente de variación del 12%, este valor significa que se tiene una baja variabilidad con respecto a las variaciones del viento.
- d) La velocidad del viento en el año 2018, comprendido en el rango de una velocidad mínima de 16.50 km/hr y una velocidad máxima de 26.20 km/hr, se obtiene un promedio del viento de 21.36 km/hr, obteniendo un coeficiente de variación del 14%, este valor significa que se tiene una baja variabilidad con respecto a las variaciones del viento.
- e) La velocidad del viento en el año 2019, comprendido en el rango de una velocidad mínima de 14.60 km/hr y una velocidad máxima de 26.60 km/hr, se obtiene un promedio del viento de 21.69 km/hr, obteniendo un coeficiente de variación del 16%, este valor significa que se tiene una baja variabilidad con respecto a las

variaciones del viento.

Tabla 2

Parámetros estadísticos de la velocidad del viento del año 2015 al 2019

Parámetros estadísticos	AÑO				
	2015	2016	2017	2018	2019
Promedio (km/hr)	22.18	21.36	22.11	22.16	21.69
Mediana (km/hr)	22.35	21.70	22.35	22.15	20.80
Desviación estándar	2.23	1.48	2.68	3.21	3.54
Coefficiente de variación	0.10	0.07	0.12	0.14	0.16
Máximo (km/hr)	25.50	23.20	27.00	26.20	26.60
Mínimo (km/hr)	17.90	18.10	16.80	16.50	14.60

Fuente: Propia

4.1.1.5. Ola de diseño

A partir de la División de Modelamiento Numérico (DIMODEL) del departamento de oceanografía de la Dirección de Hidrografía y Navegación (HIDRONAV) se ha hecho la toma de datos mediante un proceso de observación en un mapa interactivo en las fechas de enero del 2017 y setiembre del 2020.

En la tabla número 3 se muestran las alturas de las olas registradas cada 3 horas durante 93 horas tanto para la zona norte, centro y sur de la bahía en enero del 2017. En esta tabla se observa que la altura de ola es mayor en la zona centro de la bahía El Ferrol, mientras que el oleaje en la zona norte es igual a la zona sur.

Tabla 3

Altura de olas aproximadas en la zona norte, centro y sur de la bahía El Ferrol en enero del año 2017

Hora	Ene-17		
	Norte	Centro	Sur
00	0.50	1.00	0.50
03	0.50	1.00	0.50
06	0.50	1.00	0.50
09	0.50	1.00	0.50
12	0.50	1.00	0.50
15	0.50	1.00	0.50
18	0.50	1.00	0.50

21	0.50	1.00	0.50
24	0.50	1.00	0.50
27	0.50	1.00	0.50
30	0.50	1.00	0.50
33	0.50	1.00	0.50
36	0.50	1.00	0.50
39	0.50	1.00	0.50
42	0.50	1.00	0.50
45	0.50	1.00	0.50
48	0.50	1.00	0.50
51	0.50	1.00	0.50
54	0.50	1.00	0.50
57	0.50	1.00	0.50
60	0.50	1.00	0.50
63	0.50	1.00	0.50
66	0.50	1.00	0.50
69	0.50	1.00	0.50
72	0.50	1.00	0.50
75	0.50	1.00	0.50
78	0.50	1.00	0.50
81	0.50	1.00	0.50
84	0.50	1.00	0.50
87	0.50	1.00	0.50
90	0.50	1.00	0.50
93	0.50	1.00	0.50

Fuente: Propia

En la tabla número 4 se muestran las alturas de las olas registradas cada 3 horas durante 120 horas tanto para la zona norte, centro y sur de la bahía en setiembre del 2020. En esta tabla se observa que la altura de ola es mayor en la zona centro de la bahía El Ferrol llegando a los 1.25m, mientras que el oleaje en la zona norte es igual a la zona sur.

Tabla 4

Altura de olas aproximadas en la zona norte, centro y sur de la bahía El Ferrol en setiembre del año 2020.

Hora	Set-20		
	Norte	Centro	Sur
00	0.50	1.25	0.50
03	0.50	1.25	0.50
06	0.75	1.25	0.75
09	0.75	1.50	0.75

12	0.75	1.25	0.75
15	0.75	1.25	0.75
18	0.75	1.50	0.75
21	0.75	1.00	0.75
24	0.50	1.25	0.50
27	0.75	1.50	0.75
30	0.75	1.25	0.75
33	0.75	1.00	0.75
36	0.75	1.00	0.75
39	0.75	1.00	0.75
42	0.75	1.00	0.75
45	0.75	1.00	0.75
48	0.75	1.00	0.75
51	0.75	1.00	0.75
54	0.75	1.25	0.75
57	0.75	1.00	0.75
60	0.50	1.25	0.50
63	0.75	1.25	0.75
66	0.75	1.00	0.75
69	0.75	1.00	0.75
72	0.75	1.00	0.75
75	0.75	1.00	0.75
78	0.75	1.00	0.75
81	0.75	1.00	0.75
84	0.75	1.00	0.75
87	0.75	1.00	0.75
90	0.75	1.00	0.75
93	0.75	0.75	0.75
96	0.75	1.00	0.75
99	0.75	1.00	0.75
102	0.75	0.75	0.75
105	0.75	0.75	0.75
108	0.75	0.75	0.75
111	0.75	0.75	0.75
114	0.75	1.00	0.75
117	0.75	1.00	0.75
120	0.75	1.00	0.75

Fuente: Propia

En la tabla 5 se observan los parámetros que se obtuvieron al aplicar la estadística descriptiva, primero para todos los valores de la zona norte, para todos los valores de la zona centro, luego para todos los valores de la zona sur y por último para todos los valores de la zona norte, centro y sur juntas, llegándose a observar lo siguiente:

a) Las olas de la bahía El Ferrol en la zona norte tiene una altura

mínima de 0.50 m y un máximo de 0.75 m de altura lo que da un promedio de ola de 0.63 m y una desviación estándar de 0.13, lo que indica que existe un 20% de baja variabilidad de las olas comprendidas en la zona norte de la bahía El Ferrol.

- b) Las olas de la bahía El Ferrol en la zona centro tiene una altura mínima de 0.75 m y un máximo de 1.50 m de altura lo que da un promedio de ola de 1.04 m y una desviación estándar de 0.15, lo que indica que existe un 14% de baja variabilidad de las olas comprendidas en la zona centro de la bahía El Ferrol.
- c) Las olas de la bahía El Ferrol en la zona sur tiene una altura mínima de 0.50 m y un máximo de 0.75 m de altura lo que da un promedio de ola de 0.63 m y una desviación de 0.13, lo que indica que existe un 20% de baja variabilidad de las olas comprendidas en la zona sur de la bahía El Ferrol.
- d) Las olas de la bahía El Ferrol en la zona norte-centro-sur tiene una altura mínima de 0.50 m y un máximo de 1.50 m de altura lo que da un promedio de ola de 0.76 m y una desviación de 0.24, lo que indica que existe un 31% de variabilidad moderada de las olas comprendidas en la zona norte-centro-sur de la bahía El Ferrol.

Tabla 5

Parámetros estadísticos de las olas de la bahía El Ferrol

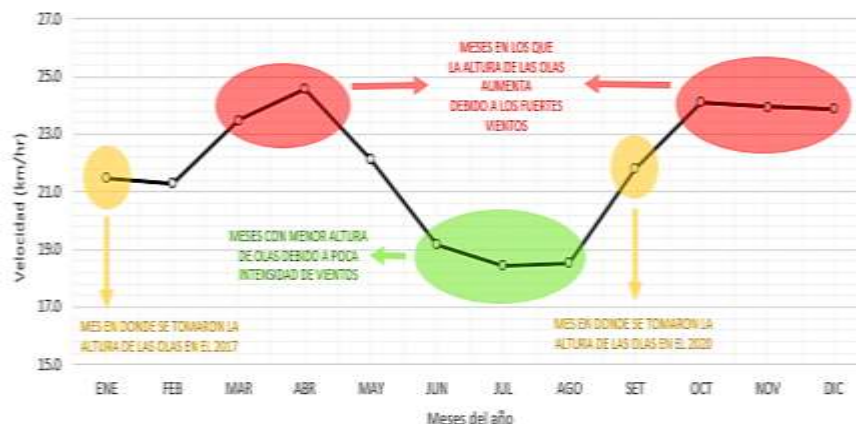
Parámetros estadísticos	ZONA			
	NORTE	CENTRO	SUR	NORTE-CENTRO-SUR
Promedio (m)	0.63	1.04	0.63	0.76
Mediana (m)	0.75	1.00	0.75	0.75
Desviación estándar	0.13	0.15	0.13	0.24
Coefficiente de variación	0.20	0.14	0.20	0.31
Máximo (m)	0.75	1.50	0.75	1.50
Mínimo (m)	0.50	0.75	0.50	0.50

Fuente: Propia

A partir de la figura 47 “Velocidad promedio del viento en Chimbote del año 2015 al 2019.”, se ha elaborado la figura 54, en donde muestra los meses con mayor velocidad de viento en rojo, los de menor intensidad en verde y en amarillo los meses en los que los datos de las tablas 9, 10 y 11 fueron recolectados.

Figura 54

Relación de velocidades promedio del viento y altura de olas en Chimbote



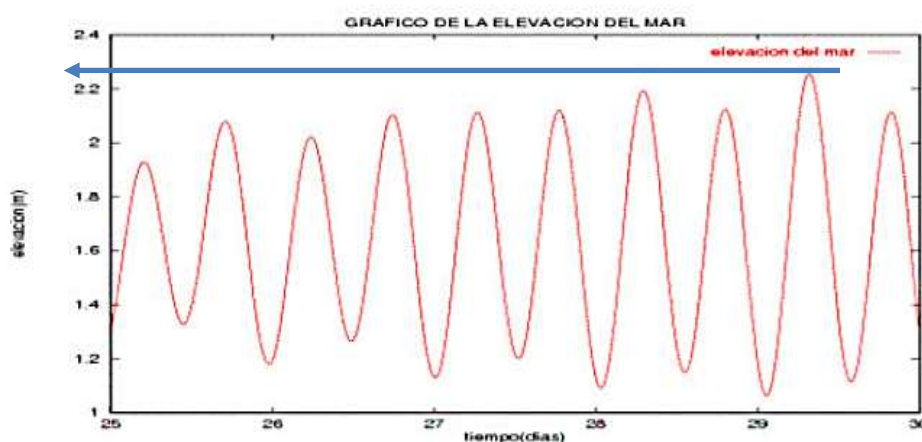
Fuente: Propia

Guzmán & Saavedra, (2003) en la investigación de las corrientes superficiales en la Bahía El Ferrol aplicando el modelo POM obtuvieron la elevación del nivel del mar del mes de marzo del 2003 (uno de los meses en donde se presentan alturas de olas mayores).

Mediante el modelo POM (Figura 55) se puede observar que la elevación del nivel del mar es de 2.20 m. A su vez, esta medición fue comparada mediante la estación SUTROM, para el mismo mes en que se realizó el método POM.

Figura 55

Gráfico de elevación de mar mediante modelo POM

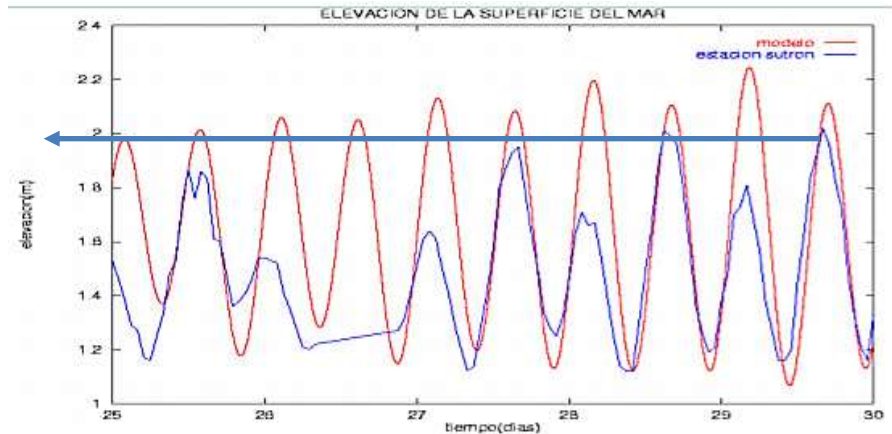


Fuente: Estudio de las corrientes superficiales en la Bahía El Ferrol aplicando el modelo POM

Mediante la estación SUTROM se puede observar que la elevación del nivel del mar es de 2.00 m. Ver figura 56.

Figura 56

Comparación de elevación del mar entre modelo POM y SUTROM



Fuente: Estudio de las corrientes superficiales en la Bahía El Ferrol aplicando el modelo POM

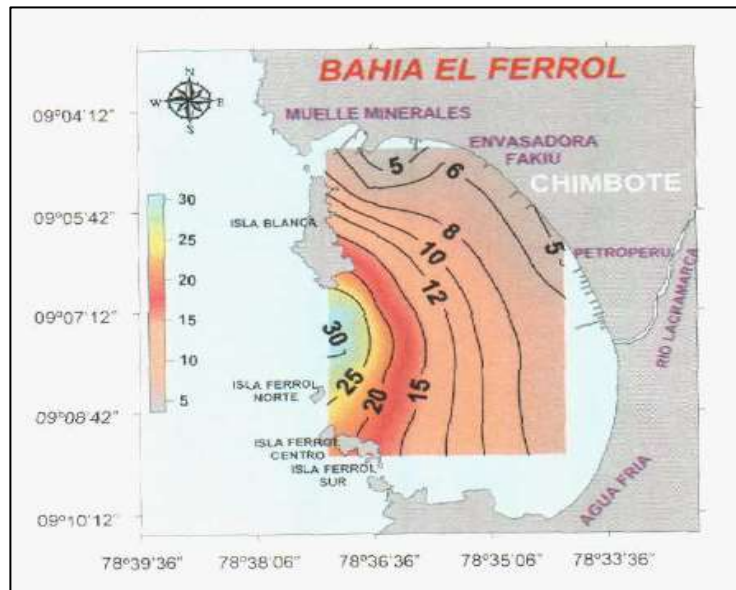
Por lo tanto, a raíz de diferentes modelos numéricos e investigaciones realizadas por diversos autores se concluye que la altura de ola de diseño adecuada para el diseño de estructuras marítimas en la bahía el Ferrol es de 2m.

4.1.1.6. Batimetría

En la figura 57 se muestran las isóbatas de la bahía El Ferrol sacadas del informe núm. 1, Vol. 34, pág. 30 de IMARPE, “*Recursos vivos y ambiente de las bahías Coischo, El Ferrol y Sa90manco de la Región Ancash, Perú.* Dichas isóbatas servirán como referencia para los objetivos de la presente investigación.

Figura 57

Isóbatas en la bahía El Ferrol



Fuente: IMARPE, 2007.

Se ha escogido el Malecón Grau como zona de estudio debido a que es una de las zonas más afectadas por la erosión en la bahía y a su vez es uno de los lugares más importantes de Chimbote. El malecón está ubicado en la zona norte de la bahía el Ferrol, de la coordenada $9^{\circ}4'34''S$ $78^{\circ}35'56''O$ a la coordenada $9^{\circ}4'41''S$ $78^{\circ}35'25''O$ (coordenadas geográficas), con una longitud total de 1.13 km, como se aprecia en las figuras 58 y 59.

Figura 58

Ubicación del Malecón Grau



Fuente: Google Maps

Figura 59

Señalización de la longitud del Malecón Grau



Fuente: Google Maps

Los investigadores pudieron llevar personal a la zona de estudio y se corroboró la erosión, enrocado y desmonte existente en el Malecón Grau como se muestra en la figura 60.

Figura 60

Erosión, enrocado y desmonte en el Malecón Grau.



Fuente: Propia, julio 2020.

En la figura 61 se puede observar las isóbatas cercanas al área de estudio, las cuales están a una profundidad aproximada de 5 metros.

Figura 61

Isóbatas en la zona norte de la bahía El Ferrol, ubicación del Malecón Grau.



Fuente: IMARPE, 2007.

4.1.2. Análisis de la tipología de las obras de protección costera

A continuación, se presenta las tipologías de las obras de protección costeras.

4.1.2.1. Espigones

a) Materiales

- Coraza: Manto principal o capa exterior, conformada por escollera natural o escollera artificial de mayor tamaño.
- Capa Intermedia: Piedras medianas.
- Núcleo: Material de relleno grueso.

b) Proceso constructivo

El proceso constructivo para los espigones se describirá mediante el método convencional, construyéndose en dirección de la playa hacia el mar en longitudes pequeñas.

- Habilitar accesos provisionales para la entrada de los volquetes a la zona de proyecto.
- Depositar el material de núcleo en dirección que manda el diseño.
- Con ayuda de una excavadora se dará forma a las dimensiones requeridas de diseño.
- Cubrir el núcleo con la capa intermedia a los taludes laterales del espigón.
- Una vez finalizado la colocación de la capa intermedia se comenzará a colocar la coraza.

- Este proceso se repetirá conforme se va avanzando hacia el mar. En la figura 62 se presenta una imagen representativa del proceso constructivo de un espigón de mar.

Figura 62

Proceso constructivo de un espigón



Fuente: Diario Montañes

c) Ventajas

- Son muy efectivos en controlar la erosión producto del transporte de sedimentos.
- Construcción económica, debido que se puede construir desde la playa hacia el mar.
- Se tiene una mayor información del comportamiento de los espigones en distintas condiciones climáticas.
- Se puede modificar las dimensiones incluso después de construirlos sin generar mayores inconvenientes.

d) Desventajas

- Puede generar erosión a playas vecinas porque impide el paso de sedimentos a lo largo de la orilla.
- No hay claridad en los diseños de espigones para determinar las características con la que debería contar un espigón de mar.

e) Recomendaciones

- Los espigones deben contar con altura constante con excepción en la punta, en esta parte la altura debe disminuir para evitar las

turbulencias que se podrían generar.

- Las proporciones óptimas en los taludes laterales de los espigones son 1.5:1 o 2:1.
- Si el lugar en que se llevará a cabo la construcción del espigón, el oleaje dominante genera un ángulo con respecto a la playa, construir el espigón paralelo al oleaje para evitar la erosión por turbulencia que generaría la punta del espigón, caso contrario construir el espigón perpendicular a la playa.

4.1.2.2. Diques verticales

a) Materiales

Los materiales requeridos para la ejecución del dique vertical son las siguientes:

- Banqueta: Un material adecuado para este proceso es material de cantera todo-uno, donde las partículas con tamaños inferiores a 20 mm serán del 10% del peso en total.
- Perfilado de Banqueta: Se realizará con grava que cuenten con características similares al balasto, con tamaños de 2 y 4 pulgadas de diámetro.
- Hormigón: Para el vaciado de concreto para los cajones de hormigón.
- Escollera: Material natural o artificial que conforma el manto de protección de la banqueta, garantizando un buen funcionamiento deber ser rugosas y no contar con formas redondeadas para que exista fricción entre ellas.

En la figura 63 se presenta una imagen de 5 piezas de escollera artificial que son usadas para la construcción de las escolleras.

Figura 63

Piezas de escollera artificial



Fuente: Medina & Vidal (2014)

b) Proceso constructivo

Para este tipo de proceso constructivo se supondrá el dique vertical clásico está compuesto por cajones de hormigón.

- Dragado: El objetivo de este proceso es eliminar todo material que se encuentra en el fondo marino que no cuente con la capacidad de soportar las cargas transmitidas, para su posterior ejecución de los cimientos.
- Vertido de banqueteta: Toda obra de dique vertical se sitúa sobre una banqueteta que se encarga de recibir el peso de la estructura para luego transmitirla sobre el terreno natural, pero con una menor dimensión, son vertidos desde gánguiles.
- Vertido de berma: Este proceso de debe realizar lo más antes posible ya que se consiste como manto de protección de las banquetetas y así evitar la socavación de las mismas.
- Perfilado de banqueteta: En este proceso se perfila la banqueteta haciendo que toda su geometría sea homogénea, para ello se realiza con grava de 2 y 4 pulgadas de diámetro.
- Fabricación de cajones: En esta fase se realiza la fabricación de los cajones de hormigón, los pasos a seguir son los siguientes:
 - En una pontona auxiliar flotante se coloca la armadura de solera.
 - Luego de colocar la armadura de solera sobre la pontona auxiliar es llevado hacia el cajonero, donde se suspende la armadura sobre unos cuelgues para poder ser retirado la pontona auxiliar.
 - Una vez que se retira la pontona auxiliar, la armadura desciende y se coloca sobre la base del cajonero.
 - Una vez que la armadura de solera se encuentre sobre la base del cajonero, se procede a encofrarla para el proceso de hormigonado de solera.
 - Una vez finalizado el hormigonado de solera, se procede a la ejecución del fuste, consiste en la colocación del primer tramo de armadura del fuste y el descenso del encofrado para continuar con el hormigonado del resto del cajón en

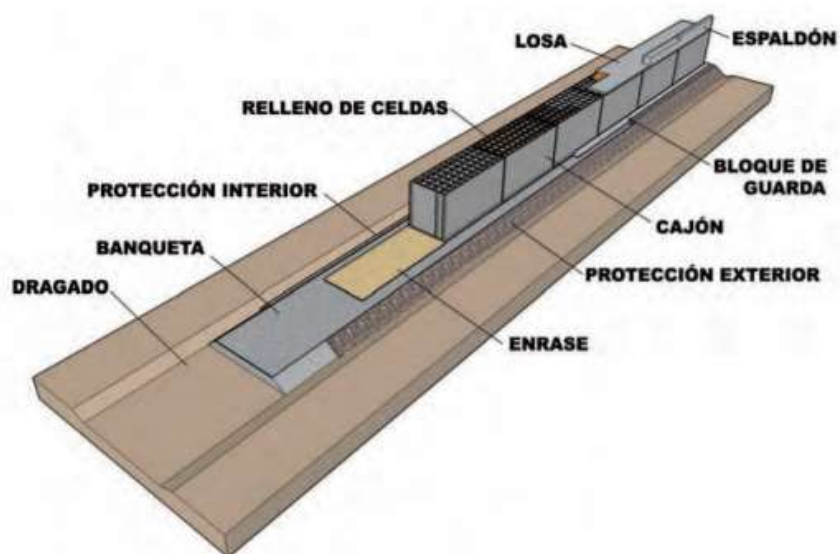
una operación de 30 cm de espesor.

- Botadura: Se procede a la flotación libre del cajón, retirándolo del cajonero.
- Transporte: Consiste en transportar el cajón hacia el lugar de la obra.
- Posicionamiento: Los cajones se ubicarán sobre la banqueta, pero con mucho cuidado en colisionar los cajones entre sí, es por eso que se debe de controlar los movimientos horizontales que realiza el cajón debido a su posicionamiento.
- Relleno de celdas: Se rellena mediante dragas y difusor de reparto garantizando que se rellene las celdas simultáneamente.
- Bloques de guarda: Se procede a colocar las guardas lo antes posible para evitar socavaciones en la banqueta.
- Vertido de trasdós: Consiste en la colocación de material de relleno del trasdós, previo a ello se debe verificar que la estructura soporte los empujes transmitidos.
- Hormigonado de la losa y espaldón: Por último, se realiza la ejecución de la losa y espaldón.

En la figura 64 se presenta una imagen representativa sobre el proceso constructivo de un dique vertical con cajones de hormigón

Figura 64

Proceso constructivo de un dique vertical con cajones de hormigon



Fuente: Puertos del Estado, 2008

c) Ventajas

- Minimiza el impacto ambiental, debido a que no utiliza mucho material proveniente de cantera a diferencia de un dique en talud.
- La ejecución de este proyecto se realiza de una manera más rápida.
- En la fase de construcción se comporta de una manera positiva ante el oleaje.
- Estabilizan las líneas de playa.

d) Desventajas

- Dificultad en el proceso de fabricación y fondeo de cajones de hormigón.
- Afectan las características de la zona de rompimiento de olas y restringe algunos deportes como el surf.
- Podría generar peligros en el transporte de navegación de embarcaciones.

e) Recomendaciones

- Uso debe ser en lugares en donde no se practican deportes como el surf.
- Evitar su uso en puertos, debido a que las embarcaciones se verían afectadas.

4.1.2.3. Diques en talud

a) Materiales

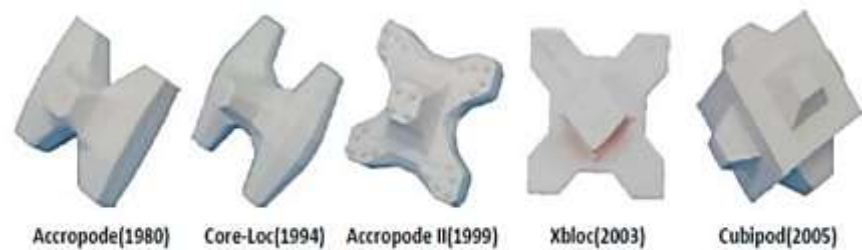
- La ejecución de este tipo de dique se debe contar con una gran cantidad de material procedente de cantera, debido a la demanda de material todo-uno para el núcleo, así como grandes cantidades de escolleras naturales o artificiales, etc. Es por ello que se debe contar con una cantera que pueda cubrir los materiales que serán extraídos de la misma, y los medios de transporte que trasladaran el material a la obra.
- El material de escollera que conforma el manto principal y exterior pueden ser de elementos naturales o artificiales de hormigón, para garantizar un buen funcionamiento de los materiales de escollera deben ser rugosas y no contar con formas

redondas para que exista fricción entre ellas y garantizar su funcionamiento.

En la figura 65 se presenta una imagen de 5 piezas de escollera artificial que son usadas para la construcción del manto principal.

Figura 65

Piezas de escollera artificial



Fuente: Medina & Vidal (2014)

b) Proceso Constructivo:

Para la construcción de un dique en talud, existen dos tipos de procedimientos constructivos, estos son los siguientes:

- Construcción Marítima: Mediante este proceso se usa el medio marítimo como los gánguiles, que sirve para poder transportar y verter los materiales sobre la zona de la ejecución de obra.
- Construcción Terrestre: Este procedimiento a diferencia de la construcción marina es el uso de las maquinarias para la ejecución del movimiento de tierras, así como el uso de grúas para la colocación de los materiales. Para que sea ejecutado mediante este método el núcleo del dique debe contar con una cota superior que el nivel medio del mar.

Secuencia constructiva:

- Dragado: En esta fase se eliminará las capas de suelos inadecuados que se encuentran en el lugar de la ejecución de la obra. Posteriormente se dragará hasta llegar a las cotas del proyecto.
- Construcción de núcleo: El núcleo al contar con un material con poco peso siendo fácilmente susceptible al arrastre provocado por el mar, es que se debe realizar por capas escalonadamente.

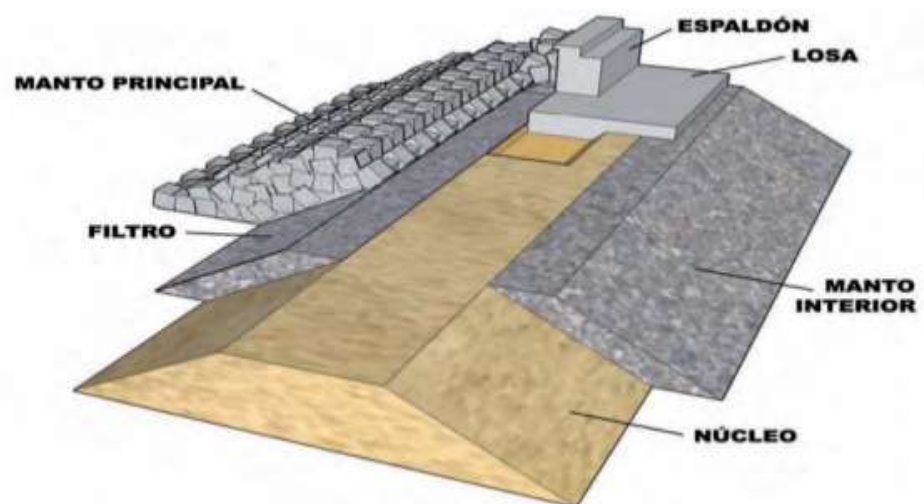
Se inicia vertiendo el material mediante gánguiles hasta alcanzar una altura en el que se pueda ejecutar fácilmente desde el medio terrestre. Una cota ideal es alcanzar con el vertido marítimo una cota de -2 m para luego continuar mediante el medio terrestre.

- Ejecución del manto: Una vez finalizado la construcción del núcleo se inicia con la implementación del manto principal y manto interior para cubrir el núcleo. La colocación de la primera capa del manto principal se deberá colocar lo más antes posible para así evitar daños provocadas por el oleaje.
- Ejecución de losa: La construcción de la losa está a base de hormigón, se realiza en la corona del dique en talud cumpliendo la función de ejercer peso sobre el núcleo.
- Espaldón: El proceso de construcción de un dique en talud finaliza con la ejecución del espaldón, se encuentra ubicado en la parte superior del dique.

En la figura 66 se presenta una imagen representativa sobre el proceso constructivo de un dique en talud.

Figura 66

Proceso Constructivo de Dique en Talud



Fuente: Puertos del Estado 2008

c) Ventajas

- Efectivos para controlar la erosión por transporte a lo largo de la orilla.

- Otorga protección a estructuras que se encuentran junto a la orilla.
- Reducen en gran proporción la altura de las olas en la playa.
- Estabilizan las líneas de playa.

d) Desventajas

- Alta dependencia de cantera, por lo que la cantera disponible para este tipo de obras debe contar con la cantidad prevista en obra, evitando el retraso de las mismas.
- Asentamientos de la base del proyecto.
- Inconvenientes en la ejecución del manto principal y exterior, pudiendo ocasionarse daños en las mismas.
- Podría generar peligros en el transporte de navegación de embarcaciones.

e) Recomendaciones

- Se recomienda contar con una cantera cercana al lugar del proyecto.
- Contar con los transportes suficientes de cantera a obra.
- Contratar a una empresa especialista debido al difícil proceso constructivo.
- Evitar su construcción en puertos.

4.1.2.4. Diques mixtos

a) Materiales

- Los materiales a usar para la construcción de este tipo de rompeolas son los mismos a utilizar en dique vertical. Ver sección 4.1.2.2.

b) Proceso constructivo

- El proceso constructivo de un dique mixto tiene la misma secuencia que el dique vertical. Ver sección 4.1.2.2, con la diferencia que cuenta con una mayor dimensión tanto en ancho y alto en la cimentación provocando un cambio de cinemática y dinámica de las oscilaciones del mar.
- Para garantizar la estabilidad del dique mixto se realiza la construcción de una berma de pie, para cumplir como apoyo a los mantos de protección.

c) Ventajas

- Al tener similitudes tanto en materiales como en proceso constructivo a los diques anteriormente mencionados, las ventajas y desventajas que tiene el dique mixto son muy parecidas.
- Puede actuar como dique disipativo y reflejante.
- Se produce rotura de fondo, es decir el oleaje rompe sobre el talud.
- En la fase de construcción se comporta de una manera positiva ante el oleaje.
- Estabilizan las líneas de playa.

d) Desventajas

- Alta dependencia de cantera.
- Dificultad en el proceso de fabricación.
- Afectan las características de la zona de rompimiento de olas y restringe algunos deportes como el surf.
- Podría generar peligros en el transporte de navegación de embarcaciones.

e) Recomendaciones

- Uso debe ser en lugares en donde no se practiquen deportes como el surf.
- Evitar su uso en puertos, debido a que las embarcaciones se verían afectadas.
- Se recomienda contar con una cantera cercana al lugar del proyecto.
- Se recomienda contar en los transportes suficientes de cantera a obra.
- Contratar a una empresa especialista debido al difícil proceso constructivo.

4.1.2.5. Rompeolas sumergidos

a) Materiales

- Los materiales a usar para la construcción de este tipo de rompeola sumergido son similares a los materiales que se usa en los espigones y dique talud. Ver sección 4.1.2.1. y 4.1.2.3.

b) Proceso constructivo

- El proceso constructivo de un rompeola sumergido tiene la misma secuencia que el dique talud. Ver sección 4.1.2.3., con la diferencia que la cota de coronación se encuentra debajo de los niveles de marea baja.

c) Ventajas

- Puede construirse con materiales relativamente económicos.
- Reduce el tamaño significativamente de las olas que llegan junto a la playa.
- Al ser sumergido una porción de energía de oleaje llega a pasar, reduciendo la energía.
- No afectan al paisaje ante la visión.

d) Desventajas

- Peligroso para la circulación de embarcaciones.
- Restringe el uso de prácticas de deportes como la natación y el surfing.
- Si las playas se alimentan por la arena del fondo de mar, estas estructuras impiden el transporte de la arena hacia la playa provocando problemas de erosión.

e) Recomendaciones

- Evitar su uso en playas compuestas por arenas en el fondo marino.
- Evitar su uso en puertos.
- Evitar su uso en playas donde se practiquen deportes que dependan de las olas.

4.1.2.6. Muros costeros

a) Materiales

Los materiales que se necesitan para la construcción de este tipo de muros será para los muros tipo “L”

- Cemento
- Elementos para encofrado metálico
- Acero en barra
- Agregado para hormigón

- Clavos, alambres
- Agua

b) Proceso constructivo

El proceso constructivo a seguir son los pasos principales a realizar para la ejecución de un muro tipo L concreto armado.

- Trazo y Replanteo en obra.
- Realizar las excavaciones y movimiento de tierras.
- Colocar una cama de roca menor a la grava chancada.
- Colocación de las armaduras de zapatas y del muro.
- Encofrar las zapatas, para el vaciado de concreto.
- Encofrado de muro en la cara interior y cara exterior.
- Realizar el vaciado de concreto.
- Vibrado de hormigón.
- Desencofrado del muro costero.

En la figura 67 se presenta una imagen del proceso constructivo de un muro costero de concreto armado.

Figura 67

Construcción de muro costero de concreto armado



Fuente: El Observador

c) Ventajas

- Evita los deslizamientos de tierra producidas por la erosión costera.
- Otorga protección a infraestructuras que se encuentran junto a la línea de costa.
- Útil como punto de amarre y en la transferencia de mercancías de las embarcaciones.

d) Desventajas

- Puede provocar modificaciones en el ecosistema de la zona.

e) Recomendaciones

- Las excavaciones se ejecutarán con marea baja.

4.1.2.7. Geotubos

a) Materiales

Los materiales necesarios para este tipo de protección costera son las siguientes:

- Geotextil: El geotextil debe cumplir una alta resistencia a la abrasión y perforación, así como contar con una alta permeabilidad.
- Arena: Material árido de actividades extractivas o arena de playa.

b) Procedimiento

- Perfilar la zona en la que se llevará a cabo la ejecución del proyecto, eliminando todo tipo de material inestable en el terreno.
- Una vez concluido la nivelación, se procede a tender una capa de geotextil sobre el área para colocar encima la arena.
- Para encapsular el material se procede a coger el extremo próximo al agua se dobla cubriendo el material por completo.
- Una vez concluido el primer nivel, se procede a seguir con el segundo nivel, para ello sobre el primer nivel se extiende el geosintético y se añade el material realizando el mismo procedimiento que en el primer nivel.
- Este procedimiento se repetirá hasta alcanzar la altura del diseño.

En la figura 68 se presenta una imagen representativa sobre el proceso constructivo de una protección costera con geotextil.

Figura 68

Construcción de obra de protección costera con geotubos



Fuente: Alibaba

c) Ventajas

- El bajo costo de la construcción, debido a que no se necesita de equipos sofisticados a diferencia de las estructuras duras y mano de obra poco calificada.
- No se dependerá de una cantera, debido a que también se puede usar la arena del lugar.
- Se puede realizar otras estructuras por encima de ellos sin ningún tipo de inconvenientes.
- Buen funcionamiento sobre cargas hidrodinámicas cíclicas.

d) Desventajas

- El ciclo de vida de la infraestructura es menor que las estructuras duras.
- La falla de uno de los geotextiles, compromete en la estabilidad de toda la infraestructura.
- El geosintético no es reutilizable.

e) Recomendaciones

- En lugar de utilizar un geotextil, también se podría usar un geocompuesto porque presenta una mayor permeabilidad por lo que tiene deformaciones pequeñas.
- El uso de mortero inyectado en la cara al mar del geotextil, otorga una alta resistencia al vuelco.
- Contar mucho cuidado al usar los geotextiles procurando no dañarlos en la construcción y así evitar problemas futuros.

4.1.2.8. Cuadro comparativo

En la tabla 6 se muestra un cuadro comparativo de las ventajas y desventajas de las 8 estructuras de protección costera más utilizadas, así como también, recomendaciones que nacen del análisis de estas.

Tabla 6

Cuadro comparativo de ventajas y desventajas de las 8 obras de protección costera más usadas

ESTRUCTURA	VENTAJAS	DESVENTAJAS	RECOMENDACIONES
ESPIGONES	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad en el control de erosiones. - Económico - Es aplicable a distintos climas - Sus dimensiones pueden ser modificadas en cualquier momento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Puede originar erosión en playas vecinas. - Falta de claridad en diseños 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar su altura constante, la cual debe disminuir en la punta para evitar turbulencias. - Considerar proporciones de 1.5:1 o 2:1. - Considerar la dirección del oleaje antes del diseño del espigón.
DIQUES VERTICALES	<ul style="list-style-type: none"> - Minimiza el impacto ambiental - Ejecución rápida - Oleaje no dificulta el proceso constructivo - Estabilizan las playas 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultad en el proceso de fabricación. - Restringe deportes tales como el surf. - Puede generar peligros en zona de navegación de embarcaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar su construcción en puertos. - Evitar su construcción en playas en donde se practique deporte

<p>DIQUES EN TALUD</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Efectividad en el control de erosiones. - Sirve como protección de estructuras ubicadas en las orillas. - Estabilizan las playas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Utiliza mucho material de canteras -Difícil proceso constructivo - Puede generar peligros en zona de navegación de embarcaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Contar con una cantera cercana al lugar del proyecto - Contratar a una empresa especialista debido al difícil proceso constructivo - Evitar su construcción en puertos.
<p>DIQUES MIXTOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Al tener similitudes tanto en materiales como en proceso constructivo a los diques anteriormente mencionados, las ventajas y desventajas que tiene el dique mixto son muy parecidas. - Puede actuar como dique disipativo y reflejante. - Se produce rotura de fondo, es decir el oleaje rompe sobre el talud. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta dependencia de cantera. - Dificultad en el proceso de fabricación. - Afectan las características de la zona de rompimiento de olas y restringe algunos deportes como el surf. - Podría generar peligros en el transporte de navegación de embarcaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso debe ser en lugares en donde no se practiquen deportes como el surf. - Evitar su uso en puertos, debido a que las embarcaciones se verían afectadas. - Se recomienda contar con una cantera cercana al lugar del proyecto. - Se recomienda contar en los transportes suficientes de cantera a obra. - Contratar a una empresa especialista debido al difícil proceso constructivo.
<p>ROMPEOLAS SUMERGIDOS</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Puede construirse con materiales económicos. - Reduce significativamente el tamaño de las olas. - No genera impacto ambiental negativos 	<ul style="list-style-type: none"> - Peligroso para las embarcaciones - Restringe deportes como el surf. - Puede originar erosión en playas que poseen arenas en el fondo del mar. 	<ul style="list-style-type: none"> - Evitar su uso en playas con arena en el fondo marino. - Evitar su uso en puertos. - Evitar su uso en playas en donde se practique deportes como el surf.
<p>MUROS COSTEROS</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Evita la erosión costera. -Útil para embarcaciones. - Sirve como protección de 	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto ambiental negativo. 	<ul style="list-style-type: none"> -Los trabajos deben realizarse en horarios de mareas bajas. - Considerar su uso en puertos.

	estructuras ubicadas en las orillas.	- Considerar uso en lugares en donde existan estructuras en las orillas.
GEOTUBOS	-Económico - No depende de canteras - Estructuras encima de ellos sin ningún problema. - Buena respuesta frente a cargas hidrodinámicas cíclicas.	- Corto ciclo de vida. - Falta de una geotextil afecta a toda la estructura. - Geosintético no reutilizable. - Mantenimiento constante. - Considerar uso de geocompuesto. - Evitar daños durante su construcción.

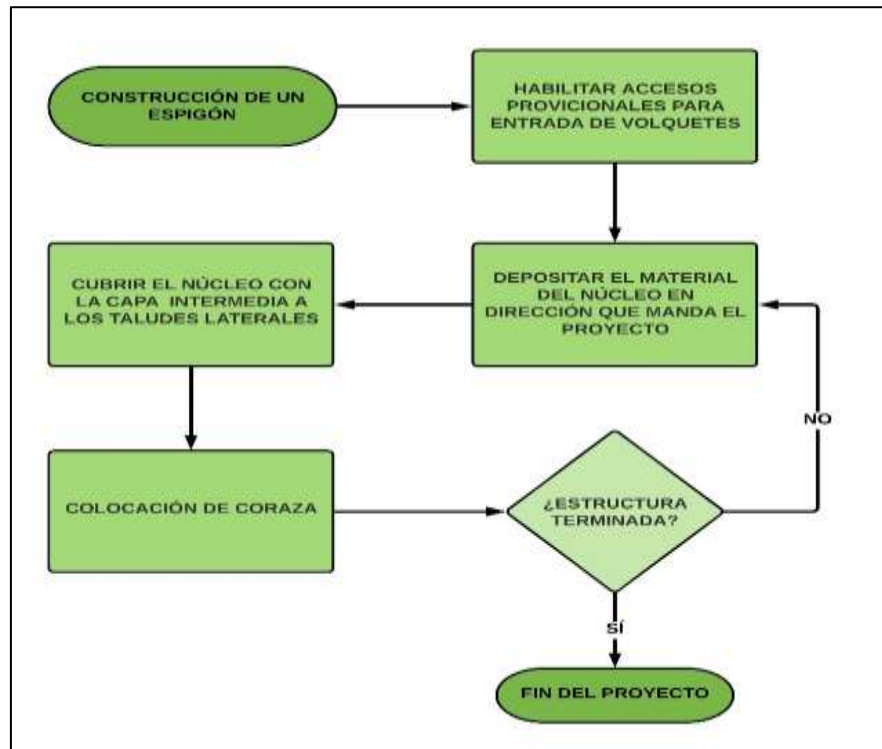
Fuente: Propia

4.1.2.9. Diagramas de Flujo

En las figuras 69, 70 y 71 se muestra el proceso constructivo mediante diagramas de flujo de las estructuras de protección costera, espigón, dique vertical y dique en talud.

Figura 69

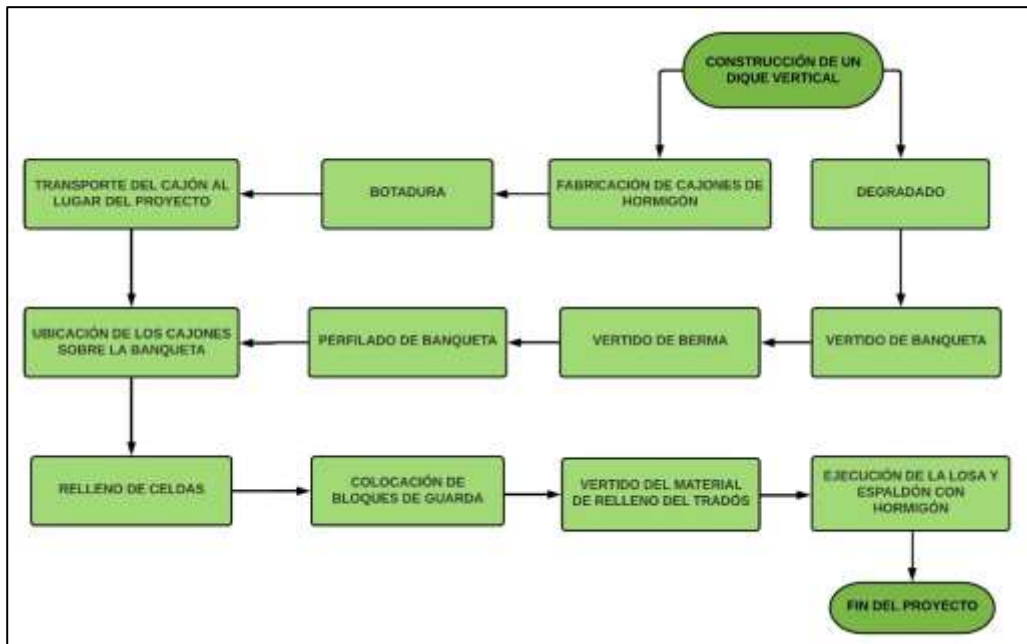
Diagrama de flujo del proceso constructivo de un espigón



Fuente: Propia

Figura 70

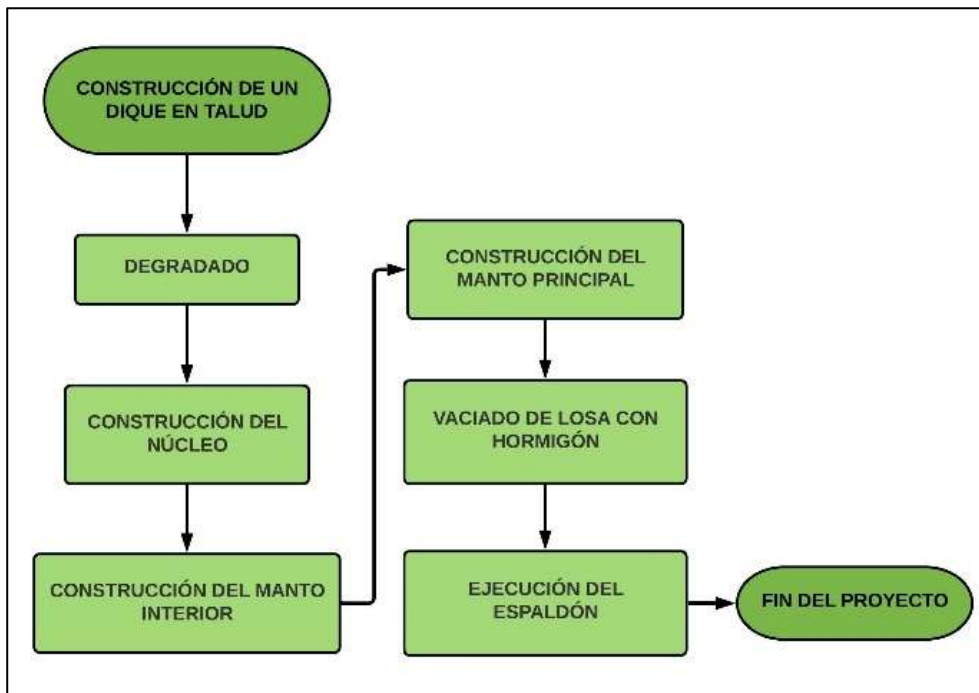
Diagrama de flujo del proceso constructivo de un dique vertical



Fuente: Propia

Figura 71

Diagrama de flujo del proceso constructivo de un dique en talud



Fuente: Propia

4.1.3. Elaboración de matriz mixta cualitativa y cuantitativa para dique vertical, espigón de escollera y dique en talud.

La parte cualitativa evaluará tres aspectos: técnico, ambiental y social. La parte cuantitativa evaluará solo el aspecto económico, es decir, el costo directo de cada estructura. Para ello es necesario un predimensionamiento de cada una de las tres obras de protección costera teniendo como zona de estudio el Malecón Grau ($L = 1130\text{m}$). La finalidad de los predimensionamientos expuestos a continuación es encontrar el metrado de los materiales que conforman la estructura.

4.1.3.1. Predimensionamiento

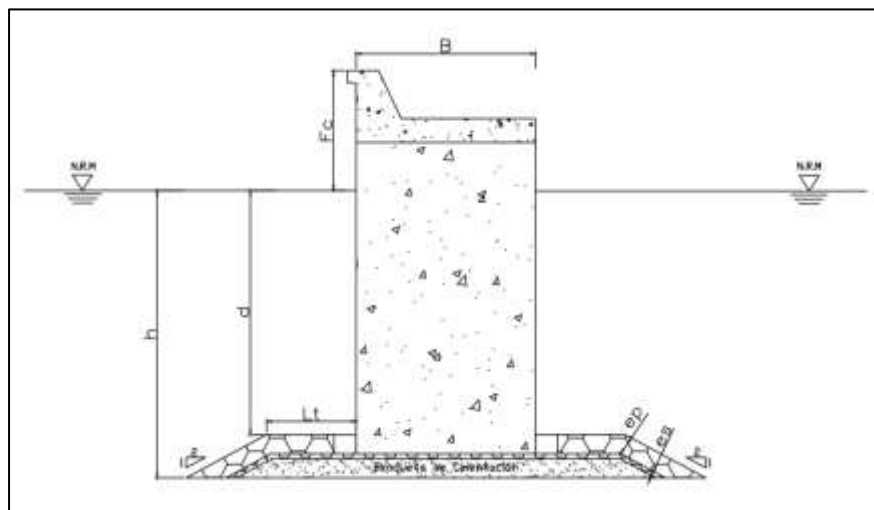
a) Dique Vertical

El siguiente predimensionamiento está basado en “Recomendaciones para Obras Marítimas (ROM 1.0-09)” del Gobierno de España.

En la figura 72 se muestra las partes a predimensionar de un dique vertical donde B es el ancho del dique, F_c es el francobordo, L_t es el ancho de berma, d es la altura de agua sobre la berma, h es la profundidad de agua, e_p es el espesor del manto principal, “es” es el espesor del manto secundario.

Figura 72

Esquema geométrico de un dique vertical



Fuente: Propia

- Datos de la obra

Profundidad (h) = 6m

Altura de ola (H) = 2m

- Predimensionamiento:

- Altura de agua sobre la berma (d):

$$\frac{d}{h} \geq 0.85$$

$$\frac{d}{6} \geq 0.85$$

$$d \geq 5.1$$

Por lo tanto, el valor de “d” será: 5.1m

- Altura de ola a pie de dique (H_*):

Puesto que la ola puede reflejarse ocasionando una ola estacionaria cuya altura sería el doble del incidente considerará:

$$H_* \cong 2H$$

$$H_* \cong 2(2)$$

$$H_* \cong 4$$

Por lo tanto, el valor de “ H_* ” será: 4m

De esta manera, el dique será irrebalsable verticalmente e impermeable.

- Francobordo (F_C):

$$\frac{F_C}{H_*} > 0.50$$

$$\frac{F_C}{4} > 0.50$$

$$F_C > 2$$

Por lo tanto, el valor de “ F_C ” será: 2.5m

- Ancho (B):

Para el predimensionamiento del ancho B del dique, existen 2 valores de ancho, los cuales dependen si se produce rotura de ola.

Si la ola rompe:

$$B \cong 1.5H_*$$

Si la ola no rompe:

$$B \cong H_*$$

Para saber la existencia de la ola se usará el método SWELL:

$$\frac{H}{h} < 0.88$$

$$\frac{2}{6} < 0.88$$

$0.333 < 0.88$ por lo que la ola no rompe.

Debido a que no existe rotura de ola, el valor de “B” será: 4m.

- Ancho de berma (lt):

Para los diques verticales el ancho de la berma suele ser por lo general la mitad del ancho B del cajón. Esto también se encuentra en los esquemas geométricos de las Recomendaciones para Obras Marítimas del Gobierno de España (2009).

Para nuestro predimensionamiento esta sugerencia será tomada en cuenta, por lo que el valor de “lt” será: 2m

- Talud de la banquetta:

La proporción del talud estará basada teniendo en cuenta que la escollera tendrá roca angulosa de 2 capas. Estos valores se pueden encontrar en el anexo 6.

El talud tendrá la proporción de 2H:1V.

- Predimensionamiento de las piezas de la banquetta:

Para el predimensionamiento de las piezas se hará uso de la formulación de Madrigal y Valdés (Madrigal y Valdés, 1995) la cual tiene la siguiente expresión:

$$\frac{H_s}{\Delta x D_{50}} = (5.8x_{\frac{h'}{h_s}} - 0.6) N_{od}^{0.19}$$

Donde:

Δ : (γ escollera / γ agua de mar) – 1

D50: Espesor del manto

h': Profundidad del agua sobre la banquetta

hs: Profundidad del agua enfrente de la banquetta

Nod: Parámetro adimensional de daño

Datos:

γ escollera: 2650 Kg/m³

γ agua de mar: 1130 Kg/m³

h': 5.1m

hs: 6m

Nod: 0.5 según Madrigal y Valdés, 1995

Reemplazando los datos se obtiene que el espesor del manto principal es de 0.39m < > 0.40m

De la siguiente expresión:

$$D_N = \sqrt[3]{\frac{W}{P_S}}$$

Donde:

Dn: diámetro nominal

W: Peso medio de escollera

Ps: Densidad de escollera

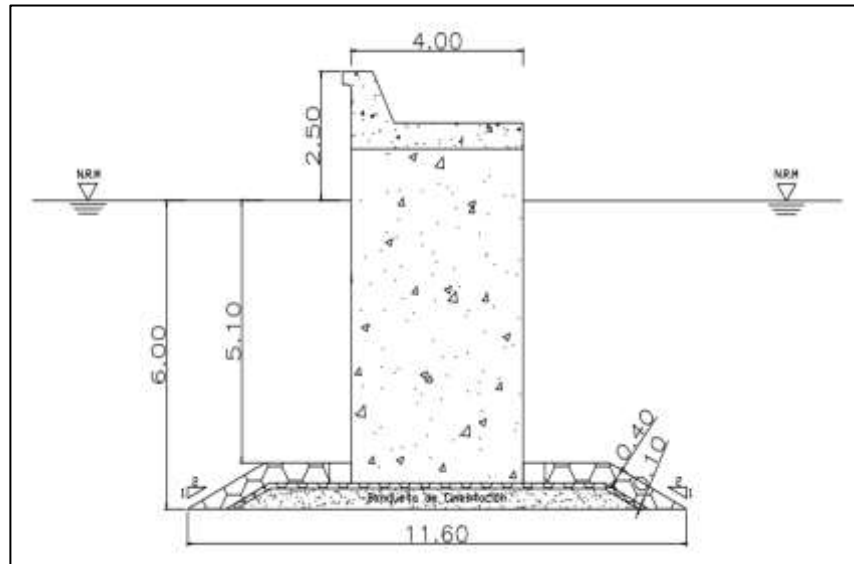
Reemplazando los datos se obtiene: Wp = 159.28 kg. El peso del manto secundario es la décima parte del principal (Madrigal y Valdés, 1995), por lo que: Ws = 15.93 kg.

Al aplicar la expresión anterior se puede obtener el espesor del manto secundario que nos resulta de 0.18m < > 0.20m.

A continuación, en la figura 73 se presenta el predimensionamiento del dique vertical cuyos valores son: $B = 4\text{m}$, $F_c = 2.50\text{m}$, $L_t = 2\text{m}$, $d = 5.1\text{m}$, $h = 6\text{m}$, $e_p = 0.40\text{m}$, $e_s = 0.10\text{m}$.

Figura 73

Predimensionamiento de dique vertical



Fuente: Propia

b) Espigón de escollera

Los espigones de mar están divididos en tres partes: La longitud de Anclaje, la longitud de trabajo y el cabezal. Al tener forma de talud tiene algunas semejanzas en sus secciones con el dique en talud. El predimensionamiento no tomará en cuenta la dirección del espigón debido a que es irrelevante para los objetivos de la investigación.

- Datos de obra

Altura de ola de diseño (H) = 2 m

Profundidad (h) = 6 m

- Longitudes

- Longitud de trabajo

Debido a que por lo general la longitud de los espigones de mar es propuesta por la experiencia de los diseñadores, se han considerado las formas geométricas de los espigones propuestos en un artículo de la UNMSM (Bocanegra, 2012).

Por lo que se propondrá una longitud de trabajo de 80m.

- Longitud de anclaje

La longitud de anclaje o empotramiento suele considerarse la mitad de la longitud de trabajo, siendo: 40m.

- Cabezal

El cabezal normalmente es la tercera parte de la longitud de anclaje. En este caso vendría a ser: 13.33m.

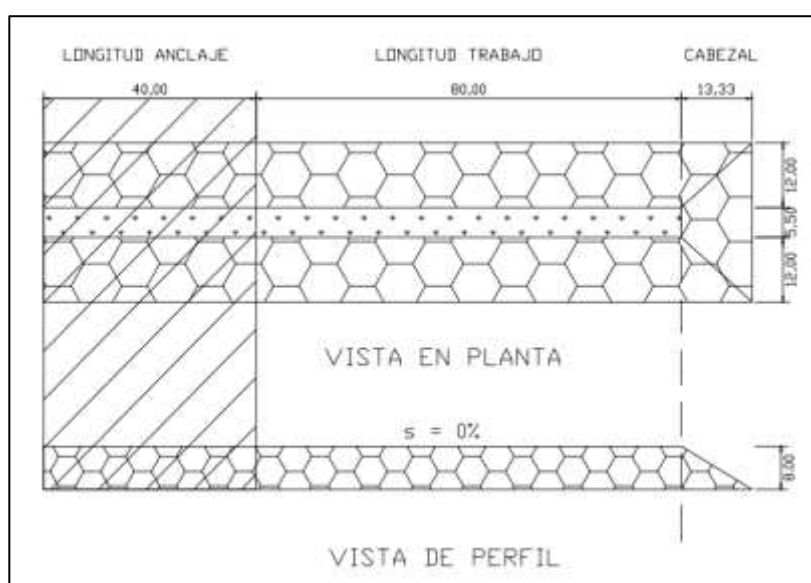
- Elevación y proporción del talud lateral del espigón

La altura con la que se predimensionará será de 8m debido a la batimetría de 6m de profundidad y a la altura de la ola de diseño 2m. En cuanto a la proporción, se ha optado por la relación de 1.5H:1V (Suarez, 2001).

En la figura 74 se presenta el predimensionamiento del espigón de escollera visto en planta y perfil.

Figura 74

Vista en planta y perfil del predimensionamiento de espigón de escollera.



Fuente: Propia

- Espaciamiento y número de espigones

El espaciamiento entre espigones es comúnmente 1.5 a 2 veces la longitud de trabajo del espigón (Suarez, 2001). Por lo tanto, como la longitud de trabajo es de 80m, su espaciamiento será cada 160m dando un total de 7 espigones para todo el Malecón Grau.

- Espesor del manto principal y secundario
El procedimiento será el mismo al que se realizará para encontrar los espesores de los mantos principales y secundarios de un dique en talud debido a que las condiciones y los materiales a emplear serán los mismos.
- Peso del Manto principal
Para el cálculo del peso del manto principal se procederá a utilizar la ecuación de Hudson (1959) que a su vez se derivó de una ecuación de Iribarren (1938). Ver ecuación 19.
- Peso específico del manto principal (γ_r)
El dique en talud se realizará de elementos de escollera, por lo que el peso específico a usar será de 2.65 t/m³
- Peso específico del agua (γ_w)
Al encontrarse la obra de protección costera en el mar, se tomará como dato el peso específico del mar teniendo un valor de 1.13 t/m³
- Talud
La proporción de talud estará basada teniendo en cuenta que la escollera tendrá roca angulosa de 2 capas. Estos valores se pueden encontrar en el anexo 6.
- Coeficiente de estabilidad (K_D)
El valor de coeficiente de estabilidad, depende del tipo del material y el ángulo de talud. Estos valores se pueden encontrar en el anexo 6.

$$H = 2 \text{ m}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = 1.13 \text{ t/m}^3$$

$$\alpha = 33.69^\circ \text{ (Pendiente de 2H 1V)}$$

$$K_D = 2$$

Por lo tanto, el peso del manto principal del tronco expuesto al mar es de $W = 2.90 \text{ T}$

- Espesor mínimo del Manto principal:

Para determinar el espesor mínimo del manto principal se utilizó la fórmula empleada en la investigación *Estudio de alternativas de rompeolas para el proyecto Terminal de descarga de carbón*, de Fernández (2010), debido a que cuentan con un diseño de dique en talud sin superestructura, que es la que se propone en esta investigación.

$$t = n * K_{\Delta} * \left(\frac{W}{\rho_s}\right)^{1/3}$$

Donde:

n = número de rocas en espesor

K_{Δ} = Coeficiente de capa. (Figura N°75)

W = Peso del manto principal (t)

ρ_s = Peso específico del manto (t/m)

- Número de rocas en espesor (n)

El manto principal al contar con dos capas, el número de rocas en espesor será de 2

- Coeficiente de capa (K_{Δ})

El coeficiente de capa, depende del material y el número de rocas. Ver anexo 6.5

- Peso del manto principal (W)

Peso del elemento determinado mediante la fórmula de Hudson.

- Peso específico del manto principal (γ_r)

El dique en talud se realizará de elementos de escollera, por lo que el peso específico a usar será de 2.65 t/m³

$$n = 2$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 2.90 \text{ t}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto, el espesor mínimo del manto principal del tronco expuesto al mar y protegido al mar es de t = 3 m

- Peso del Manto Secundario

Para los diques en talud, el manto secundario tiende a estar en relación de 1/15 y 1/10 del peso del manto principal. (Puertos del Estado, 2009).

Al contar con un valor de 2.90 t, es que se realizará la siguiente relación.

$$W/15 < W_{\text{Filtro}} < W/10$$

T	0.19	<	W_{filtro}	<	0.29
Kg	193.57	<	W_{filtro}	<	290.35

- Espesor mínimo del Manto Secundario:

El procedimiento a seguir es el mismo que se realizó para determinar el espesor del manto principal.

$$n = 2$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 0.29 \text{ t}$$

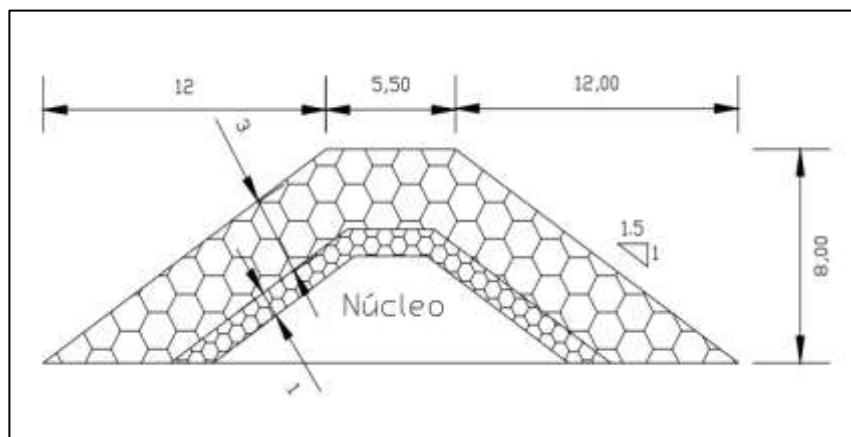
$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto, el espesor mínimo del manto secundario del tronco expuesto al mar y protegido al mar es de $t = 1 \text{ m}$

En la figura 75 se muestra el corte transversal del espigón de escollera con el predimensionamiento calculado.

Figura 75

Predimensionamiento de espigón de escollera.



Fuente: Propia

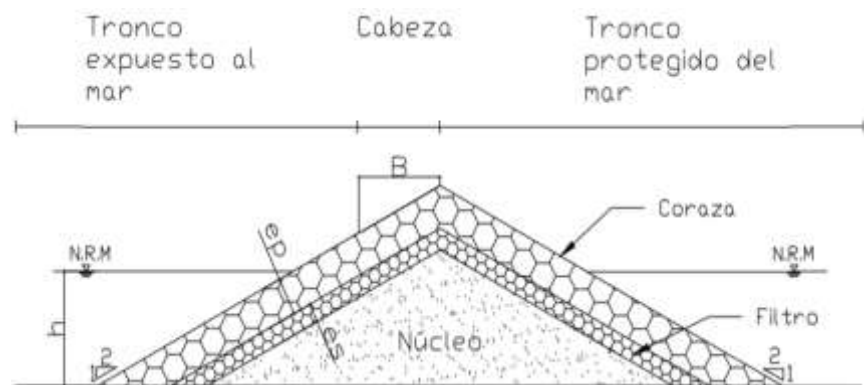
c) Dique en Talud

El dique en talud al contar con una forma trapezoidal se divide en tres partes para su predimensionamiento, siendo tronco expuesta al mar, cabeza y tronco protegida del mar.

La figura 76 muestra las partes a predimensionar de un dique en talud donde B es el ancho de coronamiento, Fc es el francobordo, h es la profundidad de agua, ep es el espesor del manto principal, “es” es el espesor del manto secundario.

Figura 76

Esquema geométrico de un dique en talud



Fuente: Propia

- Datos de obra

Altura de ola de diseño (H) = 2 m

Profundidad (h) = 6 m

- Peso del Manto principal

Para el cálculo del peso del manto principal se procederá a utilizar la ecuación de Hudson (1959) que a su vez se derivó de una ecuación de Iribarren (1938).

Los valores que se tomará para la obtención del peso del manto principal serán de la siguiente manera:

- Peso específico del manto principal (γ_r)

El dique en talud se realizará de elementos de escollera, por lo que el peso específico a usar será de 2.65 t/m³

- Peso específico del agua (γ_w)

Al encontrarse la obra de protección costera en el mar, se tomará como dato el peso específico del mar teniendo un valor de 1.13 t/m³

- Talud

La proporción de talud estará basada teniendo en cuenta que la escollera tendrá roca angulosa de 2 capas. Estos valores se pueden encontrar en el anexo 6.

- Coeficiente de estabilidad (K_D)

El valor de coeficiente de estabilidad, depende del tipo del material y el ángulo de talud. Estos valores se pueden encontrar en el anexo 6.

- Tronco expuesto al mar:

$$H = 2 \text{ m}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = 1.13 \text{ t/m}^3$$

$$\alpha = 26.57^\circ \text{ (Pendiente de 2H 1V)}$$

$$K_D = 2$$

Por lo tanto, el peso del manto principal del tronco expuesto al mar es de $W = 2.18 \text{ T}$

- Cabeza:

$$H = 2 \text{ m}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = 1.13 \text{ t/m}^3$$

$$\alpha = 26.57^\circ \text{ (Pendiente de 2H 1V)}$$

$$K_D = 1.6$$

Por lo tanto, el peso del manto principal de la cabeza es de $W = 2.72 \text{ T}$.

- Tronco protegido del mar:

$$H = 2 \text{ m}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

$$\gamma_w = 1.13 \text{ t/m}^3$$

$$\alpha = 26.57^\circ \text{ (Pendiente de 2H 1V)}$$

$$K_D = 2$$

Por lo tanto, el peso del manto principal del tronco expuesto al mar es de $W = 2.18 \text{ T}$

- Espesor mínimo del Manto principal:

Para determinar el espesor mínimo del manto principal se utilizó la fórmula empleada en la investigación *Estudio de alternativas de rompeolas para el proyecto Terminal de descarga de carbón*, de Fernández (2010), debido a que cuentan con un diseño de dique en talud sin superestructura, que es la que se propone en esta investigación.

$$t = n * K_{\Delta} * \left(\frac{W}{\rho_s}\right)^{1/3}$$

Donde:

n = número de rocas en espesor

K_{Δ} = Coeficiente de capa (Estos valores se pueden encontrar en el anexo 7)

W = Peso del manto principal (ton)

ρ_s = Peso específico del manto (ton/m)

Los valores que se tomará para la obtención del espesor del manto principal serán de la siguiente manera:

- Número de rocas en espesor (n)
El manto principal al contar con dos capas, el número de rocas en espesor será de 2
- Coeficiente de capa (K_{Δ})
El coeficiente de capa, depende del material y el número de rocas.
- Peso del manto principal (W)
Peso del elemento determinado mediante la fórmula de Hudson.
- Peso específico del manto principal (γ_r)
El dique en talud se realizará de elementos de escollera, por lo que el peso específico a usar será de 2.65 ton/m³

- Tronco expuesto al mar y protegida del mar:

$$n = 2$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 2.18 \text{ t}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto, el espesor mínimo del manto principal del tronco expuesto al mar y protegido al mar es de $t = 2 \text{ m}$.

- Cabeza:

$$n = 2$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 2.72 \text{ t}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto, el espesor mínimo del manto principal en la cabeza es de $t = 2 \text{ m}$

- Peso del Manto Secundario

Para los diques en talud, el manto secundario tiende a estar en relación de 1/15 y 1/10 del peso del manto principal. (Puertos del Estado, 2009).

- Tronco expuesto al mar y protegido del mar

El manto principal expuesta al mar y protegida del mar, al contar con un valor de 2.18 t, es que se realizará la siguiente relación.

$$\begin{array}{rcccl} W/15 < & W_{\text{filtro}} & < & W/10 \\ T & 0.15 & < & W_{\text{filtro}} & < & 0.22 \\ \text{Kg} & 145.17 & < & W_{\text{filtro}} & < & 217.76 \end{array}$$

- Cabeza

El manto principal de la cabeza, al contar con un valor de 2.72 t, es que se realizará la siguiente relación

$$\begin{array}{rcccl} W/15 < & W_{\text{filtro}} & < & W/10 \\ T & 0.18 & < & W_{\text{filtro}} & < & 0.27 \\ \text{Kg} & 181.47 & < & W_{\text{filtro}} & < & 272.20 \end{array}$$

- Espesor mínimo del Manto Secundario:
El procedimiento a seguir es el mismo que se realizó para determinar el espesor del manto principal.

- Tronco expuesto al mar y protegida del mar:

$$n = 2$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 0.22 \text{ t}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto, el espesor mínimo del manto secundario del tronco expuesto al mar y protegido al mar es de $t = 1 \text{ m}$

- Cabeza:

$$n = 2$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 0.27 \text{ t}$$

$$\gamma_r = 2.65 \text{ t/m}^3$$

Por lo tanto, el espesor mínimo del manto secundario en la cabeza es de $t = 1 \text{ m}$

- Núcleo
- Peso del Manto Secundario

Para los diques en talud, el núcleo tiende a estar en relación de 1/6000 y 1/200 del peso del manto principal. (Puertos del Estado, 2009).

Para determinar el peso del núcleo, utilizaremos los pesos del manto principal de tronco expuesta al mar y de cabeza.

- Tronco expuesto al mar

El manto principal expuesta al mar y protegida del mar, al contar con un valor de 2.18 t, es que se realizará la siguiente relación.

$$\begin{array}{rcccl}
 & & W/6000 < & W_{\text{núcleo}} < & W/200 \\
 \text{T} & & 0.00036 & < & W_{\text{núcleo}} < & 0.01089 \\
 \text{Kg} & & 0.36 & < & W_{\text{núcleo}} < & 10.89
 \end{array}$$

- Cabeza

El manto principal de la cabeza, al contar con un valor de 2.72 t, es que se realizará la siguiente relación

$$W/15 < W_{\text{Filtro}} < W/10$$

T	0.00045	<	W_{filtro}	<	0.01361
Kg	0.45	<	W_{filtro}	<	13.61

Por lo tanto, el peso del núcleo será el siguiente:

$$W/6000 < W_{\text{núcleo}} < W/200$$

Kg	0.5	<	$W_{\text{núcleo}}$	<	15
----	-----	---	---------------------	---	----

- Ancho mínimo de coronamiento

Para determinar el ancho mínimo de coronamiento, se determinará de la misma manera en que se determinó el espesor del manto principal y manto secundario. El número de rocas es 3, debido a que es el número mínimo que debe contar en la corona. El peso tendrá como valor 2.72 ton, siendo el peso de cabeza en el manto principal.

$$n = 3$$

$$K_{\Delta} = 1.00$$

$$W = 2.72 \text{ ton}$$

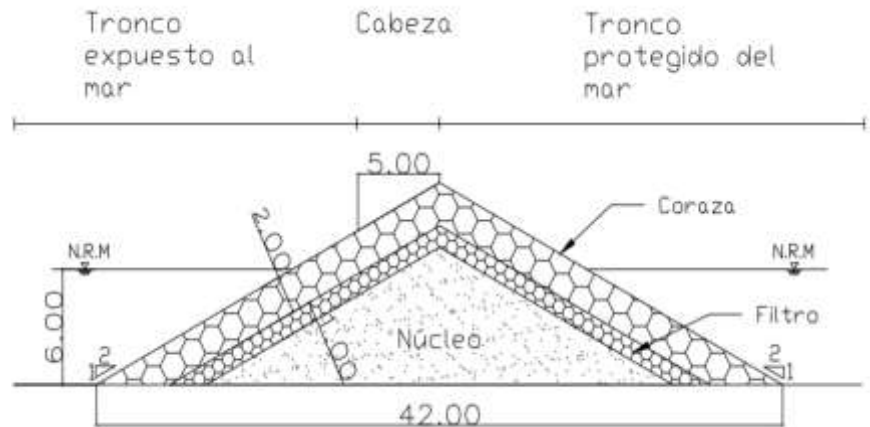
$$\gamma_r = 2.65 \text{ ton/m}^3$$

Por lo tanto, el ancho mínimo de coronamiento es de 3.00 m.

A continuación, en la figura 77 se presenta el predimensionamiento del dique en talud, donde $B= 5\text{m}$, $h = 6\text{m}$, $e_p = 2\text{m}$, $e_s = 1\text{m}$.

Figura 77

Predimensionamiento del dique en talud.



Fuente: Propia

4.1.3.2. Presupuestos

Debido a que la finalidad de nuestro análisis cuantitativo es conocer en cuánto varía el costo total de los materiales de cada estructura, estos han sido referenciados de las mismas fuentes. También se ha empleado la misma moneda para los tres presupuestos ya que al hacer el análisis con los mismos criterios el objetivo igual se cumplirá. No se ha tomado en cuenta el costo de los equipos, maquinarias ni mano de obra. Los metrados calculados se encuentran en las tablas 18, 19 y 20 de la sección de anexos.

En la Tabla 7, se presenta el presupuesto del dique vertical, especificando el metrado y los precios empleados para la obtención del valor de costo.

Tabla 7*Presupuesto de dique vertical*

Ítems	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$	Parcial \$
1	Limpieza y dragado				128,196.24
1.1	Base de Dique	m ²	13108.00	9.78	128,196.24
2	Dique Vertical				3,140,940.61
2.1	Enrase de banquetta	m ²	13108.00	12.92	169,355.36
2.2	Coraza 160 kg	m ³	2723.30	2.30	6,263.59
2.3	Filtro 16 kg	m ³	1107.40	0.17	184.94
2.4	Núcleo	m ³	3875.90	22.76	88,215.48
2.5	Hormigón para estructuras				2,876,921.24
2.5.1	Cajón	m ³	29380.00	87.19	2,561,642.20
2.5.2	Espaldón	m ³	3164.00	87.19	275,869.16
2.5.3	Bloque de guarda	m ³	452.00	87.19	39,409.88
COSTO					\$ 6,146,058.09

Fuente: Propia

En la Tabla 8, se presenta el presupuesto total para 7 espigones de escollera, especificando el metrado y los precios empleados para la obtención del valor de costo.

Tabla 8*Presupuesto de espigón de escollera*

Ítems	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$	Parcial \$
1	Limpieza y dragado				4,212.60
1.1	Limpieza de terreno	m ²	8260	0.39	3,221.40
1.2	Trazo y replanteo	m ²	8260	0.51	4,212.60
2	Dique en talud				4,085,994.69
2.1	Coraza 2.90 ton	m ³	78472.7	41.65	3,268,388.15
2.2	Filtro 194 a 291 kg	m ³	18302.2	2.53	46,304.59
2.3	Núcleo	m ³	33888.5	22.76	771,301.94
COSTO					\$ 4,090,207.29

Fuente: Propia

En la Tabla 9, se presenta el presupuesto de dique en talud, especificando el metrado y los precios empleados para la obtención del valor de costo.

Tabla 9

Presupuesto de dique en talud

Ítems	Descripción	Und.	Metrado	Precio \$	Parcial \$
1	Limpieza y dragado				464,158.80
1.1	Base de Dique	m ²	47460.00	9.78	464,158.80
2	Dique en talud				6,885,419.73
2.1	Coraza 2.70 ton	m ³	94829.60	45.42	4,307,160.43
2.2	Filtro 180 a 270 kg	m ³	38939.80	2.35	91,508.53
2.3	Núcleo	m ³	109259.70	22.76	2,486,750.77
				COSTO	\$ 7,349,578.53

Fuente: Propia

4.1.3.3. Matrices

En la Figura 78 se presenta la matriz de aspecto Técnico, donde se evaluará los materiales, maquinarias, proceso constructivo, mantenimiento, vida útil y contratistas.

Figura 78

Aspecto Técnico

ASPECTOS TÉCNICOS		
	ESTRUCTURA	
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD
MATERIALES		ESPIGÓN
ACCESIBILIDAD	Los materiales que conforma la base del dique serán extraídas de cantera, la dificultad se vería durante la fabricación de los cajones que conforman la estructura del dique vertical.	Los materiales a utilizar son de cantera y existen diversas en la ciudad de chimbote que pueden abastecer la obra.
TRANSPORTE	Uso de pontones y gánguiles para la construcción vía marítima y volquetes para vía terrestre.	Todos los materiales son transportados por vía terrestre mediante volquetes.
MAQUINARIAS		
MAQUINARIAS	Dragas de pala, rosario, de succión estacionaria, de succión en marcha, torres grúa, gánguiles, pontones, bombas de concreto.	Volquetes, retroexcavadoras y excavadoras
PROCESO CONSTRUCTIVO		
OBRAS PROVISIONALES	Habilitación de área para acopio de áridos, parque de elaboración y montaje de ferralla, muelles, plataformas sumergibles y planta de hormigonado.	Habilitación de accesos provisionales para la circulación de volquetes en la entrada y salida de la obra.
PROCESO CONSTRUCTIVO	De difícil construcción pero rápida comparada con un dique talud.	Cuenta con un proceso constructivo difícil, por lo que se necesita contar con una empresa especializada en estos tipos de construcciones.
PELIGROS Y RIESGOS	Al construirse alejados a la orilla, se corre el riesgo de ocurrencias de fuerte oleaje, por lo que en ambos casos se debe construir en temporadas del año en que el oleaje sea menor.	Spray marino generado por las olas al chocar con el enrocado puede afectar a la maquinaria.
SEGURIDAD	Interferencia al tráfico marítimo, trabajos submarinos, acción del oleaje sobre personas y equipos, trabajos con medios flotantes.	Debido a que tiene un proceso constructivo en tierra firme, la seguridad durante la construcción es sencilla de controlar.
ZONA DE TRABAJO	Si bien la construcción se realiza en el mar, es necesario habilitar muelles auxiliares en la costa así como también una planta de hormigonado in situ.	Para poder construir la longitud de anclaje se necesita gran parte del área costera, una vez terminada la longitud de anclaje la zona de trabajo seguirá en línea recta con dirección al mar para construir la longitud de trabajo y la corona.
MANTENIMIENTO		
MANTENIMIENTO	Se requiere un mantenimiento continuo luego de fuertes oleajes debido a que se pone riesgo la estabilidad de los taludes.	Requiere un mantenimiento continuo, especialmente después de cada avenida grande. Estos mantenimientos mejoran cada vez más el diseño.
VIDA ÚTIL		
VIDA ÚTIL	Para interés local 25 años y para interés general 50 años (NORMATIVA ROM 0.0/01).	15 años (NORMATIVA ROM 0.0/01).
CONTRATISTAS		
CONTRATISTAS	Las empresas especializadas más reconocidas son las españolas.	Existen empresas nacionales que realizan construcciones de espigores de mar.

Fuente: Propia

En la Figura 79 se presenta la matriz de aspecto Ambiental, donde se evaluará el desmonte originado, la pesca, flora, fauna y el paisaje.

Figura 79

Aspecto Ambiental

ASPECTOS AMBIENTALES			
	ESTRUCTURA		
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD	ESPIGÓN
DESMONTE			
DESMONTE QUE GENERA	A parte de la eliminación de materiales para la base el dique, el hormigón con el que se rellenarán las celdas del cajón también generarán residuos.	Al estar compuesto solo por material de cantera, no generará desmonte ya que todo servirá para la construcción de la estructura, solo se eliminarán los materiales inadecuados para la base de los taludes.	
PESCA			
PESQUERÍA ARTESANAL	El área que quedaría perimetrada por los taludes y la costa, solo afectarían a la pesca de la Mojarrilla, la cual representa solo el 1.42% de la pesca artesanal de la Bahía según el informe de IMARPE de recursos vivos en la bahía el Ferrol durante el 2001 y 2005.	La estructura servirá como zona para pesca casual así como también podría usarse como anclaje de embarcaciones en casos de emergencia.	
PESQUERÍA INDUSTRIAL	En ningún caso se verá afectada ya que el área de circulación de las navegaciones se encuentra fuera del alcance de las estructuras.		
FAUNA Y FLORA			
FAUNA MARINA	Al delimitar un área del mar con el talud, originará un aumento de especies marinas en dichas áreas las cuales no podrían ser capturadas por la pesquería industrial.	Con el tiempo, los enrocados que se encuentran sumergidos y al nivel de la superficie suelen ser habitados por cangrejos, erisos y estrellas de mar.	
FLORA MARINA	Las estructuras marinas afectan directamente la flora que se encuentra en la base de la estructura, pero con el tiempo esta base suele estar cubierta de nuevo por diversos tipos de flora.		
PAISAJE			
PAISAJE	Genera impacto visual en el horizonte medio del mar.	Afecta directamente el impacto visual de manera positiva al darle una nueva forma a las costas.	

Fuente: Propia

En la Figura 80 se presenta la matriz de aspecto Social, donde se evaluará el turismo, trabajo generado, economía, salud, calidad de vida, identidad local, deportes y recreación.

Figura 80

Aspecto Social

ASPECTOS SOCIALES	
ESTRUCTURA	
	DIQUE VERTICAL DIQUE TALUD ESPIGÓN
TURISMO	
TURISMO	El mejoramiento de los paisajes impulsará el turismo nacional y extranjero, no solo por la calidad paisajista sino también, como ejemplo de estudio de cómo recuperar una bahía.
TRABAJO	
DURANTE LA CONSTRUCCIÓN	Este tipo de obras generarán mucha demanda de mano de obra ya que se recomienda trabajar en 3 turnos de 8 horas.
POST ENTREGA DE OBRA	Al necesitar solo operarios para volquetes y retroexcavadoras, no generarán empleo durante su construcción. Cuando la obra sea entregada, el turismo traerá consigo empleo local para los pobladores tales como: Guías turísticos, historiadores de la zona, servicio de botes, pesca artesanal, guardacostas para las playas, servicio de taxis, hospedajes, restaurantes, etc.
ECONOMÍA	
ECONOMÍA	El empleo local beneficiará directamente a la economía de los pobladores de manera significativa y estable.
SALUD	
SALUD	El spray marino con el que las personas de la zona actualmente conviven dejará de ser un problema, por lo que las enfermedades respiratorias serán menos comunes. Al haber podido recuperar la bahía, la salud mental será reforzada junto a su identidad local.
CALIDAD DE VIDA	
CALIDAD DE VIDA	La zona pasará de ser un lugar inhóspito a un lugar atractivo para vivir y mejorará la calidad de vida de los pobladores de la zona.
IDENTIDAD LOCAL	
IDENTIDAD LOCAL	El proyecto devolverá a la población de Chimbote la posibilidad de reencontrarse con el mar el cual siempre ha sido su fuente de inspiración.
DEPORTE Y RECREACIÓN	
DEPORTES	Deportes como el surf no podrían realizarse al recuperar las playas debido a la reducción de olas generado por las estructuras. La natación podría pasar a ser una buena alternativa.
RECREACIÓN	Se podrán practicar los deportes de la zona de manera normal a una distancia segura de los enrocados. Las playas regeneradas serán una opción muy atractiva para las familias de chimbote. La pesca casual y paseos en lancha serán actividades recreacionales que también podrán realizarse.

Fuente: Propia

En la Figura 81 se presenta la matriz de aspecto Económico, donde se evaluará el costo directo de cada una de las tres obras de protección costera.

Figura 81

Aspecto Económico

	ASPECTO ECONÓMICO		
	ESTRUCTURA		
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD	ESPIGÓN
COSTO DIRECTO			
COSTO DIRECTO EN DÓLARES	6' 146 058.09	7' 349 578.53	4' 090 207.29

Fuente: Propia

4.2. Análisis de Resultados

Desde el año 2016 al 2019 la temperatura superficial del mar más alta registrada en la bahía El Ferrol ha sido en el mes de marzo del 2017 con aproximadamente 27°C y la más baja se registró en el mes de agosto del 2019 con aproximadamente 17°C. La temperatura promedio de esos mismos años ha oscilado entre los 18°C y 24°C, teniendo las temperaturas más altas en los meses de enero, febrero y marzo; y las más bajas en los meses de julio, agosto y setiembre. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo de valores obtenidos por IMARPE (2015).

Desde el año 2015 al 2019 la humedad relativa más alta registrada ha sido en el mes de febrero del 2018 con un contenido de humedad aproximadamente de 82% y la más baja se registró en el mes de marzo del 2015 con un contenido de humedad aproximadamente de 69%. La humedad relativa promedio de esos mismos años a oscilado entre 73% a 79%, siendo el valor promedio más bajo registrado en el mes de enero y los más altos en los meses de agosto y setiembre. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo de valores obtenidos por MINAM (2012)

Desde el año 2015 al 2019 la velocidad del viento más alta registrada en la bahía El Ferrol ha sido en el mes de abril del 2017 con aproximadamente 27 km/h y la más baja se registró en el mes de agosto del 2019 con aproximadamente 14 km/h. La velocidad del viento promedio de esos mismos años ha oscilado entre los 19 km/h y 25 km/h, teniendo las velocidades más altas en los meses de marzo, abril, octubre, noviembre y diciembre; y las más bajas en los meses de junio, julio y agosto. Estos resultados se encuentran dentro del intervalo de valores obtenidos por MINAM (2012).

La dirección promedio del viento desde el año 2015 al 2019 vienen del sur y sureste, donde predomina la dirección sur. Al analizar las alturas de las olas registradas en las zonas norte, centro y sur de la bahía, se ha encontrado que sus coeficientes de variación son de 20%, 14% y 20% respectivamente, lo que indica que la zona centro es la que tiene menos probabilidad de variar su oleaje. Existe una relación entre el parámetro del viento y las olas. En los meses en los que la velocidad del viento es baja, también lo son las alturas de las olas, en cambio, las alturas de olas más altas se registran cuando el viento tiene mayor velocidad.

Los espigones como estructuras de protección costera por lo general están hechos de escollera natural y/o artificial, y es la estructura más comúnmente usada para los problemas de erosión. El dique vertical es la estructura con mayor dificultad en el proceso constructivo. La estructura de protección costera que mayor demanda genera en material de cantera es el dique talud. El dique mixto suele ser usado cuando la batimetría es muy profunda para un dique vertical. Los rompeolas sumergidos tienen las mismas características que un dique talud, pero sin generar impacto visual. La mejor alternativa para cuando existe estructuras en la línea de costa son los muros costeros, ya que les brindan mayor estabilidad. El uso de geotextiles es la opción más económica para la protección de costas, pero también es la más vulnerables a daños y con menor tiempo de vida útil.

En la accesibilidad de materiales, los diques en talud y espigones son los más viables ya que solo utilizan material de cantera y existen diversas en la ciudad de Chimbote.

En cuanto al transporte de materiales el espigón solo lo hace por vía terrestre, lo cual genera una ventaja significativa en los costos comparado con los diques verticales y talud en donde se necesitan transportes marinos.

Para la construcción de diques verticales y talud se necesita mucha más maquinaria en comparación con la construcción de espigones. Los espigones necesitan mucho menos obras provisionales que los diques verticales y diques talud.

El proceso constructivo del espigón es el más sencillo, seguido del dique talud y por último el dique vertical siendo este el más difícil. Esto también se puede apreciar en los diagramas de flujo mostrados en las figuras 69, 70 y 71.

Las tres obras de protección costera analizadas presentan los mismos riesgos y peligros debido al oleaje durante su construcción. Los diques verticales y talud demandan mayor seguridad que los espigones debido a que existirán trabajos submarinos y en medios flotantes. Las tres estructuras tienen zonas de trabajo en las costas a mediana y gran medida, por lo que las 3 generarán restricciones en la costa para los pobladores. Siempre después de un oleaje anómalo, las estructuras requieren de un mantenimiento constante. En el caso de los espigones, cada mantenimiento refuerza el diseño. Los diques verticales y en talud tienen mucho más tiempo de vida útil comparado con los espigones. En el aspecto técnico la mejor alternativa es el espigón.

Entre los diques verticales, talud y espigones, el dique vertical es el que genera mayor desmonte. Ninguna estructura afectará la pesquería industrial. En cuanto a la pesquería artesanal, solo los diques verticales y talud tendrían un impacto negativo al restringir el área en donde se encuentra la Mojarrilla que representa el 1.42% de la pesca artesanal de la Bahía el Ferrol. La fauna y flora se favorecerá debido a que las estructuras brindarán un nuevo hábitat para las distintas especies marinas, ya sea encerrando un área de mar determinada en la cual la pesca industrial no podrá ser practicada o como el uso de los enrocados como zona habitable. La estructura que genera menor impacto ambiental respecto a los diques verticales y talud es el espigón.

En el aspecto ambiental la mejor alternativa es el espigón, debido a su bajo impacto en la pesca e impacto visual favorable. El dique vertical, dique talud y los espigones generan el mismo impacto positivo en el aspecto social, generando turismo, trabajo, aumento de la economía, salud, calidad de vida e identidad local.

4.3. Contrastación de Hipótesis

a) Contrastación de Hipótesis General

La obra de protección costera que mejor se adecúa a la bahía el Ferrol son los espigones.

Esta hipótesis es comprobada en la sección 4.2, Análisis de resultados, en donde tras el análisis de las matrices cualitativas y cuantitativas, se concluye que los espigones son las estructuras más destacadas tanto en el aspecto técnico y ambiental, así como también, la obra más económica a llevar a cabo.

b) Contrastación de Hipótesis Específica 1

Las corrientes superficiales son las adecuadas para el proyecto.

Los resultados obtenidos en la sección 4.1.1, muestran que la temperatura superficial del mar oscila entre los 18°C y 24°C, la velocidad del viento promedio oscila entre los 19 km/h y 25 km/h, la batimetría tiene una profundidad de 6 m en la zona de estudio, la humedad relativa promedio oscila entre 73% a 79% y las alturas de olas llegan a un máximo de 1.50 m, teniendo como ola de diseño 2.00m. Para poder llevar a cabo cualquier tipo de obra de protección costera, estos valores no generan mayores inconvenientes en el prediseño debido a que se utilizan fórmulas empíricas.

c) Contrastación de Hipótesis Específica 2

Las obras de protección costera que más se adecuan a la bahía el Ferrol son diques verticales, espigones y diques en talud.

Al analizar tanto la sección 4.1.1 y 4.1.2 en donde se caracterizan las corrientes superficiales de la bahía y se analiza la tipología de distintas obras de protección costera, respectivamente, se comprueba que; la batimetría de la bahía no es lo bastante profunda para la construcción de un dique mixto; el uso de geotextiles no es la solución adecuada para combatir la problemática debido a la magnitud de esta; los rompeolas sumergidos, al ser la estructura menos común, demandará gran cantidad de logística para llevar a cabo por lo cual, no sería viable; los muros costeros dejarían a la bahía sin playas, y esto va en contra de lo que se quiere hacer. Por lo tanto, las estructuras de protección costera que más se adecúan a la Bahía el Ferrol son las tres expuestas en la hipótesis específica 3.

d) Contrastación de Hipótesis Específica 3

Existen diferencias significativas entre los diques verticales, espigones y diques en talud para la Bahía el Ferrol.

La validez de esta hipótesis se puede verificar tanto en los cuadros comparativos y diagramas de flujo de la sección 4.1.2 en donde se exponen tanto las ventajas y desventajas de estas tres estructuras como sus distintos procesos constructivos. Las matrices de la sección 4.1.3.3, en donde las diferencias están especificadas al detalle en los aspectos económicos, ambientales, sociales y económicos, también comprueban la hipótesis.

CONCLUSIONES

- 1) Las corrientes superficiales de la Bahía el Ferrol en los años 2017 al 2019 mostraron temperaturas de 18 a 24°C con humedades relativas entre 73 y 79%, existiendo velocidades máximas del viento de 25km/h con dirección de sur y sur sureste que provocan alturas máximas de ola de 2.00 m.
- 2) Debido a que la profundidad de la bahía no es la adecuada para un dique mixto y el uso de geotubos no podría combatir la problemática, las estructuras de protección costera que más se adecúan a la Bahía el Ferrol son los diques verticales, diques talud y espigones.
- 3) En el aspecto técnico y ambiental el espigón es la mejor alternativa debido que el proceso constructivo es por vía terrestre, no requiere de trabajos submarinos ni en medios flotantes, es más sencillo y requiere de menos obras provisionales, así como también, genera menor cantidad de desmonte debido a que solo utiliza material de escollera, no afecta a la pesca artesanal como las demás estructuras y da una nueva arquitectura a las costas del Malecón Grau al tener, cada espigón, una longitud de anclaje de 40 metros, longitud de trabajo de 80 metros, cabezal de 13.33 metros y una altura de 8 metros.
- 4) En el aspecto social el espigón cuenta con algunas características que lo diferencian de las otras dos estructuras como es el empleo que no genera durante el proceso constructivo, ya que solo necesita operarios y no mano de obra. También se diferencia al destacar de manera positiva en el deporte y la recreación por no limitar el área de las playas, característica que desfavorece el uso de diques. En general, el dique vertical, dique talud y los espigones generan un impacto positivo, aumentan el trabajo después de entregadas las obras, favorecen la economía, la salud, calidad de vida, identidad local y turismo tanto nacional como internacional.
- 5) La alternativa más económica son los siete espigones de escollera que en conjunto generan un monto total de \$ 4' 090 207.29, seguido del dique vertical con \$ 6' 146 058.09, siendo el dique talud la estructura más costosa con \$ 7' 349 578.53.
- 6) Se concluyó que la obra de protección costera más adecuada para la Bahía el Ferrol son los espigones de escollera debido a que es la estructura que más destaca en todos los aspectos antes mencionados.

RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda evaluar la estabilidad mediante volteo y deslizamiento partiendo de los predimensionamientos propuestos.
- 2) Para el análisis de las corrientes superficiales, se recomienda recolectar información in situ o de una base de datos durante varios años que permitan la recopilación de altura de olas y trabajar con una carta batimétrica para mayor precisión de isóbatas.
- 3) Se recomienda realizar encuestas a los pobladores de la zona para conocer mejor la problemática y las necesidades de las personas.
- 4) Se recomienda usar el presente trabajo como base de investigación en temas relacionados con el medio ambiente y a la ingeniería portuaria.
- 5) Se recomienda implementar el curso electivo de Obras Marítimas para la carrera de Ingeniería Civil.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANCORIM. (2017). *Soluciones alternativas para la protección de las costas* . Recuperado el 12 de Agosto del 2020 de https://corimat.net/wp-content/uploads/2017/03/2_Outil2_56P_ES.pdf
- Capacchione, A. (1994). Knemometria. *Pediatria Oggi Medica e Chirurgica*, 14(8–9), 115–119.
- Cifuentes, J., Torres, P., & Frías, M. (n.d.). *El océano y sus recursos III. Las ciencias del mar: oceanografía física, matemáticas e ingeniería*. Recuperado el 07 de septiembre del 2020 de <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/17/htm/oceano.htm>
- Cómo funciona el Sonar*. (2020). https://deepersonar.com/es/es_es/como-funciona/como-funciona-el-sonar
- Comunidad ism. (2017). *¿Qué es una batimetría y cuáles son sus aplicaciones?* <http://www.comunidadism.es/blogs/¿que-es-una-batimetria-y-cuales-son-sus-aplicaciones>
- CORIMAT. (n.d.). *Erosión*. Recuperado el 12 de Julio del 2020 de <https://corimat.net/es/erosion/>
- Díaz, J. (2019). *Evaluación de la defensa costera para la construcción del tramo de la autopista costanera: Zona de Marbella*. (Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal).
- Dirección de Hidrografía y Navegación (2013), Norma Técnica Hidrográfica N° 08, Medición de Olas, DIHIDRONAV-5137. <https://www.dhn.mil.pe/Archivos/Oceanografia/normastecnicas/NormasTecnicasHidrograficasN%C2%B008.pdf>
- Esteban Chapapría, V., Aguilar, J., Serra Peris, J., & Medina, J. R. (1995). Levantamientos y seguimientos topo-batimétricos en ingeniería de costas. *Ingeniería Del Agua*, 2(1), 181–200. <https://doi.org/10.4995/ia.1995.2670>

- Fernández, R. (2010). *Estudio de alternativas de rompeolas para el proyecto "Terminal de descarga de carbón"*. (Tesis de Pregrado, Universidad Católica de la Santísima Concepción). <https://docplayer.es/69708761-Universidad-catolica-de-la-santisima-concepcion-facultad-de-ingenieria-departamento-de-ingenieria-civil.html>
- Galmés, J. (2005). *Diseño innovador de diques verticales con geometrías cilíndricas*. (Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica de Catalunya). <http://hdl.handle.net/2099.1/3262>
- Gallarday Bocanegra, T. (2013). Construcción de espigones de rocas ígneas de tierra al mar, en la Chira, Paso de la Araña, Salto el Fraile y La Punta. Lima, Perú
- González, R. (2013). *Estudio de obras de protección costera. Caso México*. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México).
- Grandez, P. (30 de Octubre del 2017). *El Ferrol, la Bahía que se resiste a morir*. IPAMA Instituto Peruano de Protección Ambiental. <http://ipama.org.pe/2017/10/30/ferrol-la-bahia-se-resiste-morir/>
- Gutiérrez, R., & Grassa, J. (2015). Diseño, construcción y explotación de diques de abrigo portuario en España desde finales del siglo XX. *Ribagua*, 2(2), 80–96. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.10.004>
- Guzmán, E., & Saavedra, M. (2003). *Estudio de corrientes superficiales en la bahía Ferrol aplicando el modelo pom*. 1–9. http://www.naylamp.dhn.mil.pe/oceano/pom/pom_ferrol.pdf
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. P. (2014). Metodología de la Investigación. Obtenido de http://euaem1.uaem.mx/bitstream/handle/123456789/2776/506_6.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IMARPE. (2015). *Calidad del ambiente marino y costero en la región Áncash, 2012*. <http://biblioimarpe.imarpe.gob.pe/bitstream/123456789/2992/3/Informe42%284%29-2.pdf>
- Inzunza, J. (2002). Capítulo 5: Humedad en la atmósfera. *Meteorología Descriptiva*.
- Loayza, R. (2013). Situación crítica del litoral de Chimbote por erosión marina de la bahía

- “El Ferrol” (Chimbote, Perú). In *AQUAHOY Portal de Información en Acuicultura*.
<https://www.aquahoy.com/informe/20335-situacion-critica-del-litoral-de-chimbote-por-erosion-marina-de-la-bahia-el-ferrol-chimbote-peru>
- Maccaferri Iberia. (n.d.). *Rompeolas y Espigones*. Maccaferri Iberia. Recuperado el 23 de Julio del 2020 de <https://www.maccaferri.com/es/soluciones/rompeolas-y-espigones/>
- Medina, J., & Vidal, C. (2014). Diseño y construcción de diques rompeolas. *Ingeniería Del Agua*, 18(1), 28. <https://doi.org/10.4995/ia.2014.3074>
- Meteo Navarra. (n.d.). *Viento*. Recupero el 07 de Septiembre del 2020 de <http://meteo.navarra.es/definiciones/viento.cfm>
- MINAM. (2012). *Plan de recuperación ambiental de la bahía “el ferrol” Chimbote, Perú*. <http://www.minam.gob.pe/disposiciones/resolucion-suprema-n-004-2012-minam/>
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS. (2013). Guía para el diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras. En *Dirección de Obras Portuarias* (Vol. 1). Ministerio de Obras Públicas.
- Moreno, L., Bernabeu, A., Fages, L., Muñoz, J., & De la Casa, A. (2001). Espigones De Bajo Coste: Diseño y Coste de Mantenimiento. *VI Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos, January*.
- Ovalle, J. (2012). *Aplicación de obras de defensa blandas para la protección de la costa Catalana*. (Tesis de Mestría, Universidad Politécnica de Catalunya).
- Pilarczyk, K. (2000). *Geosynthetics and Geosystems un Hydraulic and Coastal Engineering*, A.A, Balkema, Rotterdam, The Netherlands
- Pitton, L., & Peyregne, M. (2016). *Paper N ° 5 – Construcción de Defensa de Costas , Puente y Cabecera de Escollera en el Relleno al Norte del Sexto Espigón – Puerto Buenos Aires*. 5–7.
- Puertos del Estado. (2008). *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas* (Puertos del Estado); Julio 2008. Ministerio de Fomento.

- Puertos del Estado. (2009). *Recomendaciones del diseño y ejecución de las Obras de Abrigo, Parte Ia, Bases y Factores para el proyecto, agentes climáticos* (1st ed.). Puertos del Estado. [http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM 1.0-09.pdf](http://www.puertos.es/es-es/BibliotecaV2/ROM%201.0-09.pdf)
- Radio RSD Chimbote. (2018) “*El enrocado es la respuesta más fácil y cómoda ante la erosión en la costanera de Chimbote*”. Recuperado el 14 de Julio del 2020 de <https://radiorsd.pe/noticias/el-enrocado-es-la-respuesta-mas-facil-y-comoda-ante-la-erosion-en-la-costanera-de-chimbote>
- Ramirez, A. (2017). *Procedimiento constructivo utilizando la tecnología de geotextiles para protección costera en Colán-Piura. (Tesis de Pregrado. Universidad de Piura)*. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3060/ICI_238.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Recio-Molina, J., & Yasuhara, K. (2005). Stability of modified geotextile wrap-around revetments (GWR) for coastal protection. *Geosynthetics International*, 12(5), 260–268. <https://doi.org/10.1680/gein.2005.12.5.260>
- S&P. (2018). *Humedad relativa, específica y absoluta*. <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>
- Saldaña del Río, L. F. (2017). *Diseño de un dique de escollera para protección de la vía Costa Verde tramo Callao. (Tesis de Pregrado. Pontificia Universidad Católica del Perú)*. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9017>
- Sánchez, E. (2003). *Diseño de las obras de protección costera del malecón de La Libertad, provincia del Guayas. (Tesis de Pregrado, Escuela Superior Politécnica del Litoral)*. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/3381>
- Suarez, J. (2001). Estructuras Marinas. In *Control de erosión en zonas tropicales* (pp. 525–548). Universidad Industrial de Santander. <https://www.erosion.com.co/control-de-erosion-en-zonas-tropicales.html>

Anexo 2: Presupuesto (asignación de recursos)

DESCRIPCIÓN	UNID	CANT.	P.U.	PARCIAL
Inscripción al programa de titulación	Unid	2	6000	12000
Examen de Clasificación TITES	Unid	2	150	300
Legalización de Bachiller	Unid	2	20	40
Constancia de Matrícula	Unid	2	40	80
Fotos Carnet	Unid	2	20	40
Fotocopias	Glb	1	500	500
Impresiones	Glb	1	400	400
Anillados	Glb	1	200	200
Laptop	Unid	2	2500	5000
Horas invertidas por los tesistas	Glb	2	4000	8000
Viáticos	Glb	2	300	600
Pasajes	Glb	2	500	1000
Total				28160

Fuente: Propia

Anexo 3: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICAS / INSTRUMENTOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL	Materiales, vida útil, accesibilidad, impacto ambiental, presupuestos	Matrices cualitativas y cuantitativas.	Técnica: Investigación aplicada no experimental con enfoque mixto cualitativo y cuantitativo de alcance descriptivo.
- ¿Cómo realizar el análisis comparativo de las obras de protección costera en la Bahía El Ferrol?	- Realizar el análisis comparativo de las obras de protección costera en la bahía El Ferrol.	- La obra de protección costera que mejor se adecúa a la bahía el Ferrol son los espigones.			
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICAS			Instrumentos: Hojas de cálculo de Excel. Mapas de corrientes superficiales de IMARPE y AUTOCAD.
- ¿Serán las corrientes superficiales de la bahía el Ferrol las adecuadas para el proyecto? - ¿Cuáles son las obras de protección costera que más se adecuan a la Bahía el Ferrol? - ¿Existirán diferencias significativas entre los diques verticales, espigones y diques en talud para las condiciones específicas de la Bahía el Ferrol?	- Caracterizar las corrientes superficiales de la bahía el Ferrol. - Analizar la tipología de las obras de protección costera - Elaborar matrices cualitativas y cuantitativas para los diques verticales, espigones y diques en talud.	- Las corrientes superficiales son las adecuadas para el proyecto. - Las obras de protección costera que más se adecuan a la bahía el Ferrol son los diques verticales, espigones y diques en talud. - Existen diferencias significativas entre los diques verticales, espigones y diques en talud para la Bahía el Ferrol.			

Fuente: Propia

Anexo 4: Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	ITEM
VARIABLE DEPENDIENTE					
Bahía el Ferrol	Entrada de un mar, océano o lago rodeada por tierra excepto por una apertura	Bahía	Corrientes superficiales (cualitativo)	Mapas de corrientes superficiales de HIDRONAV (DIMODEL)	Características de las corrientes superficiales
VARIABLE INDEPENDIENTE					
Dique Vertical	Este tipo de estructuras sumergidas tiene la función de una barrera que se encuentra sumergida en el fondo del mar logrando que la mayoría de olas rompan en esta estructura. (Suarez, 2001).	Dique	Aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos.		Características de cada aspecto.
Espigones	Se construyen de manera perpendicular a la costa, haciendo que la arena de playa no se traslade a lo largo de la playa para poder manejar el proceso erosivo. (Suarez, 2001).	Espigón	Aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos.		Características de cada aspecto.
Diques Talud	Está conformado por una estructura sumergida y otra en la parte superior que disipan la energía con la que se acercan las olas hacia la orilla. (Puertos del Estado, 2009)	Dique	Aspectos técnicos, ambientales, sociales y económicos.		Características de cada aspecto.

Fuente: Propia

Anexo 5: Formato o protocolo de los instrumentos que utilizará

ASPECTOS TÉCNICOS			
ESTRUCTURA			
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD	ESPIGÓN
MATERIALES			
ACCESIBILIDAD			
TRANSPORTE			
MAQUINARIAS			
MAQUINARIAS			
PROCESO CONSTRUCTIVO			
OBRAS PROVINCIONALES			
PROCESO			
CONSTRUCTIVO			
PELIGROS Y RIESGOS			
SEGURIDAD			
ZONA DE TRABAJO			
MANTENIMIENTO			
MANTENIMIENTO			
VIDA ÚTIL			
VIDA ÚTIL			
CONTRATISTAS			
CONTRATISTAS			
Fuente: Propia			
ASPECTOS AMBIENTALES			
ESTRUCTURA			
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD	ESPIGÓN
DESMONTE			
DESMONTE QUE GENERA			
PESCA			
PESQUERÍA ARTESANAL			
PESQUERÍA INDUSTRIAL			
FAUNA Y FLORA			
FAUNA MARINA			
FLORA MARINA			
PAISAJE			
PAISAJE			
Fuente: Propia			

ASPECTOS SOCIALES			
ESTRUCTURA			
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD	ESPIGÓN
TURISMO			
TURISMO			
TRABAJO			
DURANTE LA CONSTRUCCIÓN			
POST ENTREGA DE OBRA			
ECONOMÍA			
ECONOMÍA			
SALUD			
SALUD			
CALIDAD DE VIDA			
CALIDAD DE VIDA			
IDENTIDAD LOCAL			
IDENTIDAD LOCAL			
DEPORTE Y RECREACIÓN			
DEPORTES			
RECREACIÓN			

Fuente: Propia

ASPECTO ECONÓMICO			
ESTRUCTURA			
	DIQUE VERTICAL	DIQUE TALUD	ESPIGÓN
COSTO DIRECTO			
COSTO DIRECTO EN DÓLARES			

Fuente: Propia

Anexo 6: Valores de diseño para elementos de estructuras marinas

Elemento	De Capas	Talud Cot	Colocación	Valor De Kd	
				Tronco	Morro
Roca redonda	2	1.5 a 3	Al Azar	1.2	1.2
Roca redonda	Más de 3	1.5 a 3	Al Azar	1.6	1.4
Roca angulosa	1	1.5 a 3	Al Azar	-	-
Roca angulosa	1	1.5	Al Azar	-	1.9
Roca angulosa	2	2.0	Al Azar	2.0	1.6
Roca angulosa	2	3.0	Al Azar	-	1.3
Roca angulosa	Más de 3	1.5 a 3	Al Azar	2.2	2.1
Roca angulosa	2	1.5 a 3			
Roca redonda	2	1.5 a 3	Especial	5.9	5.3
Tetraedros	2	1.5	Al Azar	-	5.0
Tetrápodos	2	2.0	Al Azar	7.0	4.5
Tetrápodos	2	3.0	Al Azar	-	3.5
Tribar	2	1.5	Al Azar	-	8.3
Tribar	2	2.0	Al Azar	9.0	7.8
Tribar	2	3.0	Al Azar	-	6.0
Tribar	1	1.5 a 3	Uniforme	12.0	7.5
Dolo	2	2.0	Al Azar	15.8	8.0
Cubo	2	1.5 a 3	Al Azar	6.5	-
Dolo	2	3.0	Al Azar	8.0	13.5

Fuente: Suarez (2001)

Anexo 7: Valores de coeficiente de capa para el diseño de elementos de estructuras marinas

Layer Coefficient and Porosity for Various Armor Units				
Armor Unit	n	Placement	Layer Coefficient k_d	Porosity P (percent)
Quarrystone (smooth) ¹	2	Random	1.02	38
Quarrystone (rough) ²	2	Random	1.00	37
Quarrystone (rough) ²	≥3	Random	1.00	40
Quarrystone (parallepiped) ³	2	Special	--	27
Quarrystone ⁴	Graded	Random	--	37
Cube (modified) ¹	2	Random	1.10	47
Tetrapod ¹	2	Random	1.04	50
Tribar ¹	2	Random	1.02	54
Tribar ¹	1	Uniform	1.13	47
dolos ⁵	2	Random	0.94	56
Core-Loc ⁶	Vol. < 5 m ³	Random	1.51	60
	5 < Vol. < 12 m ³			63
	12 < Vol. < 22m ³			64
Accropod ⁷	Vol. < 5 m ³	Random	1.51	57
	5 < Vol. < 12 m ³			59
	12 < Vol. < 22m ³			62

¹ Hudson (1974)
² Carver and Davidson (1983)
³ Layer thickness is twice the average long dimension of the parallelepiped stones. Porosity is estimated from tests on one layer of uniformly placed modified cubes (Hudson 1974).
⁴ The minimum layer thickness should be twice the cubic dimension of the W_{50} riprap. Check to determine that the graded layer thickness is ≥ 1.25 the cubic dimension of the W_{max} riprap (see Equations VI-5-119 and VI-5-120).
⁵ Carver and Davidson (1977)
⁶ Turk and Melby (1997)
⁷ Accropod informational brochure

Fuente: Fernández (2010)

Anexo 8: Tabla de metrados del dique vertical

ITEM	DESCRIPCIÓN	N° DE REP	UND.	LONGITUD	MEDIDAS		SUBTOTAL	TOTAL
					ANCHO	ALTO		
1	Limpieza y dragado							
1.1	Base de Dique	1	m2	1130	11.60		13108.00	13108.00
2	Dique Vertical							
2.1	Enrase de banqueteta	1	m2	1130	11.60		13108.00	13108.00
2.2	Coraza 160 kg	1	m3	1130		2.41	2723.30	2723.30
2.3	Filtro 16 kg	1	m3	1130		0.98	1107.40	1107.40
2.4	Núcleo	1	m3	1130		3.43	3875.90	3875.90
2.5	Hormigón para estructuras							
2.5.1	Cajón	1	m3	1130		26.00	29380.00	29380.00
2.5.2	Espaldón	1	m3	1130		2.80	3164.00	3164.00
2.5.3	Bloque de guarda	2	m3	1130		0.20	226.00	452.00

Fuente: Propia

Anexo 9: Tabla de metrados del espigón de escollera

ITEM	DESCRIPCIÓN	N° DE REP	UND.	MEDIDAS			SUBTOTAL	TOTAL
				LONGITUD	ANCHO	ALTO		
1	Trabajos preliminares							
1.1	Limpieza de terreno	7	m2	40.00	29.50		1180	8260
1.2	Trazo y replanteo	7	m2	40.00	29.50		1180	8260
2	Espigón							
2.1	Coraza 2.90 ton	7	m3	133.33		84.08	11210.39	78472.7048
2.2	Filtro 194 a 291 kg	7	m3	133.33		19.61	2614.60	18302.2091
2.3	Núcleo	7	m3	133.33		36.31	4841.21	33888.4861

Fuente: Propia

Anexo 10: Tabla de metrados del dique talud

ITEM	DESCRIPCIÓN	N° DE REP	UND.	MEDIDAS			SUBTOTAL	TOTAL
				LONGITUD	ANCHO	ALTO		
1	Limpieza y dragado							
1.1	Base de Dique	1	m2	1130	42.00		47460.00	47460.00
2	Dique en talud							
2.1	Coraza 2.70 ton	1	m3	1130	83.92		94829.60	94829.60
2.2	Filtro 180 a 270 kg	1	m3	1130	34.46		38939.80	38939.80
2.3	Núcleo	1	m3	1130	96.69		109259.70	109259.70

Fuente: Propia